

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Jamova 2, p.p. 3422  
1115 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



*UIVERZITETNI ŠTUDIJ  
VODARSTVA IN KOMUNALNEGA  
INŽENIRSTVA*

Kandidatka:

**URŠA ŠEBENIK**

**ANALIZA SUŠE S POMOČJO  
STANDARDIZIRANEGA PADA VINSKEGA  
INDEKSA**

Diplomska naloga št.: **180**

**DROUGHT ANALYSIS USING STANDARDIZED  
PRECIPITATION INDEX**

Graduation thesis No.: **180**

**Mentorica:**  
doc. dr. Mojca Šraj

**Predsednik komisije:**  
doc. dr. Dušan Žagar

**Somentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Podpisana Urša Šebenik izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Analiza suše s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 11. 2. 2012

Urša Šebenik

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

<b>UDK:</b>	<b>551.577.38:005.642.5(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Urša Šebenik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mojca Šraj</b>
<b>Somentor:</b>	<b>prof. dr. Mitja Brilly</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Analiza suše s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>122 str., 14 pregl., 92 sl., 42 en., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>suša, padavine, verjetnostna porazdelitev, standardiziran padavinski indeks (SPI), časovna skala, standardiziran pretok</b>

### **Izvleček**

Med pojave, vezane na vodni krog, spadajo tudi ekstremni vremenski pojavi, kot so suše in poplave. Kljub temu, da je suša kompleksen pojav in za seboj pušča veliko gospodarsko in okoljsko škodo, spada med manj raziskane naravne nesreče. V prvem delu diplomske naloge je zato opisan pojav suše, vzroki za njen nastanek in značilnosti, v katerih se razlikuje od drugih naravnih nesreč. Za količinsko opredelitev posameznih vrst suše so danes v uporabi številni sušni indeksi. Za analizo preteklih sušnih dogodkov in trendov sušnih razmer v Sloveniji je bil izbran standardiziran padavinski indeks (SPI). Edini vhodni podatek za njegov izračun predstavljajo padavine. Izračun zahteva določitev najprimernejše teoretične porazdelitve, ki najbolje opiše padavinski niz podatkov, zato smo v nalogi poskušali ugotoviti vpliv izbire teoretične porazdelitve na vrednosti SPI. Za izbrane meteorološke postaje smo nato z izbrano teoretično porazdelitvijo izračunali SPI na šestih časovnih skalah (ena-, dvo-, tro-, šest-, devet- in dvanajstmesečni). Za presečno obdobje 1951–2004 smo ponovno opravili izračun indeksov za vse izbrane postaje in časovne skale. Ugotovili smo, da v večini primerov meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst kažejo podoben vzorec pojavljanja sušnih in mokrih obdobj, kar bi lahko rekli tudi za meteorološki postaji Celje in Maribor-Tabor. V zadnjem delu smo poskušali opredeliti hidrološko sušo na izbranem porečju s pomočjo standardiziranega mesečnega pretoka in SPI. Medsebojna povezanost standardiziranih pretokov in padavin je za reko Pesnico za vse časovne skale izračuna SPI pozitivna, vendar se vrednosti korelacijskega koeficienta spreminjajo mesečno in glede na trajanje časovne skale. Najvišja korelacija je izračunana med septembrskim SPI-2 in standardiziranim septembrskim pretokom.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 551.577.38:005.642.5(043.2)  
**Author:** Urša Šebenik  
**Supervisor:** doc. dr. Mojca Šraj  
**Cosupervisor:** prof. dr. Mitja Brilly  
**Title:** Drought Analysis Using Standardized Precipitation Index  
**Document type:** Graduation Thesis-University studies  
**Scope and tools:** 122 p., 14 tab., 92 fig., 42 eq., 1 ann.  
**Keywords:** drought, precipitation, probability distribution, standardised precipitation index, times scale, standardised streamflow

**Abstract**

Among the occurrences related to water cycle there are also extreme weather phenomena like drought and floods. Despite the fact the drought is a complex phenomena which causes a lot of economic and environmental damage, still is one of the less explored natural disasters. Therefore in the first part of this thesis we described features of drought, the reasons for its appearance and characteristics which distinguish it from other natural disasters. To quantify the various types of drought there are numerous drought indices in use. For the analysis of past drought events and trends in drought in Slovenia we selected Standardized Precipitation Index. The only input data for its calculation is based on monthly rainfall. The calculation requires determining the most appropriate theoretical distribution that best describes the precipitation data set. So we tried to find in thesis the influence of theoretical distributions on the values of SPI. With the most appropriate theoretical contribution we calculated SPI for selected meteorological stations at six different time scales (one-, two-, three-, six-, nine- and twelvemonth). For the period 1951–2004, we did again the calculation of indices for all selected stations and time scales. We found out that in most cases, the meteorological stations of Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto and Trieste show a similar pattern of occurrence of drought and wet periods, which could be also said for the meteorological stations of Celje and Maribor-Tabor. In the last part of thesis we tried to identify the hydrological drought in the selected river basin of river Pesnica through a standardized monthly flow and SPI. The interrelation of standard flow and precipitation of Pesnica is positive for all time scales of SPI calculation. However the values of the correlation coefficient vary monthly and depends on the duration of time scale. The highest correlation is calculated between SPI-2 in September and standardized September flow.

## **ZAHVALA**

Za vso pomoč, nasvete in vzpodbudo se iz vsega srca zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju prof. dr. Mitji Brillyu. Hvala tudi moji mami, ki me je vsa študijska leta podpirala in verjela vame ter prijateljcem za vsa skupna zabavna druženja, ki so osmislila moja študijska leta.

Zahvala pa gre tudi Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovane podatke in informacije o opazovalnih mestih.

**KAZALO VSEBINE**

<b>IZJAVE</b> .....	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</b> .....	<b>IV</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>VI</b>
<b>KAZALO VSEBINE</b> .....	<b>VII</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC</b> .....	<b>X</b>
<b>KAZALO SLIK</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2 POJAV SUŠE</b> .....	<b>4</b>
2.1 Vzroki za sušne razmere (vplivni faktorji).....	4
2.2 Definicije in koncepti suše – pregled objav .....	5
2.2.1 Meteorološka ali klimatološka suša .....	11
2.2.2 Kmetijska suša.....	13
2.2.3 Hidrološka suša .....	15
2.2.4 Socialno-ekonomska suša .....	16
2.3 Značilnosti suše in njenih vplivov.....	17
2.4 V čem se suša razlikuje od drugih naravnih nesreč? .....	20
<b>3 OPREDELITEV SUŠE S STANDARDIZIRANIM PADAVINSKIM INDEKSOM</b> .....	<b>22</b>
3.1 Metodologija standardiziranega padavinskega indeksa (SPI) .....	22
3.2 Izračun SPI z različnimi verjetnostnimi porazdelitvami .....	29
3.2.1 Logaritemsko normalna porazdelitev.....	30
3.2.2 Porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I ali Gumbelova porazdelitev .....	31
3.2.3 Pearsonova III porazdelitev.....	31
3.2.4 Logaritemska Pearson III porazdelitev .....	32
3.2.5 Empirična porazdelitev .....	32
3.3 Značilnosti in operativna raba standardiziranega padavinskega indeksa .....	33
<b>4 STANDARDIZIRAN PRETOK</b> .....	<b>36</b>
4.1 Izračun standardiziranega pretoka z normalno (Gaussovo) porazdelitvijo .....	36

<b>5 IZRAČUN STANDARDIZIRANEGA PADAVINSKEGA INDEKSA ZA IZBRANE METEOROLOŠKE POSTAJE .....</b>	<b>38</b>
5.1 Opis meteoroloških postaj .....	38
5.1.1 Meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad.....	38
5.1.2 Meteorološka postaja Maribor–Tabor.....	39
5.1.3 Meteorološka postaja Celje.....	40
5.1.4 Meteorološka postaja Novo mesto .....	41
5.1.5 Meteorološka postaja Trst.....	41
5.2 Homogenizacija podatkov .....	42
5.3 Priprava vhodnih podatkov .....	43
5.4. Izbira ustrezne teoretične porazdelitve .....	43
5.5 Izračun SPI z različnimi porazdelitvami za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad	49
5.6 Izračun standardiziranega padavinskega indeksa (SPI) za izbrane meteorološke postaje in različne časovne skale .....	54
5.6.1 Meteorološka postaja Ljubljana–Bežigrad .....	54
5.6.2 Meteorološka postaja Maribor-Tabor.....	60
5.6.3 Meteorološka postaja Celje.....	65
5.6.4 Meteorološka postaja Novo mesto .....	70
5.6.5 Meteorološka postaja Trst.....	75
<b>6 IZRAČUN STANDARDIZIRANEGA PRETOKA .....</b>	<b>81</b>
6.1 Opis porečja reke Pesnice.....	81
<b>7 ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV.....</b>	<b>83</b>
7.1 Standardiziran padavinski indeks (SPI) za izbrane meteorološke postaje za obdobje 1951–2004 .....	83
7.1.1 Vpliv dolžine niza padavinskih podatkov .....	92
7.2 Analiza trendov.....	93
7.3 Razmerje med časovnimi skalami standardiziranega padavinskega indeksa za meteorološko postajo Maribor-Tabor in standardiziranim srednjim mesečnim pretokom reke Pesnice.....	102



---

7.4 Mesečna razmerja med časovnimi skalami SPI-ja in standardiziranega pretoka reke Pesnice .....	103
<b>8 ZAKLJUČEK .....</b>	<b>108</b>
<b>9 VIRI .....</b>	<b>113</b>
<b>PRILOGA A: DEFINICIJE SUŠE IN SUŠNI INDEKSI Z RAZLIČNIMI VHODNIMI PODATKI .....</b>	<b>123</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Definicije klimatološke suše in sušni indeksi s temperaturo ali padavinami kot vhodnima spremenljivkama.....	12
Preglednica 2: Definicije kmetijske suše in sušni indeksi s količino talne vode in parametri poljščin kot vhodnima spremenljivkama .....	14
Preglednica 3: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI.....	29
Preglednica 4: Lokacija izbranih meteoroloških postaj in obdobje izračuna SPI .....	43
Preglednica 5: Korelacijski koeficienti izbranih porazdelitev za SPI-1 do SPI-6.....	52
Preglednica 6: Korelacijski koeficienti izbranih porazdelitev za SPI-9 in SPI-12.....	52
Preglednica 7: Vrednosti indeksa za januar 1989 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad .....	58
Preglednica 8: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1853–2010) na postaji Ljubljana-Bežigrad na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin .....	60
Preglednica 9: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1876–2010) na postaji Maribor-Tabor na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin .....	65
Preglednica 10: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1853–2010) na postaji Celje na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin .....	70
Preglednica 11: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1951–2010) na postaji Novo mesto na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin .....	75
Preglednica 12: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1851–2010) na postaji Trst na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin .....	80
Preglednica 13: Korelacijski koeficienti za vse izbrane časovne skale izračuna indeksa SPI .....	103
Preglednica 14: Mesečni korelacijski koeficienti.....	104

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Kroženje vode med oceani, kopnim in atmosfero .....	1
Slika 2: Ocenjena skupna višina škode v Sloveniji, ki so jo v letih 2000–2005 povzročile različne naravne nesreče .....	2
Slika 3: Odnos med posameznimi vrstami suše in trajanjem sušnega dogodka .....	10
Slika 4: Zmanjšanje kvalitete in izpad pridelka .....	18
Slika 5: Nizek vodostaj reke Krke v Kostanjevici .....	19
Slika 6: Huda lakota v Somaliji leta 2011 .....	20
Slika 7: Gostota verjetnosti vsote padavin za trimesečno obdobje (januar–marec) za Ljubljano in obdobje 1853–2010.....	25
Slika 8: Histogram frekvenc za trimesečna obdobja padlih padavin za Ljubljano (obdobje 1853–2010).....	25
Slika 9: Primer pretvorbe vsote padavin v vrednost indeksa SPI za trimesečno vsoto padavin (januar, februar, marec) za Ljubljano.....	27
Slika 10: Standardizirana normalna porazdelitev s srednjo vrednostjo enako nič in varianco enako ena .....	28
Slika 11: Šestmesečni SPI za ZDA in za obdobje do novembra 2009.....	34
Slika 12: Prikaz vrednosti trimesečnega SPI (junij–avgust) za JV Evropo v letu 2003.....	35
Slika 13: Lega klimatoloških postaj .....	38
Slika 14: Meteorološko opazovalni prostor Ljubljana-Bežigrad oktobra 2007 .....	39
Slika 15: Opazovalni prostor meteorološke postaje Maribor-Tabor .....	40
Slika 16: Opazovalni prostor meteorološke postaje Celje.....	40
Slika 17: Opazovalni prostor meteorološke postaje Novo mesto.....	41
Slika 18: Merilne naprave na panoramski strehi Navtičnega inštituta v Trstu, kjer danes potekajo meritve.....	42
Slika 19: Histogram frekvenčne porazdelitve za mesečne padavine za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010) .....	44
Slika 20: Histogram frekvenčne porazdelitve za dvomesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010) .....	44
Slika 21: Histogram frekvenčne porazdelitve za tromesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010) .....	45
Slika 22: Histogram frekvenčne porazdelitve za šestmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010) .....	45
Slika 23: Histogram frekvenčne porazdelitve za devetmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	46

Slika 24: Histogram frekvenčne porazdelitve za dvanajstmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	46
Slika 25: Primerjava izbranih teoretičnih in empirične porazdelitve za mesec januar in meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	48
Slika 26: Primerjava izbranih teoretičnih in empirične porazdelitve za mesec julij in meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	48
Slika 27: Vnos vhodnih podatkov za izračun indeksa SPI za Ljubljano s pomočjo programa	49
Slika 29: SPI-1 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	54
Slika 30: SPI-2 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	55
Slika 31: SPI-3 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	55
Slika 32: SPI-6 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	56
Slika 33: SPI-9 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	56
Slika 34: SPI-12 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010).....	57
Slika 35: SPI-1 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010) .....	61
Slika 36: SPI-2 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876– 2010) .....	62
Slika 37: SPI-3 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010) .....	62
Slika 38: SPI-6 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010) .....	63
Slika 39: SPI-9 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010) .....	63
Slika 40: SPI-12 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010) .....	64
Slika 41: SPI-1 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	66
Slika 42: SPI-2 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	66
Slika 43: SPI-3 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	67
Slika 44: SPI-6 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	67
Slika 45: SPI-9 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	68
Slika 46: SPI-12 za meteorološko postajo Celje (1853–2010).....	68
Slika 47: SPI-1 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	71
Slika 48: SPI-2 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	71
Slika 49: SPI-3 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	72
Slika 50: SPI-6 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	72
Slika 51: SPI-9 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	73
Slika 52: SPI-12 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010).....	73
Slika 53: SPI-1 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	76
Slika 54: SPI-2 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	76
Slika 55: SPI-3 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	77
Slika 56: SPI-6 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	77
Slika 57: SPI-9 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	78
Slika 58: SPI-12 za meteorološko postajo Trst (1851–2004).....	78

Slika 59: Hidrografsko območje reke Pesnice .....	81
Slika 60: Vodomerna postaja Gočova .....	82
Slika 61: Vrednosti SPI-1 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	84
Slika 62: Vrednosti SPI-2 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	84
Slika 63: Vrednosti SPI-3 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	85
Slika 64: Vrednosti SPI-6 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	85
Slika 65: Vrednosti SPI-9 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	86
Slika 66: Vrednosti SPI-12 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje .....	86
Slika 67: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in obdobje 1951–2004.....	87
Slika 68: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Maribor-Tabor in obdobje 1951– 2004 .....	88
Slika 69: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Celje in obdobje 1951–2004 .	88
Slika 70: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Novo mesto in obdobje 1951– 2004 .....	89
Slika 71: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Trst in obdobje 1951–2004 ...	89
Slika 72: Korelacijski koeficienti za izbrane meteorološke postaje.....	92
Slika 73: SPI-1 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	93
Slika 74: SPI-2 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	94
Slika 75: SPI-3 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	94
Slika 76: SPI-6 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	95
Slika 77: SPI-9 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	95
Slika 78: SPI-12 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	96
Slika 79: Mesečne padavine in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad .....	97
Slike 80: Dvomesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	97
Slika 81: Tromesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	98
Slika 82: Šestmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana- Bežigrad .....	98

Slika 83: Devetmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad .....	99
Slika 84: Dvanajstmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad .....	99
Slika 85: SPI-12 in pripadajoči trend za Maribor-Tabor .....	100
Slika 86: SPI-12 in pripadajoči trend za Celje .....	100
Slika 87: SPI-12 in pripadajoči trend za Novo mesto.....	101
Slika 88: SPI-12 in pripadajoči trend za Trst .....	101
Slika 89: Povezanost med neprekinjenimi standardiziranimi nizi srednjega mesečnega pretoka reke Pesnice in standardiziranim padavinskim indeksom na različnih časovnih skalah .....	102
Slika 90: Mesečne korelacije med standardiziranimi pretoki in SPI na časovnih skalah 1, 2, 3, 6, 9 in 12 mesecev.....	105
Slika 91: Prikaz mesečnih korelacij med standardiziranimi pretoki in SPI s pomočjo 3D ploskovnega grafa.....	105
Slika 92: Standardiziran pretok in standardiziran padavinski indeks na dvomesečni časovni skali v septembru .....	107

## 1 UVOD

Voda je bistvenega pomena za življenje in nepogrešljiv vir za skoraj vse človekove dejavnosti. Preko številnih povezav in povratnih zank je voda povezana s podnebjem, tako da vse spremembe v podnebjem povzročajo tudi spremembe v hidrološkem krogu. Ta predstavlja neprestano kroženje vode v naravi in enega najpomembnejših biokemičnih ciklov. Voda na Zemlji je v stalnem gibanju med oceani, kopnim in atmosfero (slika 1).

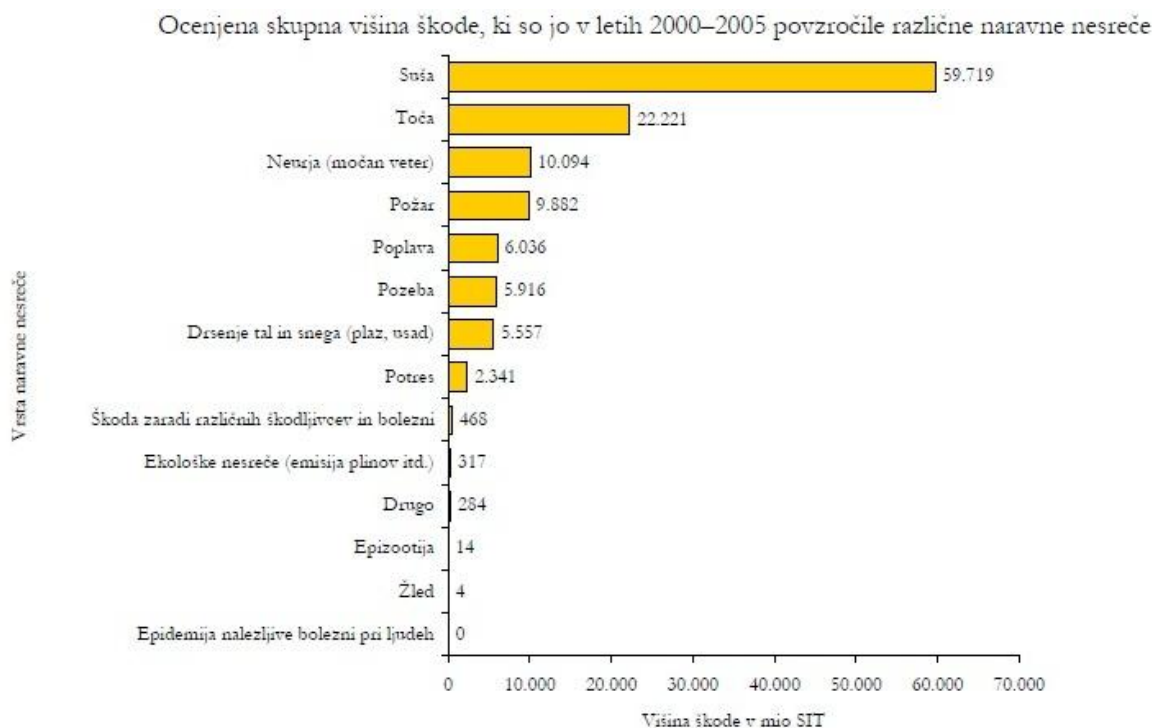


Slika 1: Kroženje vode med oceani, kopnim in atmosfero (Kroženje vode, 2008)

Med pojave, ki so vezani na vodni krog, spadajo tudi ekstremni vremenski pojavi, kot so suše in poplave. V zadnjih letih velik pomen pripisujemo podnebnim spremembam, ki naj bi bile vzrok za povečevanje jakosti in pogostosti ekstremnih vremenskih pojavov. V primerjavi z ostalimi naravnimi nesrečami se suše najpočasneje razvijejo, pogosto trajajo najdlje in so v tem trenutku najmanj predvidljive in napovedljive med »atmosferskimi« nesrečami (Mishra in Singh, 2010). Zato se suša in z njo povezano pomanjkanje vode kažeta kot izziva današnjega časa za celoten svet, pri tem pa tudi Slovenija ni izjema.

Slovenija se sicer uvršča med države, ki so z vidika vodnatosti sorazmerno bogate. K temu pripomore velika količina padavin, saj v državi v povprečju pade okoli 1500 mm padavin. Tudi v Prekmurju, kjer je v običajnih letih manj padavin kakor 800 mm, pade v povprečju 200 mm več dežja kakor na severu Evrope, na primer v Berlinu. Vendar pa je kljub visokim skupnim količinam dežja za različne dejavnosti (kakovostna kmetijska pridelava, oskrba s pitno vodo, proizvodnja električne energije) časovna razporeditev padavin pogosto

neugodna. Zato je bilo zlasti v preteklosti slišati, da suša glede na slovensko vodno bogastvo pri nas ne bi smela predstavljati velikega problema (Gregorič in Sušnik, 2008). Kljub temu je v preteklih letih škoda zaradi suše dosegla vrtooglave zneske. Računsko sodišče je leta 2007 pripravilo oceno škode (slika 2), ki so jih povzročile različne naravne nesreče s pomočjo podatkov Statističnega urada Republike Slovenije. Iz podatkov izhaja, da daleč največji delež (48.6 odstotka) v celotnem obsegu ocenjene škode v letih 2000 do 2005 povzroči suša.



Slika 2: Ocenjena skupna višina škode v Sloveniji, ki so jo v letih 2000–2005 povzročile različne naravne nesreče (Revizijsko poročilo o smotrnosti ravnanja Republike Slovenije pri preprečevanju in odpravi posledic suše v kmetijstvu, 2007)

Podatki nam torej kažejo, da moramo tudi v Sloveniji na sušo resno računati. Večja ogroženost Slovenije zaradi suše je privedla do pobude za ustanovitev Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi, ki ima sedež v Ljubljani na Agenciji za okolje Republike Slovenije (Gregorič in Sušnik, 2008).

Za ustrezno in pravočasno ukrepanje je potrebno poznavanje značilnosti suše, njenih razlik v primerjavi z ostalimi naravnimi nesrečami ter njenih vplivov na gospodarstvo, okolje in družbo. Sušo je težko zaznati in spremljati njen razvoj. Sušni indeksi so danes nepogrešljivo orodje za zaznavanje, spremljanje in oceno stanja sušnega dogodka. Eden izmed najpogosteje uporabljenih je standardiziran padavinski indeks (SPI), ki je bil razvit z namenom izboljšanja odkrivanja in spremljanja razvoja suše. SPI ima več značilnosti, ki predstavljajo izboljšave v primerjavi s prej razvitimi indeksi, predvsem preprostost izračuna in



časovno fleksibilnost, ki omogoča uporabo indeksa tudi za spremljanje stanja vodnih virov na različnih časovnih skalah.

Namen diplomske naloge je (1) predstaviti metodologijo izračuna standardiziranega padavinskega indeksa, (2) ugotoviti vpliv izbire teoretične porazdelitve na vrednosti SPI, (3) opredeliti sušo oz. narediti točkovno analizo sušnih obdobj s pomočjo SPI za najdaljše možno obdobje meritev za pet izbranih meteoroloških postaj, ki predstavljajo podnebno raznolikost Slovenije, (4) narediti primerjavo izračunanih indeksov za skupno presečno obdobje vseh postaj in (5) poskušati opredeliti hidrološko sušo na izbranem porečju s pomočjo standardiziranega mesečnega pretoka in SPI.

## 2 POJAV SUŠE

Univerzalne definicije suše ni (Tate in Gustard, 2000). Vsak sušni dogodek je svojevrsten dogodek, predvsem zaradi različnih podnebnih značilnosti posameznih regij in prostorske razprostranjenosti suše v povezavi z njenimi vplivi in posledicami.

### 2.1 Vzroki za sušne razmere (vplivni faktorji)

Suša je rezultat združevanja meteoroloških, fizičnih in človeških dejavnosti. Osnoven vzrok suše je pomanjkanje padavin, ter čas, porazdelitev in jakost primanjkljaja v povezavi z obstoječo zalogo in porabo vode. Glavni meteorološki dejavniki so: vzorec atmosferske cirkulacije zraka, pomanjkanje padavin, temperatura in evapotranspiracija. Dodatni fizični in človeški dejavniki, ki vplivajo na pojav suše so: obseg naravne zaloge (zaloga v tleh, rekah, jezerih, zadrževalnikih, mokriščih) ter socioekonomski dejavniki, ki kontrolirajo porabo vode kot npr. sprememba števila prebivalstva, življenjski standard (Sustainable..., 2001).

Vzorec splošne atmosferske cirkulacije, predvsem lokacija in trajanje območja visokega zračnega pritiska, ima velik vpliv na količino in razporeditev padavin ter temperature. Pomanjkanje padavin je značilno za območja visokega zračnega pritiska. Sprememba pozicije, trajanja in intenzitete anticiklona vodijo k spremembam vzorca cirkulacije, kar vodi posledično do odklona od povprečja pri temperaturah in padavinah. Jakost suše ni zgolj funkcija velikosti deficita padavin, temveč je pomemben tudi čas nastopa padavin. Manjko zimskih padavin je kritičen za obnovo zaloge vode v tleh in zalog podzemne vode. Ker je podtalnica ena izmed glavnih virov pitne vode, lahko premalo zimskih padavin rezultira v težave pri nemoteni oskrbi s pitno vodo. V nasprotju pa poletna suša, običajno opremljena z visokimi temperaturami in visoko stopnjo evapotranspiracije, prizadene predvsem površinske vodne vire.

Iz doslej napisanega sledi, da nas lahko ogrozi le klimatološko pogojena suša. V podrobnem pregledu pridejo do izraza tudi drugi nastopajoči dejavniki (litološka zgradba, reliefna izoblikovanost, preperelinska odeja, ipd.). Najbolj značilen primer litološko pogojene sušnosti je kraški svet s prevladujočim podzemeljskim odtekanjem padavinske vode ter zelo redkimi površinskimi viri pitne vode. Geomorfološko – pedološko pogojena sušnost se opaža predvsem v hribovitem svetu, kjer izstopa prevladujoča poselitev na vršinah slemen s tanko preperelino in majhnimi množinami talne vode, naglo površinsko odtekanje skozi prst na pobočjih, povečana sušnost prisojnih pobočij zaradi večje evapotranspiracije, površinska plast peščenega ali gruščnatega pobočnega drobirja, skozi katero padavinska voda zelo

naglo odteče in zaradi denudacije stanjšana plast prsti oziroma skeletne prsti z zelo majhno zmožnostjo zadrževanja padavinske vode (Natek, 1983).

Tudi ljudje s svojim ravnanjem vplivamo na jakost in posledice suše. Izsekavanje gozda, krčenje pridelovalnih in zelenih površin ter intenzivna obdelava kmetijskih zemljišč pospešujejo proces izsuševanja zemljišč, povečujejo ranljivost in izpostavljenost teh območij na sušo. Pri izsušenih in razgaljenih tleh se albedo povečuje in ravnotežje med odbito in vpadlo energijo je porušeno. Albedo ali koeficient reflektivnosti (odboja) je razmerje med vpadlo in odbito energijo (Rakovec in Vrhovec, 2000). Povečan albedo (večji odboj) zmanjša toploto pri tleh, kar prinese nekaj ohladiče. Z zaviranjem konvekcijskih aktivnosti se zmanjšuje tudi verjetnost pojava padavin. Z manjšo količino padlih padavin zraste tudi manj vegetacije in albedo se tako tudi v nadalje povečuje.

Pritisk na vodne vire zaradi razvojnih potreb, povečevanje števila prebivalcev in razporeditev svetovnega prebivalstva so ključni elementi pri določevanju potreb po vodi, ki jih je potrebno uravnoteževati z razpoložljivo vodo med različne skupine uporabnikov. Vplive lahko s časom povečujemo ali ustrezno zmanjšujemo. V katero smer gremo, je odvisno predvsem od našega pristopa pri reševanju problema in razvitih orodij, ki jih imamo na voljo.

## **2.2 Definicije in koncepti suše – pregled objav**

Širok nabor področij, na katere vpliva suša, geografska raznolikost pojavljanja suše ter zahteve po zalogah vode, ki jih določamo sami, otežujejo oblikovanje ene same definicije suše (Lloyd-Huges, 2002b; Wilhite, 2003; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008). Mnoge organizacije in institucije, pristojne za okolje, so sušo v splošnem opredelile, vse definicije pa izhajajo iz analiz pomanjkanja padavin v določenem časovnem obdobju.

Komisija za agrometeorologijo Svetovne meteorološke organizacije (Report of..., 1993) je sušo opredelila kot obdobje pomanjkanja padavin, kar se kaže v vodnem primanjkljaju za vrsto dejavnosti prizadete regije.

Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (Bazza, 2001) sušo definira kot normalen pojav v vseh podnebnih pasovih, ki je najbolj izrazit v suhih regijah.

V Konvenciji Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji v tistih državah, ki doživljajo hudo sušo in/ali dezertifikacijo, zlasti v Afriki (Zakon o ratifikaciji..., 2001) suša pomeni naravni

pojav, do katerega pride, kadar so padavine precej pod običajno ravniyo, kar poruši hidrološko ravnotežje, to pa negativno vpliva na proizvodno sposobnost tal.

Pokazatelji suše so lahko kvalitativni v obliki pisnih, jezikovnih definicij jakosti suše ali kvantitativni, ki temeljijo na statističnih analizah (Tate in Gustard, 2000). Ker suše ni mogoče obravnavati le kot fizični pojav, lahko definicije nadalje razdelimo na vsebinske in operativne (What is..., 2011).

Vsebinske (opisne, pojmovne) definicije so v pomoč pri razumevanju koncepta in pojma suše. Tako na primer Mednarodni hidrološki slovar (International Glossar of Hydrology, 2011) definira sušo kot periodo abnormalno suhega vremena, ki je dovolj dolga, da povzroči pomanjkanje vode, ki se odraža v nižjem vodostaju rek in jezer od običajnega, zmanjšani zasičenosti tal z vodo in znižanju nivoja podtalnice. Meteorološki slovar ameriškega meteorološkega društva (The Glossary of Meteorology, 2011) definira sušo kot periodo abnormalno suhega vremena, ki traja dovolj dolgo, da povzroči pomanjkanje vode, kar povzroči resno hidrološko neravnovesje na prizadetem območju. Evropski center za upravljanje suše (European Drought Center, 2011) je sušo opredelil kot trajen in regionalno obsežen pojav z manjšo razpoložljivostjo vode od povprečne. Ameriški Nacionalni center za upravljanje s sušo (Glossary, 2011) je sušo opisal kot normalno, ponavljajočo se značilnost podnebja z manj padavinami, kot se pričakuje v nekem daljšem časovnem obdobju, navadno nekaj mesecev ali več. Tudi Wilhite (2003) je sušo definiral kot posledico naravnega zmanjšanja količine padavin, padlih v daljšem obdobju (po navadi v sezoni ali še daljši dobi).

Vsebinske definicije so pomembne pri vzpostavljanju upravljanja suše, dajejo pa malo konkretnih napotkov pri oceni trenutnega sušnega pojava.

Operativne definicije poskušajo določiti začetek, konec in jakost suše (Wilhite in Glantz, 1985). Operativne definicije v kmetijstvu primerjajo dnevne vrednosti padlih padavin z dnevno evapotranspiracijo, na osnovi katere je ocenjen primanjkljaj vode v tleh, ta pa je osnova za ugotavljanje vpliva suše na odziv rastlin (rast, pridelek) v posameznem rastnem obdobju. Stopnja odstopanja temelji na primerjavi količine padlih padavin oz. trenutnih razmer drugih klimatoloških spremenljivk z dolgoletnim povprečjem, običajno 30-letnim časovnim nizom.

Nobena operativna definicija ne zadostuje celoviti oceni možnih okoliščin razvoja suše, njene jakosti in vplivov, kar povzroča težave pri upravljanju suše. Danes se večina upravljavcev zanaša na matematične indekse za oceno in spremljanje pojava ter pomoč pri odločitvi, kdaj začeti z izvajanjem primernih ukrepov.

Operativne definicije so primerne tudi za analizo pogostosti, jakosti in trajanja suše za preteklo obdobje. Take vrste definicij zahtevajo urne, dnevne, mesečne ali podatke drugih časovnih nizov. V definiciji so lahko zajeti tudi podatki vplivov suše, npr. količina pridelka.

Z opredeljevanjem in raziskovanjem pojava suše se ukvarjajo tudi slovenski avtorji, ki se osredotočajo predvsem na sušne razmere v kmetijstvu, kjer smo bili v zadnjih letih na slovenskem najbolj ogroženi z vidika izpada pridelka in posledično tudi dohodka.

Ruprecht (2003) navaja, da z besedo suša označujemo različne količine in energetska stanja vode v tleh, ki jih prikažemo z desorpcijsko krivuljo tal za vodo. Z njo lahko izrazimo količino vode v tleh, ki jo je mogoče »vskladiščiti«, količino trenutno shranjene vode in volumski delež vode, ki ima tako energetska stanje, da je ta rastlini dostopna za neovirano rast in razvoj. Daljša sušna obdobja se odražajo z močno zmanjšano zasičenostjo tal z vodo, kar ima posreden vpliv na stanje okolja. Pridelava v naravnem okolju je zaradi vse pogostejših suš v kmetijstvu močno ranljiva, v zaprtih, nadzorovanih prostorih pa zanemarljivo malo pridelamo.

Tudi Karel Natek se je ukvarjal z ogroženostjo Slovenije zaradi pojava sušnih obdobj, suše in sušnosti. Pri razlagi izraza »sušno obdobje« je povzel meteorološko definicijo (Furlan, 1961), ki sušno obdobje definira kot zaporedje več kot 5 dni z manj kot 0,1 mm padavin dnevno. Ugotavlja, da je suša tolikšno negativno odstopanje od normalne količine in razporeditve padavin, da le te ne zadoščajo za uspevanje naravnega in kulturnega rastja ter za normalni potek površinskega in podzemeljskega odtekanja vode, kar povzroča motnje v delovanju človeške družbe in s tem določeno škodo. Sušnost, kot nasprotje vlažnosti, pomeni lastnost nečesa (npr. sušnost zraka, tal). Z vidika sušnosti ločuje klimatsko, litološko in geomorfološko pogojeno sušnost (Natek, 1983).

Gams (1983) opredeljuje sušo s stališča klimatogeografije, kjer je sušno tisto podnebje (doba, leto, mesec), v katerem dobi zemlja manj padavinske vode, kot bi ob zadostni zalogi vode lahko vegetacija izhlapela prek listov (transpiracija). Ugotavlja, da je retencijska sposobnost zemlje pomembna lastnost tal pri vplivu klimatske sušnosti na tla. Kjer je retencijska sposobnost zemlje manjša (v plitvih ali kamnitih prsteh), rastlina zaradi pomanjkanja vode zadrži fotosintezo, s katero tvori organsko snov, kar pomeni, da upočasni svojo rast. Klimatska suša se ne pozna, če je prst debelejša in lahko zadrži zalogo talne vode iz prejšnjih mesecev.

Matajc (1991) sušo definira kot kompleksen pojav zaradi dalj časa trajajočega pomanjkanja padavin v kombinaciji z velikim izhlapevanjem, ki v kmetijstvu povzroča osušitev–dehidracijo

v območju koreninskega sistema v tleh in na ta način preprečuje preskrbo rastlin z v vodi raztopljenimi hranilnimi snovmi. Kot posledice kmetijske suše je navedel nestalne, pre nizke in nekakovostne pridelke, ki lahko v kritičnih letih povzročijo veliko gospodarsko škodo.

Trontelj (1997) je povzel meteorološko pojmovanje suše, ki pravi, da je suša daljše obdobje brez padavin in jo poznamo v kateremkoli letnem času. Za kmetijstvo je bolj pomembno, če je suša v vegetacijski dobi in je izrazitost suše odvisna predvsem od zaloge vode v tleh in od poljščine ali kmetijske kulture. Zaloge vode v tleh je odvisna od sestave tal, količine padavin pred začetkom suše in od dejavnikov, ki vplivajo na izhlapevanje vode iz tal in prek rastlin (temperatura, osončenje, veter, relativna vlaga in faza razvoja rastline). Torej suše ne moremo kar preprosto definirati s številom dni brez padavin.

Suša vpliva na širok nabor področij, zato se je v literaturi uveljavila razvrstitev vidikov suše v različne skupine.

Ameriški klimatolog in geograf Thornthwaite (1947) je sušo opisal kot posledico premajhne količine dežja, kjer količina vode, potrebne za neposredno izhlapevanje in transpiracijo presega količino dostopne vode v zemlji. Dokler zemljini primanjkuje vlage, padavinska voda ne more hkrati obnavljati zalog podtalne in površinske vode. Ko količina padlega dežja preseže potrebo po vodi, nastane presežek vode, ki lahko površinsko odteče oz. obnovi zaloge podtalne vode. Po mnenju Thornthwaita ni potrebe po razlikovanju med posameznimi vidiki suše (hidrološka, meteorološka, fiziološka,...), ker so komponente hidrološkega sistema in vidiki suše med seboj tako tesno povezani.

Suša je razširjena po vsem svetu, zato je sušo razvrstil v tri glavne skupine.

- Stalna suša je značilna za območja najbolj suhih podnebij. Redka vegetacija je prilagojena na sušo, in kmetijstvo je praktično nemogoče, razen s celoletnim namakanjem.
- Sezonska suša je značilna za območja, kjer se izmenjujeta deževna in suha doba. Za uspešno kmetijstvo je potrebno rast rastlin prilagoditi deževni dobi, sicer je nujno namakanje v času suhe dobe.
- Pogojna suša je značilna za vsa ostala območja, kjer se padavine pojavljajo neredno, kot posledica naravne klimatske variabilnosti in niso omejene na sezono. Običajno so krajšega trajanja, pojavljajo se neredno in vplivajo na manjše območje. Posamezni sušni dogodki se med seboj razlikujejo v intenziteti in času nastanka, zato jih lahko redko vnaprej predvidimo. Pogojne suše so značilne za humidna in sub-humidna območja.

Mawdsley in sod. (1994) določajo dva razreda kazalcev suše.

- Okoljski kazalci so meteorološki in hidrološki kazalci, ki merijo direkten vpliv suše na hidrološki krog. Primanjkljaj vode je lahko povezan s padavinami, vodotoki in vodo v tleh. S temi kazalci ugotavljajo trajanje in jakost suše, večinoma temeljijo na odklonu od povprečnih razmer.
- Kazalci vodnih virov merijo jakost suše glede na rabo vode v širšem smislu, kot na primer, vpliv na vodno oskrbo za domačo ali kmetijsko rabo, vpliv na podzemne vode, na ribištvo, rekreacijo itd.

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja (1985) sta ameriška raziskovalca Wilhite in Glantz pregledala čez 150 do takrat objavljenih definicij suše. Ugotovila sta, da se definicije razlikujejo glede na območje nastopa suše in njenih vplivov ter posledic na posamezne sektorje. Definicije sta razvrstila v štiri glavne skupine:

- meteorološka,
- kmetijska,
- hidrološka in
- socialno-ekonomska.

Prve tri skupine obravnavajo sušo kot fizični pojav, zadnja pa sledi učinkom primanjkljaja vode na družbo in gospodarstvo.

Tudi Tate in Gustard (2000) sta naredila »disciplinarno« klasifikacijo suše z vidika hidrologije. Sušo sta razvrstila v pet kategorij:

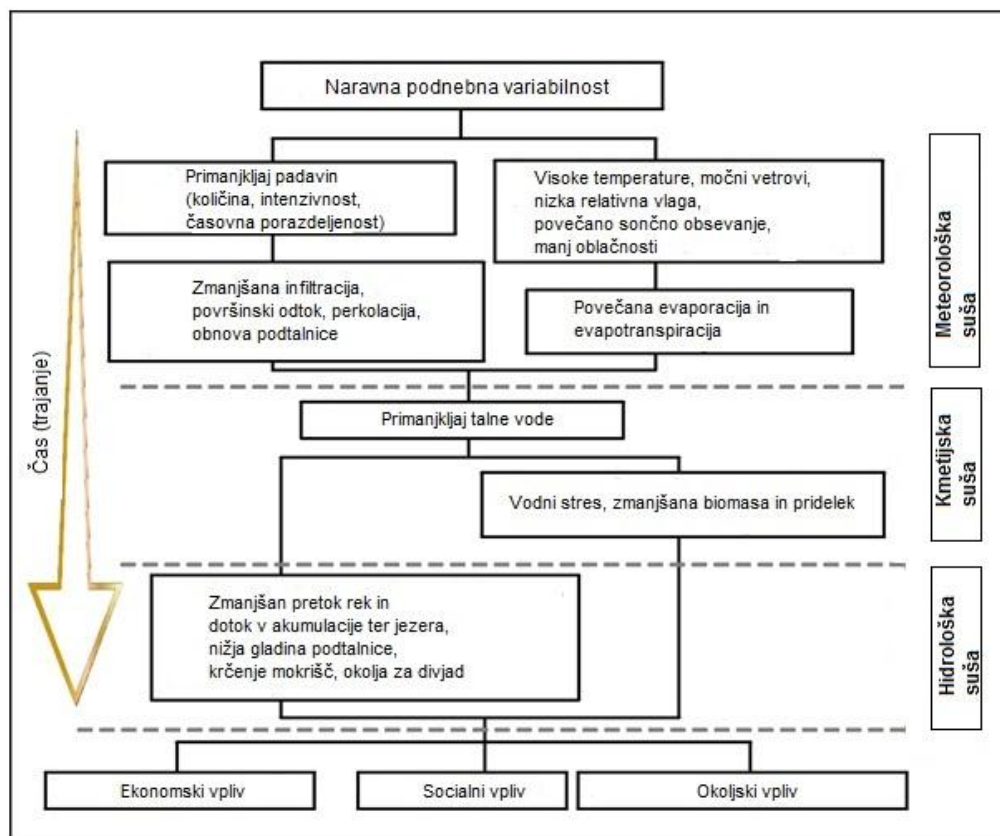
- klimatološka,
- agro-meteorološka,
- suša rečnega toka,
- suša podzemnih voda in
- operativna suša.

Hidrološki pristop je usmerjen k primanjkljaju vode v posameznih komponentah hidrološkega kroga (padavine, vlažnost tal, površinski odtok, podtalnica) ali k vplivu primanjkljaja na raven storitev oskrbe z vodo, namakanjem in energetskih potreb.

Vse vrste definicij izvirajo iz pomanjkanja padavin, kar povzroča vodni primanjkljaj za določeno aktivnost (npr. rast rastlin) in/ali določeno skupino ljudi (npr. kmetije).

Kljub temu, da je delitev suše v različne skupine koristna in praktično uporabna, je pogosto meja delitve v posamezne skupine povsem nejasna in težko določljiva (Wilhite. in Glantz, 1985).

Razporeditev in medsebojni odnos suš in prispevek posameznega tipa suše k okoljskim, socialnim in ekonomskim učinkom suše je shematično prikazano na sliki 3 (van Lanen in Peters, 2000; Lloyd-Hughes, 2002b; Kobold in Sušnik, 2003a; Sušnik, 2006). Praktična razvrstitev suš je razdeljena v tri glavne skupine: meteorološka suša, kmetijska suša in suša na vodnih virih – v podzemnih in površinskih vodah. Ta delitev predstavlja stopnjevanje pogostnosti, jakosti in trajanja suše (Sušnik, 2006).



Slika 3: Odnos med posameznimi vrstami suše in trajanjem sušnega dogodka (Wilhite, 2003: str 652; Kobold in Sušnik, 2003a: str 71; Sušnik, 2006: str 7)

Za meteorološko sušo je torej značilno pomanjkanje padavin, povezano z nadpovprečno visoko temperaturo, močnim vetrom in nizko relativno vlažnostjo. Vse to ima za posledico večje izhlapevanje, manjši odtok in manjše napajanje vodonosnikov. Ko se suša začne, je kmetijski sektor običajno prvi, ki je prizadet zaradi pomanjkanja vode v tleh, saj to pomeni pomanjkanje vode za rastline, posledica tega pa je manjši pridelek. Če se pomanjkanje padavin nadaljuje, so prizadeti še drugi viri (površinski vodotoki, jezera, podtalnica). Pomanjkanje vode ima vpliv tudi na druga področja, npr. oskrbo z vodo in hidroenergijo. Ko ljudje občutijo pomanjkanje vode kot dobrine, govorimo o ekonomskih in socialnih vplivih. Socialno-ekonomski vpliv se pokaže takrat, ko je potreba po ekonomskih dobrinah zaradi posledic meteorološke, kmetijske in hidrološke suše večja od oskrbe le teh (Kobold in



Sušnik, 2003a). Z vidika človeka je lahko suša tehnološki, ekonomski, politični, kulturni problem oz. večplasten problem, ki vključuje vse zgoraj naštete vidike. Vedno pa suša vpliva na okolje, ker je fizični pojav v določenem prostoru.

Osnova za razumevanje situacije pojava suše je soodvisnost družbe in okolja na prizadetem območju (Kemp, 1990).

### **2.2.1 Meteorološka ali klimatološka suša**

Meteorološke definicije, pogosto imenovane tudi klimatološke, sušo običajno definirajo na podlagi stopnje suhosti in trajanja obdobja brez padavin (Wilhite in Glantz, 1985). Večina definicij se nanaša na dejansko količino padlih padavin v primerjavi z dolgoletnimi povprečnimi oziroma pričakovanimi vrednostmi na mesečni, sezonski ali letni ravni (Wilhite, 2003). Kateri časovni interval je primernejši za uporabo, je odvisno predvsem od preučevanega padavinskega režima in specifičnega problema, ki ga preučujemo (Hisdal in Tallaksen, 2000).

Splošno razširjena definicija po Palmerju (1965) upošteva pojem daljšega in nenormalnega primanjkljaja vode in sušo definira kot interval časa, ki traja več zaporednih mesecev ali let, v katerem dejanska oskrba z vodo na določenem mestu pade pod klimatološko pričakovano ali primerno oskrbo z vodo.

Količina padlih padavin je značilnost padavinskega režima posamezne regije, zato mora biti suša definirana za vsako posamezno regijo. Na Baliju 6-dnevno obdobje brez dežja že pomeni sušo, v določenih predelih Libije je suša prepoznana šele po dvoletnem obdobju brez dežja in v Egiptu, vsako leto brez poplav reke Nil pomeni sušno leto, ne glede na padlo količino dežja. V južni Kanadi je vsako 30-dnevno obdobje brez dežja že razglašeno za sušno obdobje. V Avstraliji te vrste definicija odpade, ker se Avstralija vsako leto srečuje z vsaj enim 30-dnevnim obdobjem brez dežja (Bryant, 2005).

Svetovna meteorološka organizacija je izdelala popis klimatoloških definicij suše, ki vključujejo različne vhodne spremenljivke in so prikazane v preglednici 1 in še več v prilogi A.1 (Maracchi, 2000; Tate in Gustard, 2000; Sušnik, 2006).

Preglednica 1: Definicije klimatološke suše in sušni indeksi s temperaturo ali padavinami kot vhodnima spremenljivkama (Maracchi, 2000: str 65; Tate in Gustard, 2000: str 31; Sušnik, 2006: str 9).

Avtor	Definicija suše ali povezanega koncepta	Regija in komentar
Emberger (1955)	Indeks aridnosti $I$ : $I = \frac{100P}{(M-m)(M+m)}$ , kjer je $P$ vsota padlih padavin tistih mesecev s povprečno temperaturo nad 10°C; $M$ srednja max. temperatura v najtoplejšem mesecu in $m$ srednja min. temp. najhladnejšega meseca. $P$ v mm ter $M$ in $m$ v °C.	- Francija. - Temelji na de Martonovem indeksu.
de Martonne (1926)	- Indeks aridnosti $I$ : $I = \frac{P_m}{T_m + 10}$ , kjer je $P_m$ mesečna višina padavin (v mm), $T_m$ mesečna temperatura (v °C); mesečni indeks $I$ je približen indikator aridnosti.	
	- modificiran indeks $I$ : $I = \frac{n_d \bar{P}}{T_d + 10}$ , kjer je $n_d$ število dni v določenem obdobju od nekaj dni do leta in $\bar{P}$ povprečna količina padavin v obdobju $n_d$ , $T_d$ povprečna dnevna temperatura zraka v obdobju $n_d$ .	- Uporaben za definicije podnebnih mej puščav, prerij in gozdov; - v hladnih območjih, kjer se $T_m + 10$ približuje 0 ni primeren; - uporablja se ekstenzivno v geografiji in biologiji pri določanju aridnosti.
Popov (1948)	Indeks aridnosti $A$ : $A = \frac{\Sigma P_{ef}}{2,4(T - T_{mo\ ter})r}$ , kjer je $\Sigma P_{ef}$ letna količina efektivnih padavin, ki so dostopne rastlinam; $(T - T_{mo\ ter})$ povprečna letna depresija mokrega termometra v °C; $r$ faktor dolžine dneva.	

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 1

Selyaninov (1930)	<p>Indeks <math>k</math>:</p> $k = \frac{\Sigma P_m}{\Sigma T_m}$ , kjer je <p><math>\Sigma P_m</math> vsota padlih padavin tistih mesecev s povprečno temperaturo nad 10°C (v mm);  <math>\Sigma T_m</math> vsota povprečnih dnevni temperatur nad 0°C za enako obdobje (v °C).</p>	Avtor predlaga, da je suho obdobje razglašeno takrat, ko je $k < 1$ in suša, ko je $k < 0,5$ .
Thorntwaite (1931)	<p>Učinkovitost padavin kot funkcija povprečne temperature:</p> $\frac{P_m}{E_m} = 1,65 \left( \frac{P_m}{T_m + 12,2} \right)^{(10/9)}$ , kjer je <p><math>\frac{P_m}{E_m}</math> razmerje padavine/evapotranspiracija;  <math>P_m</math> mesečne padavine (v mm);  <math>T_m</math> je povprečna mesečna temperatura v °C.</p>	ZDA

### 2.2.2 Kmetijska suša

Suša v kmetijstvu je pogosteje definirana z razpoložljivostjo vode v tleh za rast rastlin, kot pa z odklonom padlih padavin od povprečja v daljšem obdobju (Wilhite in Buchanan-Smith, 2005). Kmetijska suša obstaja takrat, ko količina talne vlage v območju korenin ne zadostuje za ohranitev rastlin in pašnikov med posameznimi padavinskimi dogodki (Tate in Gustard, 2000).

Definicije kmetijske suše se nanašajo na situacije, ko je v tleh premalo vlage, da bi ta zadostila potrebam rastlin v rastnem obdobju. Potreba rastline po vodi je odvisna od prevladujočih podnebnih razmer, bioloških značilnosti rastline, njene stopnje rasti ter fizičnih in bioloških značilnosti tal (Wilhite in Glantz, 1985). K suši so manj nagnjena tla z večjo sposobnostjo zadrževanja talne vode, kot pa tla z zmanjšano retencijsko kapaciteto tal. Suša tal (angl. *soil drought*), ki je posledica zmanjšane dotoka vlage v območje korenin, je najpogostejša oblika suše v kmetijstvu. Rastline so lahko podvržene suši tudi takrat, ko je v tleh in zraku dovolj velika vsebnost vode, nastopi pa nenadno in izrazito povišanje temperature. Takrat govorimo o fiziološki suši (angl. *physiological drought*) (Lloyd-Hughes, 2002b).

Maracchi (2000) je kmetijsko sušo opredelil kot interakcijo med klimatskimi razmerami in družbenimi vplivi, kot so naraščajoča poraba vode, njena neučinkovita raba in spremenjena raba tal, ki vodijo v izrazito zmanjšanje kmetijske pridelave in poslabšanje kvalitete pridelka.

Stopnja oz. jakost suše se najpogosteje izraža s količino zmanjšanega pridelka in s pogojem, da na manjši pridelek niso škodljivo vplivali drugi dejavniki. Tako je z zmerno sušo definiran pridelek, zmanjšan do 20 %, srednje močna suša povzroča od 21 do 50 % manjši pridelek, pri več kot 50 % zmanjšanju pridelka pa gre za močno sušo (Matajc, 1991).

Čas nastopa kmetijske suše nujno ne sovпада s potekom meteorološke suše (Wilhite in Glantz, 1985). Je pa kmetijstvo običajno prvi gospodarski sektor, ki ga (meteorološka) suša prizadene.

V preglednici 2 in večji del v Prilogi A.2 so nanizane definicije in z njimi povezani koncepti ter sušni indeksi kmetijske oz. agrometeorološke suše z vhodnimi podatki – količina talne vode in značilnosti poljščin.

Preglednica 2: Definicije kmetijske suše in sušni indeksi s količino talne vode in parametri poljščin kot vhodnima spremenljivkama (Maracchi, 2000: str 67)

Avtor	Definicije suše ali povezanega koncepta	Regija in komentar
Alpat'ev in Ivanova (1958)	temeljna definicija jakosti suše, podana glede na primerjavo donosa pridelka s preteklimi povprečnimi donosi v daljšem časovnem obdobju; sušno leto je razglašeno takrat, ko se količina pridelka zmanjša za 25 %	
Fitzpatrick (1965)	model uporabe vode glede na dostopnost talne vlage med 0 in 10 cm tal in izgub zaradi evapotranspiracije	Avstralija
Garrido (1998)	normaliziran padavinski indeks (Normalised Precipitation Index – NPI): izpeljan s kombiniranjem Palmerjevega indeksa sušnosti (PDSI – Palmer Drought Severity Index) in Standardnega padavinskega indeksa (SPI – Standard Precipitation Index)	- Španija; - uporabljen za opazovanje suše na JV delu Španije
Karl in Knight (1985)	Palmerjev indeks jakosti hidrološke suše (Palmer Hydrological Drought Severity Index – PHDSI): lahko je opredeljen tudi kot indeks hidrološke suše, ki temelji na padavinah, odtoku in količini vode; ne upošteva trendov daljšega časovnega niza	- ZDA - evolucija indeksa PDSI - primeren za uporabo v skoraj realnem času
Kulik (1958)	upošteva pretekle meteorološke razmere, značilnosti tal in tehnologije kmetijske obdelave v regiji; semi – suša (Semi-drought): 10 dni s količino talne vode 20 mm v prvih 20 cm tal; suša: kot zgoraj, vendar s količino 10 mm talne vode	Rusija
Palmer (1965)	Palmerjev indeks sušnosti (PDSI – Palmer Drought Severity Index): temelji na vodnobilančnem modelu, ki vključuje padavine, koeficient evapotranspiracije, odtok in dostopno vodo v tleh	- ZDA - metoda temelji na Thornthwaitovem konceptu potencialne evapotranspiracije

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

Palmer (1968)	vlažnostni indeks poljščin (CMI – Crop Moisture Index): spremljanje tedenskega stanja oskrbe rastlin z vodo; jakost kmetijske suše je izračunana glede na magnitudo abnormalnega deficita evapotranspiracije	- ZDA - indeks ocenjuje tedenske vrednosti temperature in padavin (po postopku za izračun PDSI)
Rickard (1966)	voda v coni korenin z enakim ali pod deležem vode točke venenja; sušno stanje vztraja dokler količina padavin ne preseže dnevne evapotranspiracije	Nova Zelandija
Shafer in Deszman (1982)	indeks oskrbe s površinsko vodo (SWSI – Surface Water Supply Index): indikator razmer površinskih voda in odvisen od zalog gorske vode, pri čemer je glavna komponenta debelina snežne odeje v višjih predelih	- Colorado (ZDA) - razvit za dopolnitev Palmerjevega indeksa CMI

### 2.2.3 Hidrološka suša

Hidrološka definicija suše je povezana z vplivi pomanjkanja padavin v daljšem časovnem obdobju na površinsko in podzemno vodno telo. Pojavlja se na nekoliko daljši časovni skali kot meteorološka in kmetijska suša. Pomanjkanje talnih in podtalnih vodnih zalog tesno povezuje pojav hidrološke suše z nizkimi pretoki rek (in podtalnice), pri tem pa pojava nista ekvivalentna. Suša vsebuje dogodke nizkih pretokov, toda en sam dogodek nizkega pretoka nujno ne predstavlja suše. Nizki pretoki lahko nastopijo v različnih obdobjih leta z različnimi trajanji (Kobold in sod., 2000).

Hidrološka suša je dovolj dolgo obdobje nenormalno suhega vremena, da povzroči povečano pomanjkanje vode, kar kažejo podpovprečni vodotoki, podpovprečno znižanje gladin jezer in/ali znižanje vlage v tleh ter znižanje gladine podtalnice (Mikoš in sod., 2003).

Hidrološka suša podzemnih voda je definirana kot stanje, ko so gladine pod nizkim letnim povprečjem. Nizko letno povprečje je aritmetična sredina letnih nižkov iz podatkov dolgoletnega primerjalnega obdobja. V času suše so nihanja gladin razmeroma počasna in majhna. V teh obdobjih je razlika med kontrolno meritvijo in srednjo mesečno gladino majhna, in so tako kontrolne meritve zadosti dober približek za zanesljivo oceno sušnega stanja (Kobold in sod., 2000).

Suša pri podzemnih vodah se običajno pojavi zadnja in se zadnja tudi konča. Suša podzemnih voda je skupni rezultat pomanjkanja padavin, tj. meteorološke suše, pomanjkanja vlage v tleh, ki povzroča kmetijsko sušo, in pa nizkih gladin vodotokov, kar se odraža kot hidrološka suša površinskih voda (Mikulič in sod., 2002).

Značilen je časovni zamik v času nastopa meteorološke in hidrološke suše. Potrebna je več časa, da se pomanjkanje padavin pokaže v posameznih komponentah hidrološkega sistema (pretok vode, vlaga v tleh, gladina podzemne vode). Procesi izmenjave vode v vodonosnikih so počasnejši od procesov v drugih delih krogotoka vode, kar praviloma povzroča časovni zamik za ostalimi pojavi suše.

Voda iz površinskih in podzemnih vodnih teles se uporablja za različne in hkrati nasprotujoče si namene (turizem, namakanje, oskrba s pitno vodo, oskrba z energijo iz hidroelektrarn, zaščita ogroženih rastlinskih in živalskih vrst, ohranjanje biodiverzitete,...), kar lahko predstavlja še dodatno obremenitev za vodne vire. Tekmovanje posameznih panog za izrabo vode iz vodnih zbiralnikov se v času suše še stopnjuje (Wilhite, 2003).

Kakovost vode se v sušnih obdobjih v večini površinskih vodotokov občutno poslabša. To predstavlja velik problem na odsekih vodotokov, kjer površinska voda infiltrira v podtalnico, in v kraških izviroh, ki jih izkoriščamo za preskrbo prebivalstva z vodo.

V sušnih obdobjih se zaradi zmanjšanja pretokov zmanjša tudi hitrost toka rek in s tem hitrost izmenjave kisika iz zraka ter samočistilna sposobnost vode. Z manjšim pretokom se zmanjša tudi razredčitev odpadnih voda v reki. Povišanje vsebnosti škodljivih snovi in zmanjšanje samočistilne sposobnosti pa povzroči poslabšanje kakovosti vode (Zupan, 1991).

#### **2.2.4 Socialno-ekonomska suša**

Vplive suše ne gre iskati zgolj v primarnem fizičnem pomenu, temveč je potrebno upoštevati tudi družbeni kontekst dogodka. Suša obsega tako naravne (naravni dogodek) kot socialne komponente (ranljivost družbe). Vplivi na družbo so običajno daljnosežnejši in prisotni več let.

Socialno-ekonomska suša povezuje ponudbo in povpraševanje po določenih dobrinah in storitvah (npr. oskrba s pitno vodo, elektrika s hidroelektrarn, kmetijski pridelki,...) z elementi meteorološke, kmetijske in hidrološke suše. Vzajemno delovanje pojava suše, njenih vplivov in človekovih dejavnosti se kaže v več primerih. Tako na primer intenzivna (iz)raba tal lahko celo privede do samega pojava suše ali poslabša že obstoječe stanje sušnih razmer. Če razvojne potrebe presegajo razpoložljivost vode, do pomanjkanja pride tudi v obdobjih, ko pade v povprečju dovolj padavin. Ranljivost družbe je določena s socialnimi dejavniki, kot je število prebivalstva, njihove selitve (podeželje – urbana območja), demografske spremembe,

razvita tehnologija, politika upravljanja in socialno vedenje. Ti dejavniki se čez čas spreminjajo, posledično se tudi ranljivost lahko zmanjšuje ali povečuje.

### **2.3 Značilnosti suše in njenih vplivov**

V tehničnem smislu se posamezne suše med seboj razlikujejo v treh vidikih: intenzivnosti, trajanju in prostorski razsežnosti (Wilhite, 2003; Wilhite in Buchanan-Smith, 2005).

Intenzivnost sušnega dogodka se nanaša na stopnjo primanjkljaja padavin in/ali resnost učinkov, povezanih s primanjkljajem padavin. V splošnem se intenzivnost meri z odstopanjem klimatskih parametrov (npr. padavin), indikatorjev (npr. nivo rezervoarja) ali sušnega indeksa (npr. SPI–standardiziran padavinski indeks) od normalnih vrednosti. Tudi posledice suše so odvisne od intenzivnosti in trajanja sušnega dogodka.

Sušni dogodki se ločijo tudi glede na trajanje. Običajno traja dva do tri mesece, da je suša razglašena, potem pa lahko vztraja tudi več mesecev in let (Wilhite in Buchanan-Smith, 2005). Če suša traja preko sezone, govorimo o sezonski suši, npr. poletni, pomladanski, jesenski ali zimski suši. Kakšen obseg in vpliv ima suša, je odvisno predvsem od časa nastopa primanjkljaja padavin, njegove intenzitete in trajanja.

Posamezne suše se razlikujejo tudi glede na prostorsko razprostranjenost. V večjih deželah, kot so Kitajska, ZDA, Indija, Brazilija, Avstralija suša redko, če kdaj, prizadene celotno območje države. Po drugi strani pa je izredno redko leto, da suša ne bi prizadela posameznih regij teh držav. Za države manjšega obsega je bolj verjetno, da bo suša »zavzela« celotno območje. Pojav suše lahko v celoti povzroči izpad pridelka in države morajo resno računati na možnost, da suša prizadene vse ali večino pridelovalnih regij. Tudi v primeru odvisnosti od dobave hrane sosednjih držav, je potrebno razviti zavarovalne mehanizme za primer, če suša hkrati prizadene več regij.

Vplivi in posledice suše so pogosto razdeljeni v dve skupini – direktni in indirektni. Izguba pridelka, ki je posledica suše, je primer direktnega vpliva. Posledica tega učinka (izguba pridelka) je izguba v dohodku, odškodninski zahtevki kmetov, zapiranje kmetij,...Te vplive imenujemo indirektni oz. sekundarni ali terciarni.

Zahtevno nalogo predstavlja finančno ovrednotenje stroškov suše, ki prizadene veliko število skupin in sektorjev. Postavlja se tudi vprašanje, kako ovrednotiti osebno stisko ljudi in škodo, povzročeno okolju.

Vplive lahko razdelimo tudi na gospodarske, okoljske in socialne.

Vplivi suše na gospodarski sektor prizadenejo vse tri sektorske dejavnosti (primarno, sekundarno in terciarno). Posledice v gospodarskem sektorju se kažejo v neposrednih izgubah v kmetijstvu in dejavnostih, povezanih z njim, kot sta gozdarstvo in ribištvo. Suša vpliva tudi na energetiko in transportne dejavnosti, prav tako ne prizanese terciarnim dejavnostim, kot sta turizem in rekreacija. Nastale posledice lahko privedejo celo do brezposelnosti in izgube dohodka pridelovalcev hrane, podjetij in lokalnih skupnosti. Nekateri drugi gospodarski vplivi so (Wilhite, 2003):

- izguba kmetijskih pridelkov (letni ali trajni izpad pridelka, zmanjšanje kvalitete pridelka, zmanjšana produktivnost obdelovalnih zemljišč, tudi zaradi vetrne erozije, napad insektov, rastlinske bolezni);
- upad mlečnih izdelkov in zmanjšana produktivnost živinoreje (visoka stopnja umrljivosti živine);
- izguba lesne biomase (gozdni požari, drevesne bolezni, napad insektov, oslABLJENA produktivnost gozdnih zemljišč);
- izguba produktivnosti v ribolovu (poškodbe ribjih habitatov, izguba mladih rib zaradi nizkega pretoka);
- upadanje gospodarske rasti držav in upočasnitev gospodarskega razvoja prizadetih regij;
- upad proizvodnje hrane (povišanje cen hrane in povečanje deleža uvožene hrane);
- prekinitve oskrbe z vodo;
- stroški novega ali dodatnega vodnega vira.



Slika 4: Zmanjšanje kvalitete in izpad pridelka (Kmetijska suša, 2001)



Okoljski vplivi suše so vidni v živi in neživi naravi. Običajno gre za poškodbe rastlin, živali in degradacijo življenjskega prostora. Wilhite (2003) je okoljske vplive razdelil tako:

- poškodbe živalskih vrst (zmanjšanje in degradacija živalskih vrst ter habitatov divjih živali, pomanjkanje krme in vode za živali, bolezni, povečana ranljivost zaradi plenilcev);
- zmanjšanje ali celo izguba biotske raznovrstnosti;
- erozija tal (veter in voda);
- znižanje gladine vodnih zbiralnikov, jezer in drugih vodnih virov zaradi črpanja vode;
- poškodba rastlinskih vrst;
- vpliv na količino in kakovost vodnih virov (koncentracija soli, povišana temperatura vode, pH, raztopljen kisik,...);
- vplivi na kvaliteto zraka (prah, onesnaževalci);
- vizualna kvaliteta pokrajine (pokrovnost tal, prašni delci,...);
- povečana nevarnost požara.



Slika 5: Nizek vodostaj reke Krke v Kostanjevici (Lokalno, 2011)

V zadnjih letih ozaveščenost in skrb za okolje naraščata, zato tudi vladne službe posvečajo tem temam več pozornosti in jih vključujejo v strategije razvoja in akcijske načrte.

Vplivi na družbo so enako pomembni pri obravnavanju suše kot gospodarski in okoljski. Ranljivost družbe je odvisna od številnih socialnih faktorjev, kot je socialno varstvo in splošno zdravje, možnost podeljevanja pomoči prizadetim ob suši in usklajevanje nasprotujočih si interesov med porabniki vode. Družbeni učinki suše so vidni kot (Wilhite, 2003):

- izčrpavanje podzemne vode in pogrezanje zemlje;
- izguba mokrišč;

- izguba kulturne in naravne dediščine;
- pomanjkanje hrane (slabša kakovost hrane, podhranjenost, lakota);
- izguba človeških življenj (vročina, lakota, pomanjkanje hrane);
- konflikti med porabniki vode;
- manjša estetska vrednost pokrajine;
- zmanjšana kvaliteta bivanja na podeželju in sprememba načina življenja;
- povečanje revščine;
- preseljevanje narodov (običajno iz podeželja v urbana središča);
- izguba zaupanja v delo vladnih služb.



Slika 6: Huda lakota v Somaliji leta 2011 (AFP, 2011)

Vsaka skupina vplivov doseže različne segmente družbe: lokalne skupnosti, državo, gospodarstvo in industrijo, kmetijstvo, gospodinjstva ter posameznike.

Zaradi raznolikosti naštetih vplivov in njihovega učinka na gospodarstvo, jih je težko natančno količinsko določiti. Bolj eksplicitne in objektivne definicije, ki vključujejo tako fizične kot socialno-ekonomske aspekte suše in ki dovoljujejo kredibilno primerjavo učinkov suše med različnimi območji, bi lahko bile rešitev za oceno vplivov (Wilhite in Glantz, 1985).

#### **2.4 V čem se suša razlikuje od drugih naravnih nesreč?**

Suša je po mnenju mnogih najbolj kompleksna, a hkrati najmanj razumljena in raziskana naravna nesreča, ki prizadene več ljudi kot katerakoli druga naravna nesreča (Wilhite, 2003). V čem se torej suša razlikuje od drugih naravnih nesreč? Poznavanje razlik pomeni tudi poznavanje koncepta sušnega dogodka.

Suša se v primerjavi z drugimi naravnimi nesrečami, kot so potres, poplava, tropski ciklon in druge nesreče, razlikuje v več vidikih.

1. Začetek in konec sušnega dogodka sta težko določljiva. Posledice se običajno počasi kopičijo (akumulirajo) skozi precejšnje časovno obdobje in lahko v prostoru ostajajo prisotni več let. Zaradi počasnega nastopa suše je težko prepoznati dejanski začetek suše. Nikoli ne nastane iznenada, pripravlja se dalj časa, navadno rečemo, da se suša »priplazi« (Gregorič in Sušnik, 2008). Strokovnjaki in upravljavci s sušo se pogosto težko poenotijo pri kriterijih za določitev konca suše.
2. Pomanjkanje natančne, univerzalne in objektivne definicije suše. Posledično nastane dilema, ali suša sploh obstaja ali ne, če pa že, kakšna je njena jakost. Pogosto odsotnost regijsko-specifične definicije vodi v neodločnost in ne ukrepanje pristojnih organov.
3. Težave pri količinski opredelitvi (kvantificiranju) vplivov suše in ustrezno zagotavljanje pomoči. Vplivi suše so nestrukturni in razširjeni preko večjega območja kot vplivi ostalih naravnih nesreč. Te značilnosti suše ovirajo razvoj natančne, zanesljive in pravočasne ocene jakosti in vplivov suše in nenazadnje tudi oblikovanje načrta pripravljenosti na sušo (angl. *drought preparedness plan*) (Wilhite, 2003).
4. Sušo je potrebno upoštevati v relativnem in ne v absolutnem smislu (Wilhite in Buchanan-Smith, 2005). Pojavi se tako v suhih kot humidnih regijah, pogosto na letni osnovi. Intenzivnost, epicenter in velikost prizadetega območja se letno spreminjajo.
5. Za razliko od drugih naravnih nesreč lahko človekove dejavnosti neposredno sprožijo sušo. Človek s svojimi pretiranimi posegi v prostor, kot so intenzivno kmetijstvo, prekomerno namakanje, krčenje gozdov, erozija in pretirano izkoriščanje vodnih virov, negativno vpliva na retencijsko sposobnost tal (Mishra in Singh, 2010). Suša tako ni zgolj rezultat naravne podnebne spremenljivosti, temveč tudi človekovega vpliva.

### 3 OPREDELITEV SUŠE S STANDARDIZIRANIM PADAVINSKIM INDEKSOM

Meteorološko, kmetijsko in hidrološko sušo pogosto opišemo s sušnimi indeksi, ki so zelo pripravljeni in preprosti za uporabo, hkrati pa absorbirajo ogromne količine podatkov o količini padavin, snežni odeji, vodnem režimu v tleh itd. (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008).

Sušni indeksi so dandanes nepogrešljivo orodje za zaznavanje, spremljanje in oceno stanja sušnega dogodka (Niemeyer, 2008). S pomočjo indeksa si pomagamo pri določevanju začetka, trajanja ter intenzitete suše, zato indeks običajno predstavlja prvo informacijo o sušnem dogodku. Priročni in potrebni so tudi za primerjavo obsega in jakosti suše med posameznimi regijami, kot tudi za primerjavo med preteklimi sušnimi dogodki, za kar je potrebno določiti standardno razvrstitev vrednosti posameznega indeksa (Heim, 2002).

Prikazani so s številko, ki označuje sušne razmere na območju meritev (Hisdal in Tallaksen, 2000). Mikoš in sod. (2002) v Hidrološkem izrazju sušni indeks prevedejo kot »kazalec suše«, ki ga definirajo kot izračunano količino, vezano na nekatere kumulativne posledice daljšega in nenormalnega pomanjkanja vlage. Med indikatorje oz. kazalce suše, ki ravno tako opišejo trajanje, jakost in prostorsko razširjenost suše, štejemo tudi mesečno količino padavin, povprečni mesečni pretok, povprečni mesečni vodostaj zadrževalnika, nivo podzemne vode. Več kazalcev je lahko združenih v en sam kazalec suše v količinskem merilu, ki ga imenujemo sušni indeks (Steinemann in sod., 2005).

V diplomskem delu je poudarek na izračunu in interpretaciji standardiziranega padavinskega indeksa (SPI), ki je danes najbolj razširjen in uporabljen indeks na svetu. Indeks so leta 2009 strokovnjaki iz vseh regij sveta določili za enoten sušni indeks za meteorološko sušo s pomočjo Lincolnovе deklaracije o indeksih suše (»Lincoln Declaration on Drought Indices«), ki je rezultat mednarodne delavnice na temo sušnih indeksov in zgodnjega opozarjanja na sušo.

#### 3.1 Metodologija standardiziranega padavinskega indeksa (SPI)

McKee in sod. (1993) so v ameriški zvezni državi Kolorado razvili SPI kot relativno preprost indeks, uporaben za ovrednotenje primanjkljaja oz. presežka padavin na različnih časovnih skalah in oceno njegovega vpliva na vlažnost tal, pretok rek, zalogo podtalne vode. Standardiziran padavinski indeks (SPI) nam omogoča določevanje pogostosti ekstremno suhih oz. ekstremno mokrih dogodkov na določeni časovni skali za katerokoli lokacijo, ki ima arhiviran padavinski niz podatkov (Gregorič in Ceglar, 2007). Ravno izračun indeksa na

različnih časovnih lestvicah daje indeksu vsestransko uporabo, tako za spremljanje kratkoročne (npr. vlažnost tal, pomembna za kmetijsko proizvodnjo) kot dolgoročne oskrbe z vodo (v povezavi z zalogo podtalne vode, vode v strugi ali rečnem koritu, gladino jezer in vodnih zbiralnikov) (Hayes in sod., 1999).

SPI nam predstavlja, kaj količina padavin, padla v določenem časovnem obdobju, pomeni glede na normalno oz. pričakovano količino padavin za to obdobje. Edini vhodni podatek za njegov izračun predstavljajo padavine.

Prvi korak pri izračunu indeksa SPI je določitev gostote verjetnosti, s katero opišemo pretekli niz padavin. Gostota verjetnosti ali tudi funkcija gostote verjetnosti (angl. *probability density function* – PDF) opiše verjetnostno porazdelitev zvezne slučajne spremenljivke, ki pripada določeni populaciji. Niz padavinskih podatkov je lahko podan za katero koli časovno obdobje (serija skupnih padavin za 1 mesec, 2 meseca, 6 mesecev, 1 leto, 3 leta,...). Ko je gostota verjetnosti določena, se izračuna porazdelitvena funkcija (kumulativna verjetnost) za merjeno vsoto padavin. Porazdelitvena funkcija se nato normalizira. Rezultat je vrednost indeksa SPI (Edwards, 1997). Tako normalno porazdelitev, pri kateri je pričakovana vrednost enaka nič, varianca pa enaka ena, imenujemo standardizirana normalna porazdelitev (Turk, 2011).

Thom (1966) je ugotovil, da se porazdelitev gama dobro ujema s porazdelitvijo padavin v preteklem obdobju. Gama porazdelitev slučajne zvezne spremenljivke  $X$ , ki pripada določeni populaciji, je opredeljena s pomočjo njene frekvence ali gostote verjetnosti (1) (Edwards, 1997):

$$g_X(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad (1)$$

kjer je:

$$\alpha > 0 \quad \alpha \text{ je oblikovni parameter} \quad (2)$$

$$\beta > 0 \quad \beta \text{ parameter definira časovno skalo} \quad (3)$$

$$x > 0 \quad x \text{ predstavlja količino padavin} \quad (4)$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \Gamma(\alpha) \text{ je funkcija gama.} \quad (5)$$

Funkcija  $\Gamma(\alpha)$  je vključena v funkciji gostote verjetnosti.

Najprej je potrebno poiskati ustrezne parametre  $\alpha$  in  $\beta$  tako, da se gostota verjetnosti (1) najbolj ujema s porazdelitvijo padavin. Parametra  $\alpha$  in  $\beta$  sta ocenjena s pomočjo metode največjega verjetja, ki spada med točkovne ocene. Oceno parametrov določimo z uporabo verjetnostne funkcije pri diskretnih slučajnih spremenljivkah in gostoto verjetnosti pri zveznih slučajnih spremenljivkah. Določiti želimo take ocene parametrov, da bo verjetnost, da se je zgodil vzorec, ki ga imamo na voljo, največja. Pri zveznih slučajnih spremenljivkah je verjetnost, da se zgodi nek točno določen vzorec, enaka nič. Zato funkcijo verjetja zapišemo v odvisnosti od gostote verjetnosti in rečemo, da moramo določiti take ocene, da bo gostota verjetnosti pri danih vrednostih vzorca največja (Turk, 2011).

Thom (1966) je podrobneje opisal postopek izračuna ocene parametrov  $\alpha$  (6) in  $\beta$  (7) z metodo največjega verjetja:

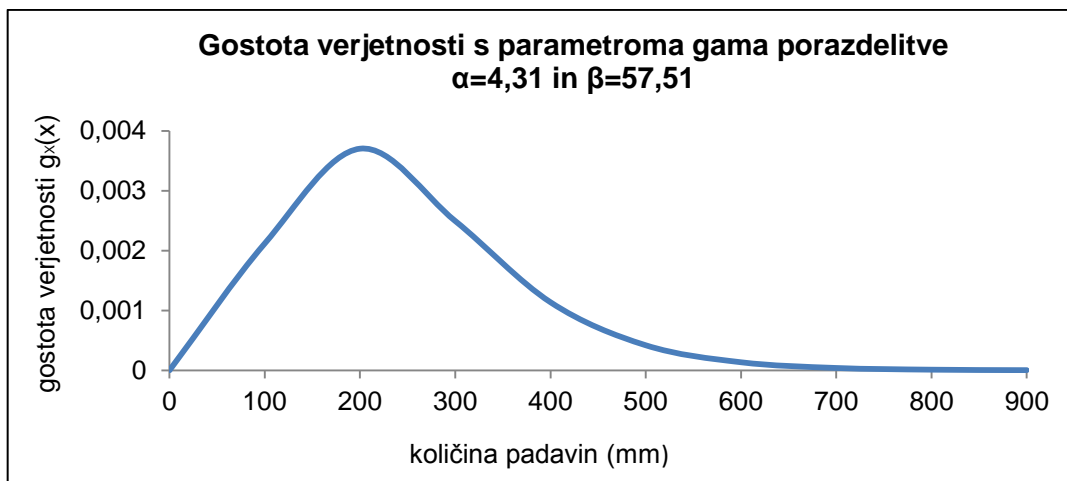
$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (6)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}, \quad (7)$$

kjer za  $n$  opazovanj  $A$  (8) predstavlja:

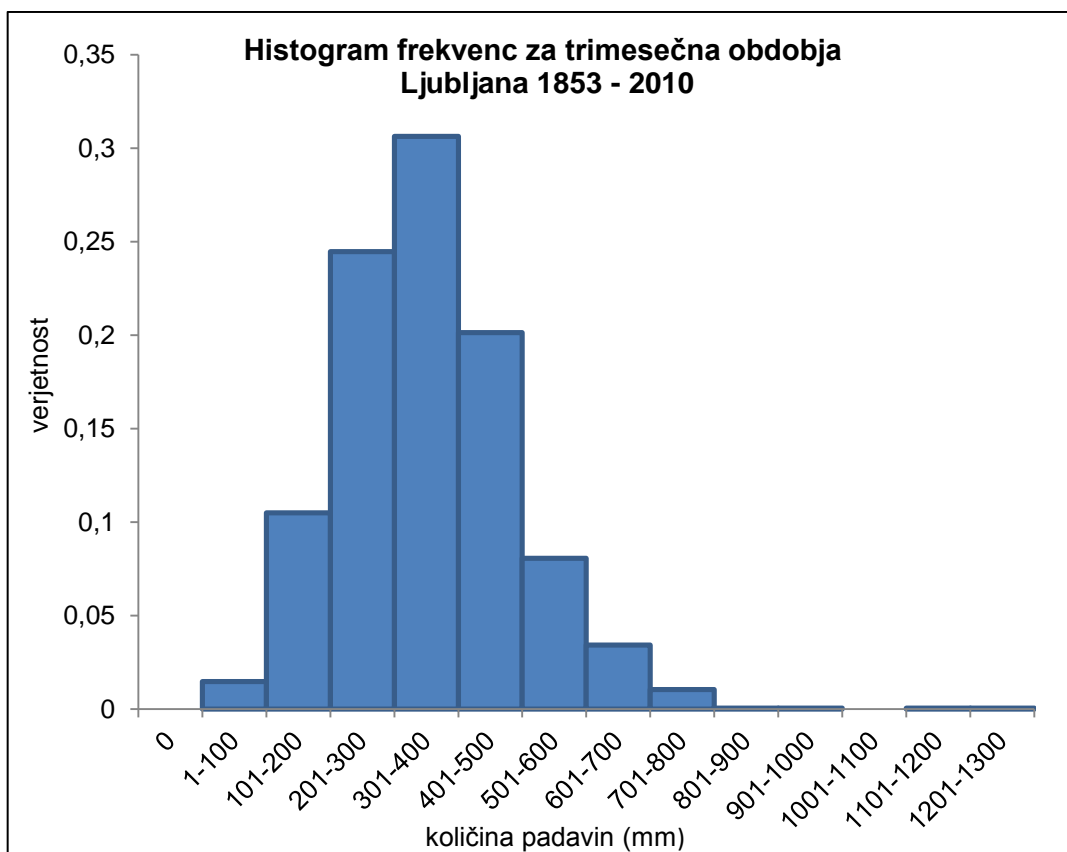
$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n}. \quad (8)$$

Oceni parametra gostote verjetnosti gama porazdelitve  $\hat{\alpha}$  (6) in  $\hat{\beta}$  (7) sta izračunana za vsako meteorološko postajo posebej, za vsako posamezno časovno obdobje, ki nas zanima (1, 2, 3 mesece,...) in za vsak mesec v letu.



Slika 7: Gostota verjetnosti vsote padavin za trimesečno obdobje (januar–marec) za Ljubljano in obdobje 1853–2010

Slika 7 prikazuje porazdelitev gama s parametroma  $\hat{\alpha} = 4.31$  in  $\hat{\beta} = 57.51$  za postajo Ljubljana–Bežigrad za trimesečno vsoto padavin (januar–marec) za obdobje med leti 1853 in 2010. Porazdelitev je asimetrična, s spodnjo mejo enako nič. Porazdelitev padavin bi lahko prikazali tudi s histogramom frekvenc (slika 8), izračunanih za trimesečna obdobja (januar–marec, februar–april,...) za celotno izbrano obdobje klimatološke postaje Ljubljana.



Slika 8: Histogram frekvenc za trimesečna obdobja padlih padavin za Ljubljano (obdobje 1853–2010)

Pridobljena parametra  $\hat{\alpha}$  in  $\hat{\beta}$  nato uporabimo za iskanje porazdelitvene funkcije za opazovan padavinski dogodek (s količino padavin  $x$ ) za dani mesec v letu in izbrano časovno skalo za vsako posamezno postajo (Edwards, 1997). Porazdelitveno funkcijo izračunamo (9):

$$G_X(x) = \int_0^x g_X(x) dx = \frac{1}{\beta^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\beta} dx. \quad (9)$$

V enačbi porazdelitvene funkcije (9) lahko  $\frac{x}{\beta}$  nadomestimo s  $t$ , tako da postane enačba  $G_X(x)$  nepopolna (10):

$$G_X(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt. \quad (10)$$

Porazdelitev gama pa ni definirana za  $x = 0$ , kar pomeni, da ni definirana za dogodke, ko ni padavin, kar je pri identifikaciji sušnih dogodkov povsem mogoče. Porazdelitveno funkcijo (11) zato zapišemo kot:

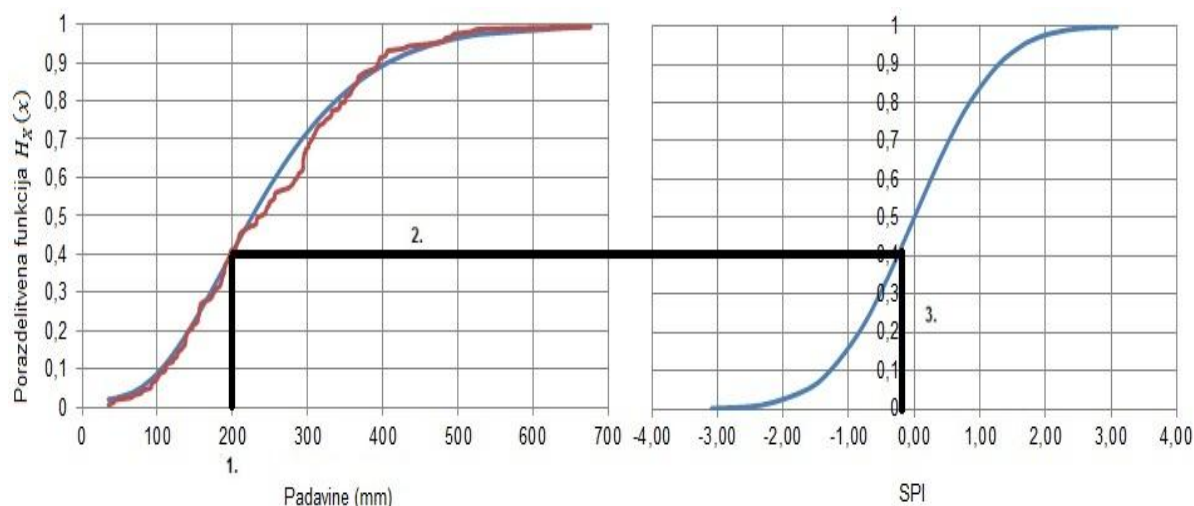
$$H_X(x) = q + (1 - q) G_X(x), \quad (11)$$

kjer je  $q$  verjetnost, da ni padavin ( $x=0$ ). Če je  $m$  število padavinskih dogodkov brez padavin ( $x=0$ ) v posameznem časovnem obdobju, je verjetnost  $q$  kar enaka:

$$q = m/n. \quad (12)$$

Porazdelitveno funkcijo je nato potrebno transformirati v standardizirano normalno slučajno spremenljivko  $Z$  oz. uporabiti inverzno funkcijo standardizirane normalne (Gaussove) porazdelitve, kar predstavlja vrednost indeksa SPI. Tudi Panofsky in Brier (1963) sta ugotovila, da je bistvena lastnost pretvorbe spremenljivke porazdelitve (npr. gama porazdelitve) v spremenljivko druge porazdelitve predpisane oblike (npr. standardizirane normalne), ravno verjetnost, da spremenljivka zavzame manjšo vrednost od dane, enaka verjetnosti, da spremenljivka zavzame manjšo vrednost od ustrezne vrednosti transformirane spremenljivke. Na sliki 9 je prikazana uporaba metode s transformacijo porazdelitve trimesečne vsote padavin.





Slika 9: Primer pretvorbe vsote padavin v vrednost indeksa SPI za trimesečno vsoto padavin (januar, februar, marec) za Ljubljano.

Lomljena črta na levem grafu predstavlja empirično porazdelitveno funkcijo za vsoto padavin (januar–marec) daljšega preteklega obdobja (v tem primeru 1853–2010). Izračunana je bila s postopkom za izračun Weibullove empirične porazdelitve (13):

$$F_n = \frac{m}{N+1}, \quad (13)$$

kjer je  $m$  mesto elementa  $x$  v ranžirni vrsti in  $N$  število elementov vzorca. S prikazano enačbo določimo verjetnost posameznega podatka in poizkušamo poiskati teoretično porazdelitev, ki se mu najbolj prilega (Brilly in Šraj, 2005).

Gladka krivulja na levem grafu predstavlja teoretično porazdelitveno funkcijo  $H_X(x)$  padavinskega niza, ki se danemu vzorcu najbolj prilega (porazdelitev gama). Krivulja na desnem grafu pa predstavlja porazdelitveno funkcijo standardizirane normalne porazdelitve. V tem primeru je za vsoto padavin 200 mm vrednost indeksa enaka -0.26 (slika 8).

Zgoraj opisanega postopka ne ponavljamo za vsako postajo, za vsako posamezno časovno skalo in za vsak mesec, ker bi bil postopek preveč zamuden. Z vrednost oz. SPI vrednost je računsko bolj preprosto določiti s pomočjo izračuna, ki pretvori porazdelitveno funkcijo v standardizirano normalno slučajno spremenljivko  $Z$  (14) ali (15):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{za } 0 < H_X(x) \leq 0.5 \quad (14)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{za } 0.5 < H_X(x) < 1.0. \quad (15)$$

$t$  izračunamo s pomočjo porazdelitvene funkcije (16) ali (17):

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{za } 0 < H_X(x) \leq 0.5 \quad (16)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0-H(x))^2}\right)} \quad \text{za } 0.5 < H_X(x) < 1.0, \quad (17)$$

pri tem pa imajo konstante vrednosti:

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

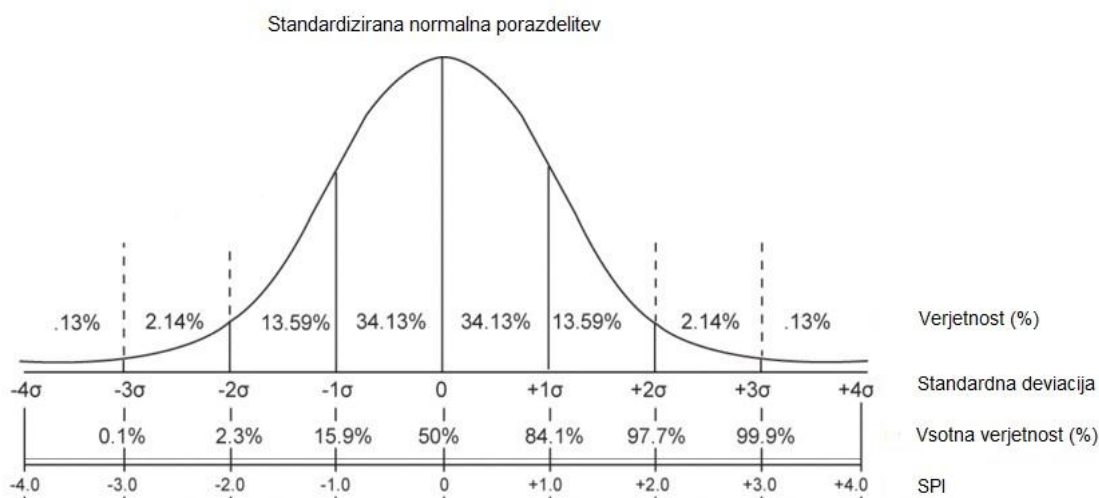
$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308.$$

Konceptualno SPI predstavlja faktor frekvence  $Z$ , ki nam pove število standardnih odklonov v primerjavi z dogodkom, ki označuje srednjo vrednost (slika 10).



Slika 10: Standardizirana normalna porazdelitev s srednjo vrednostjo enako nič in varianco enako ena (Standard score, 2012)

Pozitivna vrednost indeksa SPI pomeni, da je padla večja količina padavin, kot jih predstavlja srednja vrednost in obratno, negativna vrednost indeksa pomeni, da je padla manjša količina padavin. Jakost odklona glede na vrednost indeksa, ki je enak nič, predstavlja verjetnost pojava posamezne stopnje razvoja suše. Iz funkcije normalne porazdelitve izhaja, da se bodo vrednosti v približno 68 % časa pojavljale znotraj intervala ene standardne deviacije, znotraj dveh 95 % časa in znotraj treh 99 % časa (slika 9). Drugače povedano, SPI vrednost, manjša od -1.0, se zgodi šestnajstkrat v 100-tih letih, vrednost manjša od -2.0 se zgodi dva

do trikrat v 100-tih letih in SPI, manjši od -3.0 se zgodi enkrat v približno 200-tih letih (Hayes in sod., 1999).

V preglednici 3 je navedena SPI razvrstitev suše in prilegajoče verjetnosti pojava stopenj suše, ki izhajajo iz funkcije normalne verjetnostne porazdelitve. Za določeno lokacijo in posamezen mesec je verjetnost pojava zmerne suše 9.2 %, ekstremne suše imajo verjetnost 2.3 % (Lloyd-Hughes, 2002b).

Preglednica 3: Klasifikacija suše ter pripadajoča verjetnost za pojav sušnega dogodka pri SPI (Lloyd-Hughes, 2002b: str 67; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008: str 413)

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
0.00 do 0.99	normalno	34.1
0.00 do -0.99	normalno	34.1
-1.00 do -1.49	zmerna suša	9.2
-1.50 do -1.99	huda suša	4.4
-2 ali manj	ekstremna suša	2.3

Če je vrednost indeksa SPI-1 za mesec avgust leta 1995 enaka -2.00, to pomeni, da je bila količina padavin v avgustu 1995 mnogo manjša od povprečja avgustovskih padavin dolgoletnega primerjalnega obdobja. Ko pa je vrednost indeksa SPI-1 za avgust 1995 enaka +1.00, pomeni, da je bila padla količina padavin bistveno večja od povprečja primerjalnega obdobja.

McKee in sod. (1993) so določili tudi kriterij za določitev začetka in konca sušnega dogodka. Suša se začne vsakič, ko je indeks SPI stalno negativen in doseže intenzivnost pri vrednosti indeksa -1 ali manj. Dogodek se konča, ko vrednost indeksa postane pozitivna.

Vrednost indeksa SPI je teoretično neomejena, v praksi pa se izredno redko pojavljajo vrednosti večje od +3.00 ali manjše od -3.00 (Giddings in sod., 2005).

### 3.2 Izračun SPI z različnimi verjetnostnimi porazdelitvami

Indeks je v osnovi standardizirana transformacija verjetnosti padlih padavin (Guttman, 1999). Izračun indeksa za katerokoli časovno skalo zahteva pretekle podatke mesečnih padavin daljšega časovnega niza, najmanj 30- ali večletnega obdobja. Na podlagi teh podatkov se določi verjetnostna porazdelitvena funkcija, ki se najbolje prilega podatkom. Če so

uporabljene različne verjetnostne porazdelitve za opis preteklega niza padavin, se tudi pridobljene vrednosti indeksa razlikujejo med seboj (Guttman, 1999).

SPI predstavlja število standardnih odklonov glede na dolgoletno povprečje za normalno porazdeljene padavine. Te praviloma niso normalno porazdeljene, zato je pri postopku izračuna indeksa potrebno najprej transformirati padavine v zapis, ki sledi normalni porazdelitvi.

Pri pretvorbi mesečnega časovnega niza se uporabljajo različne statistične porazdelitve. McKee in sod. (1993), Hayes in sod. (1999), Guttman (1999), Lloyd-Hughes in Saunders (2002a), Ntale in Gan (2003), Giddings in sod. (2005), Ceglar in Kajfež-Bogataj (2008), so uporabili gama porazdelitev, ki pa ni definirana za vrednost 0. Pri obravnavi suše se seveda lahko zgodi, da v izbranem obdobju ne pade nič padavin, zato je potrebno gama porazdelitev ustrezno modificirati in nato kumulativno vrednost v porazdelitvi "prevesti" na normalno porazdelitev (Gregorič in Ceglar, 2007).

Guttman (1999) je v svoji študiji uporabil različne verjetnostne porazdelitve (gama porazdelitev, Pearsonova III porazdelitev, triparametrna porazdelitev ekstremnih vrednosti, Kappa in Wakeby porazdelitev) za oceno števila, trajanja in intenzitete sušnih dogodkov. Njegovi rezultati kažejo, da so med posameznimi porazdelitvami minimalne razlike v vrednostih indeksa, vendar kljub temu predlaga uporabo Pearsonove III porazdelitve kot najboljšega univerzalnega modela za izračun verjetnostne porazdelitve.

### 3.2.1 Logaritemsko normalna porazdelitev

Logaritemsko normalna porazdelitev izhaja iz normalne porazdelitve. Če je slučajna spremenljivka  $X$  porazdeljena normalno in velja zveza  $Y = \log X$  (19), potem je spremenljivka  $Y$  porazdeljena logaritemsko normalno (Turk, 2011). Funkcijo gostote verjetnosti zapišemo (18):

$$f_Y(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-(y-\mu_y)^2 / 2\sigma_y^2}, \quad (18)$$

kjer je

$$Y = \log X \quad (19)$$

in velja za

$$0 > y > \infty. \quad (20)$$

Funkcija je dvoparameterska in asimetrična. Parametra sta srednja vrednost (21) in standardna deviacija (22), s katero opišemo razpršenost oziroma variabilnost slučajne spremenljivke:

$$\mu_Y = \bar{y} \quad (21)$$

$$\sigma_Y = S_Y. \quad (22)$$

### 3.2.2 Porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I ali Gumbelova porazdelitev

Je dvoparameterska, asimetrična porazdelitev in se pogosto uporablja v hidrologiji pri analizi visokovodnih vod ali maksimalnih padavin (Brilly in Šraj, 2005) in gradbeni konstruktivi. Gostota verjetnosti je enaka (23):

$$f_X(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-(x-u)/\alpha} e^{-e^{-(x-u)/\alpha}}. \quad (23)$$

Konstanti  $\alpha$  in  $u$  sta parametra porazdelitve, ki sta odvisna od pričakovane vrednosti in variance slučajne spremenljivke  $Y$ , ki lahko zavzame vrednosti  $y$  (24):

$$y = \frac{x-u}{\alpha}. \quad (24)$$

Izračun parametrov  $\alpha$  (25) in  $u$  (26):

$$\alpha = \frac{S_X \sqrt{6}}{\pi} \approx 0,78 S_X \quad (25)$$

$$u = \bar{x} - 0,5772 \alpha \approx \bar{x} - 0,45 S_X \quad (26)$$

in velja v primerih, ko je:

$$-\infty < x < \infty. \quad (27)$$

### 3.2.3 Pearsonova III porazdelitev

Pearsonova III porazdelitev je ena od gama porazdelitev (tipa 3), ki se izredno pogosto uporablja v hidrologiji, predvsem pri analizi maksimalnih pretokov. Gre za troparametrsko asimetrično porazdelitev z gostoto verjetnosti (28):

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} (x-c)^{\alpha-1} e^{-(x-c)/\beta} \quad (28)$$

in velja za

$$x \geq c. \quad (29)$$

Funkcija vsebuje tri parametre  $\alpha$  (30),  $\beta$  (31) in  $c$  (32):

$$\alpha = \frac{4}{C_{SX}^2} \quad (30)$$

$$\beta = \frac{S_X C_{SX}}{2} \quad (31)$$

$$c = \bar{x} - \alpha\beta. \quad (32)$$

$C_{SX}$  predstavlja koeficient asimetrije.

### 3.2.4 Logaritemska Pearson III porazdelitev

Logaritemska Pearson III porazdelitev izhaja iz Pearsonove III porazdelitve. Spremenljivka  $Y$  sledi logaritemski Pearson III porazdelitvi, če logaritmi verjetnostne spremenljivke  $X$  sledijo Pearsonovi III porazdelitvi. Gostota verjetnosti (33) je podana z izrazom:

$$f_Y(y) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{y-c}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-(y-c)/\beta}, \quad (33)$$

kjer je

$$Y = \log X \quad (34)$$

in velja za

$$y \geq c. \quad (35)$$

Parametri so  $\alpha$  (36),  $\beta$  (37) in  $c$  (38) s koeficientom asimetrije  $C_{SY}$ :

$$\alpha = \frac{4}{C_{SY}^2} \quad (36)$$

$$\beta = \frac{S_Y C_{SY}}{2} \quad (37)$$

$$c = \bar{y} - \alpha\beta. \quad (38)$$

### 3.2.5 Empirična porazdelitev

Z empirično porazdelitvijo določimo verjetnost posameznega podatka in poizkušamo poiskati teoretično porazdelitev, ki se mu najbolj prilagaja. Empirične porazdelitvene enačbe nimajo posebnega analitičnega izraza, sama porazdelitev pa ne dopušča možnosti verjetnosti dogodka zunaj intervala  $(x_1, x_N)$ . Različni avtorji so podali enačbe za določanje relativnega ranga, ki prepuščajo del verjetnosti za dogodke zunaj intervala vzorca. Zanima nas namreč zakon verjetnosti za celotno populacijo in ne samo za analizirani vzorec (Brilly in Šraj, 2005). Za namen določitve ustrezne teoretične porazdelitve, ki se najbolje prilega empirični porazdelitvi, se največkrat uporablja Weibullovo empirično porazdelitev (39) z enačbo:

$$F_n = \frac{m}{N+1}, \quad (39)$$

kjer je  $m$  mesto elementa  $x$  v ranžirni vrsti – rang in  $N$  število elementov vzorca.

Vzorec je potrebno urediti tako, da razvrstimo elemente vzorca od najmanjšega do največjega in določimo verjetnost posameznega elementa.

### **3.3 Značilnosti in operativna raba standardiziranega padavinskega indeksa**

Indeks s fiksirano pričakovano vrednostjo in standardno deviacijo je priročen in uporaben, predvsem za primerjavo vrednosti indeksa med različnimi postajami in območji. Indeks lahko dobro opiše sušo le, če so padavinska odstopanja normalizirana glede na lokacijo in čas. SPI izpolnjuje oboje. Normaliziran je glede na lokacijo postaje, ker razloži frekvenčno porazdelitev padavin in tudi spremljajočo variabilnost na sami postaji. Normaliziran je tudi v času, ker ga lahko izračunamo za katerikoli časovno obdobje. Indeks se izračunava za različna časovna obdobja: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 48, 60 in 72 mesecev (Sušnik, 2006). Glavni prednosti tega indeksa sta torej njegova standardizirana narava in možnost izračuna na različnih časovnih skalah. To nam omogoča, da so frekvence sušnih dogodkov na katerikoli lokaciji ter na kakršnikoli časovni skali med seboj primerljive (Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008).

Guttman (1999) priporoča uporabo indeksa kot primarnega, ker je preprost za uporabo in prostorsko nespremenljiv v svoji interpretaciji in verjetnosti, zato je primeren za analizo tveganj in sprejemanje odločitev, kdaj začeti z izvajanjem primernih ukrepov za blaženje suše.

Hayes in sod. (1999) so opredelili prednosti in pomanjkljivosti indeksa SPI. Prednosti indeksa so:

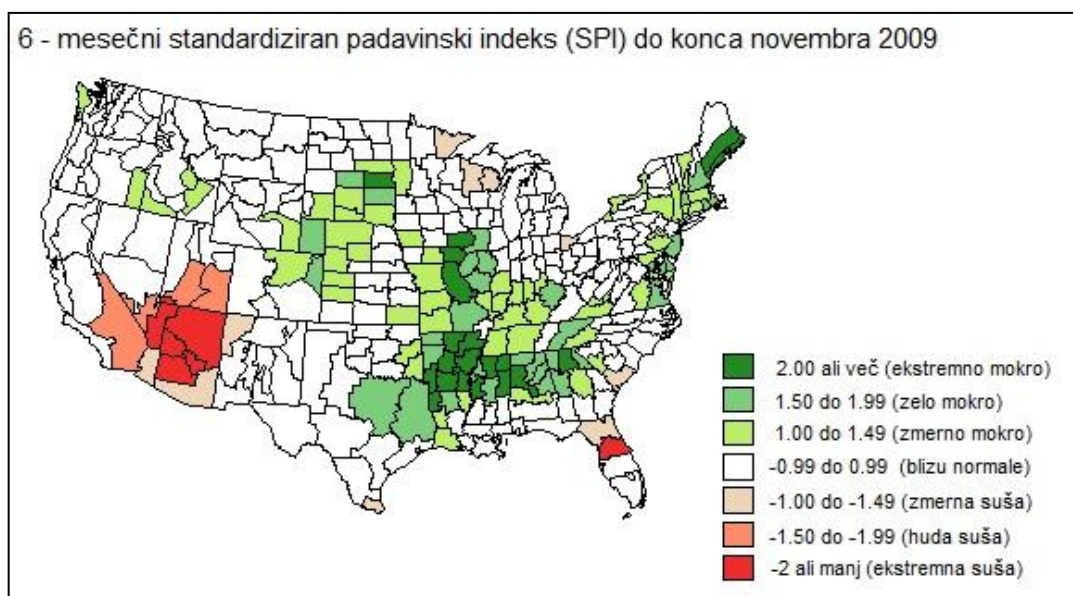
- enostavnost uporabe indeksa (izračun le 2 parametrov v primerjavi z npr. Palmerjevim indeksom jakosti suše, ki jih potrebuje 68);
- variabilnost časovne skale omogoča uporabo indeksa za številne meteorološke, hidrološke in kmetijske aplikacije;
- uporabnost indeksa v zimskem in poletnem času (SPI ne vsebuje parametrov vlažnosti tal);
- topografija nima neugodnega vpliva na indeks;
- standardizacija indeksa omogoča, da so frekvence ekstremnih sušnih dogodkov na katerikoli lokaciji in katerikoli časovni skali med seboj primerljive.

Obenem pa ima SPI tudi pomanjkljivosti:

- le teoretična porazdelitev padavin pred standardizacijo in s tem povezana omejena kvaliteta in zanesljivost podatkov;
- slabše identificira k suši nagnjena območja;

- manj uporaben za krajša časovna obdobja (1-3 mesecev) v območjih z nizko sezonsko višino padavin.

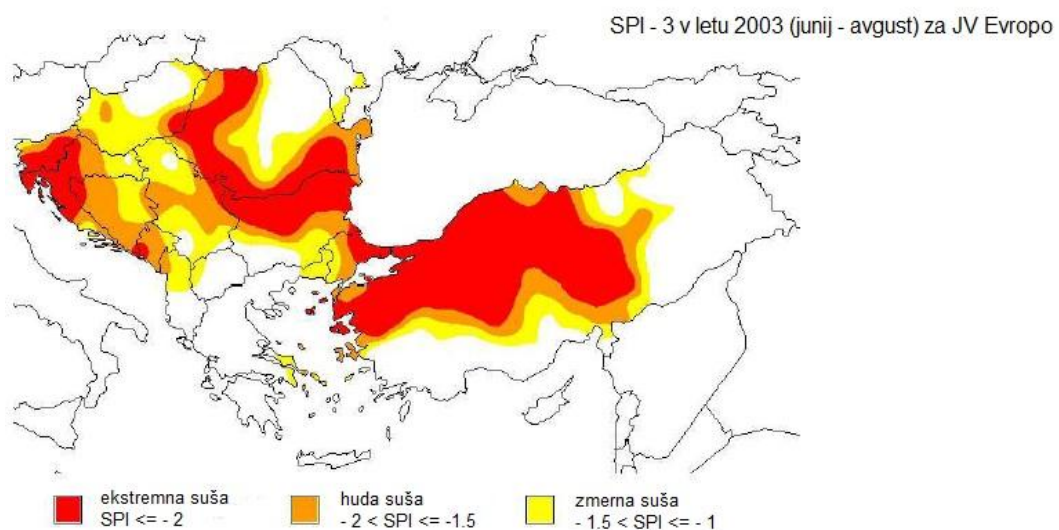
Po svetu uporaba SPI narašča (Hayes, 2000). Na Madžarskem sta Szalai in Szinell (2000) ugotovila njegovo uporabnost pri analizi trendov suše za 3, 6, 9 in 18 mesečna obdobja ter za različne sušne dogodke (hidrološka suša, vpliv na pretoke, podtalnico, podzemne vode in kmetijsko sušo). Agnew (2000) ugotavlja, da je razvrstitev po McKee–ju in sod. (1993) zelo občutljiva na izbiro standardnega povprečnega obdobja, zato poudarja pomembnost dolgih časovnih nizov padavin ter priporoča uporabo indeksa pri točkovnih študijah, ne pa kot povprečni prostorski indeks. Izpopolnjeno razvrstitev suše po Agnew–u uporabljajo za izdelavo mesečnih SPI kart (slika 11) pri ameriškem Nacionalnem centru za upravljanje s sušo (Sušnik, 2006).



Slika 11: Šestmesečni SPI za ZDA in za obdobje do novembra 2009  
(Climate Division..., 2011)

Tudi na območju jugovzhodne Evrope, kjer je imela suša v zadnjih desetletjih velik vpliv na gospodarstvo in nasploh na blagostanje prebivalstva, so vodila k pobudi za ustanovitev Centra za upravljanje s sušo v jugovzhodni Evropi. Projektne naloge med drugim obsegajo tudi vzpostavitev sistema za spremljanje suše z uporabo dobrih praks za pripravo mesečnih kart za standardiziran padavinski indeks. Za SPI so na internetu že na voljo karte v realnem času (slika 12).





Slika 12: Prikaz vrednosti trimesečnega SPI (junij–avgust) za JV Evropo v letu 2003(Bokal, 2010)

Zaradi njegove preproste uporabe in možnosti aplikacije na različnih področjih, je izračun indeksa SPI prisoten v različnih državah in kontinentih: v Združenih državah Amerike (Hayes in sod., 1999; Agnew, 2000), Evropi (Lloyd–Hughes in Saunders, 2002a; Vicente–Serrano in Lopez-Moreno, 2005; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008; Chortaria in sod., 2010), vzhodni Afriki (Ntale in Gan, 2003) in Mehiki (Giddings in sod., 2005).

## 4 STANDARDIZIRAN PRETOK

Suša je stanje nezadostne vlažnosti zaradi primanjkljaja padavin v določenem časovnem obdobju. Vodni viri, kot je voda v tleh, podzemna voda, snežna odeja, vodni tok in zbiralniki, so pomembno povezani s količino padlih padavin. Dolžine obdobj med prihodom padavin in uporabnostjo te vode v posameznem vodnem viru, se močno razlikujejo med seboj (McKee in sod., 1993; Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005). Zato je časovno obdobje, preko katerega se primanjkljaj padavin akumulira, izredno pomembno in praktično ločuje različne tipe suše (meteorološko, kmetijsko, hidrološko,...). V splošnem velja, da daljša obdobja izračuna indeksa (več kot 6 mesecev) opišejo hidrološko sušo (McKee in sod., 1993; Hayes in sod., 1999). Posamezne komponente hidrološkega kroga se različno odzivajo na časovna obdobja izračuna indeksa SPI (1, 2, 3, 4,...72 mesecev). Indeks, primeren za operativno rabo za upravljanje vsakega izmed zgoraj naštetih vodnih virov, mora biti na določeni časovni skali izračuna reprezentativen za sušne razmere v hidrološkem sistemu (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005).

Na tem področju do sedaj še ni bilo izvedenih veliko raziskav in ugotovljenih gotovih povezav med različnimi časovnimi obdobji spremljanja suše in vodnimi viri. V diplomski nalogi smo poskušali najti povezavo med indeksom in pretoki. Izbrana je bila reka Pesnica za analizo njenih srednjih mesečnih pretokov za obdobje 1970–2009.

### 4.1 Izračun standardiziranega pretoka z normalno (Gaussovo) porazdelitvijo

Podatke srednjega mesečnega pretoka za posamezno vodomerno postajo in za daljši pretekli niz podatkov je potrebno standardizirati z normalno porazdelitvijo, tako da je primerljiva različnim časovnim obdobjem izračuna standardiziranega padavinskega indeksa (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005).

Gaussova ali normalna porazdelitev je najpomembnejša in najbolj pogosto uporabljena porazdelitev v statistiki s funkcijo gostote verjetnosti (40):

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu_X)^2/2\sigma_X^2}, \quad (40)$$

kjer sta parametra matematično upanje  $\mu_X$  in standardna deviacija  $\sigma_X$ . Matematično upanje vpliva na lego krivulje, standardna deviacija pa na njeno obliko. Večji  $\sigma_X$  pomeni večjo razpršenost podatkov. Je simetrična in dvoparameterska funkcija (Brilly in Šraj, 2005).

Gostota verjetnosti (40) velja za:

$$-\infty < x < \infty. \quad (41)$$

Kadar v enačbo uvedemo spremenljivko  $Z$  (42):

$$Z = (x - \mu_x) / \sigma_x, \quad (42)$$

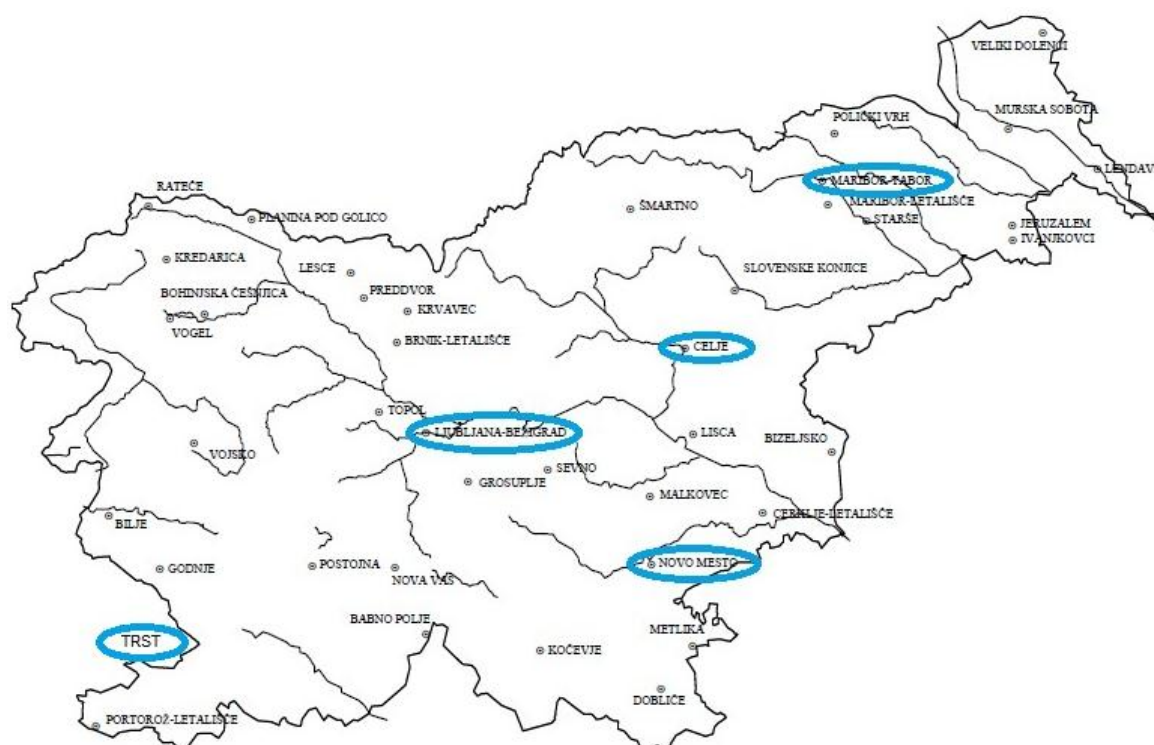
dobimo funkcijo, ki jo imenujemo standardizirana normalna porazdelitev in omogoča enostavnejšo praktično uporabo.

Pretoki v naravi se običajno ne prilegajo standardizirani normalni porazdelitvi. V našem primeru smo pretoke normalizirali in standardizirali zaradi večje primerljivosti in boljše ocene medsebojne povezanosti indeksa SPI in standardiziranega pretoka, kar nam omogoča lažjo primerjavo med meteorološkimi in hidrološkimi spremenljivkami.

## 5 IZRAČUN STANDARDIZIRANEGA PADAVINSKEGA INDEKSA ZA IZBRANE METEOROLOŠKE POSTAJE

### 5.1 Opis meteoroloških postaj

Za izračun indeksa SPI so mesečne padavine edini vhodni podatek. Za analizo suše s pomočjo SPI smo izbrali štiri meteorološke postaje z različnih koncev Slovenije (Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje in Novo mesto) in postajo iz sosednje Italije (Trst), kjer so na voljo padavinski podatki daljšega časovnega niza.



Slika 13: Lega klimatoloških postaj (Meteorološki letopis, 2009)

#### 5.1.1 Meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad

Meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad leži na nadmorski višini 299 m ter geografski širini  $46^{\circ}04'$  in dolžini  $14^{\circ}31'$ . Danes je meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad osrednji slovenski meteorološki observatorij, združen s sinoptično, fenološko in okoljevarstveno postajo, na katerem merijo in opazujejo zračni pritisk, temperaturo in vlažnost zraka na 2 m, temperaturo zraka 5 cm nad tlemi, temperaturo tal na različnih globinah (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 cm), smer in hitrost vetra, stanje tal, vidnost, trajanje sončnega obsevanja, oblačnost, padavine, snežno odejo, meteorološke pojave (npr. meglo, žled, poledico, dež, sneženje, nevihte...),

globalno in difuzno sončno obsevanje, UVB-sevanje, eritemalno uteženo UV-sevanje in radioaktivnost.



Slika 14: Meteorološko opazovalni prostor Ljubljana-Bežigrad oktobra 2007  
(Nadbath, 2008)

Opazovalni prostor meteorološke postaje je sredi mesta (slika 14), na travnati površini velikosti 50 m × 70 m. Meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad je v največjem in glavnem mestu Slovenije. Tako kakor mesto je tudi meteorološka postaja v Ljubljanski kotlini. Zaradi svoje posebne lege na dnu kotline in v središču mesta je postaja reprezentativna za mesto in bližnjo okolico (Nadbath, 2008).

### 5.1.2 Meteorološka postaja Maribor–Tabor

Meteorološka postaja leži na južnem obrobju mesta Maribor, severovzhodno od Pohorja. Leži na nadmorski višini 275 m, na geografski širini 46° 32' in geografski dolžini 14° 39'. Postavljena je na ravnem travnatem terenu in je ograjena. Okolica ožjega merilnega mesta je brez ovir na razdalji 20–30 m. V širši okolici so gospodarska poslopja in stanovanjski objekti. Lokacija meteorološke postaje se je v preteklosti večkrat zamenjala, na opisani lokaciji je prisotna od leta 1962 naprej (slika 15). Meritve na vseh lokacijah v Mariboru so vključevale vsaj temperaturo in tlak zraka, padavine in snežno odejo (Nadbath, 2012).



Slika 15: Opazovalni prostor meteorološke postaje Maribor-Tabor (Nadbath, 2012)

### 5.1.3 Meteorološka postaja Celje

Meteorološka postaja leži na nadmorski višini 241 m, geografski širini  $46^{\circ} 15'$  in geografski dolžini  $15^{\circ} 15'$ . Tudi v Celju so se lokacije postaje skozi zgodovino merjenja meteoroloških spremenljivk spreminjale, od leta 2008 naprej se postaja nahaja pri kraju Medlog (slika 16). Skozi zgodovino so se vseskozi na območju Celja merile tudi padavine.



Slika 16: Opazovalni prostor meteorološke postaje Celje (Nadbath, 2012)

Opazovalni prostor je na ravnini, na travniku. Na severni do vzhodni strani sta dve nižji stavbi, na južni strani pa posamezna drevesa, sicer so v okolici travniki in njive. V večji oddaljenosti (približno 250 m) je na jugovzhodni strani industrijski kompleks, ki se nadaljuje v naselje Medlog, na južni strani reka Savinja (v oddaljenosti približno 350 m), na severozahodni strani pa je kraj Levec (Nadbath, 2012).

#### 5.1.4 Meteorološka postaja Novo mesto

Meteorološka postaja leži na nadmorski višini 220 m, geografski širini  $45^{\circ} 48'$  in geografski dolžini  $15^{\circ} 11'$ . Tudi v Novem mestu se je lokacija postaje menjala skozi zgodovinska obdobja. Od leta 1972 se nahaja na Recljevem hribu (slika 17).



Slika 17: Opazovalni prostor meteorološke postaje Novo mesto (Nadbath, 2012)

Postaja je na vzhodnem robu večjega naselja, je čisto na samem. Okoliški teren je gričevnat. Postaja je na vrhu manjšega hriba, mesto je za 30–40 metrov nižje. Večjih objektov ni v bližini. Vsa bližnja okolica je porasla s travo oz. se na tem območju nahajajo njive, zelenjavni vrt, posamezno grmičevje in sadna drevesa (Nadbath, 2012).

#### 5.1.5 Meteorološka postaja Trst

Prva meteorološka opazovalna postaja na slovenskem etničnem ozemlju je bila ustanovljena leta 1779 v Trstu, prvi zapisani podatki datirajo v leto 1839. Meteorološka postaja je v preteklosti večkrat menjala lokacije (menjava štirih lokacij) in merilne naprave. Od leta 1978 se postaja nahaja na Piazza Hortis (Navtični inštitut) (slika 18), ki vseskozi meri temperaturo, vlažnost, padavine, hitrost ter smer vetra. Vse vrednosti sedanjih ter preteklih merjenih meteoroloških spremenljivk skrbno hranijo.

Meteorološka postaja se nahaja na 31.7 m nadmorske višine, geografski širini  $45^{\circ} 38'$  in geografski dolžini  $13^{\circ} 45'$  (Stravisi, 2006).



Slika 18: Merilne naprave na panoramski strehi Navtičnega inštituta v Trstu, kjer danes potekajo meritve (Stravisi, 2006)

## 5.2 Homogenizacija podatkov

Na ozemlju današnje Slovenije se meteorološke meritve opravljajo že okoli 150 let. V tako dolgem obdobju je težko zagotoviti, da bi postaje delovale ves čas na istem mestu. Spreminjali so se tako lokacija, instrumenti, načini merjenja in opazovanja, merske enote kot okolica opazovalnega prostora. Vsi naštetih dejavniki vplivajo na izmerjene vrednosti, ki so lahko drugačne kot bi bile, če bi ves čas merili na natanko istem mestu, ob nespremenjeni ožji in širši okolici z istim merilnim instrumentom in opazovalcem ter po določenem standardu. Zaradi naštetih dejavnikov se pojavijo skoki in trendi v časovnih nizih, katere lahko napačno interpretiramo kot spremembo podnebja (npr. segrevanje, ohlajanje). Problem se pojavi, ko skušamo na tako sestavljenem (nehomogenem) nizu narediti klimatološke statistike in iz njih potegniti določene zaključke. Zato je potrebno pred klimatološkimi študijami določenega niza izvesti homogenizacijo le tega. To pomeni, da moramo vse skoke s pomočjo statističnih metod izravnati tako, kot bi bile vse meritve opravljene na istem mestu ob enakih pogojih. Tako popravljenemu nizu pravimo homogen niz (Dolinar in sod., 2012). Homogen klimatski niz je torej definiran kot niz, kjer je variabilnost posledica variabilnosti klime same. Če je daljši klimatski časovni niz homogen, potem je vsa variabilnost v njem posledica variabilnosti naravne klime (Aguilar in sod., 2003).

Pridobljeni mesečni padavinski podatki so homogenizirani do prve stopnje. Vse postaje so pod vplivom urbanega okolja in ti vplivi pri podatkih niso upoštevani (Zupančič, 2012).



### 5.3 Priprava vhodnih podatkov

Za izračun indeksa so uporabljene mesečne vsote padavin daljšega preteklega obdobja. Za vsako meteorološko postajo so pridobljeni podatki tako dolgega niza, kot je na voljo v digitalni obliki. V preglednici 4 so nanizana obdobja pridobljenih podatkov za posamezne postaje in s tem tudi obdobje izračuna indeksa.

Preglednica 4: Lokacija izbranih meteoroloških postaj in obdobje izračuna SPI (Meteorološki letopis, 2009)

Meteorološka postaja	Nadmorska višina (m nv)	Geografska širina	Geografska dolžina	Obdobje izračuna
Ljubljana – Bežigrad	299	46° 04'	14° 31'	1853–2010
Maribor Tabor	275	46° 32'	14° 39'	1876–2010
Celje	240	46° 15'	15° 15'	1853–2010
Novo mesto	220	45° 48'	15° 11'	1951–2010
Trst	31.77	45° 38'	13° 45'	1851–2004

Za pravilno interpretacijo vrednosti padavinskega indeksa je potrebno dobro poznavanje podnebnih značilnosti območja raziskovanja, mednje spadajo tudi nadmorska višina, geografska širina in geografska dolžina posamezne meteorološke postaje (preglednica 4).

Podatki mesečnih vsot padavin slovenskih meteoroloških postaj smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in za podatke tržaške meteorološke postaje na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG).

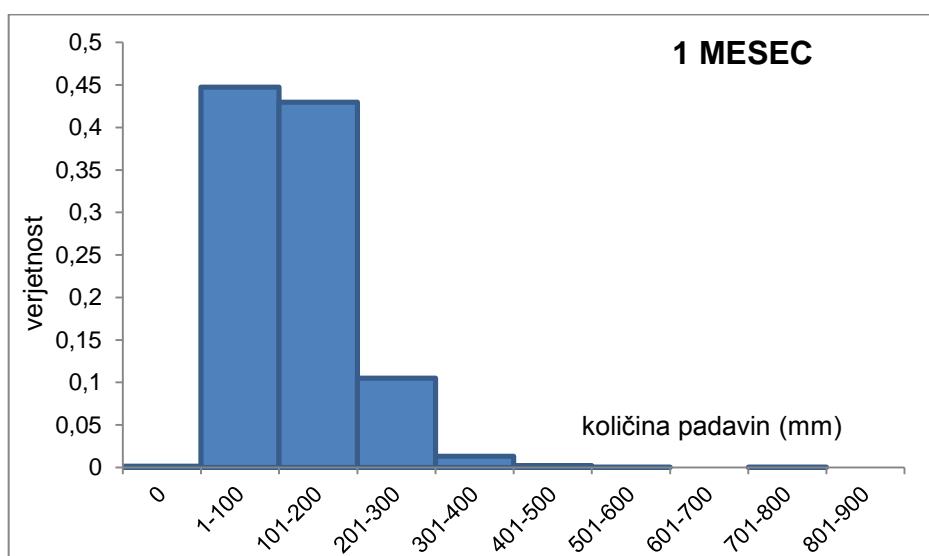
Za vsako izmed postaj (Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst) so izračunani indeksi SPI za celoten dostopen niz padavinskih podatkov. V nadaljevanju pa so zaradi primerjav med postajami indeksi izračunani še enkrat za vse postaje za skupno obdobje 1951–2004, za katerega so hkrati dostopni padavinski podatki za vse meteorološke postaje.

### 5.4. Izbira ustrezne teoretične porazdelitve

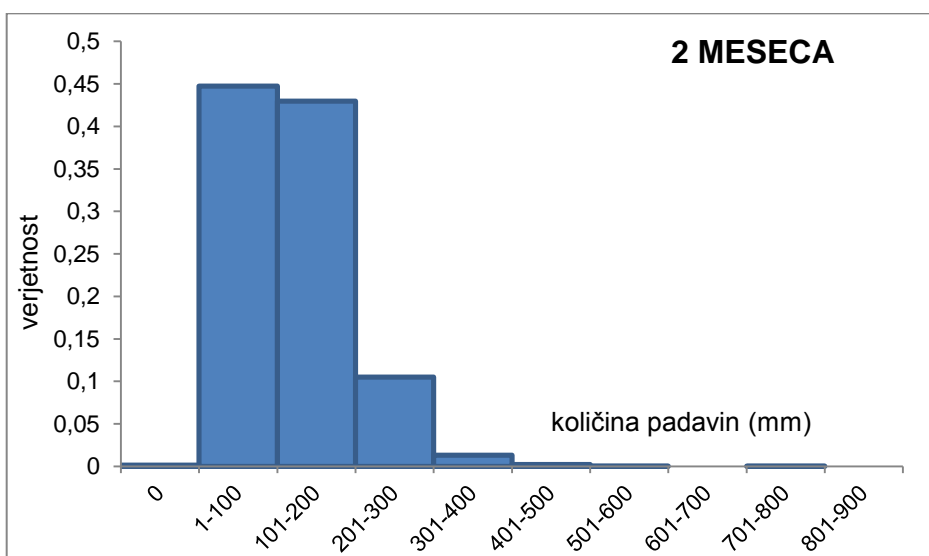
Veliko vlogo pri izračunu indeksa igra izbira ustrezne verjetnostne porazdelitve, s katero opišemo pretekle padavinske nize. Pred celotnim izračunom indeksa za vse meteorološke postaje in vse časovne skale, smo poskušali določiti najprimernejšo teoretično porazdelitev,

ki se najbolj prilega empirični porazdelitvi. Primerjavo različnih verjetnostnih porazdelitev smo naredili le za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad.

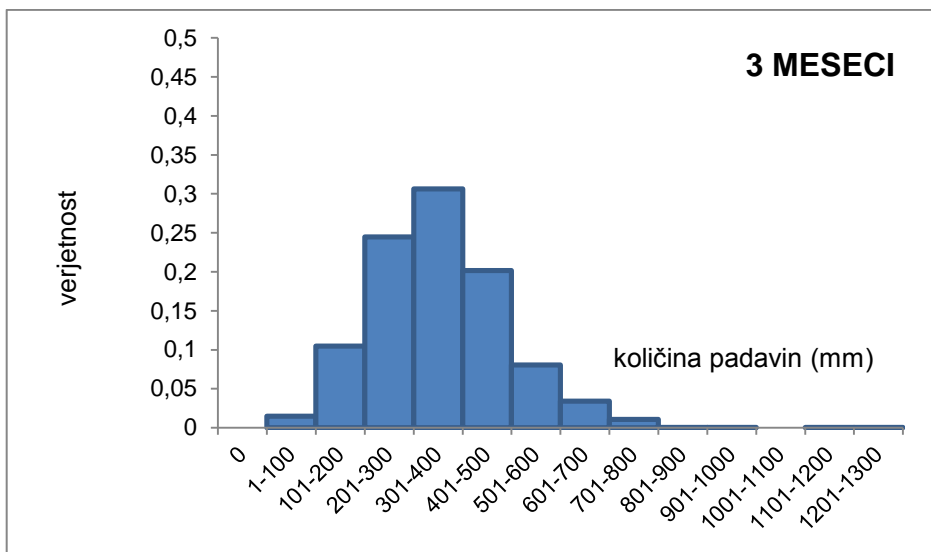
Porazdelitev padavinskih podatkov lahko ocenimo tudi s pomočjo frekvenčne porazdelitve. Za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (slika 19, 20, 21, 22, 23 in 24) so prikazane frekvenčne porazdelitve za vsako časovno skalo izračuna indeksa SPI. Frekvenčne porazdelitve za posamezno časovno skalo izračuna (ena-, dvo-, tro-, šest-, devet-, dvanajstmesečna skala) kažejo očitne razlike.



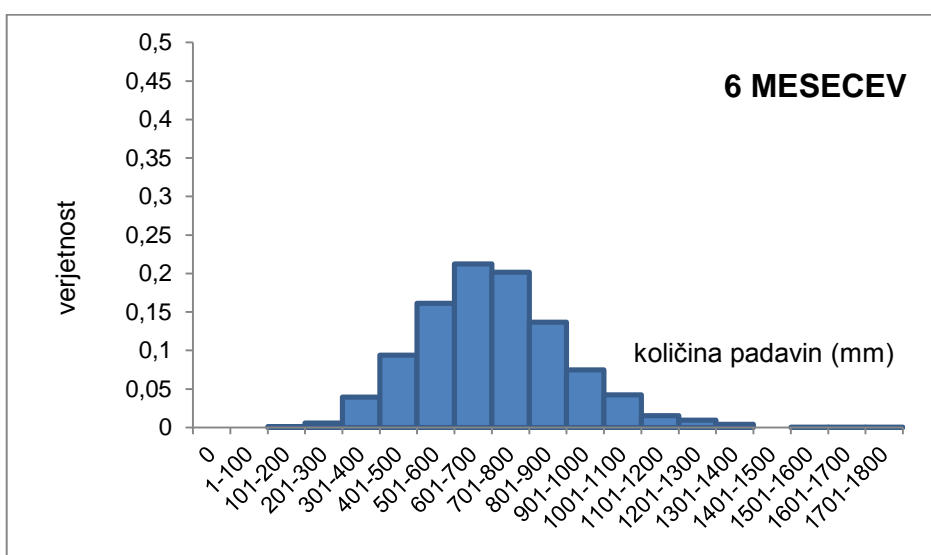
Slika 19: Histogram frekvenčne porazdelitve za mesečne padavine za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



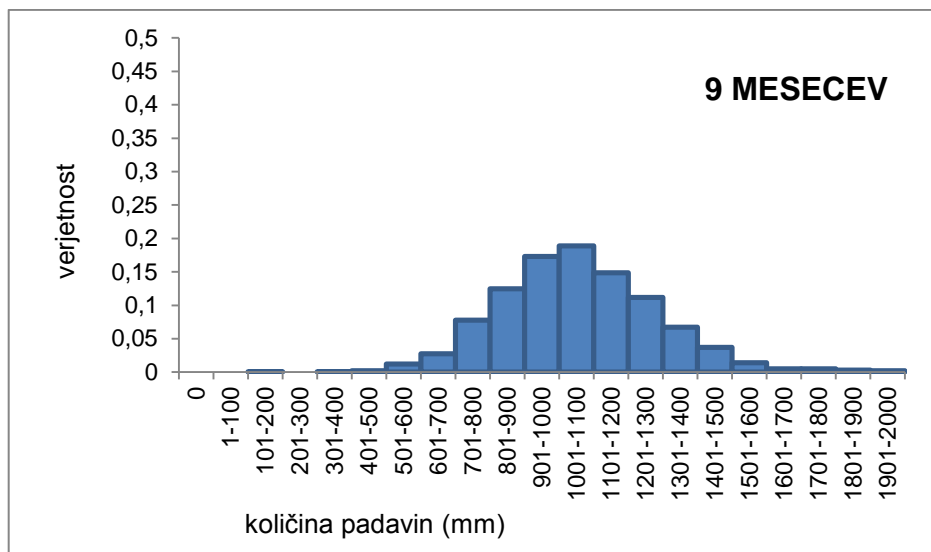
Slika 20: Histogram frekvenčne porazdelitve za dvomesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



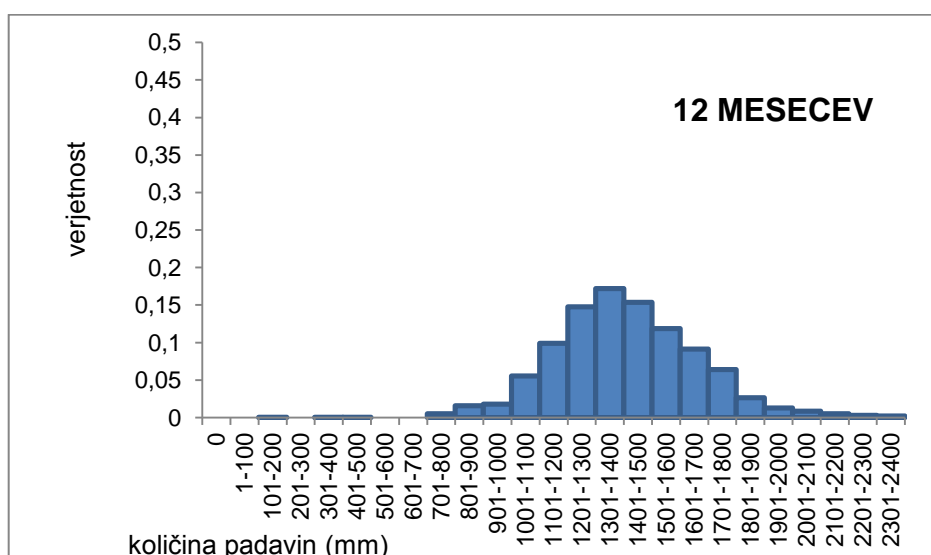
Slika 21: Histogram frekvenčne porazdelitve za tromesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 22: Histogram frekvenčne porazdelitve za šestmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 23: Histogram frekvenčne porazdelitve za devetmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 24: Histogram frekvenčne porazdelitve za dvanajstmesečne vsote padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)

Na enomesečni in dvomesečni skali porazdelitev kaže asimetrično obliko eksponentno porazdeljenih slučajnih spremenljivk, kjer se manjša količina padavin (1–200 mm) pojavlja najpogosteje. Povečevanje mesečne skale izračuna privede do postopnega zmanjševanja asimetrije porazdelitve. Frekvenčni porazdelitvi daljše časovne skale (šest- in devetmesečna) izkazujeta večjo pogostost pojavljanja dogodkov z manjšimi količinami padavin kot pogostost dogodkov z večjimi količinami padavin. Za enomesečno in dvomesečno skalo je frekvenčna porazdelitev blizu eksponentni porazdelitvi, za daljše časovno obdobje izračuna (devet- in dvanajstmesečna skala) se porazdelitev približuje normalni. Ker so razlike med posameznimi časovnimi skalami očitne, je potrebno, da pred samim izračunom indeksa na različnih

časovnih skalah najprej določimo primerno verjetnostno porazdelitev, ki se najbolje prilega izmerjenim podatkom.

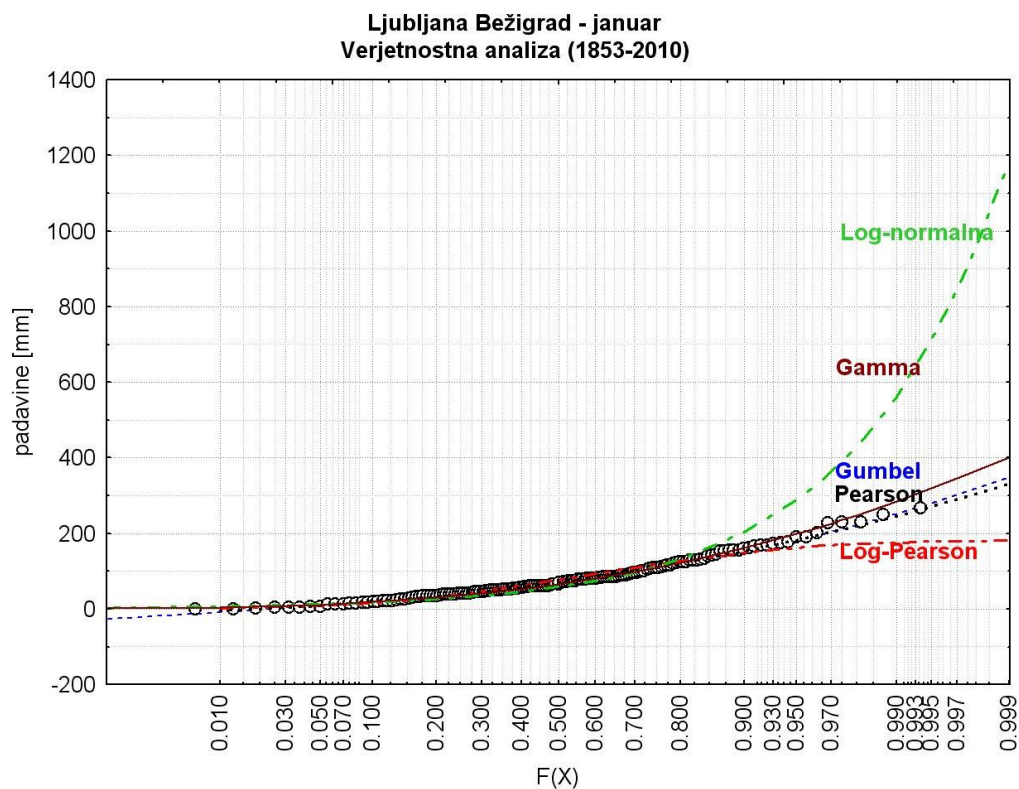
Pri izračunu indeksa še vedno obstaja neenotnost pri izbiri najbolj primerne verjetnostne porazdelitve, ki dobro opiše padavinske nize posameznega območja. Za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad smo pred samim izračunom indeksa za januar in julij naredili verjetnostno analizo, s katero smo preverili, katera teoretična verjetnostna porazdelitev se najbolje prilega enomesečnim padavinskim podatkom in empirični porazdelitvi. Izbrane teoretične porazdelitve, ki so pogosteje uporabljene v hidrologiji:

- logaritemsko normalna porazdelitev,
- porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I ali Gumbelova porazdelitev,
- Pearsonova III porazdelitev,
- logaritemska Pearsonova III porazdelitev in
- gama (dvoparametrsko) porazdelitev.

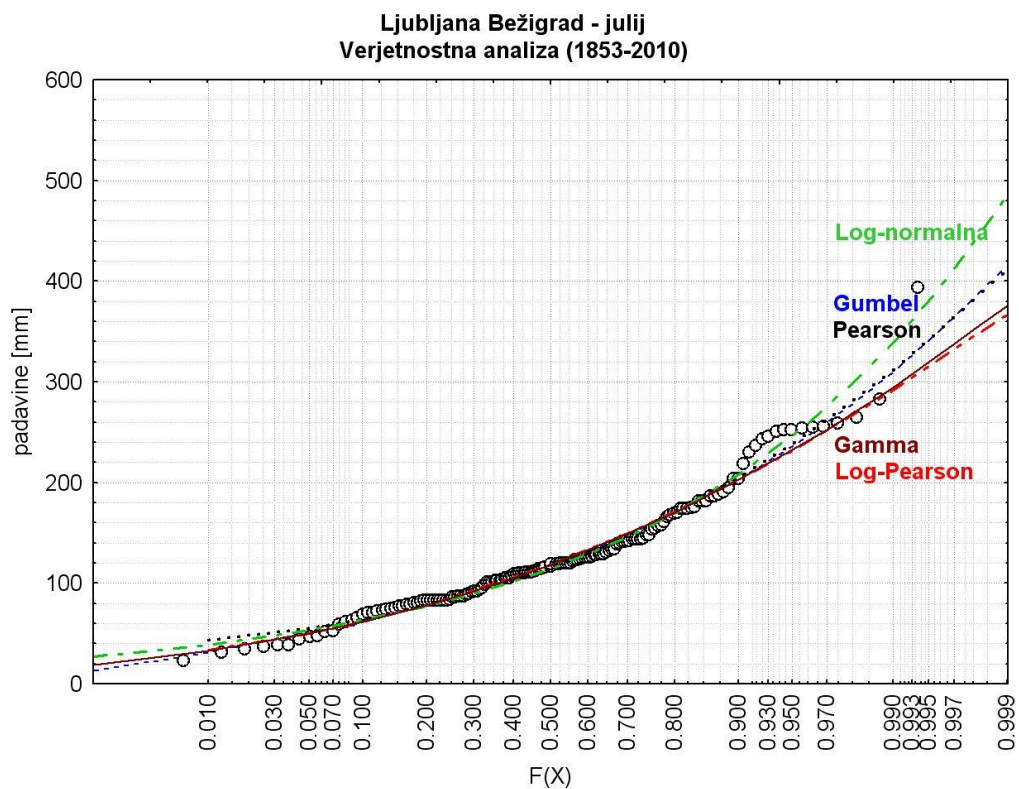
Vrednosti posameznih teoretičnih porazdelitev za enomesečno časovno skalo izračuna smo primerjali z empirično Weibullovo porazdelitvijo, kar prikazujeta sliki 25 in 26.

Obe logaritemski porazdelitvi (normalna in Pearsonova III porazdelitev) odstopata v januarju, kar je posledica dogodkov (mesecev), ko ni bilo padavin ( $x = 0$ ). Logaritem za število nič pa ni definiran. V praktičnem izračunu indeksa se za dogodke, ko ni bilo padavin, izračuna njihova verjetnost, ki jo nato upoštevamo v izračunu porazdelitvene funkcije (11).

Tudi pri ostalih teoretičnih porazdelitvah v januarju in juliju ni večjih odstopanj. Na podlagi te ugotovitve smo za izračune SPI vse meteorološke postaje in vse časovne skale izbrali dvoparametrsko gama porazdelitev. Ker Pearson III in Gumbelova porazdelitev ravno tako dobro opišeta pretekle padavinske nize, smo za primerjavo za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad indeks na vseh izbranih časovnih skalah izračunali tudi s tema dvema porazdelitvama.



Slika 25: Primerjava izbranih teoretičnih in empirične porazdelitve za mesec januar in meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)

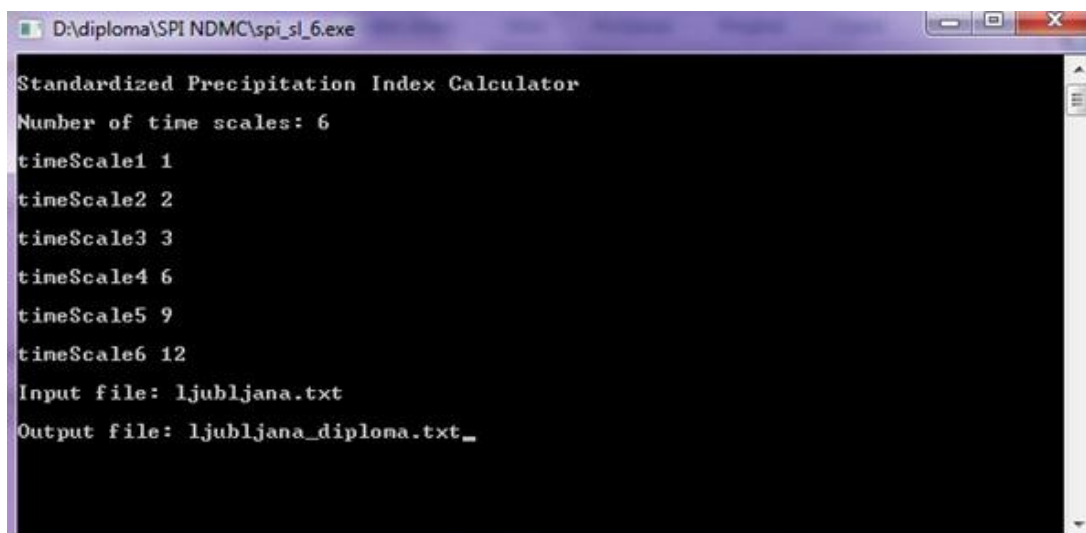


Slika 26: Primerjava izbranih teoretičnih in empirične porazdelitve za mesec julij in meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)

## 5.5 Izračun SPI z različnimi porazdelitvami za meteorološko postajo

### Ljubljana-Bežigrad

Vrednosti indeksa za vsak mesec in leto izbranega obdobja, smo izračunali ročno s tremi različnimi porazdelitvami (Gumbel, Pearson III in dvoparametrsko gama) in jih primerjali. Hkrati smo indeks izračunali tudi s pomočjo programa, ki je prosto dostopen na spletni strani ameriškega Nacionalnega centra za upravljanje s sušo (NDMC) (Program to Calculate Standardised Precipitation Index, 2012). Program za izračun uporablja dvoparametrsko gama porazdelitev. Je enostaven za uporabo, saj mesečne padavine daljšega preteklega obdobja (vsaj 30-letnega niza) predstavljajo edini vhodni podatek (slika 27). Program dovoljuje izračun na šestih različnih skalah hkrati, ki ne smejo biti daljše od dvanajstmesečne časovne skale.



```
D:\diploma\SPI NDMC\spi_sl_6.exe

Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 6
timeScale1 1
timeScale2 2
timeScale3 3
timeScale4 6
timeScale5 9
timeScale6 12
Input file: ljubljana.txt
Output file: ljubljana_diploma.txt_
```

Slika 27: Vnos vhodnih podatkov za izračun indeksa SPI za Ljubljano s pomočjo programa

Vhodni podatki (mesečni nizi za vsak mesec in leto posebej) in rezultati so prikazani v tekstovni datoteki (txt). Primer je prikazan na sliki 28.

Year	Month	Scale 1	Scale 2	Scale 3	Scale 4	Scale 5	Scale 6	Scale 7	Scale 8	Scale 9	Scale 10	Scale 11	Scale 12
1853	1	0.44	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	2	2.06	1.79	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	3	1.12	2.07	1.95	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	4	1.33	1.66	2.48	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	5	0.15	1.04	1.47	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	6	-0.61	-0.45	0.44	1.83	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	7	-2.22	-1.88	-1.44	1.34	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	8	0.42	-0.85	-1.16	0.32	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	9	0.23	0.33	-0.55	-0.15	1.18	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	10	0.93	0.77	0.82	-0.07	1.45	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	11	-0.31	0.52	0.44	-0.26	0.47	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1853	12	1.26	0.61	1.02	0.44	0.52	1.47	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	1	0.58	1.22	0.68	0.97	0.29	1.47	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	2	-0.49	-0.02	0.73	0.72	0.12	0.69	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	3	-2.80	-1.84	-0.95	0.27	-0.09	0.06	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	4	0.09	-1.26	-1.41	-0.28	0.31	-0.28	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	5	1.09	0.81	-0.25	0.34	0.49	-0.02	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	6	-0.22	0.56	0.44	-0.42	0.39	0.06	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	7	-0.64	-0.69	0.08	-0.90	-0.26	0.27	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	8	0.53	-0.05	-0.26	-0.40	0.09	0.29	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	9	-0.91	-0.34	-0.70	-0.25	-0.76	-0.01	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	10	0.60	-0.06	0.10	0.06	-0.62	-0.20	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	11	0.98	0.97	0.41	0.14	-0.04	0.26	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1854	12	0.56	0.99	1.03	0.38	0.47	-0.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	1	1.74	1.49	1.60	1.13	1.00	0.39	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	2	2.52	2.78	2.68	2.07	1.77	1.46	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	3	0.78	2.28	2.66	2.62	2.02	1.93	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	4	0.30	0.70	2.31	2.68	2.16	1.98	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	5	0.37	0.36	0.70	2.56	2.12	1.84	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	6	1.17	1.05	0.99	2.77	2.79	2.23	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	7	-0.16	0.74	0.73	2.24	2.73	2.25	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	8	-0.41	-0.57	0.28	0.60	2.27	1.99	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	9	0.19	-0.24	-0.39	0.32	2.08	2.25	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	10	0.29	0.20	-0.10	0.29	1.58	2.17	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1855	11	1.33	1.01	0.84	0.80	0.96	2.24	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00

Slika 28: Vrednosti indeksa SPI na šestih različnih skalah, pridobljene s programom

Korelacijo med izračunanimi indeksi smo izrazili s pomočjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta  $R$ . Če se  $R$  približuje vrednosti ena, sta spremenljivki močno pozitivno linearno povezani (Turk, 2011). Ker program vrednosti računa s pomočjo dvoparametrskemu gama porazdelitve je logično, da je najvišja linearna povezanost dosežena ravno z izračunanimi vrednostmi indeksa gama porazdelitve. Namen izračuna vrednosti SPI z Gumbelovo in Pearsonovo III porazdelitvijo je ravno ugotovitev, če in za koliko se vrednosti med seboj razlikujejo.

Pri vsaki porazdelitvi (Gumbel, Pearson III in gama) so najprej izračunane ocene parametrov posamezne porazdelitve (poglavje 3.2) glede na mesečne padavinske vsote. Za vsak mesec leta je njemu pripadajoča kumulativna verjetnost standardizirana in primerjana z vrednostjo, ki jo je izračunal program.

Za določene mesece na krajših časovnih skalah (od ena– do šest–mesečne) izračun gostote verjetnosti za Pearson III porazdelitev ni bil mogoč. Gostota verjetnosti Pearson III porazdelitve je namreč definirana le za  $x \geq c$ . Glede na obdobje izračuna in njim pripadajoče vsote padavin, so bile izračunane ocene parametrov gostote porazdelitve, za Pearsonovo III poleg  $\alpha$  in  $\beta$  tudi parameter  $c$ . V mesecih, kjer izračun ni bil mogoč, je bila pripadajoča kumulativna vsota padavin manjša od vrednosti  $c$ . Na krajših časovnih skalah (SPI-1, SPI-2



in SPI-3) so neizračunane vrednosti pogostejše kot pri indeksu SPI-6. Pri vsaki časovni skali se pokažejo značilni meseci, kjer izračun v tej obliki ni mogoč. Na skali dveh mesecev je težava pri izračunu indeksa v mesecu oktobru v letih 1900, 1908, 1920, 1921, 1971, 1975 in 1977. V teh mesecih je bila kumulativna vsota padlih padavin precej pod oktobrskim povprečjem primerjalnega obdobja 1853–2010. Na enomesečni skali so mesečne padavine izrazito pod povprečjem v maju 1865, 1868 in 1979, juliju 1958, 1971 in 1983 ter oktobru v letih 1856, 1877, 1985, 1989, 1995 in 2006. Na tromesečni skali je kritičen mesec avgust. Izračun s pomočjo Pearson III porazdelitve ni bil mogoč med drugimi tudi v letih 1992, 1993, 2000, 2001, 2003 in 2007. Na šestmesečni skali se SPI ne more izračunati le za mesec oktober v letu 1865. Število neizračunanih mesecev se z daljšanjem trajanja časovne skale zmanjšuje.

Vrednost ocene parametra  $c$  je odvisna od povprečja primerjalnega obdobja in drugih dveh parametrov  $\alpha$  in  $\beta$ . Vrednost  $c$  je tako lahko pozitivna ali negativna. Kadar je vrednost velika in hkrati pozitivna, v izračunu imenovalca za gama porazdelitev nastane negativna vrednost, ki jo Excelove funkcije za gama porazdelitev ne izračunavajo.

Iz zgoraj naštetih razlogov, so korelacijski koeficienti izračunani samo za mesece z izračunanimi vrednostmi indeksa. To pomeni, da so kritični meseci pri vseh izbranih porazdelitvah izločeni iz regresijske analize.

V preglednicah 5 in 6 so podane vrednosti korelacijskih koeficientov. Oznake pomenijo:

SPI- $x$  vrednost indeksa na posamezni časovni skali

- |    |   |
|----|---|
| G  | Gumbelova porazdelitev (ali porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I) |
| P3 | Pearsonova III porazdelitev   |
| P  | vrednost indeksa s programom NDMC (dvoparametrski gama porazdelitev)  |
| G2 | dvoparametrski gama porazdelitev                                      |

Preglednica 5: Korelacijski koeficienti izbranih porazdelitev za SPI-1 do SPI-6

	SPI-1 G	SPI-1 P3	SPI-2 G	SPI-2 P3	SPI-3 G	SPI-3 P3	SPI-6 G	SPI-6 P3
<b>SPI-1 P</b>	0.9912	0.9862						
<b>SPI-1 G2</b>	0.9919	0.9869						
<b>SPI-2 P</b>			0.9935	0.9944				
<b>SPI-2 G2</b>			0.9970	0.9973				
<b>SPI-3 P</b>					0.9918	0.9849		
<b>SPI-3 G2</b>					0.9943	0.9876		
<b>SPI-6 P</b>							0.9796	0.9902
<b>SPI-6 G2</b>							0.9855	0.9961

Preglednica 6: Korelacijski koeficienti izbranih porazdelitev za SPI-9 in SPI-12

	SPI-9 G	SPI-9P3	SPI-12 G	SPI-12 P3
<b>SPI-9 P</b>	0.9798	0.8449		
<b>SPI-9 G2</b>	0.9880	0.8756		
<b>SPI-12 P</b>			0.9874	0.4756
<b>SPI-12 G2</b>			0.9927	0.5385

Gumbelova porazdelitev se za razliko od Pearsonove III porazdelitve na vseh časovnih skalah izračuna dobro ujema z gama porazdelitvijo. Vse vrednosti korelacijskega koeficienta  $R$  dosežejo vrednost enako ali večjo od 0.98. Gumbelova porazdelitev najbolje korelira na dvomesečni skali izračuna. Opazen je tudi trend zmanjševanja vrednosti korelacijskega koeficienta do devetmesečne časovne skale. Vrednost korelacijskega koeficienta se ponovno poveča na dvanajstmesečni skali izračuna. Pearsonova III porazdelitev kaže večjo variabilnost med vrednostmi korelacijskega koeficienta. Najbolje korelira na dvo- in šestmesečni skali, kjer so vrednosti nad 0.99. Na daljših skalah, kot sta devet- in dvanajstmesečna je zaznati precej manjše korelacije, še posebej na najdaljši skali, kjer se vrednost koeficienta giblje okrog 0.50. Kljub dokaj nizkemu korelacijskemu koeficientu pa  $p$ -vrednost kaže še vedno močno statistično značilno povezavo med posameznimi izračunanimi vrednostmi, saj v primeru SPI-12 po Pearsonovi III in gama porazdelitvi  $p$ -vrednost znaša  $3.3 \cdot 10^{-142}$  za vrednosti izračunane s programom in  $5.3 \cdot 10^{-107}$  za ročno izračunane vrednosti gama porazdelitve. Zaradi nizkih vrednosti korelacijskega koeficienta je Pearsonova III porazdelitev za celoten niz izračuna SPI na različnih časovnih skalah za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad manj primerna.

Korelacije Gumbelove in Pearson III porazdelitve z ročno izračunanimi vrednostmi indeksa so malenkostno višje v primerjavi z vrednostmi programa. Kar kaže tudi na to, da vrednosti gama porazdelitve, izračunane ročno, dobro sledijo vrednostim, pridobljenim s pomočjo

programa. Na vseh časovnih skalah je koeficient korelacije najvišji za ročno izračunane vrednosti. Vrednosti koeficienta korelacije so na vseh časovnih skalah, razen dvanajstmesečne, večje od 0.99. Na letni skali je koeficient enak 0.988.

Glede na prikazane korelacijske vrednosti, bi bila za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad Gumbelova porazdelitev prav tako primerna za izračun indeksa na vseh časovnih skalah.

Razlike v mesečnih vrednostih vseh izbranih porazdelitev v primerjavi z vrednostmi programa so majhne (razlike so v desetinkah) in se pojavljajo tako pri negativnih kot pozitivnih vrednostih indeksa.

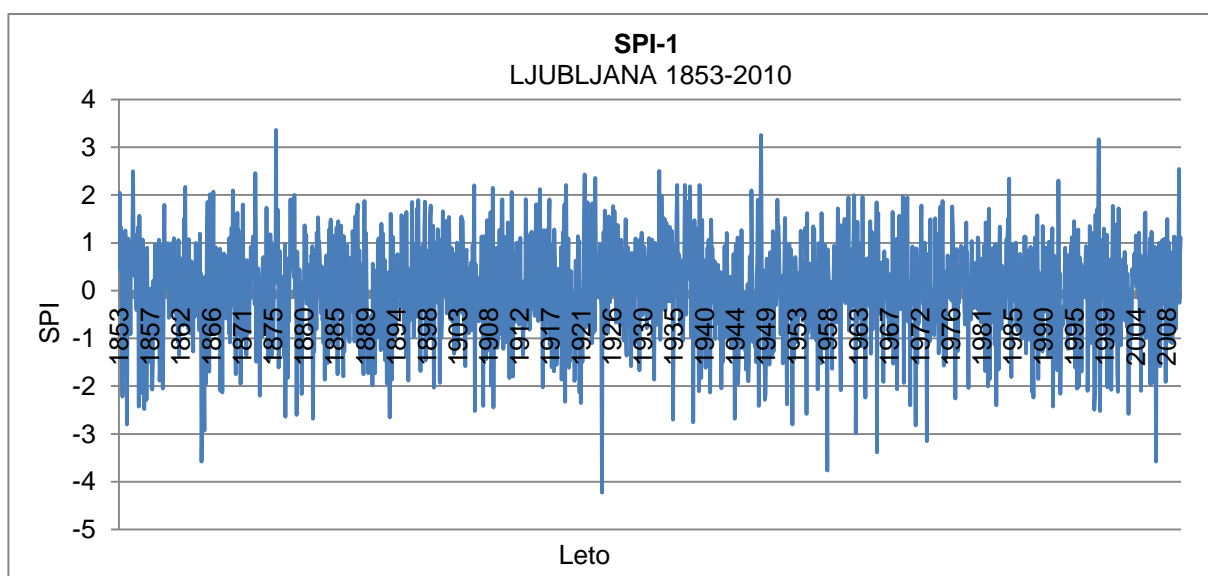
Pearson III porazdelitev je pri izračunih indeksa pogosto uporabljena. Guttman (1999), Vicente-Serrano in Lopez-Moreno (2005), Blain (2011) so parametre Pearson III porazdelitve določili s pomočjo metode L–momentov.

## 5.6 Izračun standardiziranega padavinskega indeksa (SPI) za izbrane meteorološke postaje in različne časovne skale

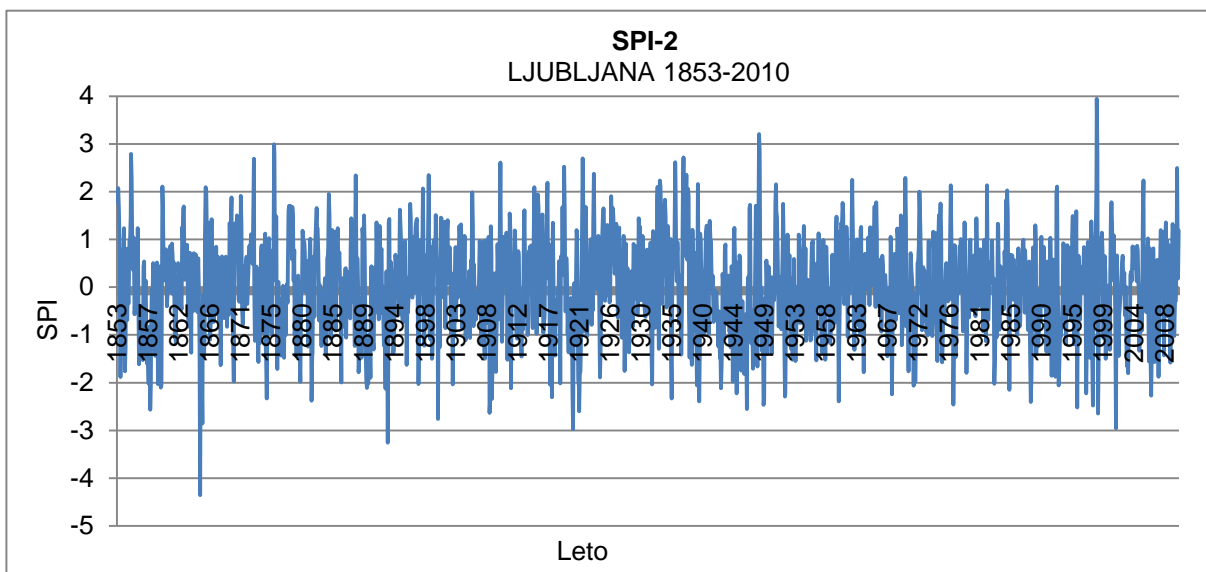
Vse izračune mesečnih vrednosti indeksa SPI so narejene s programom Microsoft Office Excel. Celoten niz pridobljenih mesečnih padavinskih podatkov je ustrezno razvrščen po posameznih mesecih in letih. Takšna razvrstitev je potrebna zaradi izračuna mesečnih oz. večmesečnih (odvisno od časovnega koraka izračuna indeksa) ocen posameznih parametrov izbrane porazdelitve. Za meteorološko postajo Ljubljana–Bežigrad so vsi časovni koraki izračuna indeksa (SPI-1, SPI-2, SPI-3, SPI-6, SPI-9, SPI-12) izračunani z različnimi verjetnostnimi porazdelitvami, za vse ostale postaje pa so vrednosti indeksa na posameznih skalah izračunane z gama porazdelitvijo, ki se dobro prilega empirični porazdelitvi padavinskih podatkov.

### 5.6.1 Meteorološka postaja Ljubljana–Bežigrad

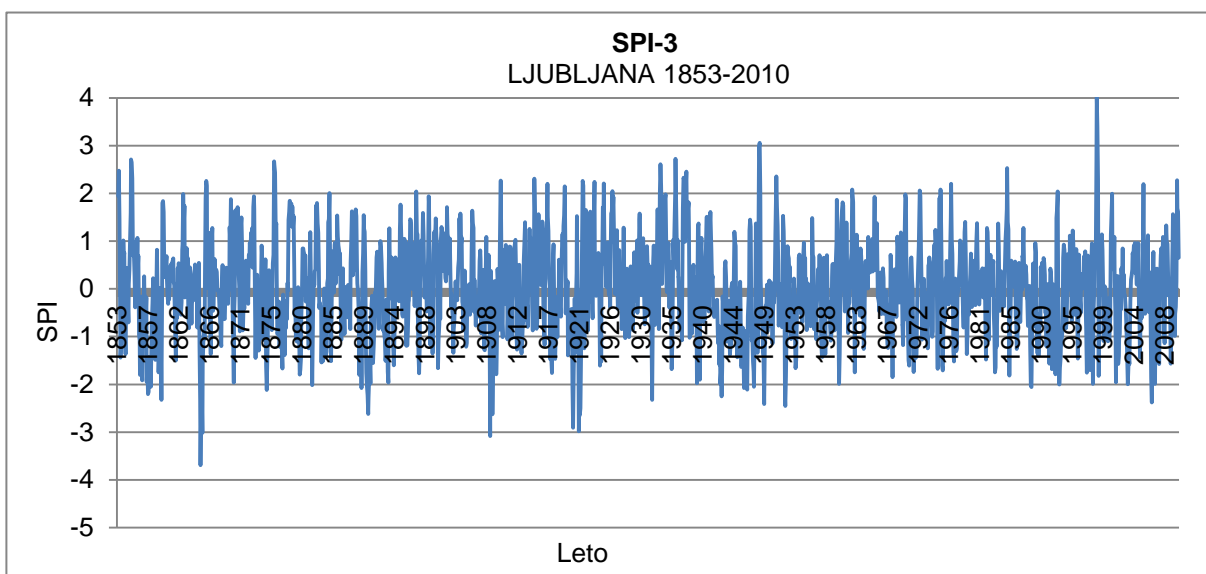
Pri izračunu indeksov za Ljubljano smo uporabili 158-letni niz padavinskih podatkov, ki se začne z letom 1853. Za izračun parametrov gama porazdelitve smo torej uporabili obdobje med leti 1853 in 2010. SPI je izračunan na šestih časovnih skalah (ena-, dvo-, tro-, šest-, devet- in dvanajstmesečni). Izračunane vrednosti so prikazane za vsako časovno skalo posebej na slikah 29, 30, 31, 32, 33 in 34.



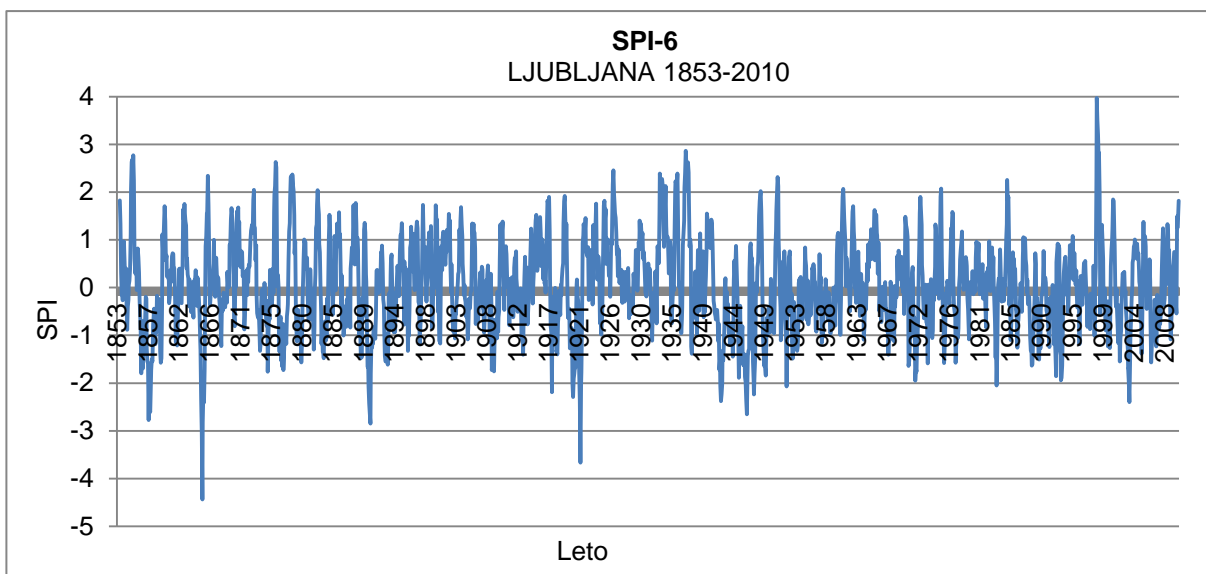
Slika 29: SPI-1 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



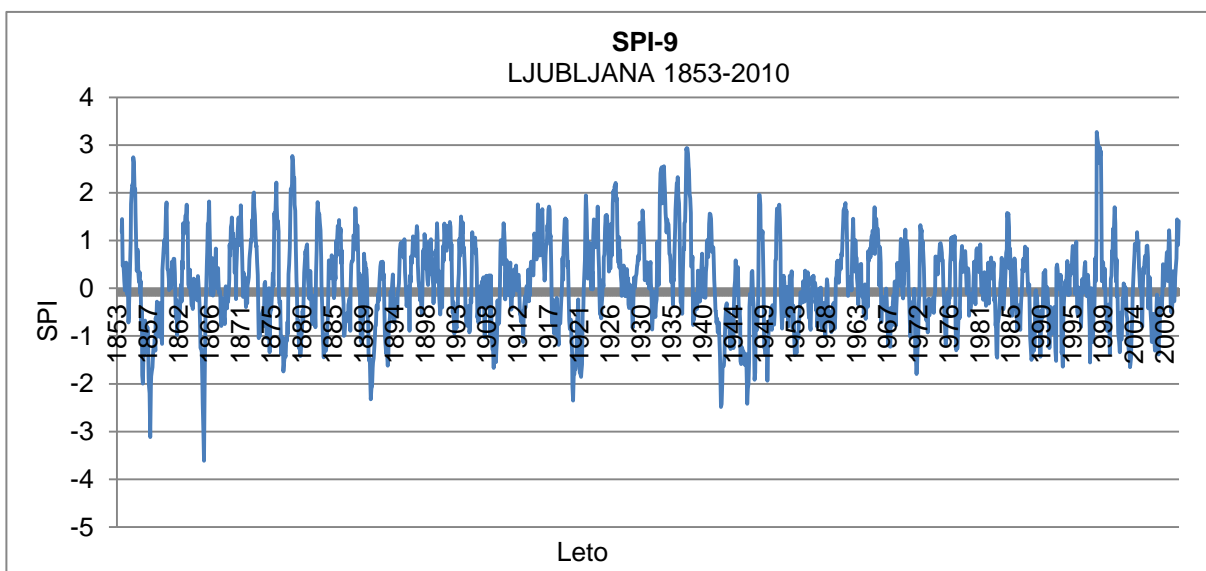
Slika 30: SPI-2 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



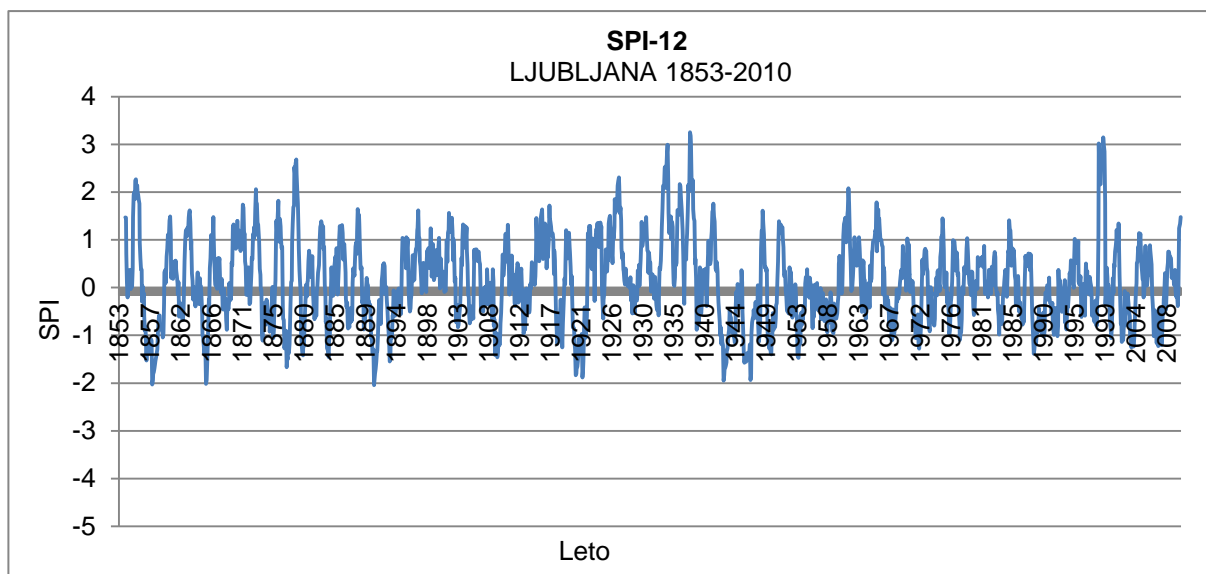
Slika 31: SPI-3 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 32: SPI-6 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 33: SPI-9 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)



Slika 34: SPI-12 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (1853–2010)

SPI na ena-, dvo-, tro- in šestmesečni časovni skali kaže večjo variabilnost kot na daljših časovnih skalah. Na slikah 33 in 34 vidimo, da je pojav suše na daljših časovnih skalah manj pogost, vendar traja dlje. V splošnem velja, da je SPI, izračunan na krajših časovnih skalah, kazalec kmetijske suše, saj odraža kratkotrajne spremembe vodnih zalog v talnem vodnem rezervoarju. Med sušnim obdobjem manjši padavinski skoki, ki jih zaznamo pri SPI na krajših časovnih skalah, ne pomenijo nujno bistvenega izboljšanja sušne situacije na daljši časovni skali. Tak primer lahko vidimo v začetku leta 1989, ko je izjemen padavinski primanjkljaj povzročil začetek suše na daljši časovni skali. Padavinski primanjkljaj se je v naslednjih mesecih leta 1989, 1990 in v začetku leta 1991 vztrajno večal, kar pomeni, da je bila vrednost indeksa negativna. Indeks se je tudi v naslednjih letih (1991, 1992, 1993 in 1994) stalno gibal med 0 in -1. Tudi po ekstremnih padavinah ob koncu leta 1992 sta se SPI-12 in SPI-9 le malo povečala, znatno povečanje je zaznati šele v aprilu leta 1994. V tem obdobju je na krajših časovnih skalah izračuna indeksa (ena-, dvo-, tro-, šestmesečna) vidnih več skokov vrednosti, kar pomeni, da ima indeks pri krajših časovnih skalah »manjši spomin«. Tudi vrednosti za isti opazovani mesec v istem letu so različne med posameznimi časovnimi skalami. Indeks na krajših časovnih skalah stremlje k bolj ekstremnim vrednostim. Za primer so v preglednici 7 prikazane vrednosti indeksa SPI za januar 1989.

Preglednica 7: Vrednosti indeksa za januar 1989 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

Indeks SPI	Vrednost indeksa (januar 1989)
SPI-1	-2.24
SPI-2	-1.90
SPI-3	-2.03
SPI-6	-1.34
SPI-9	-1.50
SPI-12	-1.19

Za analizo sušnih obdobj v preteklosti je primernejši indeks na daljši časovni skali (npr. dvanajstmesečni), kjer so v izračun zajete vsote padavin zadnjih dvanajstih mesecev, primerjane z dvanajstmesečnimi vsotami padavin primerjalnega obdobja (1853–2010).

Pred letom 1900 nam SPI-12 kaže tri hujše suše, prvo v prvi polovici leta 1858, kjer se vrednosti indeksa konstantno gibljejo med -1.50 in -1.99 z maksimumom januarja 1858 (SPI-12 je enak -1.94). Sušne razmere se že nakazujejo skozi celotno leto 1857, ki ga je glede na vrednosti indeksa prizadela zmerna suša, ki se ob koncu tega leta prevesi v hudo sušo. Primanjkljaj padavin glede na dolgoletno povprečje je opazen skozi celotno leto 1858, kljub temu, da se v zadnjih dveh mesecih leta (november in december) razmere normalizirajo (SPI-12 za november je enak -0.79 in za december -0.56). Enake razmere se nadaljujejo v naslednjem letu 1859, ko vrednosti vztrajno padajo in sicer do septembra, vendar nikoli ne presežejo pragu normalnih razmer. V tem letu je po Evropi pustošila huda suša (Trontelj, 1997). Po oktobru 1859 sledi nekoliko bolj mokro obdobje. Konec leta 1861, z nadaljevanjem v letu 1862 (do avgusta 1862) razmere zopet postanejo nekoliko bolj sušne, vendar v okviru normalnih razmer. Drugo obdobje hude suše se pojavi v letu 1865, v mesecu juniju, in vztraja do marca naslednjega leta 1866. Hude sušne razmere nakazujejo tudi vrednosti indeksa manjših časovnih skal. Pri vrednostih indeksa SPI-1, SPI-2 in SPI-3 se huda suša začne in konča že nekoliko prej. Zamik se v tem primeru zgodi za tri mesece. Najprej sušne razmere zazna SPI-1, in sicer v aprilu 1865. Vrednosti tekom sušnega obdobja se močno spreminjajo in dosežejo tudi vrednosti, ki opisujejo ekstremno sušo (SPI-1 za september 1865 doseže vrednost -2.93). Daljši negativni odklon padavin glede na dolgoletno povprečje se zopet pojavi v letu 1877, ko doseže maksimalne vrednosti v zimskih mesecih (december, januar, februar), ki predstavljajo obdobje hude suše (vrednosti indeksa med -1.50 in -1.99), ki traja tri mesece. Pomanjkanje padavin v zimskih mesecih je problematično s stališča bogatenja podtalnice in drugih vodnih virov, ki so pomembni dejavniki pri oskrbi s pitno vodo v Sloveniji. Sledijo krajša obdobja, kjer so vrednosti indeksa sicer v mejah normalnih razmer (med 0 in -1.0), je pa v tem času padla manjša količina padavin glede na dolgoletno povprečje. Takšnih obdobj je kar nekaj:



- februar–oktober 1880,
- november 1881–junij 1882,
- september 1883–julij 1884 in
- oktober 1886–september 1887.

V letih 1890 in 1891 se je prav tako pojavilo daljše sušno obdobje. Huda suša je nastopila decembra 1890 (SPI-12 je enak -2.04) in vztrajala do junija naslednjega leta. Vse do konca tega leta je indeks negativen. Sledi devet mesecev normalnih razmer. Celotno leto 1893 in del leta 1894 je v primanjkljaju padavin, kar nakazuje konstanten negativen indeks. Vrednosti v aprilu in maju so najnižje, vendar ne presegajo mej zmerne suše.

Med leti 1900 in 1950 nam SPI na letni ravni kaže 4 ekstremno sušne dogodke. Ekstremna suša se je najprej začela leta 1920 ter se nadaljevala do septembra 1922. Maksimalne vrednosti so zopet dosežene v zimskih mesecih (december, januar, februar, marec). Ravno v tem obdobju je suša vztrajala na širšem območju Slovenije (Trontelj, 1997). Sušam sledi bolj mokro obdobje, kjer nam SPI-12 kaže na ekstremno mokre dogodke v letih 1927, 1933 ter 1937. Po mokrem obdobju je sledilo obdobje suš. Ekstremni primanjkljaj padavin na letni časovni skali (SPI-12) smo zabeležili v letih 1943, 1947 ter 1949, suša pa je najdlje vztrajala od leta 1942 do konca leta 1950. Tudi Trontelj (1997) poroča o sušnih letih. Kobold (2003b) je zapisala, da je za Ljubljano v neprekinjenem obdobju opazovanj najbolj suho leto bilo 1947.

Po letu 1950 nam SPI-12 ne kaže več ekstremnih sušnih dogodkov v Ljubljani, opaziti je nekoliko pogostejše pojavljanje ekstremne suše na krajših časovnih skalah (SPI-1, SPI-2). Najnižje vrednosti je zaznati pri indeksu SPI-1 za leta 1958, 1965 in 1973, ko je maja 1958 v Ljubljani padlo le 7 mm padavin, oktobra 1965 le 2 mm in marca 1973 le 1 mm padavin. Tudi Trontelj (1997) piše o najbolj sušnem in sončnem oktobru (1965) stoletja in o suši v Sloveniji leta 1973. Nizko vrednost ima tudi SPI-3 v začetku letu 1989, kar potrdi tudi Trontelj (1997) z zapisom o suhi, topli in izredno sončni zimi. Sušni dogodki so bili pogostejši po letu 1990, predvsem na krajših časovnih skalah. SPI-1 doseže v tem desetletju najnižje vrednosti v letih 1991, 1993, 1995 in 1998. Ravno tako SPI-2 in SPI-3, ki doda še leto 1999. O zimi 1992/1993 Trontelj (1997) poroča kot o ekstremno suhi in sončni zimi z malo snega. V zadnjem desetletju zagotovo izstopa leto 2003, ki ga zazna domala vsaka časovna skala izračuna. V letu 2003 je ekstremna suša v Evropi dosegla enormne stroške v višini 8.7 bilijona evrov (Commission of the European Communities, 2007). Tudi leto 2006 in 2007 sta na podlagi indeksa prepoznana kot leti z negativnim odstopanjem, kar ugotavljata tudi Sušnik in Gregorič (2008).

V preglednici 8 so predstavljene dosežene najnižje vrednosti SPI na različnih časovnih skalah v obdobju 1853–2010 s pripadajočimi vsotami padlih padavin.

Preglednica 8: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1853–2010) na postaji Ljubljana–Bežigrad na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin

	Datum	Vrednost SPI	Vsota padavin (mm)
SPI-1	1924, november	-4.22	1
SPI-2	1865, maj	-4.35	30
SPI-3	1865, junij	-3.69	110
SPI-6	1865, september	-4.43	257
SPI-9	1865, december	-3.61	522
SPI-12	1890, december	-2.04	786

Na mesečni časovni skali je indeks dosegel najnižjo vrednost novembra 1924, ko je v Ljubljani padlo le 1 mm padavin. Dvomesечna vsota za maj (vsota padavin, padlih v aprilu in maju 1865) je bila najmanjša v letu 1865, ko je v aprilu in marcu padlo skupaj le 30 mm padavin. Trimesечna vsota padavin za junij (vsota padavin, padlih v aprilu, maju in juniju) je bila zopet najmanjša v letu 1865, ko je padlo v aprilu, maju in juniju 110 mm padavin. Dvanajstmesečna vsota padavin je dosegla najnižjo vrednost leta 1890, ko je od januarja 1890 do decembra istega leta padlo 786 mm padavin.

### 5.6.2 Meteorološka postaja Maribor-Tabor

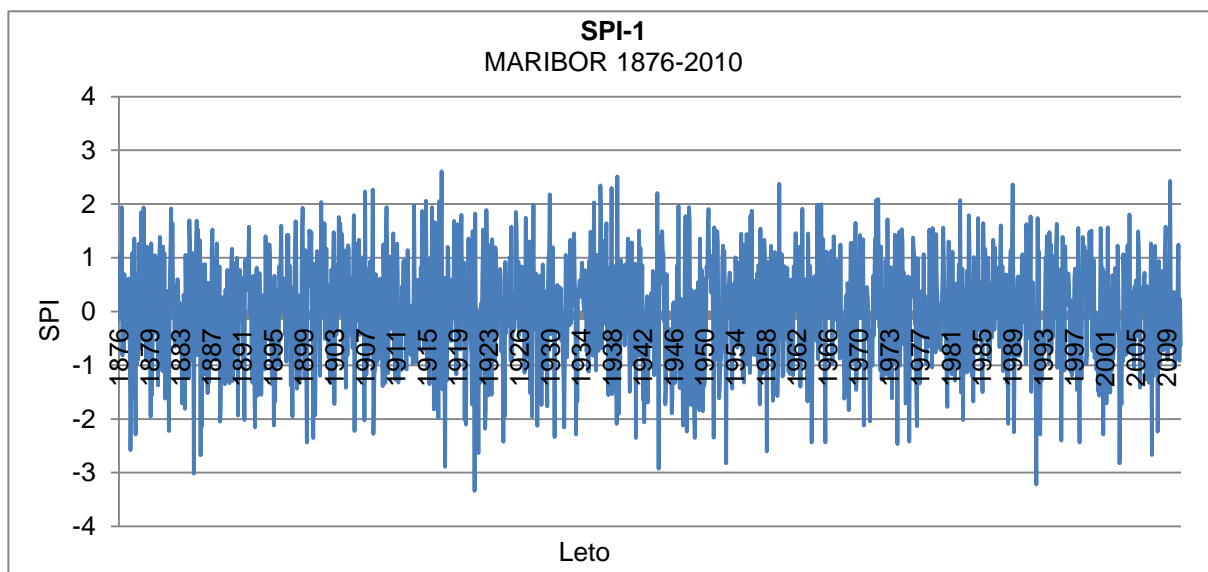
Za meteorološko postajo Maribor-Tabor so mesečni padavinski podatki dostopni od leta 1876 naprej, kar pomeni, da smo za izračun indeksa uporabili 135-letni niz podatkov (1876–2010). Izračunane vrednosti indeksa SPI in njihova variabilnost na vseh šestih izbranih časovnih skalah so prikazani na slikah 35, 36, 37, 38, 39 in 40.

Za meteorološko postajo Maribor-Tabor velja, da se ekstremna suša (SPI za katerokoli časovno skalo ima vrednost -2.0 ali manj) skozi celotno opazovano obdobje pojavlja le na krajših časovnih skalah. V tem primeru na časovnih skalah SPI-1, SPI-2, SPI-3 in SPI-6, ki prepoznajo tudi večje število sušnih dogodkov v primerjavi z daljšimi časovnimi skalami SPI-9 in SPI-12.

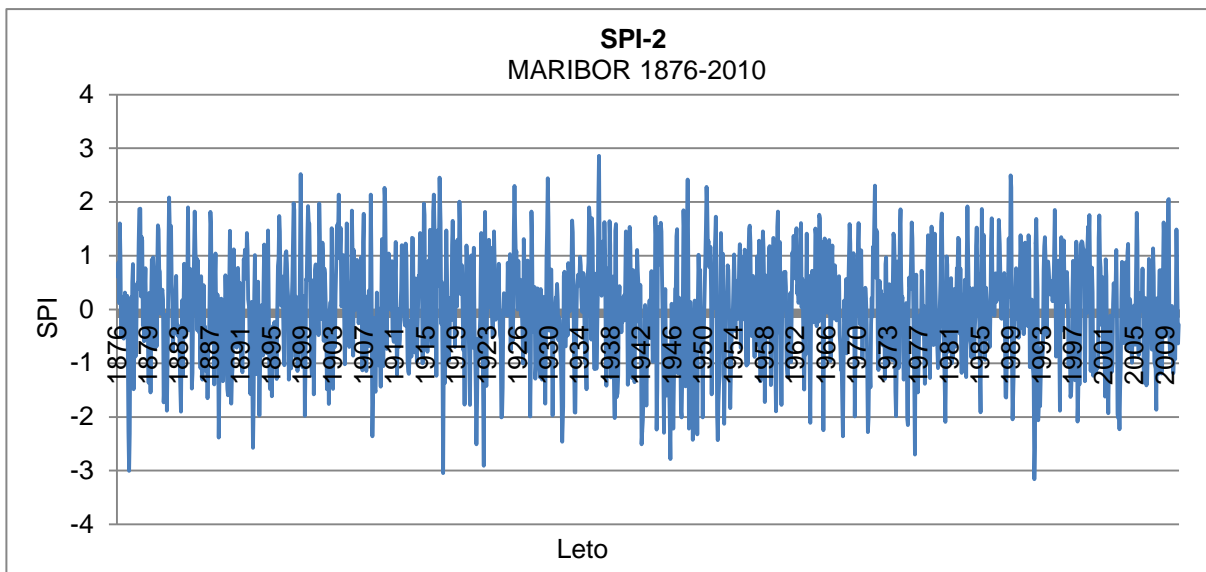
Pred letom 1900 nam dvanajstmesečni indeks (SPI-12) kaže dve hudi suši. V zimskih mesecih (december 1877, januar in februar 1878) doseže indeks minimalne vrednosti (SPI-12 je enak -1.52), ki do junija vztrajajo v mejah zmerne suše. Sledi hiter vzpon vrednosti, kar nakazuje na prihod razmeroma mokrega obdobja. V letu 1890 je skozi celotno

leto opazen primanjkljaj padavin, ki ga indeks na krajših časovnih lestvicah (SPI-1, SPI-2, SPI-3) zazna kot hudo sušo. Med leti 1893 in 1896 se izmenjujejo daljša obdobja primanjkljaja padavin s krajšimi namočenimi obdobji, vendar še vedno v mejah normale, z najmanjšimi vrednostmi v zimskih mesecih leta 1896, ko doseže vrednost letnega indeksa -1.58, kar kaže na hudo sušo.

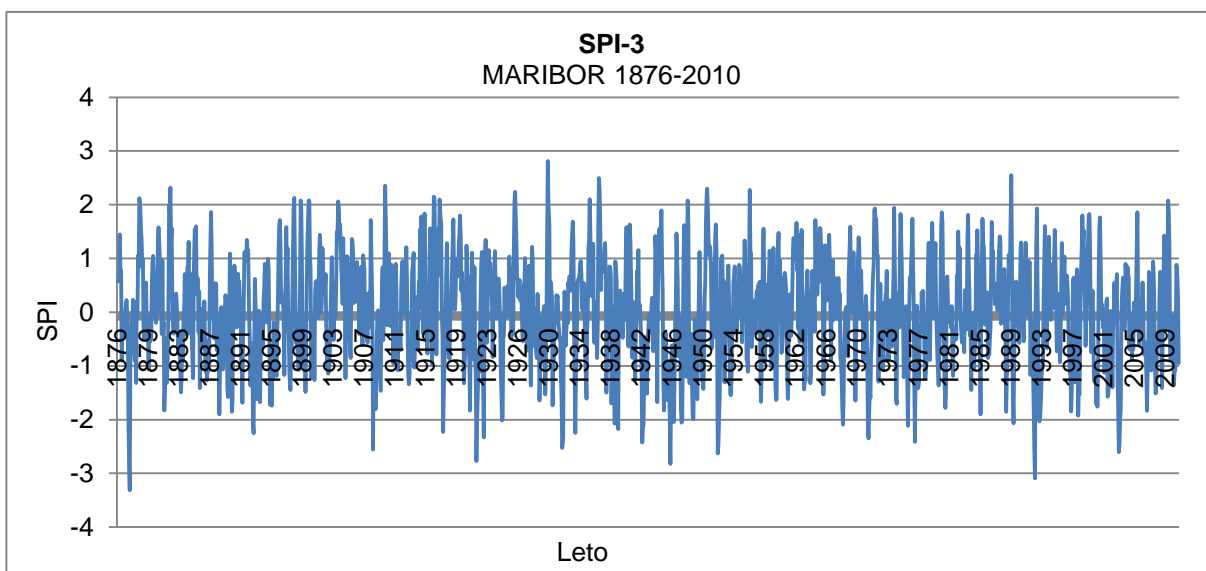
V prvi polovici dvajsetega stoletja (po letu 1900) se na letni časovni skali večina primanjkljaja padavin odraža v zmernih sušah ( $-1.0 < \text{SPI-12} < -1.49$ ). Taka leta so 1909, 1925 in 1930. V letih 1921, 1932 in 1946 je opazen izrazitejši primanjkljaj. SPI-12 za mesec december leta 1921 kaže vrednost -1.64, v celotnem letu je padlo le 725 mm padavin, kar je precej manj v primerjavi z dolgoletnim povprečjem, ki je za december in dvanajstmesečno obdobje enak 1032 mm. Sušno obdobje ( $\text{SPI-12} < 0$ ) traja štiriindvajset mesecev (dve leti) med oktobrom 1920 in septembrom 1922. Tudi Trontelj (1997) za leto 1921 zapiše, da to medvojno leto izstopa po zelo nizkih letnih količinah padavin.



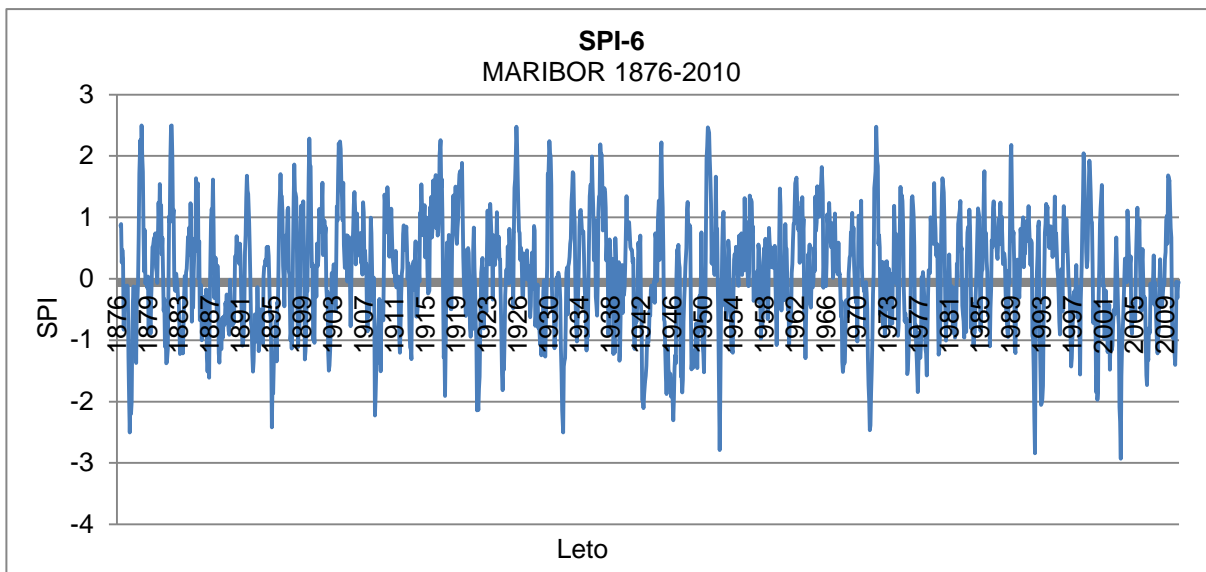
Slika 35: SPI-1 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010)



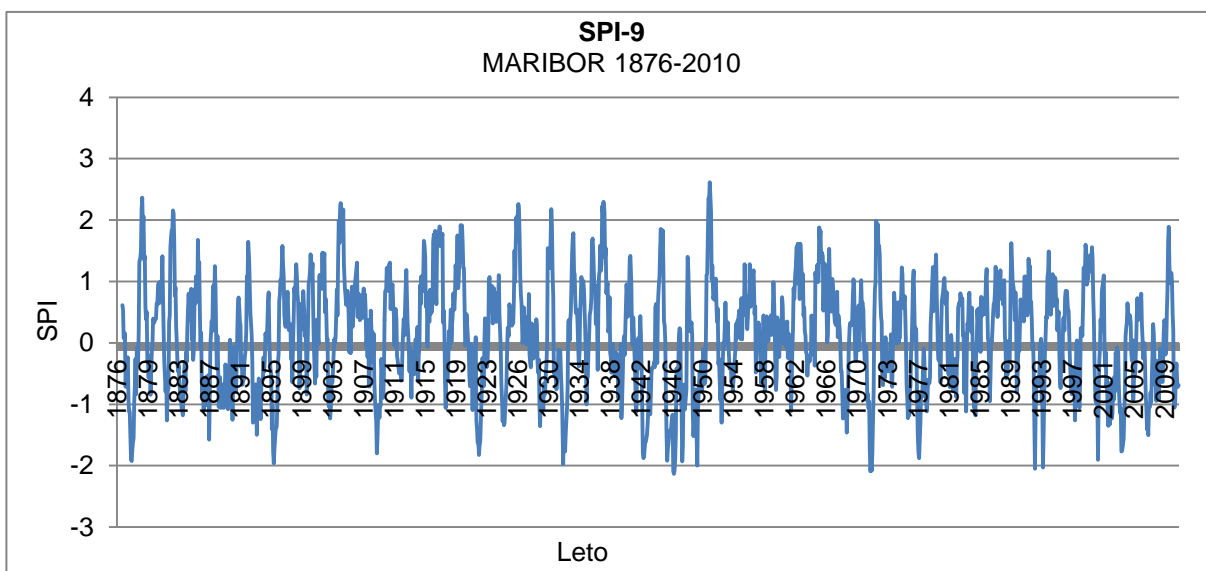
Slika 36: SPI-2 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876– 2010)



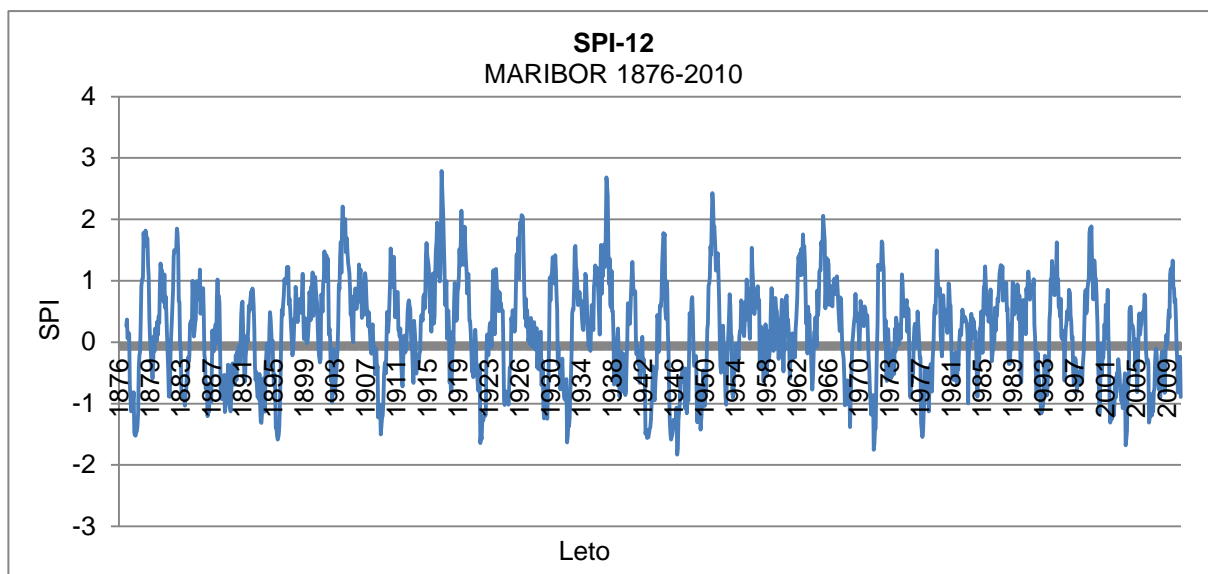
Slika 37: SPI-3 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010)



Slika 38: SPI-6 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010)



Slika 39: SPI-9 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010)



Slika 40: SPI-12 za meteorološko postajo Maribor-Tabor (1876–2010)

Tudi sušno obdobje ( $SPI-12 < 0$ ) v letih 1931, 1932 in 1933 se razteza skozi vsa tri leta, s konico v letu 1932 ( $SPI-12$  je enak  $-1.63$ ). V jesenskih in zimskih mesecih leta 1937 in začetku leta 1938 sledijo zelo mokri meseci. Pred hudo sušo leta 1946 se leta 1942 pojavi še zmerna suša ( $-1.0 < SPI-12 < -1.49$ ), ki jo je zabeležil tudi Trontelj (1997). Suša leta 1946 se začne že s koncem leta 1945 in nadaljuje preko celega leta 1946, s prvim minimumom meseca marca (674 mm v primerjavi s povprečjem 1031 mm) in drugim v mesecu decembru (680 mm padlih padavin v primerjavi s povprečjem 1032 mm). Suša se je nadaljevala v leto 1947 in 1978, jakost suše postopoma pojenja vse do junija. Suši sledi krajše obdobje z nadpovprečnimi padavinami. Z začetkom leta 1949 zopet nastopi primanjkljaj padavin, ki vztraja celo leto 1949, z največjo jakostjo v mesecu juniju. V zimskem tromesečju (januar, februar, marec 1949) vrednost indeksa SPI-3 doseže vrednost ekstremne suše, kar potrjuje tudi zapis Trontlja (1997) o zelo suhem obdobju januar–marec v Sloveniji.

Po letu 1950 sledi obdobje več sušnih obdobj in suš, z največjo pogostostjo v zadnjem desetletju izračuna (2000–2010). Letni indeks ( $SPI-12$ ) prepozna suše v letih 1986, 1971, 1978, 1993, 2000, 2002, 2003 in 2006. Vrednosti indeksa v teh letih bistveno ne presegajo meje zmerne suše, razen v letu 1971 ( $SPI-12$  decembra je enak  $-1.75$ ) in decembra leta 2003, ko je letni indeks dosegel vrednost  $-1.68$ . Indeksi na krajših časovnih skalah izkazujejo v decembru leta 2003 bistveno drugačne vrednosti, npr. SPI-1 je enak  $-0.81$ , SPI-2 je  $-0.62$ , SPI-3 je enak  $-0.28$ , SPI-6 je  $-0.40$ , SPI-9 pa se z vrednostjo  $-1.56$  približa vrednosti letnega indeksa. Ker indeksi na krajši časovni skali v svojem izračunu upoštevajo krajše obdobje vsot padavin, se v njihovi vrednosti ne odražajo pretekle sušne razmere, ki so se začele že leta 2000 in nadaljevale v leto 2001 in 2002, predvsem v poletnih mesecih juniju, juliju in avgustu, kar potrjuje tudi Kobold (2003b). Vrednosti indeksov krajše časovne skale

so v teh letih najnižje ravno v poletnih mesecih. Leto 2003 se po številu vročih dni, to so dnevi z najvišjo dnevno temperaturo vsaj 30°C, uvršča med rekordna leta. V letu 2003 je padavin skoraj povsod po državi primanjkovalo, najbolj na severovzhodu države (Cegnar, 2003).

V preglednici 9 so predstavljene dosežene najnižje vrednosti SPI na različnih časovnih skalah v obdobju 1876–2010 s pripadajočimi vsotami padlih padavin.

Preglednica 9: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1876–2010) na postaji Maribor-Tabor na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin

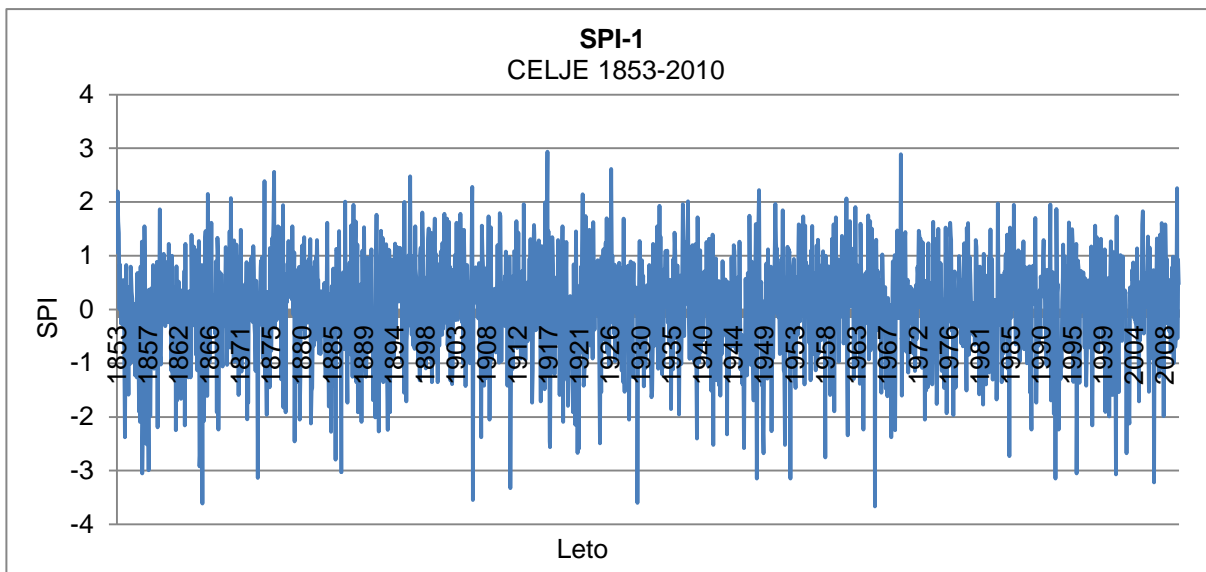
	Datum	Vrednost SPI	Vsota padavin (mm)
SPI-1	1921, marec	-3.34	2
SPI-2	1992, avgust	-3.16	64
SPI-3	1877, avgust	-3.31	119
SPI-6	2003, avgust	-2.93	297
SPI-9	1946, oktober	-2.14	491
SPI-12	1946, december	-1.83	680

Na mesečni časovni skali je indeks dosegel najnižjo vrednost marca 1921, ko sta v Mariboru padla le 2 mm padavin. Dvomesečna vsota za avgust (vsota padavin, padlih v juliju in avgustu 1992) je bila najmanjša v letu 1992, ko je v juliju in avgustu padlo skupaj le 64 mm padavin. Trimesečna vsota padavin za avgust (vsota padavin padlih v juniju, juliju in avgustu) je bila najmanjša v letu 1877, ko je padlo v juniju, juliju in avgustu 297 mm padavin. Dvanajstmesečna vsota padavin je dosegla najnižjo vrednost leta 1946, ko je od januarja 1946 do decembra istega leta padlo le 680 mm padavin.

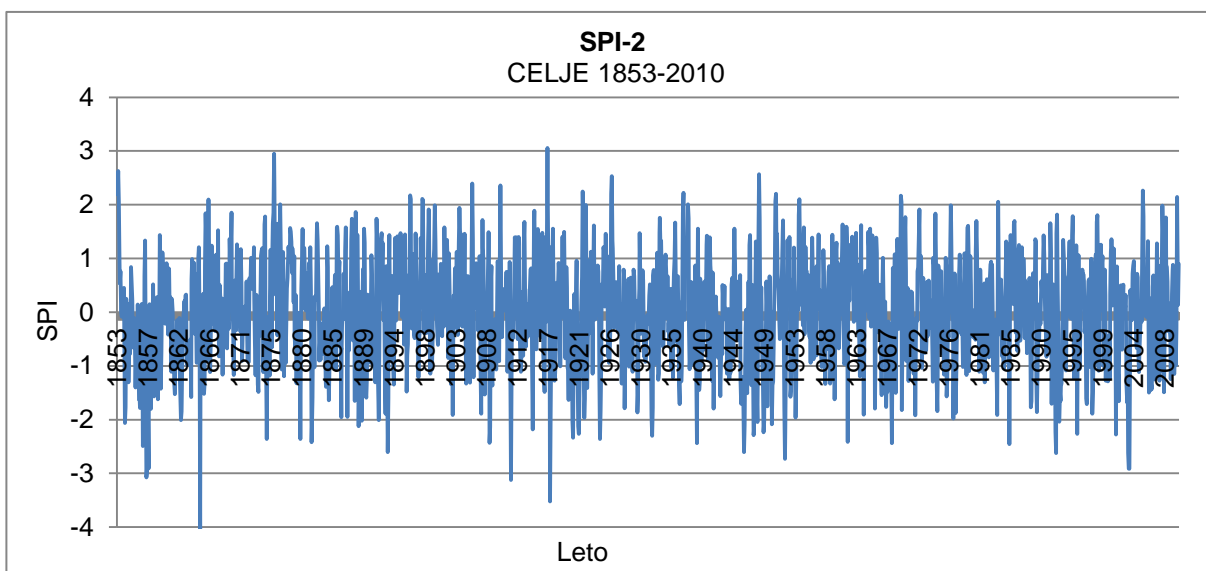
### 5.6.3 Meteorološka postaja Celje

Za meteorološko postajo Celje so, tako kot za postajo Ljubljana-Bežigrad, padavinski podatki na voljo od leta 1853 naprej. Izračunan je bil 158-letni niz podatkov (1853–2010). V celotnem opazovanem obdobju je bilo zabeleženih pet mesecev brez padavin, in sicer dva v januarju, dva v februarju in eden v novembru.

Tudi v Celju grafi kažejo na večjo variabilnost krajših časovnih skal z ekstremnejšimi vrednostmi in krajšimi sušnimi obdobji. Za prepoznavanje suše, še posebej hidrološke, je potrebno analizirati daljša časovna obdobja (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005), kot sta devet- in dvanajstmesečno.

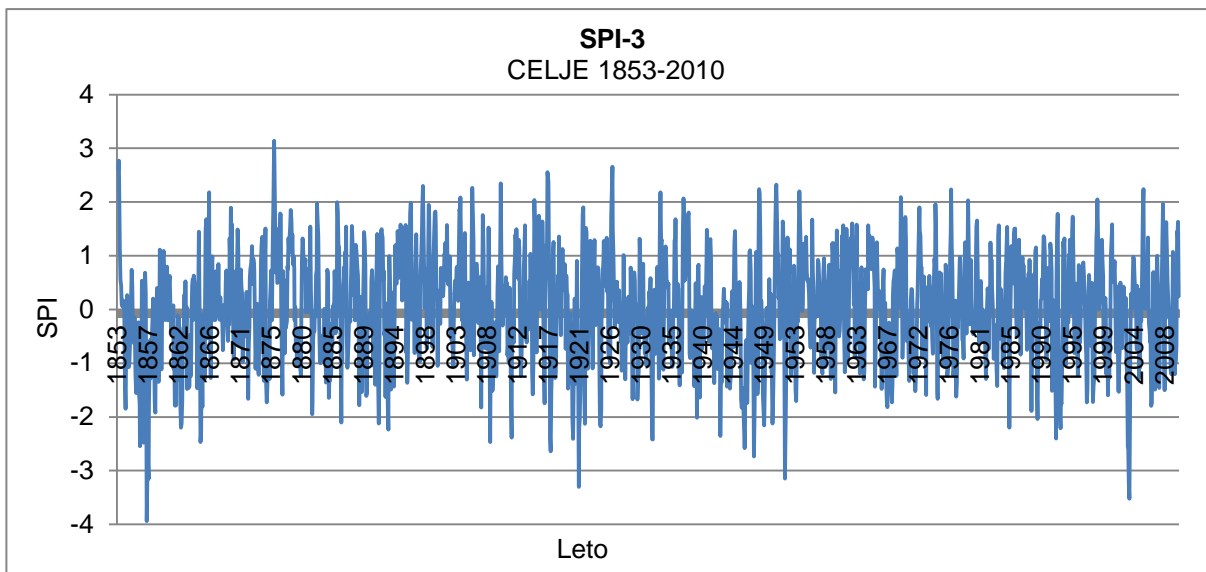


Slika 41: SPI-1 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)

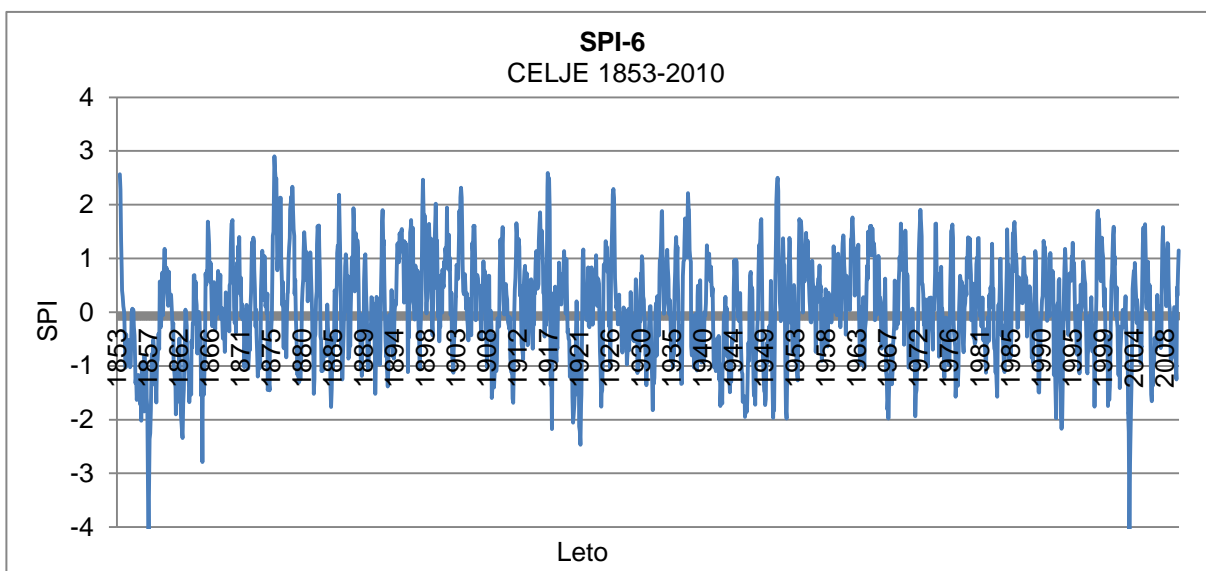


Slika 42: SPI-2 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)

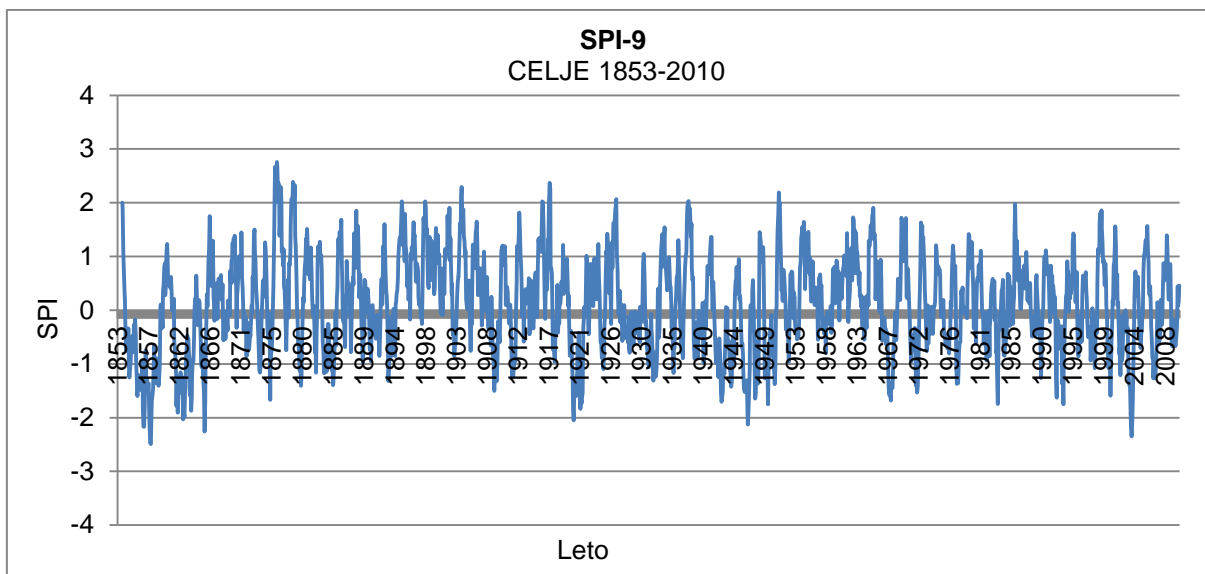




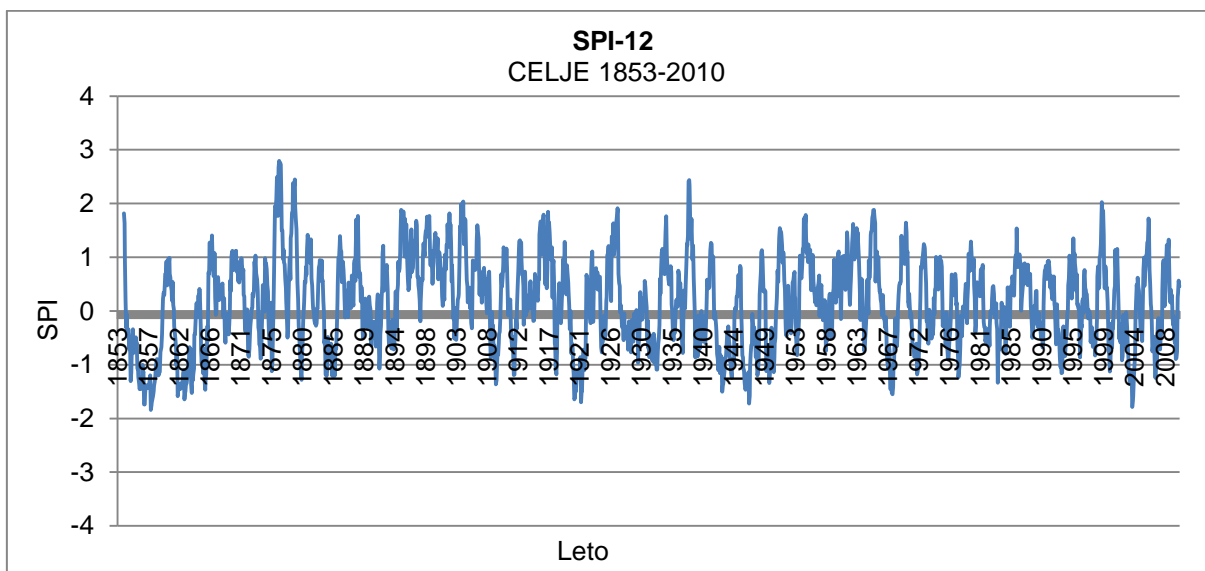
Slika 43: SPI-3 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)



Slika 44: SPI-6 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)



Slika 45: SPI-9 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)



Slika 46: SPI-12 za meteorološko postajo Celje (1853–2010)

Med leti 1854 in 1859 je na letni časovni skali opazen daljši negativen odklon. Vse mesece (april 1854 do avgust 1859) so izračunane vrednosti negativne, prvih osem mesecev je odklon v mejah normale, v novembru 1854 pa že doseže vrednosti zmerne suše, ki traja dva meseca. Negativni odklon se nekoliko zmanjša v naslednjem letu, vendar v letu 1856 ponovno sledi povečanje odklona in posledično celoletno obdobje zmerne suše (vrednost indeksa v vseh mesecih na letni časovni skali v letu 1856 dosega vrednosti zmerne suše). Sledita leti 1857 in 1858, kjer se jakost suše glede na vrednosti letnega indeksa gibljejo med zmerno in hudo sušo. Maksimalne vrednosti so dosežene v zimskih mesecih (december, januar, februar) ob koncu leta 1856 in 1857. Tudi indeksi na krajših časovnih skalah v tem obdobju zaznavajo odklon padavin od povprečja. SPI-3 kaže v poletnih mesecih juniju, juliju,

avgustu in septembru ekstremne vrednosti suše (-3.94, -3.14, -2.18 in -3.15). Na vseh krajših časovnih skalah izračuna je negativni odklon zaznaven mesec ali dva prej v primerjavi z dvanajstmesečnim indeksom.

Daljše sušno obdobje se ponovno pojavi v letu 1861 in vztraja do druge polovice leta 1864. Konico doseže v decembru leta 1861, negativne vrednosti (gibljejo se na meji med zmerno in hudo sušo) so prisotne skozi celotno leto 1862 in prvo polovico leta 1863. Ob koncu leta 1863 se v decembru in januarju vrednosti ponovno povečajo in postopoma normalizirajo v letu 1864. Kot je bilo že napisano, krajše časovne skale kažejo večjo spremenljivost, tudi v času daljšega odklona se na eno-, dvo- in tromesečni skali izmenjujejo negativne in pozitivne vrednosti, kar se pa ne odraža v izboljšanju razmer na daljši skali. Daljši (leto dni) negativni odklon je zaznan tudi v letih 1865 (maj) – 1866 (junij) ter letih 1883, 1884 in 1885. V vmesnem času je bilo izrazito mokro obdobje (maj) 1876 – julij 1877), kjer celo letni indeks doseže ekstremne vrednosti. Krajši negativni odkloni so pred letom 1900 zaznani predvsem v zimskih mesecih (november, december, januar in februar).

V letih 1909, 1911 in 1918 so prikazani krajši negativni odkloni, ki v konici dosežejo vrednosti zmerne suše in nato skokovito preidejo v mokre razmere. Daljše sušno obdobje s konstantnimi negativnimi vrednostmi je opazno v letih 1920 do 1922, 1924 in 1925, kateremu sledi namočeno obdobje. V letih 1921 in 1922 vrednosti letnega indeksa dosežejo meje zmerne suše. Pri vrednotenju ni pomembna le vrednost indeksa, torej ali je negativna ali pozitivna, temveč tudi obdobje vztrajanja negativnih vrednosti. Krajšim polletnim negativnim odklonom v letih 1924 (november) – 1925 (avgust), 1927–1928 ter 1931–1932 sledijo namočena obdobja, posebej v letih 1937 in 1938, kjer pozitivne vrednosti indeksa, ki identificirajo presežek padavin, dosežejo ekstremne vrednosti. Vmesna namočena obdobja imajo na daljši časovni skali vpliv na sušna obdobja, saj so vrednosti indeksov sicer negativne, vendar nikoli ne presežejo meje normalnih razmer. Sledi daljše sušno obdobje med leti 1941 in 1944, kjer se je pojavil konstanten negativen odklon z največjo jakostjo v decembru 1942 in januarju ter februarju leta 1943. Po enoletnem premoru se daljše sušno obdobje, ki traja med leti 1945 do 1948, zopet ponovi. Najhuje je bilo leta 1946, ko so praktično vsi meseci v letu negativni, pod vrednostjo letnega indeksa -1. Največja jakost je dosežena v spomladanskem mesecu maju, poletnih mesecih (junij, julij, avgust) ter zimskem mesecu decembru. Tudi krajše skale identificirajo leto 1946 kot hudo oz. ekstremno sušno.

Do leta 2010 na območju Celja sledi več sušnejših let, ko je opazen negativen odklon, ki pa je glede na klasifikacijo suše v mejah normale. Letni indeks (SPI-12) zaznava sledeča leta: 1950, 1967–1967, 1971, november 1975–november 1976, 1981, 1982, 1984, 1990, 1992,

1993, 1994, avgust 1997–april 1998 in v zadnjem desetletju leta 2000, 2002, 2007 in prva polovica leta 2010. Leto 2003 lahko glede na negativne vrednosti ravno tako uvrstimo med sušnejša leta, vendar z večjo intenzivnostjo sušnih razmer. Razmere so se v maju 2003 poslabšale, saj vrednost indeksa doseže mejo hude suše, ki se nadaljuje vse do konca leta, pri tem pa se vrednosti povečujejo, vendar ne dosežejo meje ekstremno suhih razmer.

V preglednici 10 so predstavljene dosežene najnižje vrednosti SPI na različnih časovnih skalah v obdobju 1853–2010 s pripadajočimi vsotami padlih padavin.

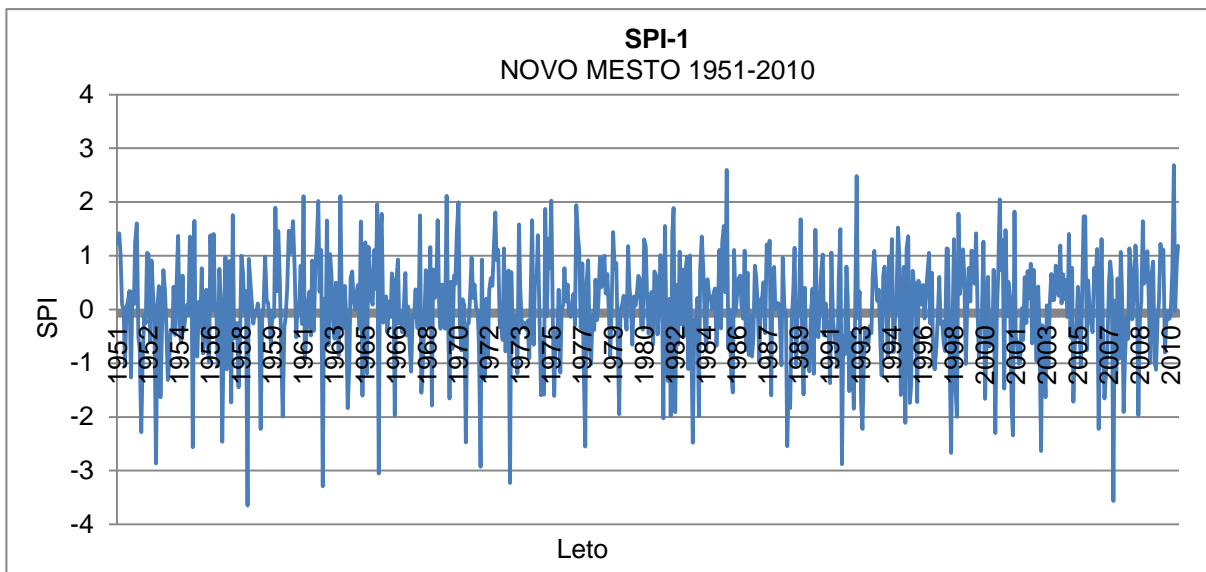
Preglednica 10: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1853–2010) na postaji Celje na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin

	Datum	Vrednost SPI	Vsota padavin (mm)
SPI-1	1965, oktober	-3.67	1
SPI-2	1965, maj	-4.06	22
SPI-3	1857, junij	-3.94	66
SPI-6	1857, september	-4.58	191
SPI-9	1857, december	-2.49	410
SPI-12	1857, december	-1.84	629

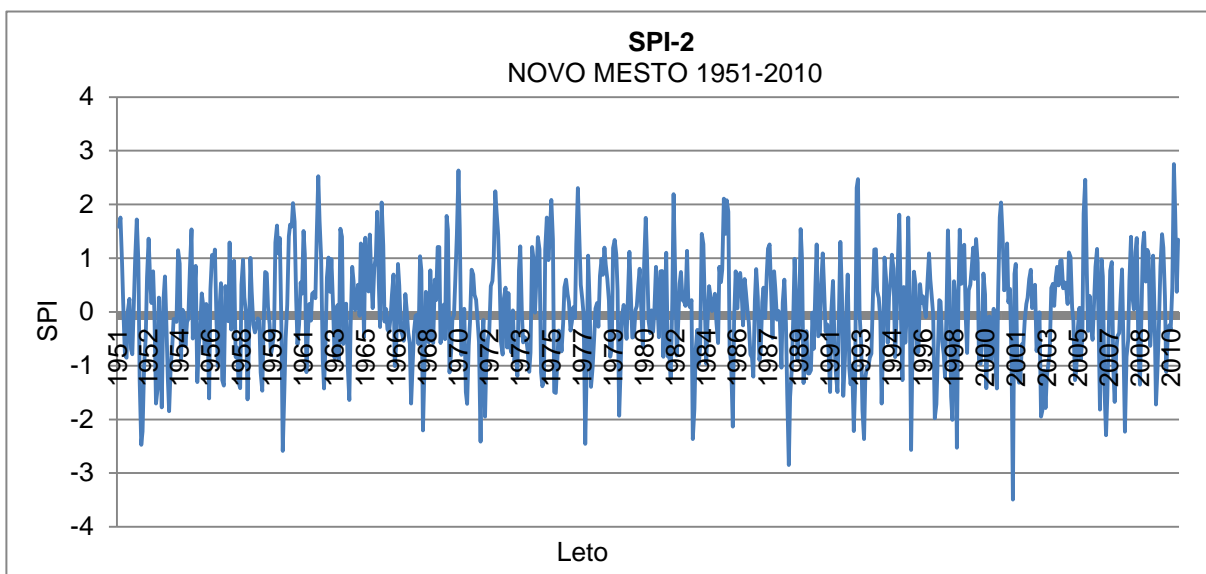
Na mesečni časovni skali je indeks dosegel najnižjo vrednost oktobra 1965, ko je v Celju padel le 1 mm padavin. Dvomesečna vsota za maj (vsota padavin, padlih v aprilu in maju 1965) je bila najmanjša v letu 1965, ko je v aprilu in maju padlo skupaj le 22 mm padavin. Trimesečna vsota padavin za junij (vsota padavin padlih v aprilu, maju in juniju) je bila najmanjša v letu 1857, ko je padlo v aprilu, maju in juniju 66 mm padavin. Dvanajstmesečna vsota padavin je dosegla najnižjo vrednost leta 1857, ko je od januarja 1957 do decembra istega leta padlo le 629 mm padavin. V Celju je leto 1857 na vseh časovnih skalah, z izjemo dvomesečnega obdobja, podrl vse rekorde.

#### 5.6.4 Meteorološka postaja Novo mesto

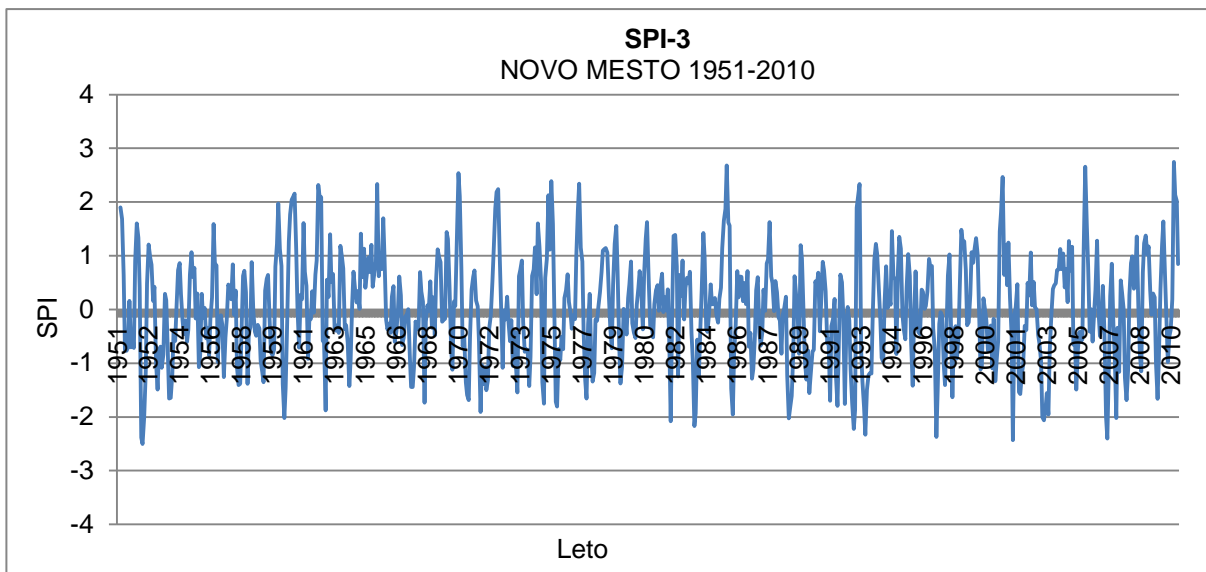
Za meteorološko postajo Novo mesto je v primerjavi z ostalimi izbranimi meteorološkimi postajami na razpolago precej krajši niz podatkov. Analiza preteklih sušnih dogodkov je bila narejena za obdobje med leti 1951 in 2010. Padavinski niz meteorološke postaje Novo mesto je dolg 60 let, kar še vedno zadostuje za konsistenten izračun indeksa SPI. Izračunane vrednosti standardiziranega padavinskega indeksa na različnih časovnih skalah so grafično prikazane na slikah 47, 48, 49, 50, 51 in 52.



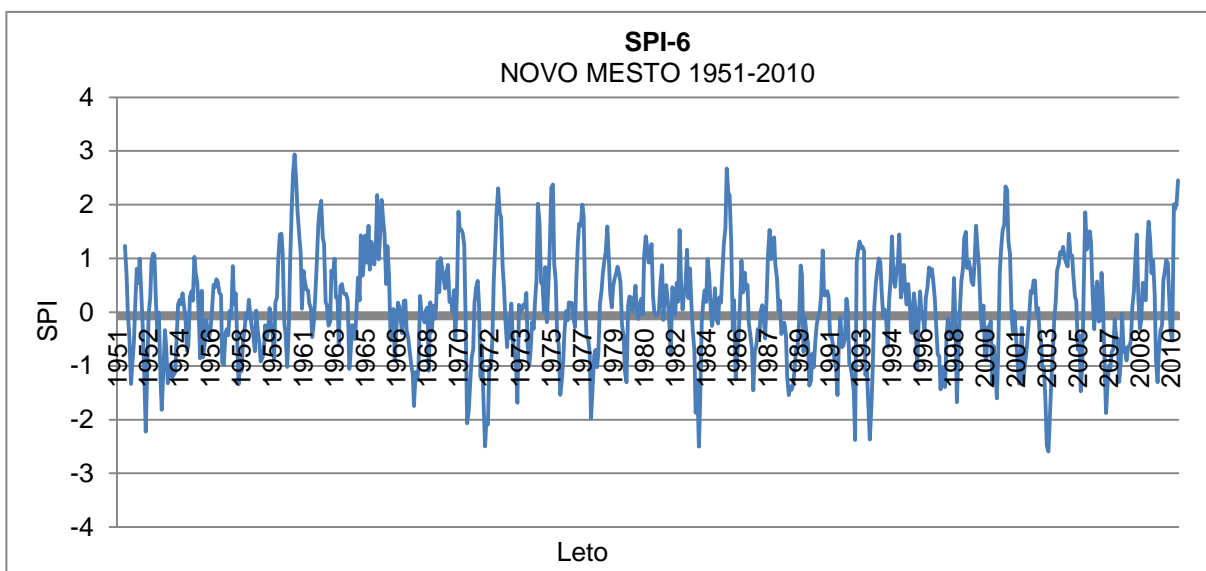
Slika 47: SPI-1 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)



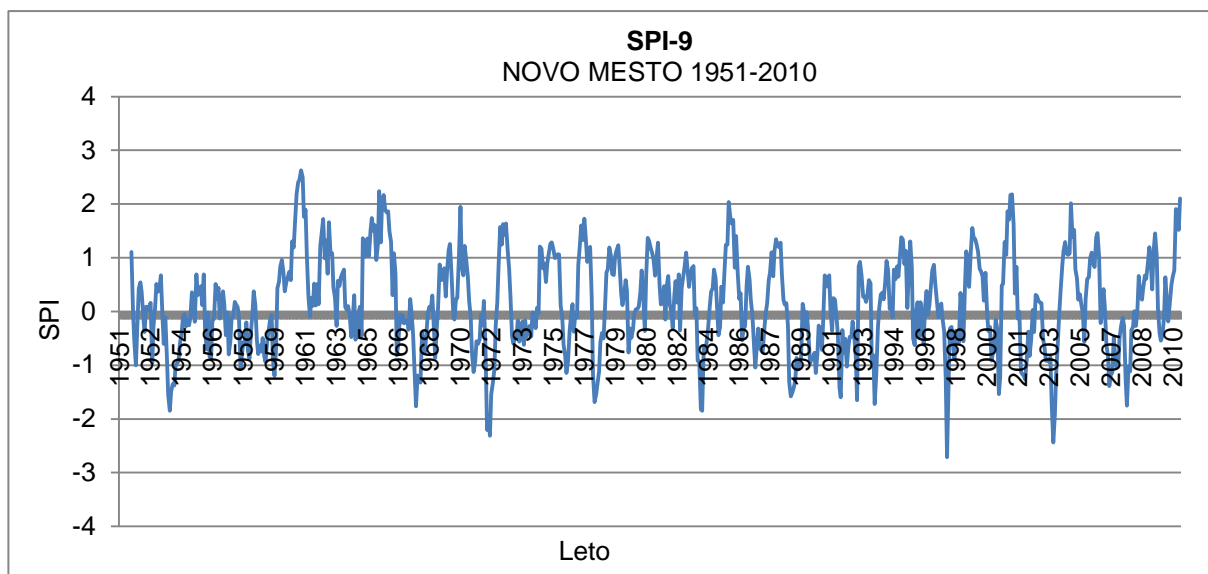
Slika 48: SPI-2 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)



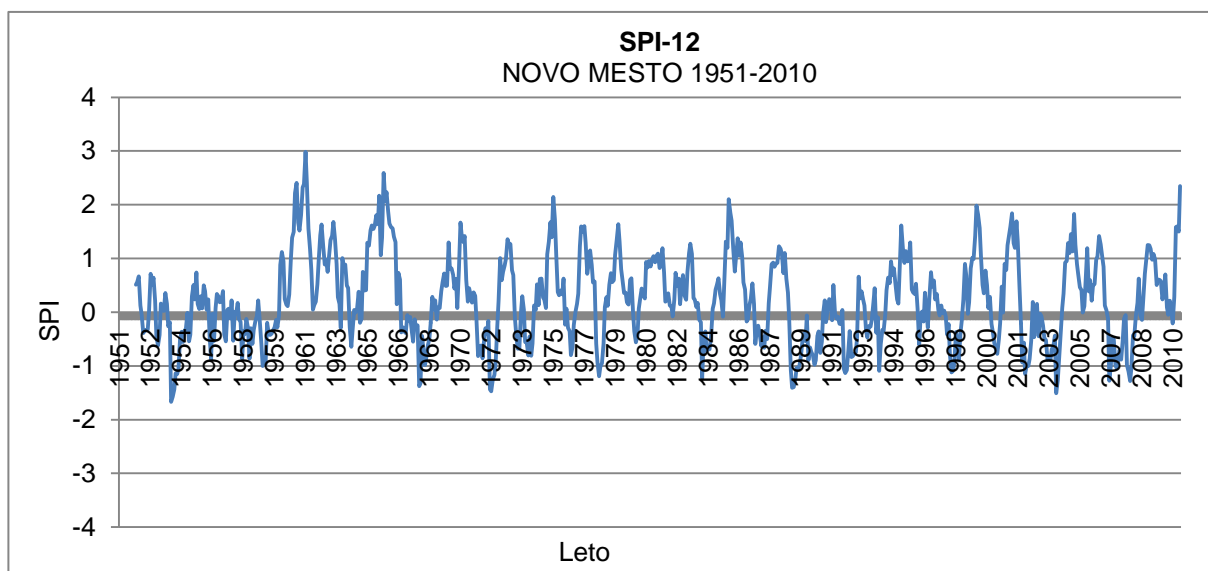
Slika 49: SPI-3 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)



Slika 50: SPI-6 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)



Slika 51: SPI-9 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)



Slika 52: SPI-12 za meteorološko postajo Novo mesto (1951–2010)

V Novem mestu na letni časovni skali ni opaznih ekstremno sušnih dogodkov. Vse konice se gibljejo v mejah zmerne ali hude suše. Na krajših časovnih skalah, še posebej na ena-, dvo-, tro- in šestmesečni je ekstremnih dogodkov več, večina dosega vrednosti pod -2.0.

Konec leta 1953 in v letu 1954 se pojavi negativen odklon, ki doseže najmanjšo negativno vrednost v zimskih mesecih (december, januar, februar in marec), ki identificira hudo sušo. V letih 1957, 1958 in 1959 sledi obdobje daljšega negativnega odklona, ki je sicer v mejah normalnega, vendar traja kar 28 mesecev. Krajše časovne skale (ena-, dvo-, tromesečna) tako dolgega niza negativnega indeksa ne zaznavajo, so pa mesečne vrednosti v nekaterih kritičnih mesecih negativne in večje, kar povečuje jakost suše. Na krajših časovnih skalah se

hitreje menjavajo sušna in mokra obdobja. Sledi namočeno obdobje, torej leta z večjim presežkom padavin, med leti 1961 in 1965. Viške padavin zaznajo tudi vse ostale časovne skale, trajanje obdobja pa zavisi od velikosti skale. Daljša ko je časovna skala, daljše je obdobje. Enako velja za sušna in mokra obdobja. S koncem leta 1966 se že pojavi negativen odklon, ki se nadaljuje v leto 1967 in 1968. Na letni časovni skali je primanjkljaj v mejah normalnega, trimesečna skala ravno tako zazna primanjkljaj padavin v avgustu, septembru in oktobru 1967 in decembru 1967 ter januarju 1968. Sušno obdobje se v primerjavi z letnim indeksom konča nekoliko prej. Tudi SPI-2 in SPI-1 dosežeta v mesecu avgustu in septembru 1967 minimalne vrednosti.

V Novem mestu so krajša obdobja (tro- do šestmesečna) negativnega odklona precej pogosta. Najdemo jih v letih 1971/1972 (zima), 1973 (maj–september), 1976 (maj–september), 1977/1978 (december–maj), 1983/1984 (oktober–junij), 1986/1987 (december–avgust), zima 1991/1992, 1993 (marec–julij), zima 1993/1994, 2000 (april–oktober).

Daljša obdobja (letna in večletna) primanjkljaja so pogostejša v zadnjih dveh desetletjih, začeni z letom 1988, kjer je zmerna suša dosegla zimo 1988/1989. Nato so se vrednosti primanjkljaja postopoma zmanjševala do normalnih razmer konec leta 1990. Obdobje daljšega primanjkljaja se ponovi v zimskih mesecih leta 1997/1998. Daljše obdobje nastopi tudi v letih 2002 in 2003. Minimalne vrednosti na letni časovni skali so bile dosežene konec leta 2003 (december). Na krajših časovnih skalah so najnižje vrednosti dosežene že v prvi polovici leta. SPI-1 tako doseže najnižje vrednosti v marcu, juniju in avgustu, SPI-2 med marcem in julijem, SPI-3 med aprilom in avgustom ter SPI-6 v juliju, avgustu in septembru. Vrednosti identificirajo ekstremno in hudo sušo. Variabilnost na krajših časovnih skalah je pomembna predvsem za kmetijski sektor in v tem primeru se minimalne vrednosti na krajših časovnih skalah pojavljajo v mesecih, ko je produktivnost rastlin največja (poletje). Tudi leti 2007 in 2008 spadata med obdobja z opaženim primanjkljajem padavin v primerjavi z dolgoletnim povprečjem. V letu 2007 je negativen odklon prisoten skozi vse leto in doseže minimalne vrednosti na letni časovni skali v zimskem obdobju 2007/2008.

V preglednici 11 so predstavljene dosežene najnižje vrednosti SPI na različnih časovnih skalah v obdobju 1951–2010 s pripadajočimi vsotami padlih padavin.



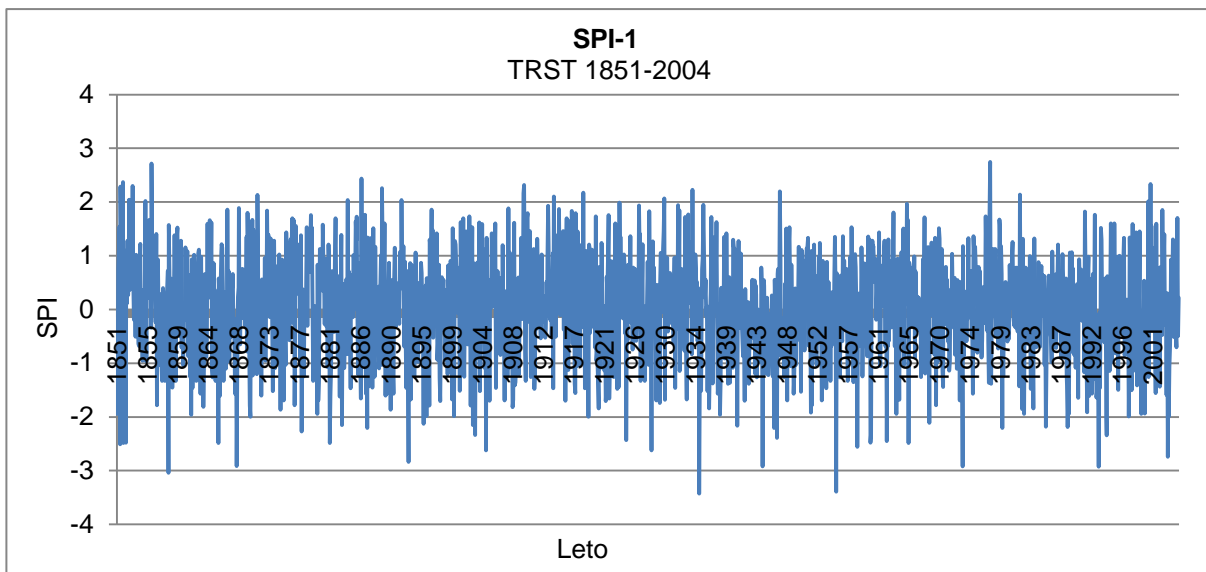
Preglednica 11: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1951–2010) na postaji Novo mesto na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin

	Datum	Vrednost SPI	Vsota padavin (mm)
SPI-1	1958, maj	-3.65	7
SPI-2	2001, avgust	-3.49	81
SPI-3	1952, junij	-2.50	171
SPI-6	2003, avgust	-2.59	406
SPI-9	1997, oktober	-2.71	738
SPI-12	1953, december	-1.67	1041

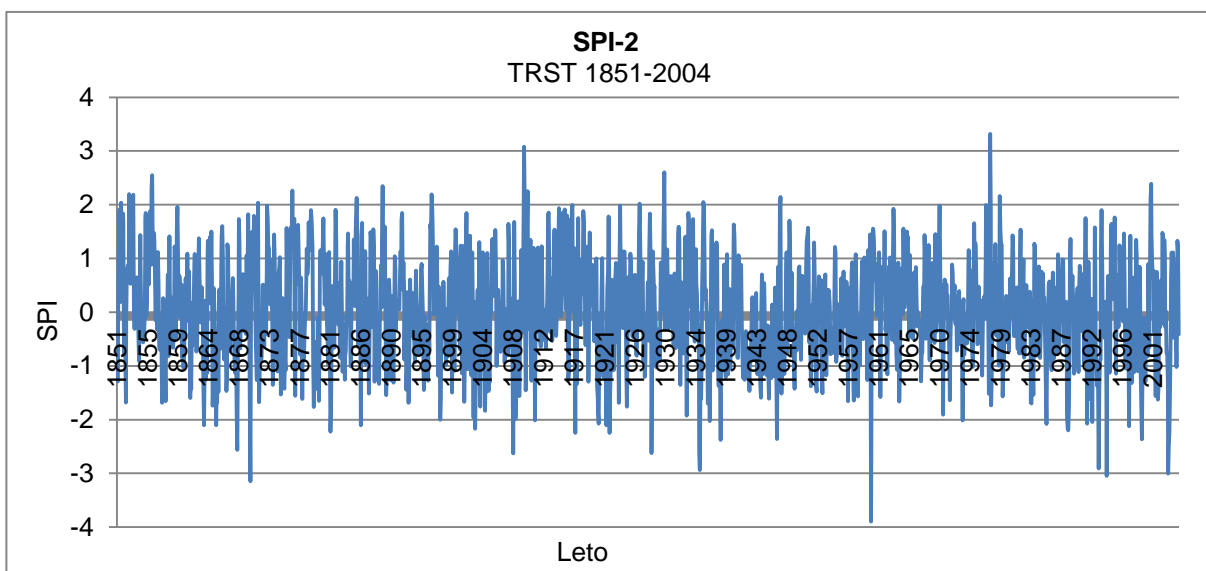
Na mesečni časovni skali je indeks dosegel najnižjo vrednost maja 1958, ko je v Novem mestu padlo le 7 mm padavin. Dvomesečna vsota za avgust (vsota padavin, padlih v juliju in avgustu 2001) je bila najmanjša v letu 2001, ko je v juliju in avgustu padlo skupaj le 22 mm padavin. Trimesečna vsota padavin za junij (vsota padavin padlih v aprilu, maju in juniju) je bila najmanjša v letu 1952, ko je padlo v aprilu, maju in juniju 171 mm padavin. Dvanajstmesečna vsota padavin je dosegla najnižjo vrednost leta 1953, ko je od januarja 1953 do decembra istega leta padlo 1041 mm padavin.

### 5.6.5 Meteorološka postaja Trst

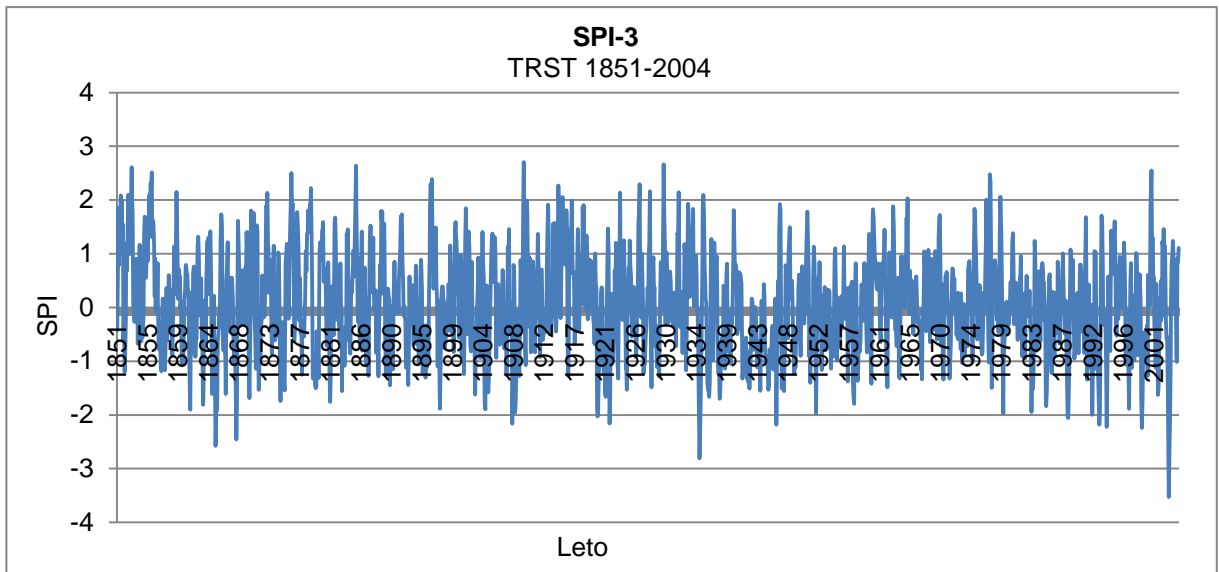
Meteorološka postaja Trst ima na voljo padavinske podatke, ki izmed izbranih postaj sežejo najdlje v zgodovino, in sicer v leto 1851. Podatki niso na voljo za celotno obdobje, kot pri ostalih slovenskih meteoroloških postajah, ampak le do leta 2004. Niz je tako dolg 154 let. Izračunane vrednosti indeksa SPI za meteorološko postajo Trst so na različnih časovnih skalah grafično prikazane na slikah 53, 54, 55, 56, 57 in 58.



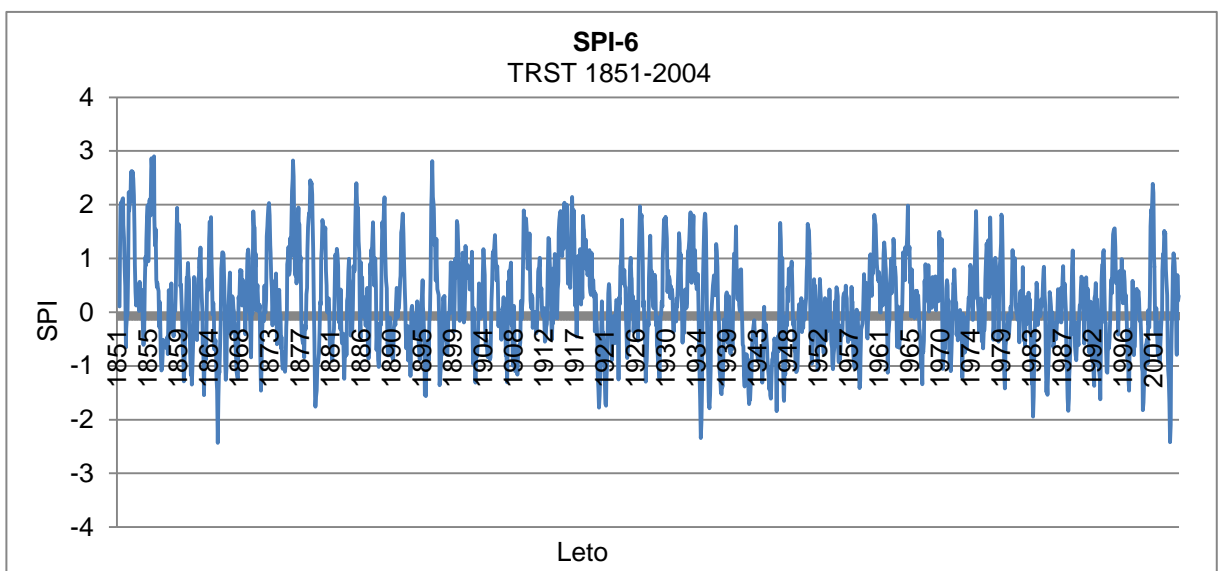
Slika 53: SPI-1 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)



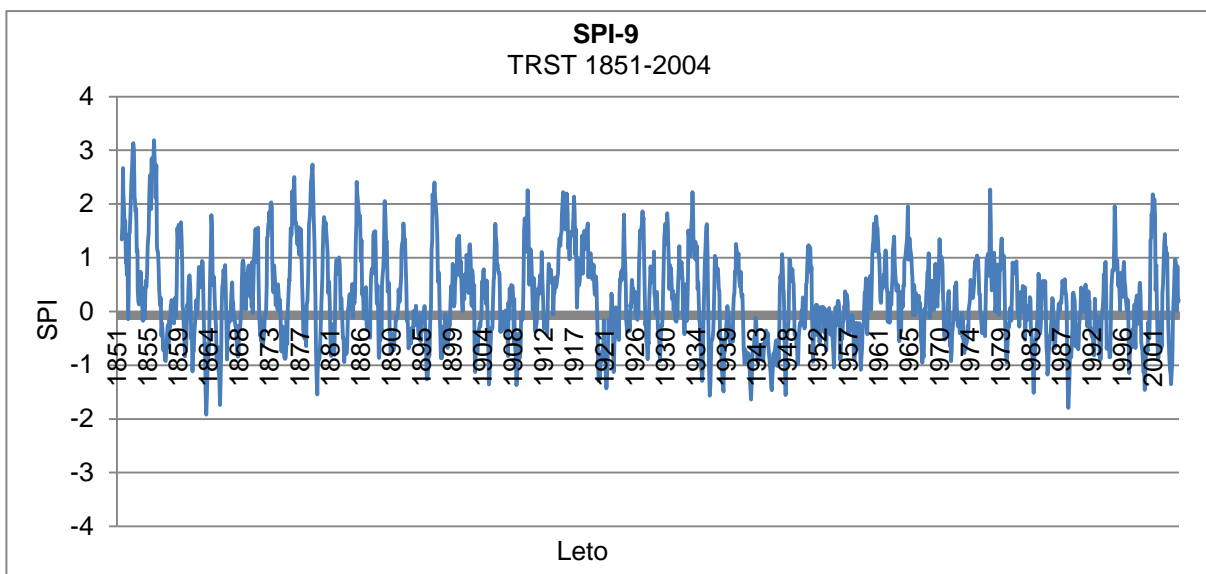
Slika 54: SPI-2 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)



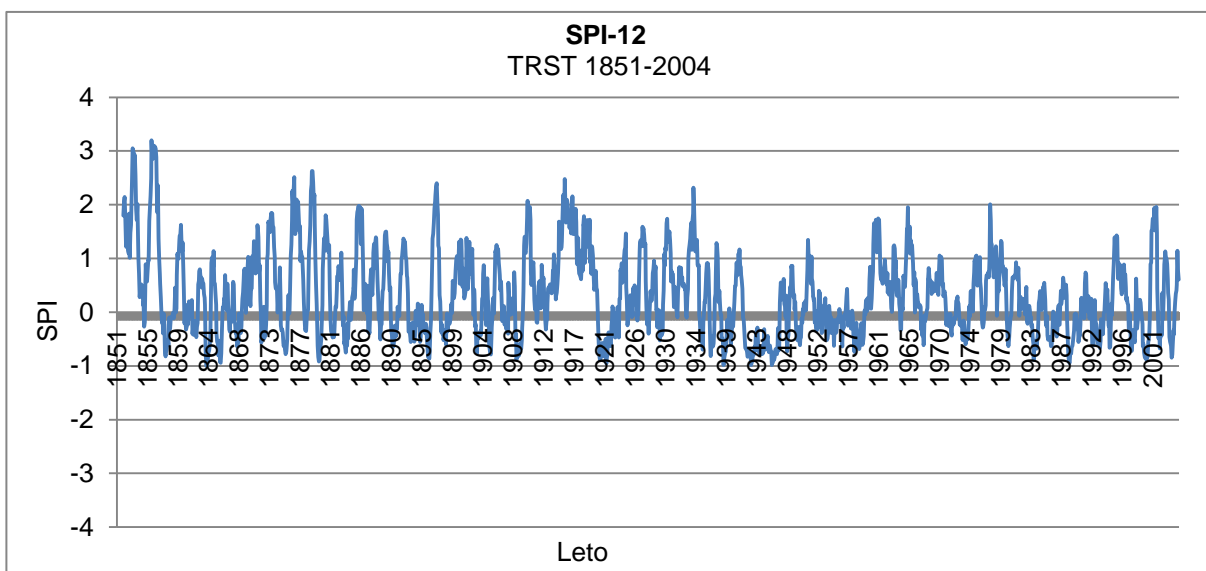
Slika 55: SPI-3 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)



Slika 56: SPI-6 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)



Slika 57: SPI-9 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)



Slika 58: SPI-12 za meteorološko postajo Trst (1851–2004)

Na grafu letne časovne skale (SPI-12) se vidi, da sušna obdobja ne dosegajo velike jakosti, saj je minimalna vrednost indeksa v celotnem analiziranem obdobju (1851–2004) enaka -1.01. Na krajših časovnih skalah, kjer je opazna večja spremenljivost indeksa, se število in jakost sušnih obdobjev poveča.

V začetku opazovanega obdobja je opazen velik presežek padavin, ki se meri v ekstremnih vrednostih. V drugi polovici leta 1857 se pojavi negativen odklon, ki traja do aprila 1859. Vrednosti ne presegajo meje normalnih razmer, največja stopnja primanjkljaja se pojavi v zimskih mesecih (december, januar, februar). Do leta 1900 se na letni časovni skali pojavi

več daljših obdobj z negativnim primanjkljajem, ki ne presegajo mej sprejemljivih primanjkljajev.

Ta obdobja so:

- 1863 (november)–1864 (avgust),
- 1865 (julij)–1866 (april),
- 1867 (april)–1867 (november),
- 1868 (januar)–1869 (februar),
- 1874 (oktober)–1876 (januar),
- 1880 (januar)–1880 (september),
- 1881 (december)–1882 (julij),
- 1883 (oktober)–1884 (september),
- 1888 (december)–1889 (maj),
- 1890 (oktober)–1891 (avgust),
- 1890 (oktober)–1891 (avgust),
- 1893 (april)–julij (1896) in
- 1897 (december)–(1899) avgust.

Med vsemi naštetimi obdobji se zvrstijo izrazito mokra obdobja, ki dosegajo ekstremne vrednosti, tako da je prvih petdeset analiziranih let predvsem izmenjava daljših ekstremno mokrih obdobj s krajšimi sušnejšimi obdobji, ki na letni ravni ostajajo v vrednostih do -1. Krajše časovne skale, vključno s šestmesečno, med posameznimi naštetimi obdobji kažejo na padavinske primanjkljaje krajšega, a bolj intenzivnega značaja. Kar pomeni, da daljša časovna skala izračuna indeksa nujno ne prepozna vseh negativnih odklonov na krajši časovni skali.

Na podoben način se nadaljuje tudi v dvajsetem stoletju, z izrazitim menjavanjem daljših namočenih obdobj in sušnih obdobj. Daljši negativni odklon se kaže v letih 1920–1922, ki se nadaljuje v del leta 1923. Odklon je na letni časovni skali v mejah normale. Na krajših časovnih skalah zavzame manjše ekstremnejše negativne vrednosti. Tako SPI-2, SPI-3 kot SPI-6 kažejo na najbolj sušne mesece v tem obdobju, na oktober, november in december ter poletne mesece junij, julij in avgust. Naslednje daljše večletne sušne razmere se pojavijo med leti 1941 in 1947, z najnižjimi vrednostmi v letu 1946. Negativne vrednosti do leta 1944 niso konstantno negativne, kar pa se zgodi po letu 1944. V petdesetih letih so se obdobja negativnega odklona nadaljevala v letih 1957, 1958 in 1959, v šestdesetih leta 1968 in v sedemdesetih v letih 1971, 1972 in 1973, v osemdesetih pa v letih 1985, 1986, 1988 in 1989.

V zadnjih analiziranih letih izstopa leto 2003, ki ga z ekstremnimi vrednostmi zaznavajo vse skale krajšega trajanja. Ekstremne vrednosti so pri vseh časovnih skalah krajšega trajanja dosežene v poletnih in jesenskih mesecih, začenši v februarju 2003. Tudi obdobje od konca leta 1997 pa vse tja do začetka leta 2001 predstavlja sušno obdobje, kjer je padla manjša količina od pričakovane vrednosti. Leta 2001 vrednost indeksa na vseh skalah naraste.

V preglednici 12 so predstavljene dosežene najnižje vrednosti SPI na različnih časovnih skalah v obdobju 1851–2004 s pripadajočimi vsotami padlih padavin.

Preglednica 12: Najnižje dosežene vrednosti SPI (1851–2010) na postaji Trst na različnih časovnih skalah s pripadajočimi vsotami padlih padavin

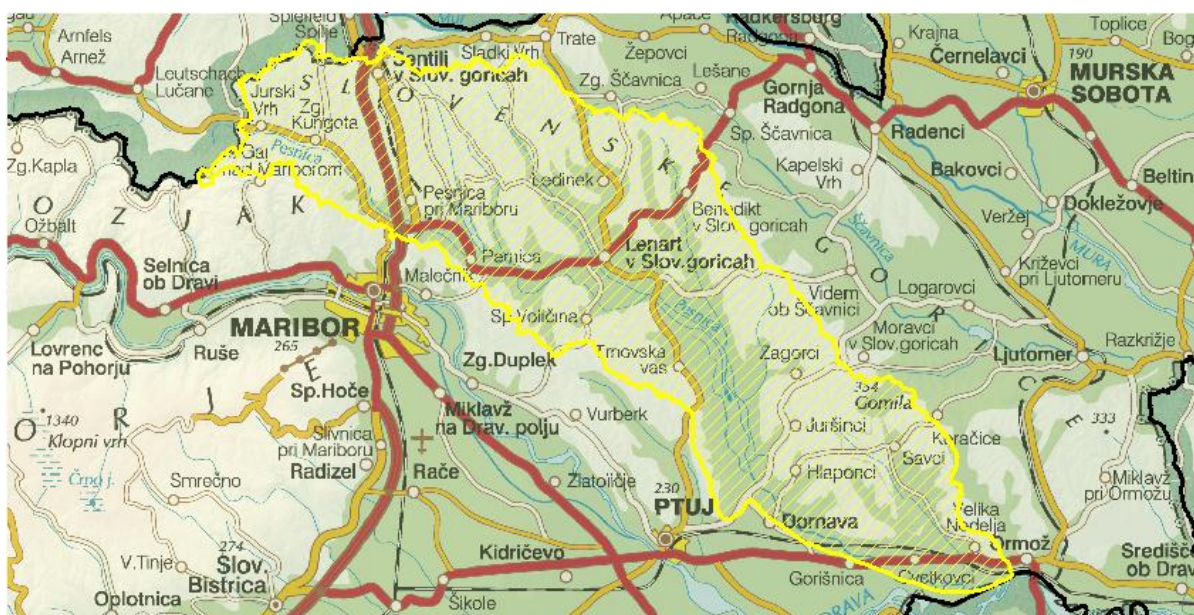
	Datum	Vrednost SPI	Vsota padavin (mm)
SPI-1	1935, junij	-3.42	6
SPI-2	1960, maj	-3.90	21
SPI-3	2003, julij	-3.53	55
SPI-6	1865, september	-2.43	221
SPI-9	1863, december	-1.92	403
SPI-12	1864, januar	-1.01	519

Na mesečni časovni skali je indeks dosegel najnižjo vrednost junija 1935, ko je v Trstu padlo le 6 mm padavin. Dvomesечna vsota za maj (vsota padavin, padlih v aprilu in maju 1960) je bila najmanjša v letu 1960, ko je v aprilu in maju padlo skupaj le 21 mm padavin. Trimesečna vsota padavin za julij (vsota padavin padlih v maju, juniju in juliju) je bila najmanjša v letu 2003, ko je padlo v maju, juniju in juliju 55 mm padavin. Dvanajstmesečna vsota padavin je dosegla najnižjo vrednost leta 1864, ko je od februarja 1863 do januarja naslednjega leta padlo 519 mm padavin.

## 6 IZRAČUN STANDARDIZIRANEGA PRETOKA

### 6.1 Opis porečja reke Pesnice

Pesnica je 79 km dolga reka, ki izvira v bližini državne meje z Avstrijo. Teče skozi gričevnat svet Kozjaka in Slovenskih goric, ki sestojita iz enotne geološke podlage terciarnih usedlin peskov, gline, ilovice in laporja (Nedoh, 2008). Na Ptujskem polju se pred Ormožem izliva v reko Dravo.



Slika 59: Hidrografsko območje reke Pesnice (Atlas okolja, 2012)

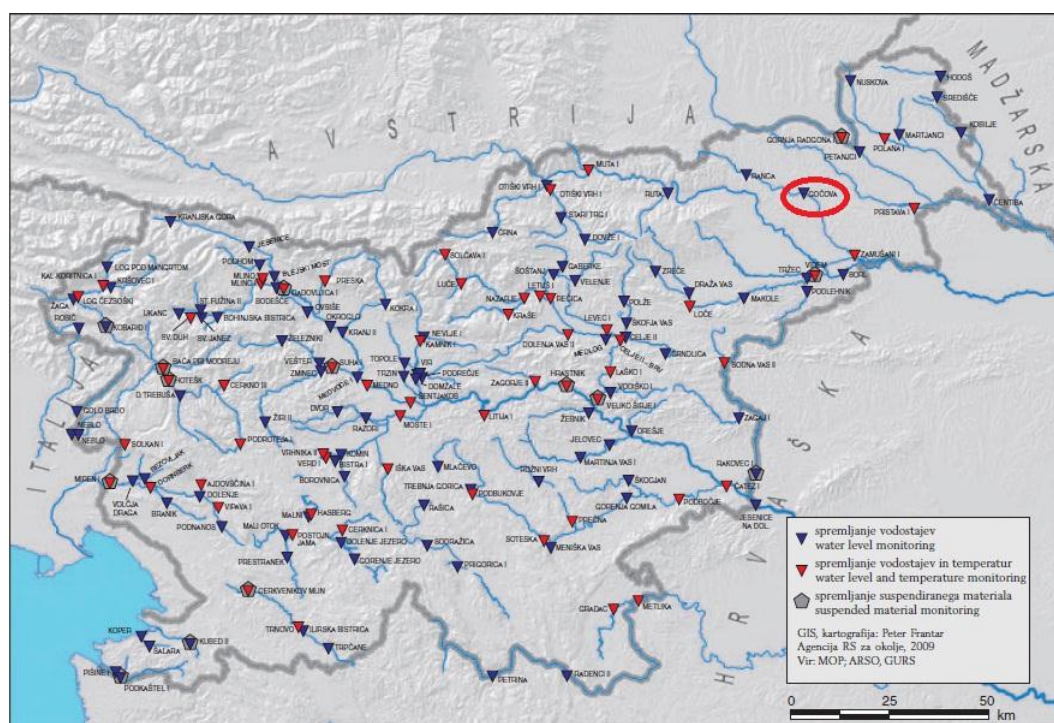
Pesnica je tipična panonska reka. Njeno povodje je nesimetrično oblikovano, s številnimi pritoki, kjer so levi pritoki veliko daljši od desnih. Rečni režim je dežno–snežni. Primarni višek vode je aprila, najkasneje se lahko pojavi marca ali celo maja. Vzrok je velika količina padavin in taljenje snega, vendar je sneg drugotnega pomena. Sekundarni višek pa se pojavi novembra, izjemoma oktobra ali decembra. Primarni nižek nastopi poleti, v mesecu avgustu ali redkeje v septembru. Sekundarni nižek nastopi pozimi, vendar ne traja dolgo. Za reko Pesnico je značilen poseben tip dežno–snežnega režima, ki mu pravimo kontinentalni tip (Kolbezen, 1998). To pomeni, da je sekundarni višek manj izrazit, a se poletni nizki pretoki iz avgusta pogosto zavlečejo v september.

V zgornjem toku reke je njena dolina vlažna in zaradi pogostih poplav marsikje zamočvirjena. Srednji tok se začne pod Spodnjo Kungoto, dolg je 24 km in ima zelo razvejano porečje, ki daje reki polovico vodne količine. Skoraj ves dotok prispevajo levi pritoki, med njimi zlasti Globovnica, Velka in Drvanja. Pesnica je v svojem srednjem toku že čisto nižinska reka in je

v dolgotrajnem procesu akumulacije odložila velike količine blata ter peska. Te sedimente domačini imenujejo na kratko "pesek", po katerih naj bi bila Pesnica dobila tudi svoje ime. Ker je vsa dolina Pesnice za vodo nepropustna in ni sposobna vpijati in zadrževati večjih količin, je reka ob visokih vodah tudi do 4-krat letno poplavljala, prav tako je menjavala tok in prestavljala strugo. Naravna poplavnost je bila zmanjšana z regulacijo struge in umetnimi vodnimi zadrževalniki na Pesnici in njenih pritokih. Tam se zbira večja količina vode, ki je sama regulirana struga ni zmožna sprejeti (Nedoh, 2008).

Večino dolinskih tal tvori glina, ki je prekomerno vlažna. Tla so slabo prezračena, vedno hladna, zbita in težka za obdelavo. V sušni dobi se razsušijo in globoko razpokajo, pozimi in pomladi so razmočena in lepljiva, pri nizkih temperaturah pa zmrzujejo. V tleh se kopičijo huminske kisline (Nedoh, 2008).

Pesnica ima največji pretok v padavinskih obdobjih, marca in novembra, najnižji pretok pa v sušnih obdobjih, večinoma avgusta in septembra, tako v sušnih poletnih mesecih obstaja velika nevarnost presahnitev struge in njenih pritokov.



Slika 60: Vodomerne postaja Gočova (Hidrološki letopis Slovenije, 2006)

Za reko Pesnico (vodomerne postaja Gočova) smo za obdobje 1970–2009 izračunali standardizirane pretoke in jih nato primerjali z indeksom SPI na vseh izbranih časovnih skalah.



## **7 ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV**

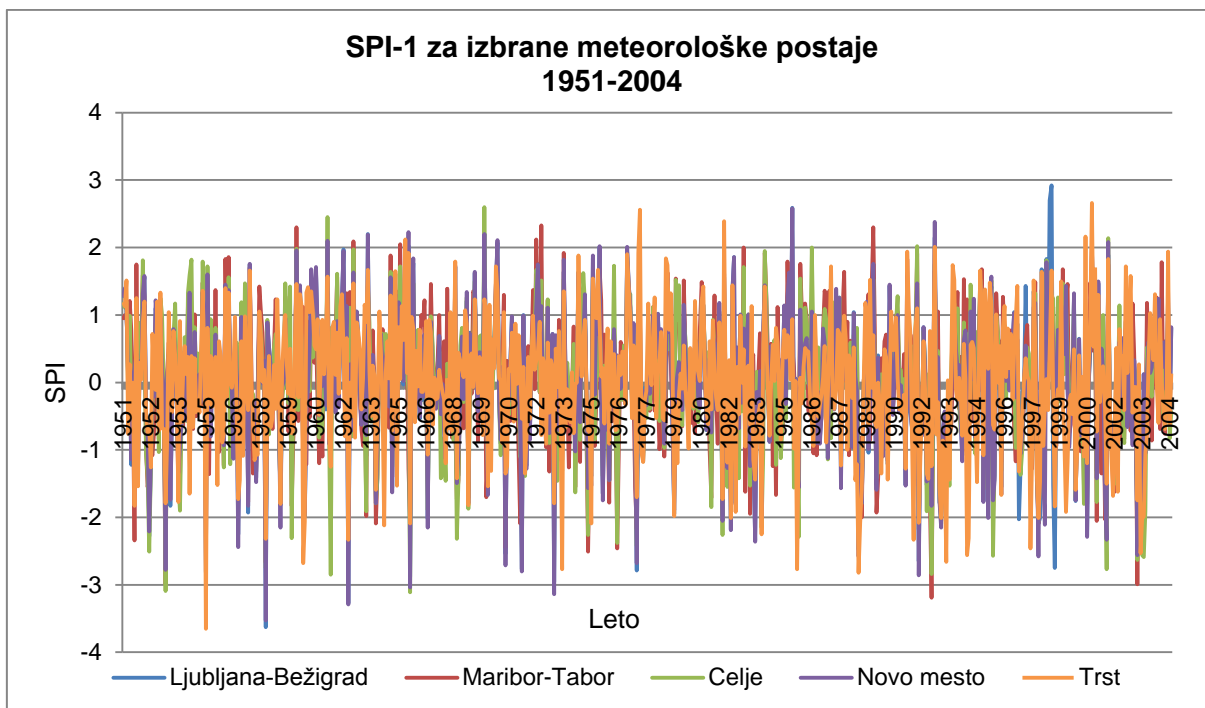
### **7.1 Standardiziran padavinski indeks (SPI) za izbrane meteorološke postaje za obdobje 1951–2004**

V diplomskem delu smo izračunali standardiziran padavinski indeks (SPI) s podatki mesečnih padavin petih meteoroloških postaj (Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst). Izbrane lokacije meteoroloških postaj predstavljajo geografsko in podnebno raznolikost slovenskega ozemlja. Za vsako izmed postaj smo za njen najdaljši dostopni pretekli padavinski niz izračunali SPI na različnih časovnih skalah, in sicer ena-, dve-, tri-, šest-, devet- in dvanajstmesečni.

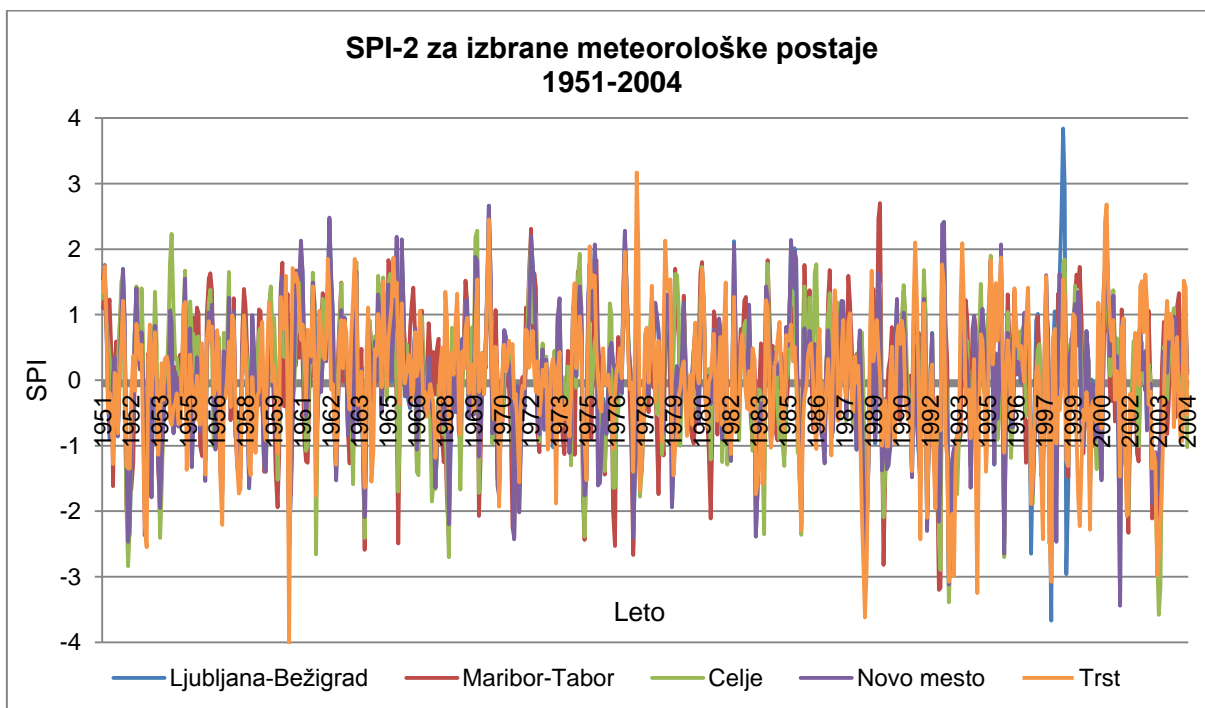
Za primerjavo vrednosti indeksa med meteorološkimi postajami smo uporabili presečno obdobje, ki traja med leti 1951 in 2004. Presečno obdobje je določeno na podlagi dostopnosti zveznih mesečnih padavinskih podatkov za vse izbrane meteorološke postaje.

Vrednosti indeksa za vsako časovno skalo in izbrano presečno obdobje sem izračunala s pomočjo programa NDMC (Program to Calculate Standardized Precipitation Index, 2012). Pred izračunom je bilo potrebno preoblikovati vhodno datoteko, ki je tokrat vključevala manjši mesečni padavinski niz podatkov. S spremembo trajanja obdobja se lahko parametri izbrane porazdelitve in posledično tudi vrednosti indeksa znatno spremenijo.

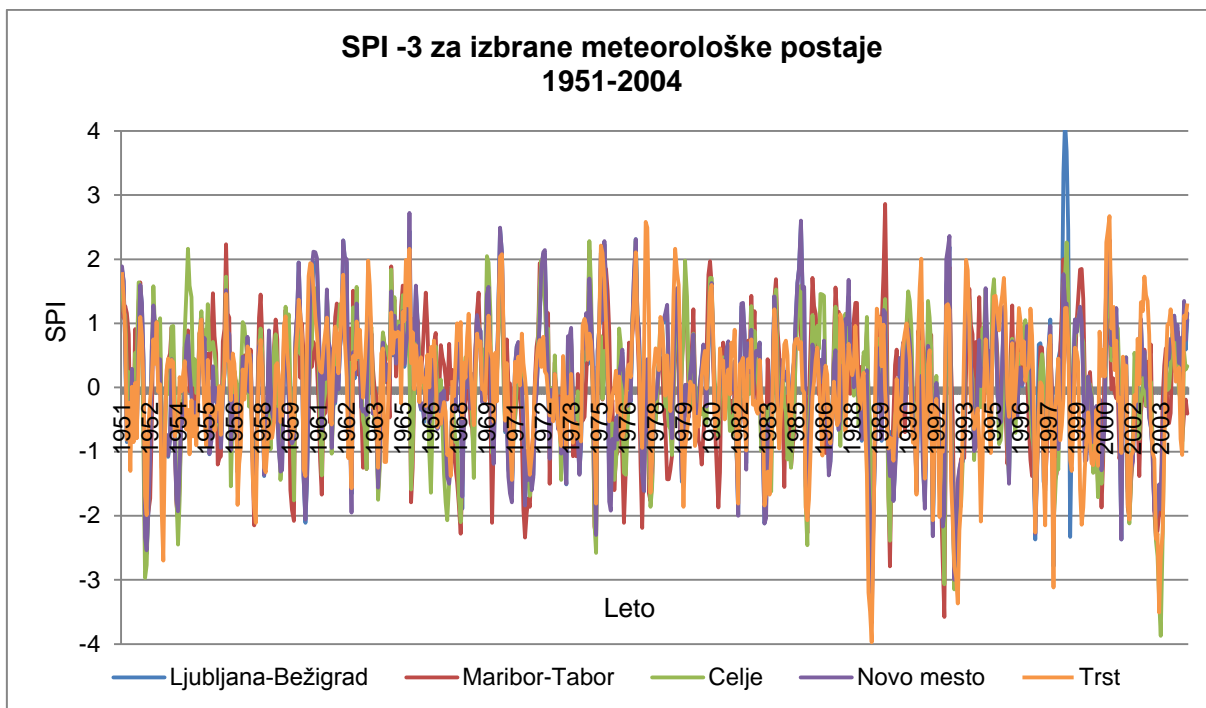
Na slikah 61, 62, 63, 64, 65 in 66 so prikazane vrednosti indeksa za vsako časovno skalo izračuna posebej.



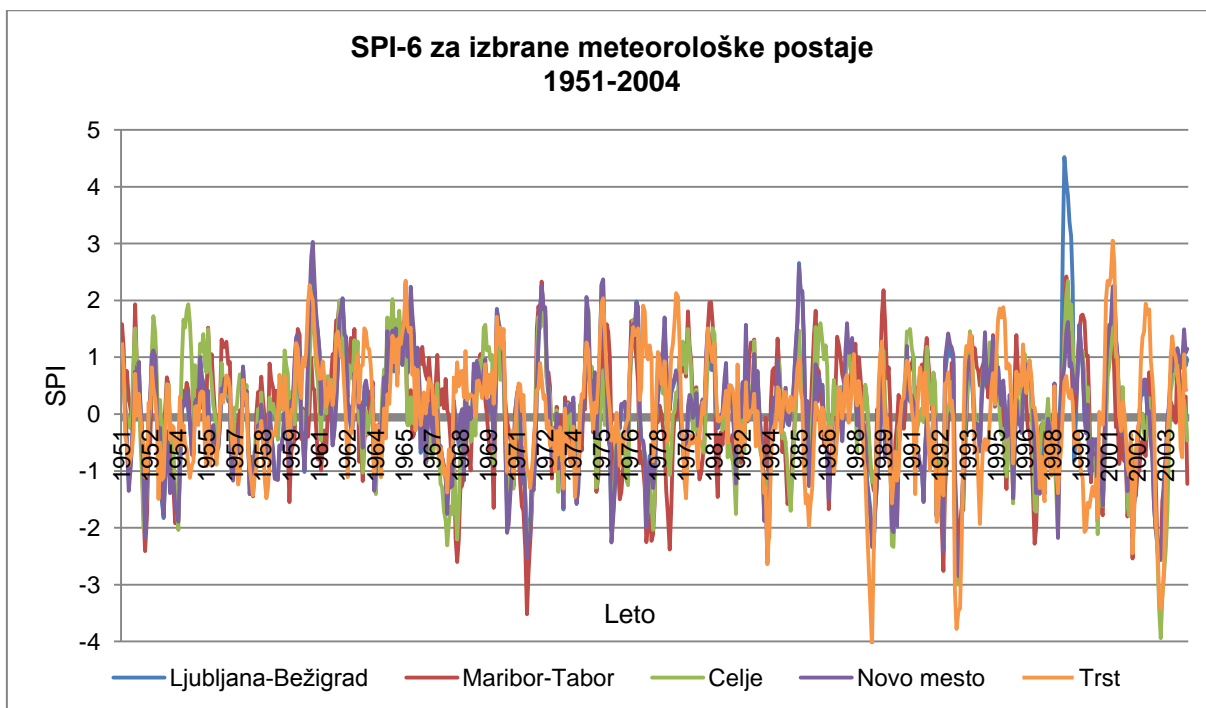
Slika 61: Vrednosti SPI-1 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje



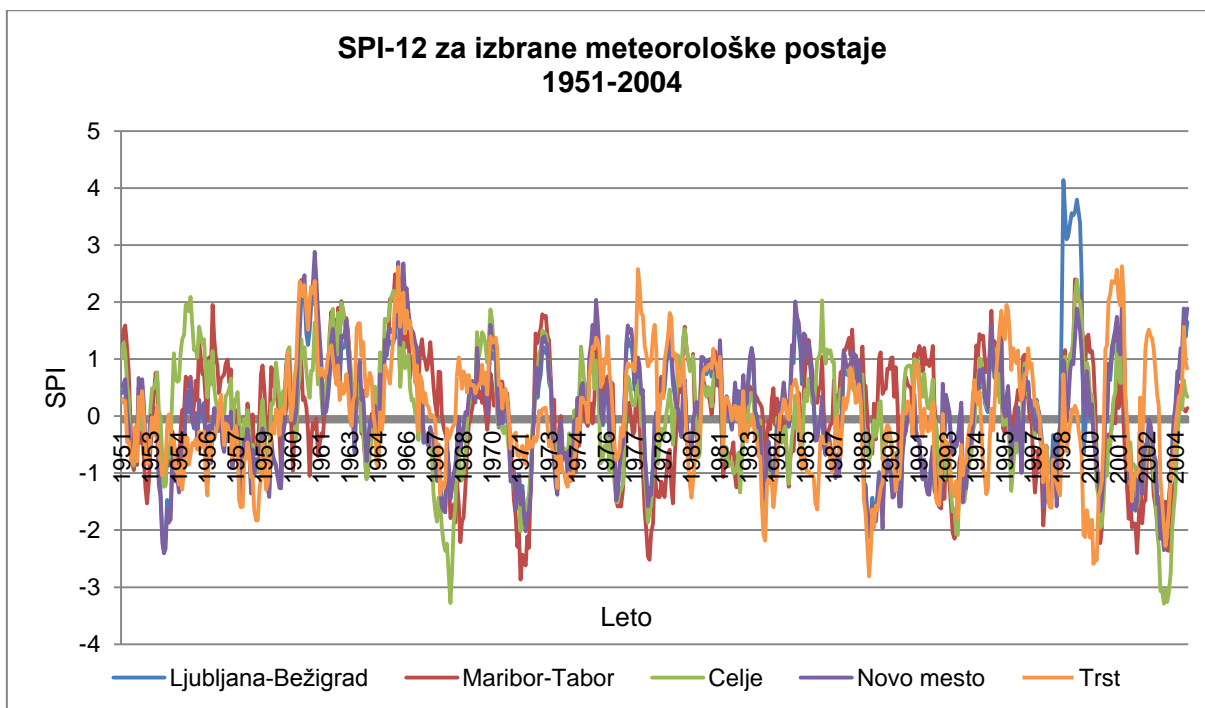
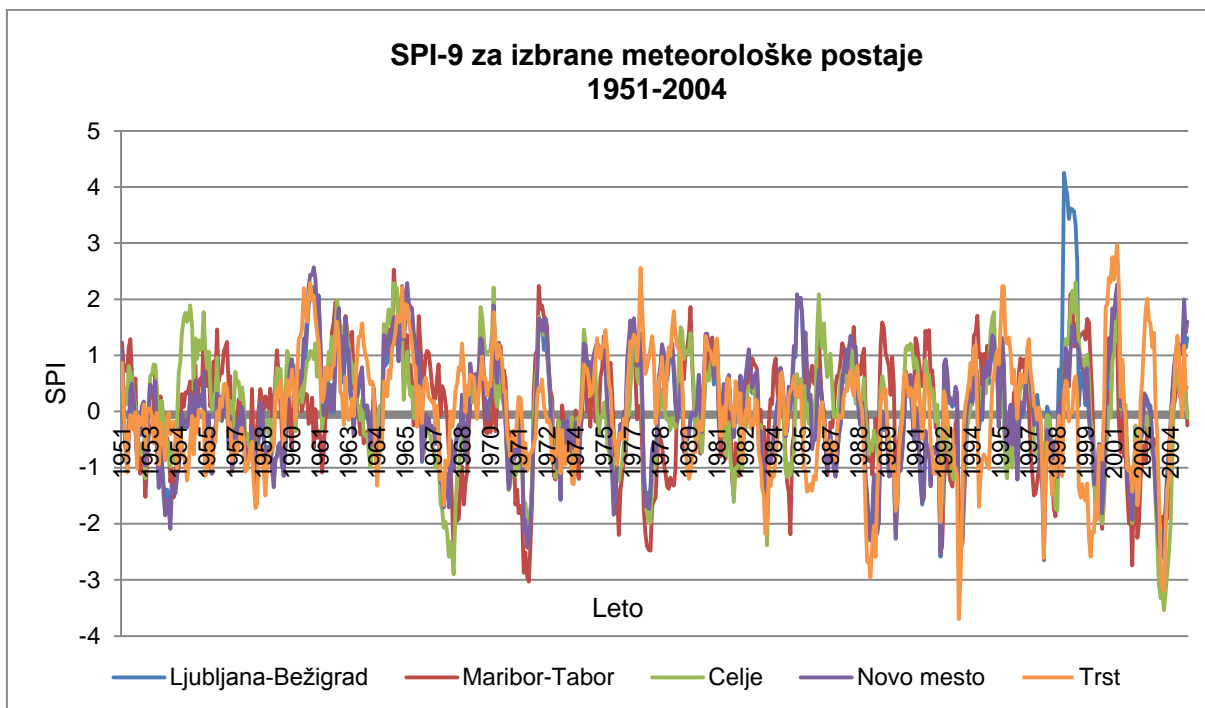
Slika 62: Vrednosti SPI-2 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje



Slika 63: Vrednosti SPI-3 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje



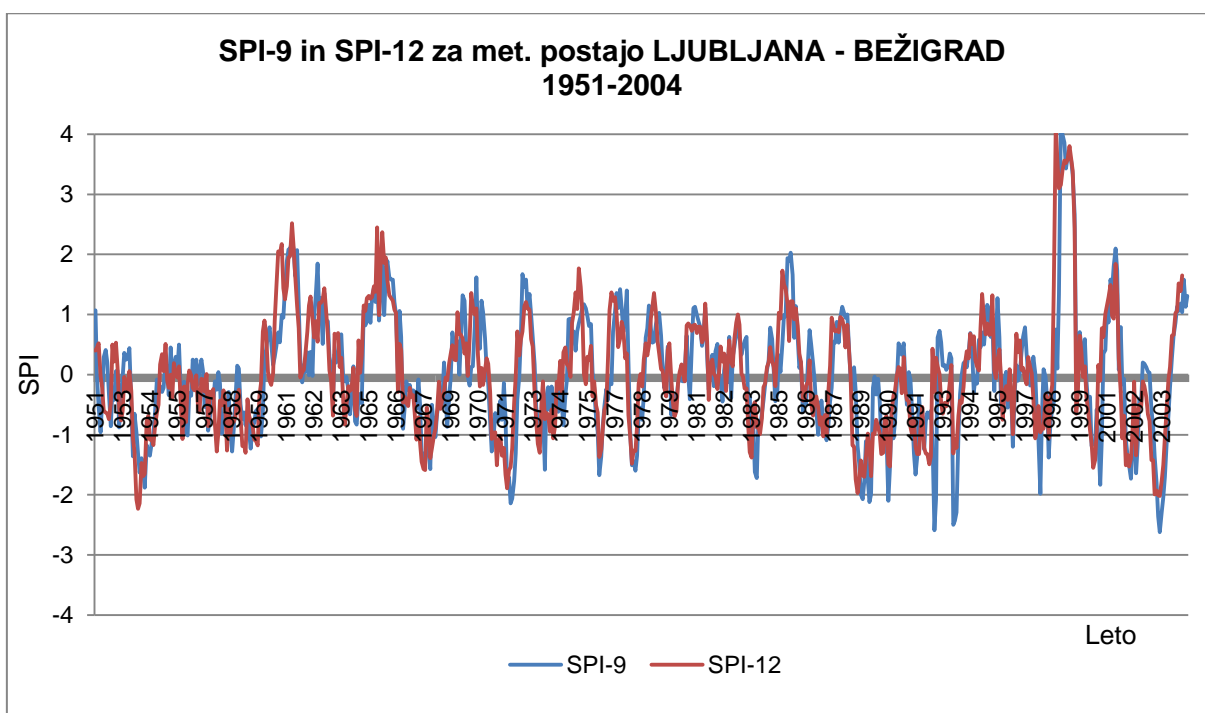
Slika 64: Vrednosti SPI-6 za obdobje 1951–2004 in izbrane meteorološke postaje



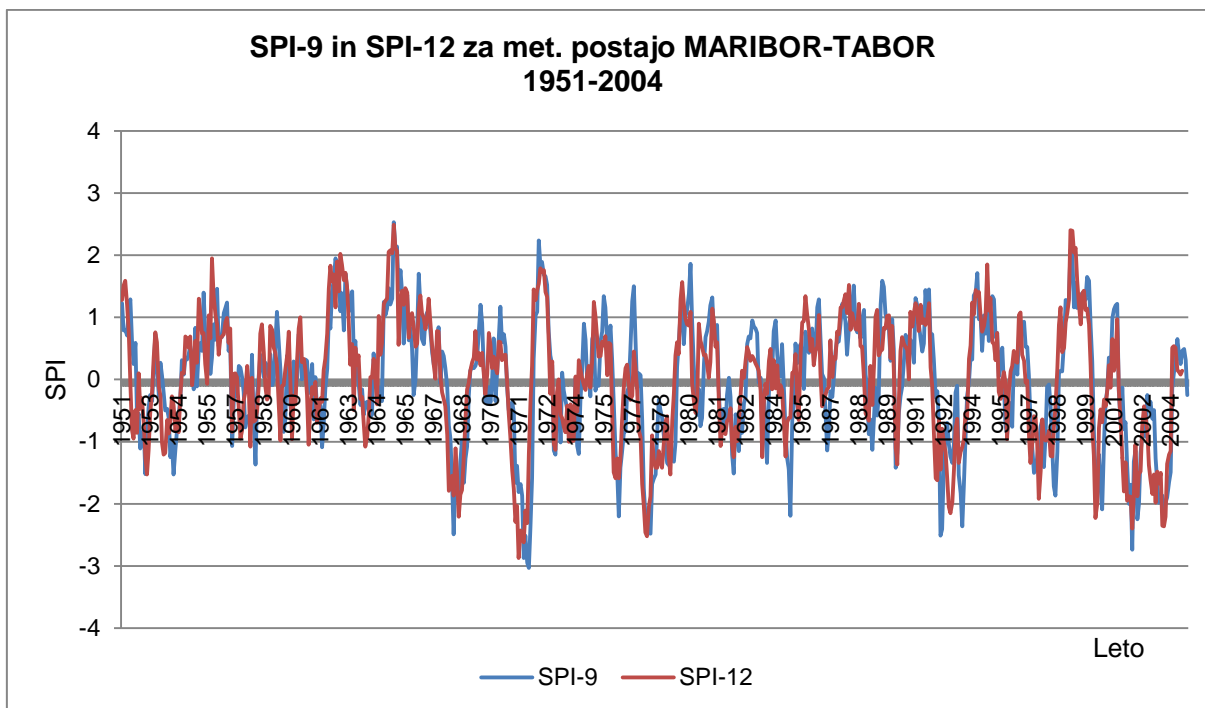
Kot je bilo prikazano že na grafih pri izračunih indeksa za posamezna območja meteoroloških postaj, indeks na krajših časovnih skalah kaže večjo variabilnost in krajša sušna obdobja. Na eno-, dvo- in tromesečni skali so ekstremne sušne vrednosti za vse meteorološke postaje časovno usklajene. Konice so v večini dosežene v enakih terminih, seveda se jakost sušnih dogodkov razlikuje med lokacijami. Na ostalih, daljših časovnih

skalah (vključena je tudi šestmesečna), vrednosti za vse postaje nakazujejo enako razporeditev in sosledje glavnih suhih in mokrih obdobj, kateremu sledijo vse meteorološke postaje. Do večje razlike pride v letu 2002, kjer izstopa Trst z izrazito mokrim letom, na vseh ostalih meteoroloških postajah pa se že nakazujejo ekstremne sušne razmere, ki so v letu 2003 prizadele vse izbrane lokacije.

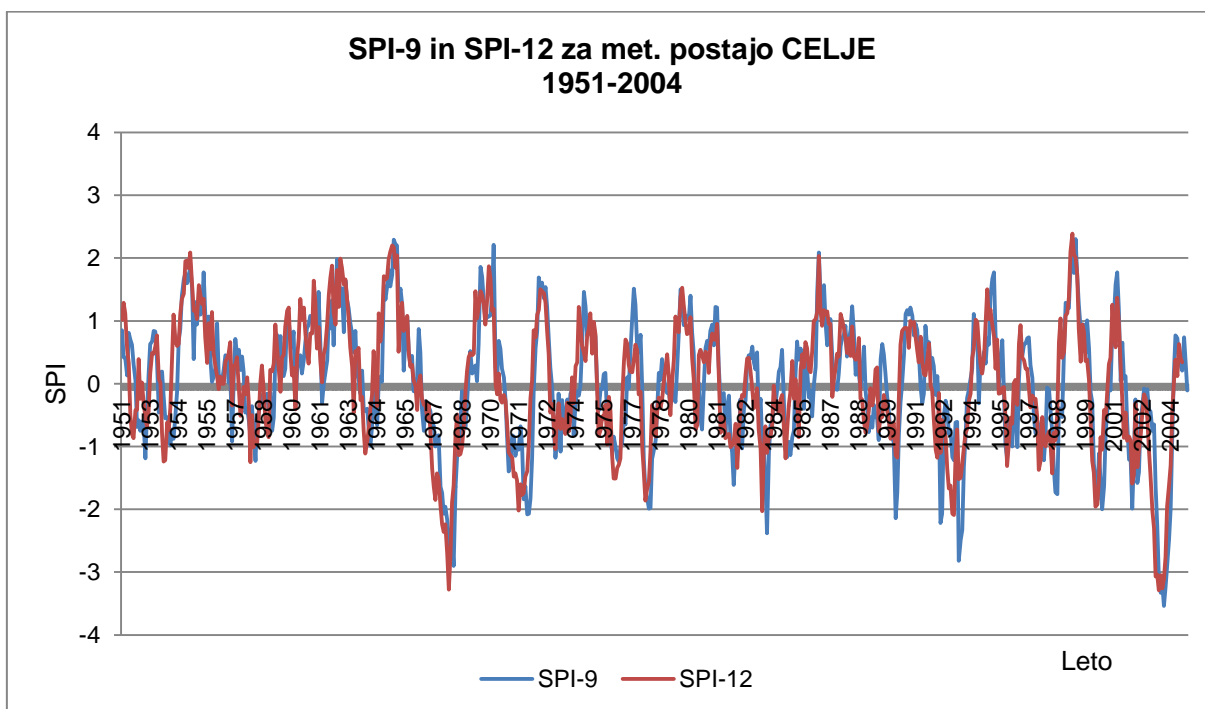
Za identifikacijo glavnih sušnih obdobj je potrebno analizirati časovne skale daljšega trajanja, kamor štejemo obdobja, daljša od šestih mesecev. Pogostost negativnih vrednosti SPI na krajših skalah zakrije pomembna suha obdobja. V ta namen smo posebej pripravili grafe za devet- in dvanajstmesečno časovno skalo izračuna za vsako posamezno meteorološko postajo za čas presečnega obdobja.



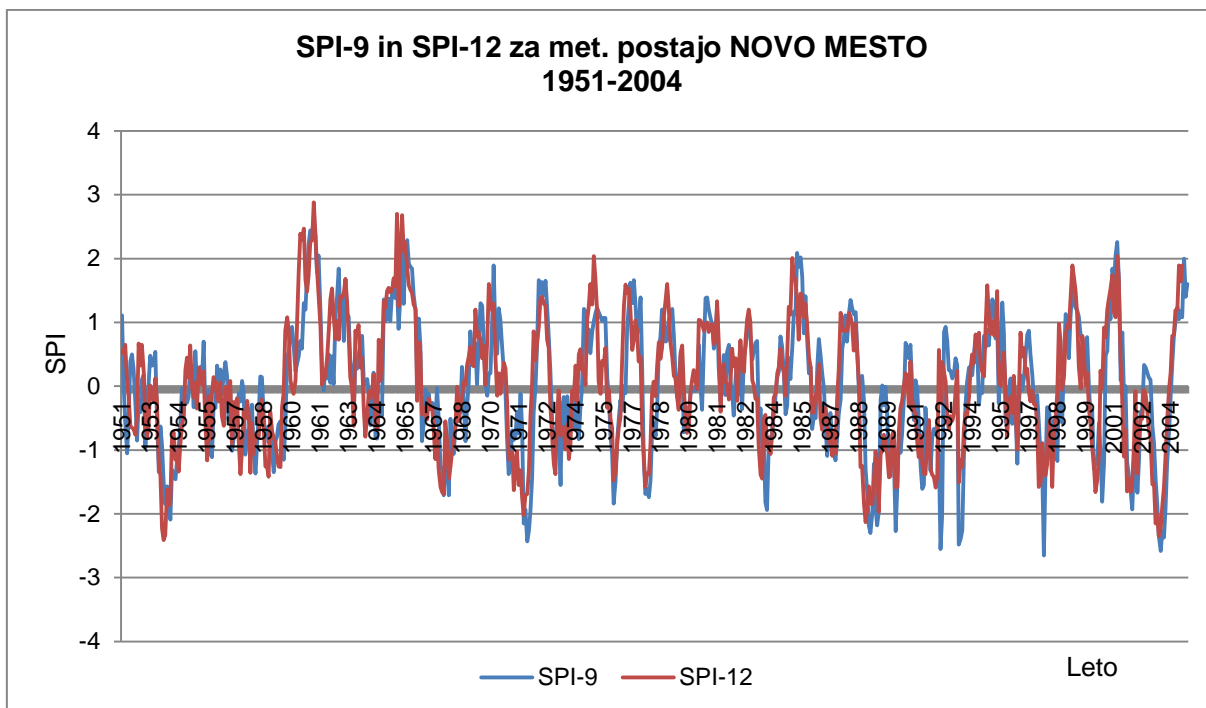
Slika 67: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in obdobje 1951–2004



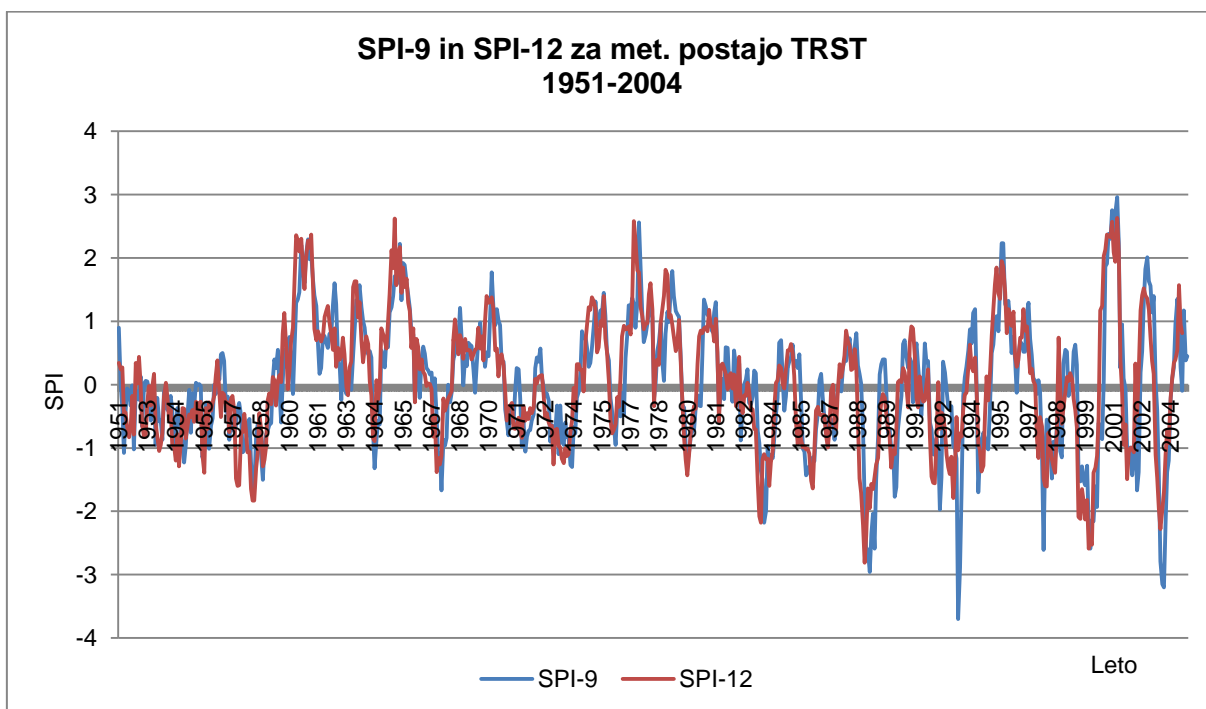
Slika 68: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Maribor-Tabor in obdobje 1951–2004



Slika 69: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Celje in obdobje 1951–2004



Slika 70: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Novo mesto in obdobje 1951–2004



Slika 71: Vrednosti SPI-9 in SPI-12 za meteorološko postajo Trst in obdobje 1951–2004

Za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst lahko iz slik 67, 70 in 71 vidimo, da med leti 1952 in 1959 prevladujejo sušne razmere s konstantnim negativnim odklonom. Ta je najizrazitejši v Novem mestu v začetku leta 1954, ko doseže mejo ekstremne suše (SPI-12 je v januarju enak -2.41) in Ljubljani, kjer so sušne razmere ravno

tako najizrazitejše v zimi 1953/1954. Negativni odklon se na teh lokacijah nadaljuje s ponovno najnižjo vrednostjo v poletnih mesecih (junij–avgust) leta 1958, ko vrednosti indeksa SPI-12 v Trstu dosežejo najnižje vrednosti, ki se uvrščajo med hude suše. V Trstu se razmere nekoliko hitreje izboljšajo v primerjavi z Ljubljano in Novim mestom. Vrednosti se tako v drugi polovici leta 1959 v Trstu že začnejo povečevati in preidejo v pozitivne vrednosti, ki se nadaljujejo v letih 1960, 1961 in 1962. V Ljubljani in Novem mestu se pozitivne vrednosti in ekstremno mokre razmere pojavijo v letu 1960 in trajajo do začetka leta 1963. V Celju in Mariboru v prvem analiziranem desetletju po začetnih mokrih razmerah nastopi krajši negativen odklon leta 1952 in 1954 (traja tri do štiri mesece), ki ne preseže meje zmerne suše. Sledi zelo mokro obdobje, ki na obeh postajah traja do leta 1956. Med leti 1956 in 1960 se na obeh postajah vrednosti gibljejo blizu normale.

Šestdeseta leta so glede na vrednosti indeksa desetletje mokrih obdobja na vseh izbranih postajah, ki dosegajo v konicah tudi ekstremne vrednosti. Na vseh postajah je praktično zaznati enak vzorec pojavljanja in sosledja mokrih in sušnejših obdobja. Vrednosti kažejo na tri daljša mokra obdobja, ki jih v letih 1964, 1967 in 1968 prekine obdobje primanjkljaja. V letih 1967 in 1968 je primanjkljaj izrazitejši, najnižje vrednosti dosežeta Maribor (SPI-12 je za leto 1967 in mesec oktober enak -2.21) in Celje, kjer je ekstremna vrednost dosežena aprila leta 1968, ko je vrednost dosegla -3.28.

V naslednjem desetletju (1970–1980) se suha in mokra obdobja enakomerneje izmenjujejo na vseh opazovanih postajah. Obdobja ekstremnih suš se kažejo v letih 1971, 1977 in 1978. Huda suša nastopi leta 1976. Leta 1971 se kaže ekstremna suša na vseh slovenskih meteoroloških postajah. V Trstu je sicer zaznati negativen odklon, ki pa ne preseže mej normale. Na vseh postajah so vrednosti dosežene konec poletja (avgusta) in v jesenskih mesecih leta 1971. Nizke vrednosti indeksa se nadaljujejo v zimske mesece. V letih 1976 in 1978 je prav tako le na slovenskih postajah zaznati sušne razmere, ki so najintenzivnejše v Mariboru, kjer tudi najdlje vztrajajo. Največja jakost suše (ekstremna suša) v Mariboru je dosežena v februarju in marcu leta 1978. Trst v teh leti ne beleži negativnega odklona, ravno obratno, v letu 1977 kaže ekstremno mokro obdobje. Ima pa Trst v letu 1980 največji negativen odklon v primerjavi z ostalimi postajami (SPI-12 za mesec april in leto 1980 je enak -1.41).

V letih 1983 in 1984 se na vseh izbranih postajah pojavi daljši negativen odklon, ki v Celju in Trstu v novembru in decembru 1983 doseže ekstremne vrednosti. Ostale postaje kažejo na zmerno sušo. Ponovno sušno obdobje se na postajah Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst pojavi ob koncu leta 1986, ki v Ljubljani in Novem mestu traja dobro leto, z minimalnimi



vrednostmi v poletnih mesecih leta 1987. V Trstu se je primanjkljaj kazal že v letu 1985, tako da je najnižja vrednost nastopila že leta 1986 (marec–avgust). Pred letom 1990 se pri vseh postajah, razen Mariboru, kaže še eno daljše obdobje, in sicer v letih 1989 in 1990. Zima 1988/1989 je dosegla minimalne vrednosti v Ljubljani, Novem mestu in Trstu. SPI na letni ravni doseže ekstremne vrednosti (SPI je manjši od -2.0).

Zadnje analizirano obdobje kaže več suhih in mokrih obdobj. Izrazito suha so leta 1993, 2000 in 2003 za vse meteorološke postaje. Pred letom 2000 se v Ljubljani kaže obdobje med 1991 in 1993 kot daljše sušno obdobje, ki doseže svoj minimum v letu 1992. Posebnost te suše se kaže v dolžini, saj je konstanten negativen primanjkljaj v Ljubljani trajal od konca leta 1988 naprej. Tudi v Novem mestu in Trstu se od leta 1989 naprej ponavlja negativni odklon, ki doseže minimalne vrednosti jeseni leta 1992 in 1993. V Mariboru in Celju se kaže enak vzorec pojava suše, saj se izrazito zamenjata suho in mokro obdobje, minimalne vrednosti so dosežene v mesecu marcu, aprilu in maju. Na prehodu v novo tisočletje se na vseh lokacijah kaže negativen odklon, ki hitro prehaja v mokro obdobje. V Ljubljani negativen odklon prekini zelo mokro obdobje v letu 2001, ki ob koncu taistega leta ponovno preide v manjše vrednosti. Tudi v Trstu vrednosti izrazito nihajo, tako da se v istem letu izmenjujejo ekstremi, od ekstremno mokrega do hudo sušnega dela leta (2001, 2002, 2003, 2004). Leto 2003 je na vseh postajah sušen, predvsem v zadnji polovici leta, ko so vrednosti dosegle ekstremne vrednosti na vseh postajah. V tem obdobju se kažejo tudi zelo mokra obdobja, to so v letih 1994, 1995, 1998, 1999 in 2001.

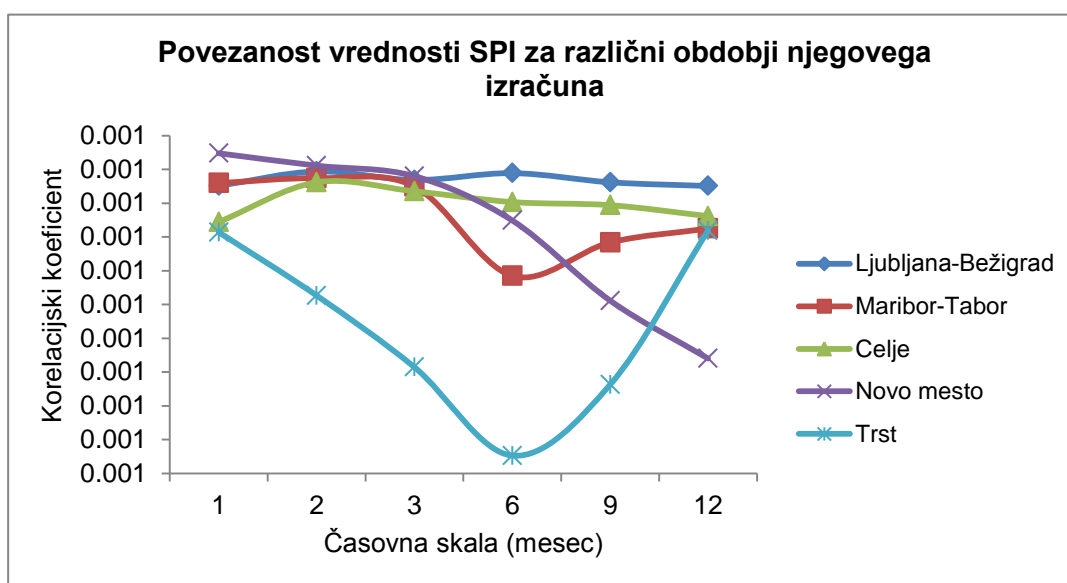
SPI-9 v primerjavi z letnim indeksom sušo intenzivira in posameznim sušnim dogodkom pripisuje večjo jakost.

Z analizo nastopa suše na petih meteoroloških postajah smo določili sušna obdobja, ki so se v preteklih letih pojavljala na ozemlju Slovenije. Glede na razdelana desetletja sem ugotovila, da v večini primerov meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst kažejo podoben vzorec pojavljanja sušnih in mokrih obdobj, kar bi lahko rekli tudi za meteorološki postaji Celje in Maribor-Tabor. Razlike znotraj vsake skupine se kažejo v jakosti suše, ki se lahko razlikuje za cel razred in trajanju ter začetku suše, ki se med postajami znotraj vsake skupine razlikuje za mesec ali dva. Suša nikoli ne zajame enakomerno celotne Slovenije, kar potrjuje trditev, da je suša regionalen pojav.

V zadnjem obdobju analize (1990–2004) se kaže, da se število ekstremnih dogodkov povečuje in hkrati intenzivira. Na izbranih lokacijah se kaže trend hitrega menjavanja ekstremnih situacij (ekstremnih sušnih in mokrih obdobj), še posebej od leta 2000 naprej.

### 7.1.1 Vpliv dolžine niza padavinskih podatkov

Dolžina obdobja, za katero so na voljo mesečni padavinski podatki za posamezno postajo je pomemben element pri izračunu indeksa. Za vsa obdobja izračuna smo primerjali vrednosti SPI za obdobje 1951 do 2004 in vrednosti SPI, izračunane za celotno obdobje, ki je bilo na voljo za posamezno meteorološko postajo. Primerjava je bila narejena s Pearsonovim korelacijskim koeficientom  $R$ , ki je za vse meteorološke postaje in obdobja izračuna prikazan na sliki 72.



Slika 72: Korelacijski koeficienti za izbrane meteorološke postaje

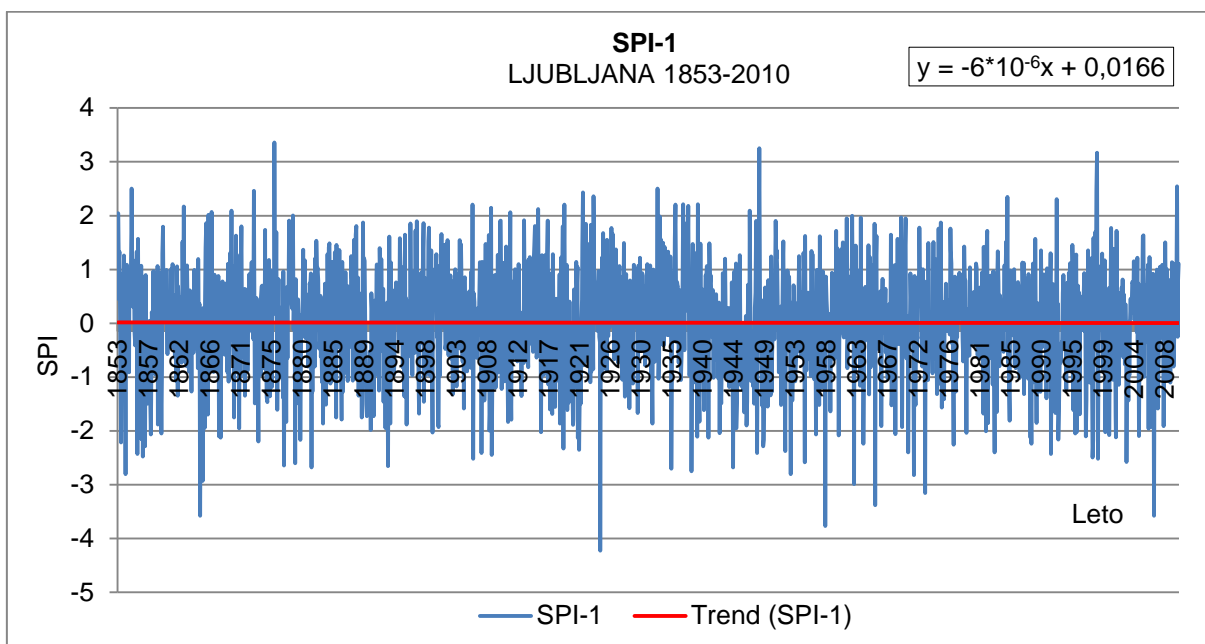
Vrednosti korelacijskih koeficientov se za vse postaje in vsa obdobja izračuna gibljejo nad 0.95, kar pomeni, da v primeru izbranih meteoroloških postaj časovno obdobje ne vpliva v veliki meri na vrednosti SPI. Na vseh časovnih skalah se najbolje ujemajo vrednosti za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ima poleg Celja najdaljši niz podatkov. Pri dvanajstmesečni skali so pri vseh postajah izkazane nižje vrednosti korelacije. Na letni skali najbolje korelira meteorološka postaja Ljubljana ( $R=0.9925$ ). Tudi Celje ima enako dolg niz podatkov, njegova korelacija je nekoliko nižja ( $R=0.9881$ ). Vrstni red je v tem primeru enak dolžini padavinskega niza preteklih mesečnih podatkov. Daljši ko je dostopen niz podatkov za postajo, večji je korelacijski koeficient na letni ravni. Najslabše korelira meteorološka postaja Novo mesto (0.9670), ki ima na voljo najkrajši padavinski niz podatkov.

V splošnem je znatne razlike zaznati pri meteorološki postaji Trst. Razlike niso odvisne samo od dolžine časovne skale, temveč tudi od verjetnostne porazdelitve padavinskih podatkov.

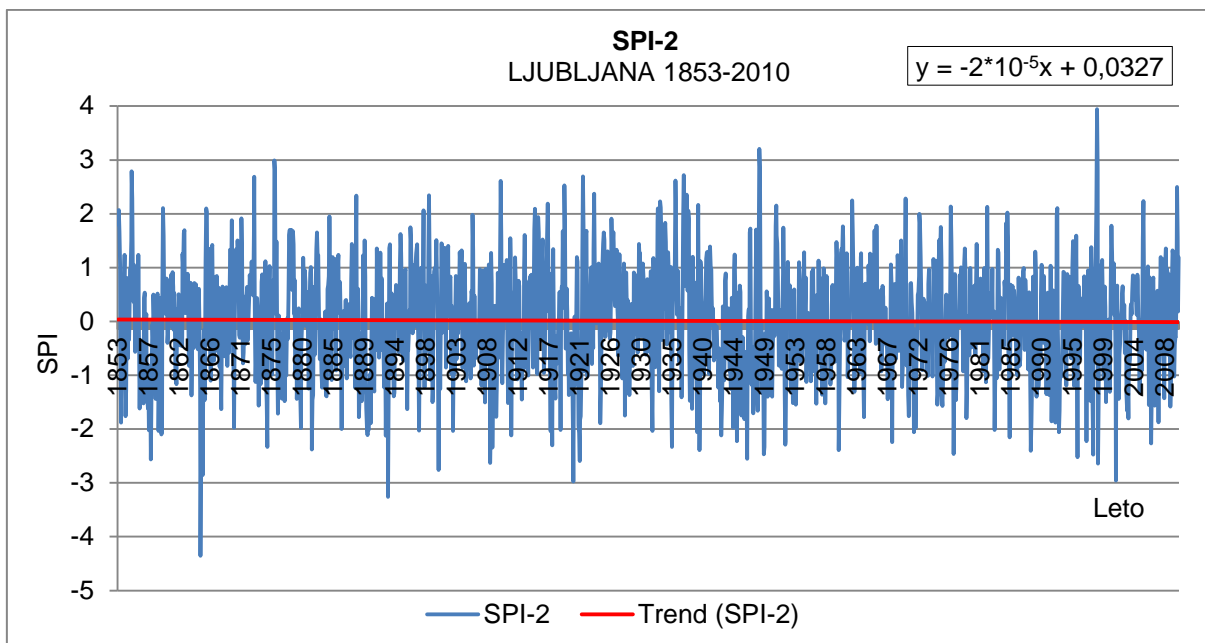
## 7.2 Analiza trendov

Skoraj ni več dneva, da ne bi slišali besedne zveze »podnebne spremembe« (Kajfež-Bogataj, 2008). Podnebje na Zemlji se zaradi svetovnega segrevanja spreminja (Kobold, 2009). Ob čedalje večji ranljivosti za izredne vremenske dogodke predstavlja morebiten vpliv podnebnih sprememb na pogostost izrednih dogodkov enega ključnih dejavnikov nacionalne varnosti v prihodnosti (Kajfež-Bogataj, 2008). Vse pogosteje na eni strani občutimo sušo in pomanjkanje vode, na drugi pa se soočamo s poplavami. Obe skrajnosti lahko nastaneta celo v istem letu (Kobold, 2009).

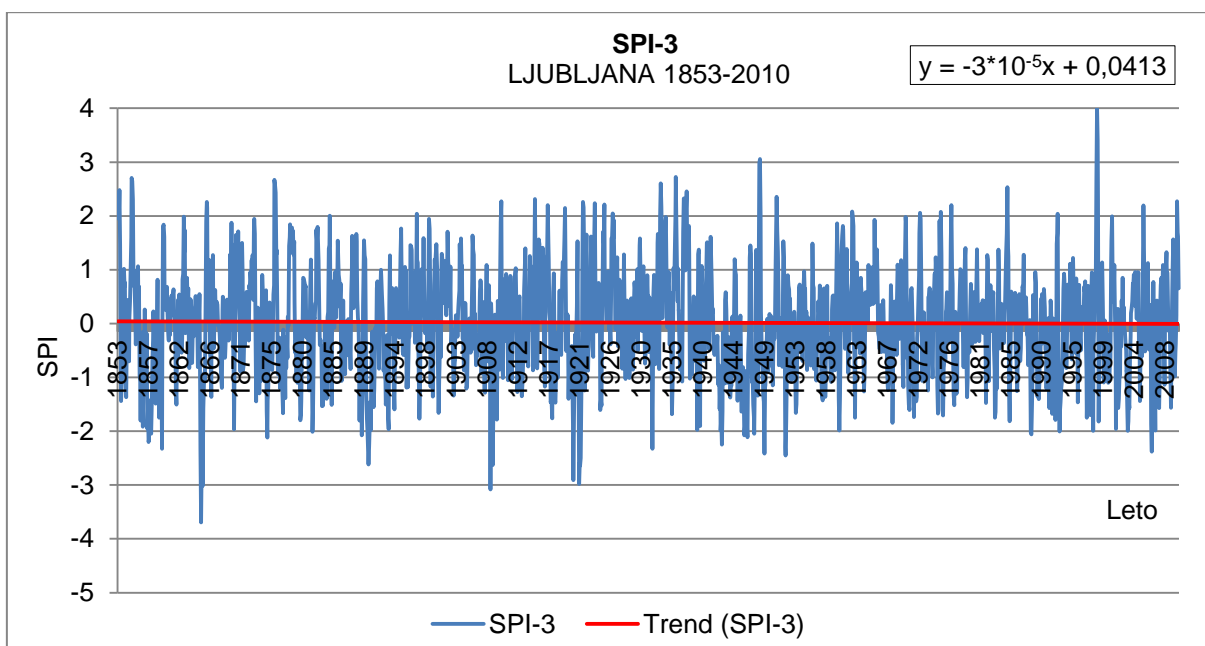
Tudi s pomočjo analize časovnih sprememb standardiziranega padavinskega indeksa (SPI) je mogoče napovedati trend pojavljanja sušnih oz. mokrih razmer in s tem pričakovane količine padavin. Slike 73, 74, 75, 76, 77 in 78 prikazujejo negativen trend standardiziranega padavinskega indeksa (SPI) na vseh izbranih časovnih skalah za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad.



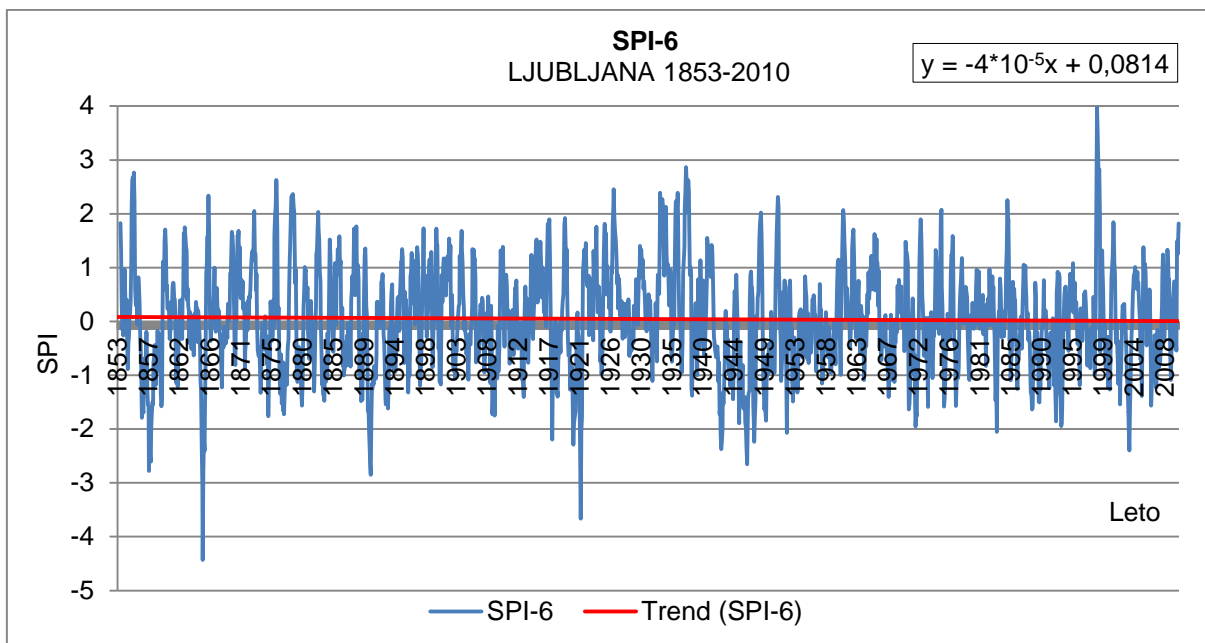
Slika 73: SPI-1 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



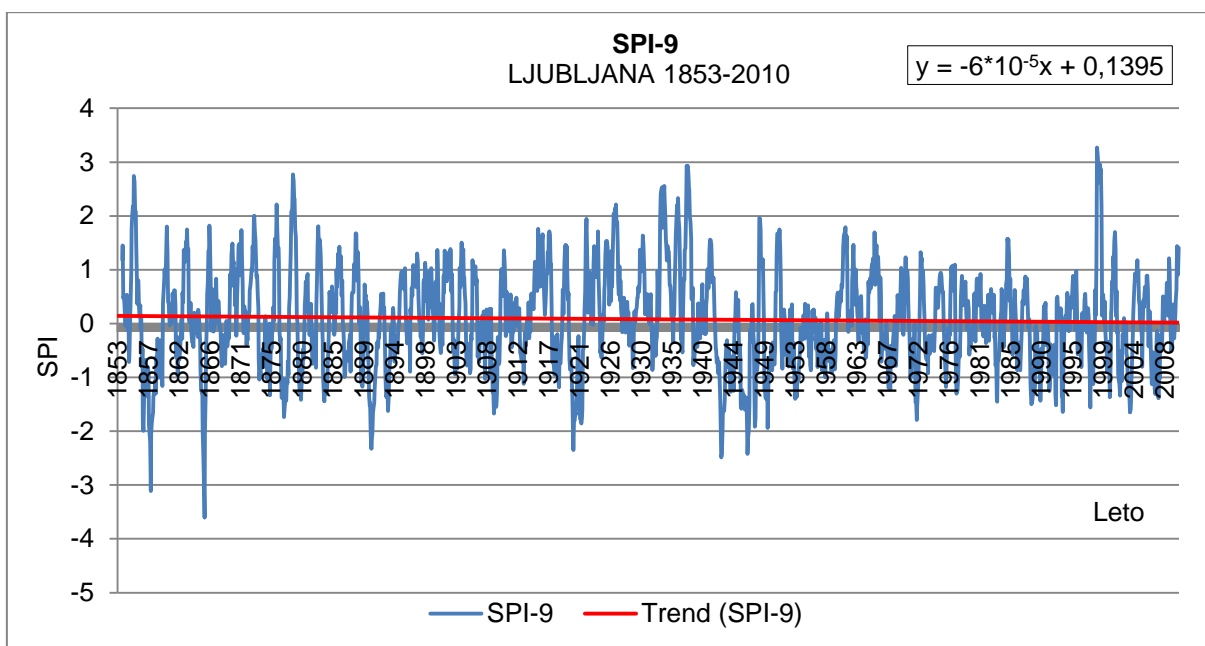
Slika 74: SPI-2 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



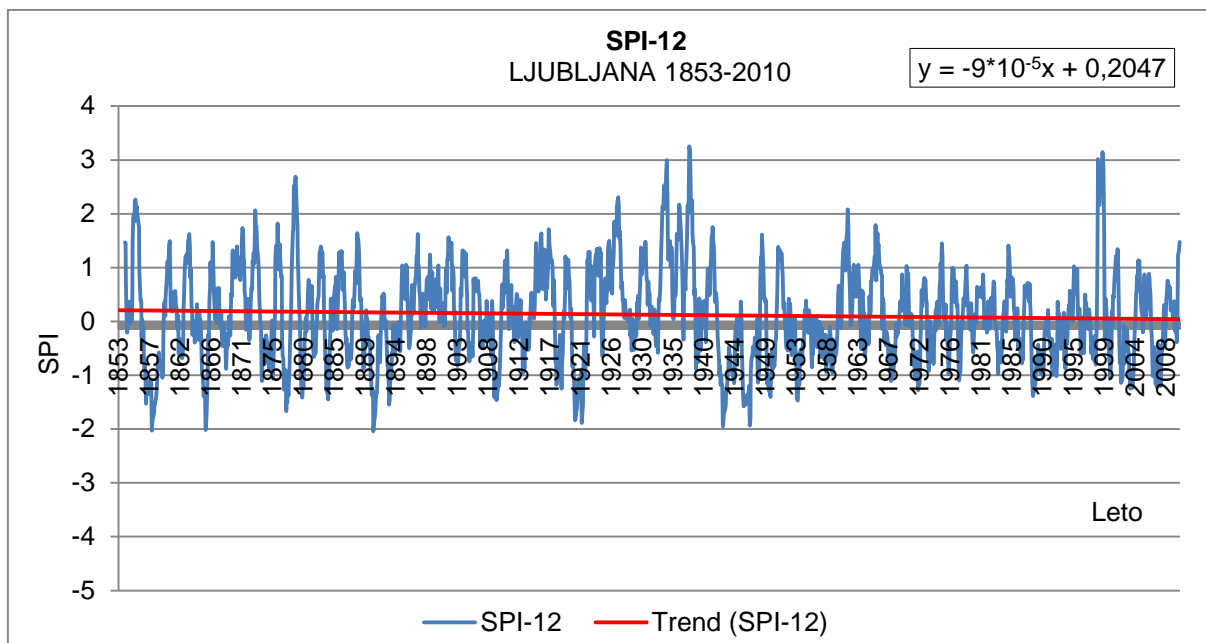
Slika 75: SPI-3 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



Slika 76: SPI-6 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



Slika 77: SPI-9 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

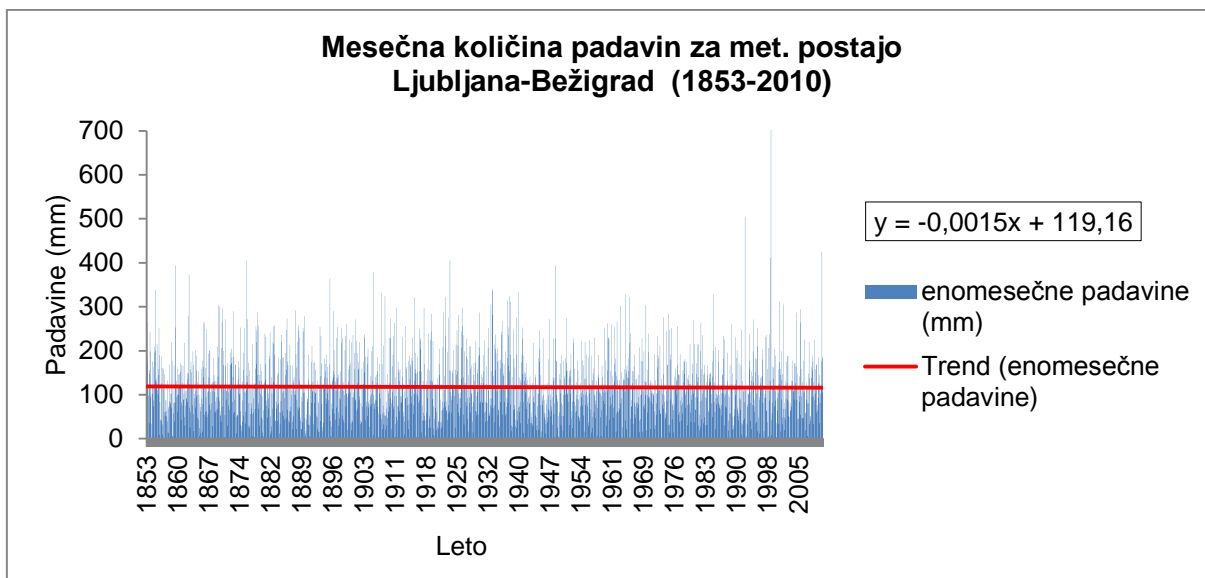


Slika 78: SPI-12 in pripadajoči trend vrednosti indeksa za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

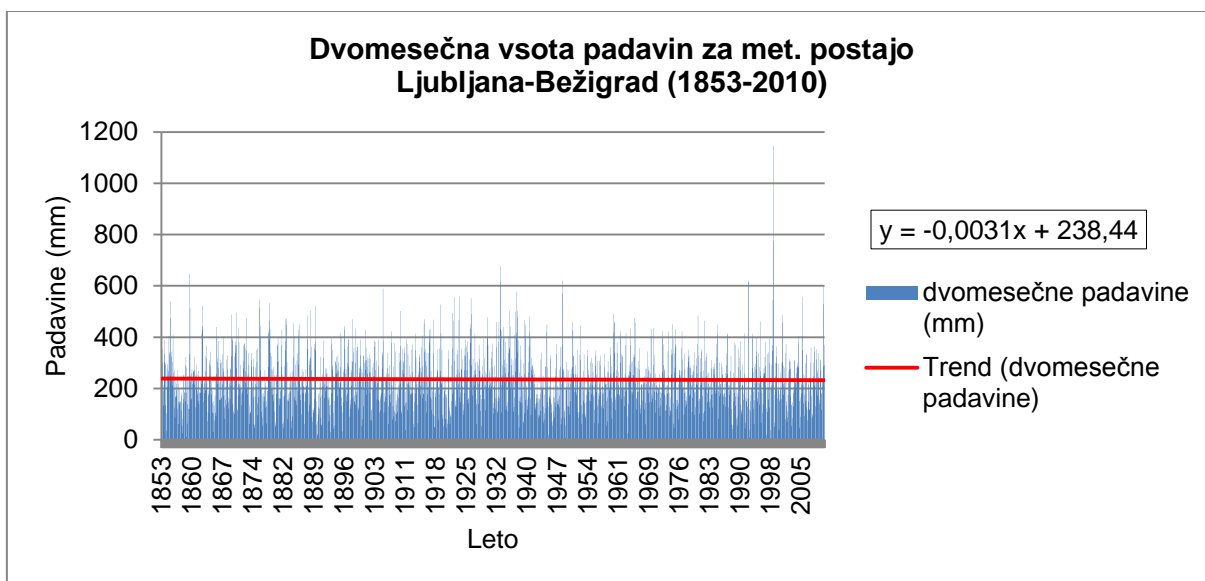
Za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad je značilno upadanje vrednosti standardiziranega padavinskega indeksa na vseh časovnih skalah. Za celotno opazovano obdobje in vse časovne skale izračuna vrednosti indeksov stalno padajo. Smerni koeficienti regresijskih premic, so na vseh skalah negativni in hkrati največji na letni oz. dvanajstmesečni skali, kar pomeni, da vrednosti indeksa SPI-12 najhitreje padajo.

Na krajših časovnih skalah (ena- do šestmesečne) je za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad zaznati počasnejše upadanje vrednosti indeksa kot na najdaljših dveh skalah izračuna (devet- in dvanajstmesečni skali). Trendna črta na vseh skalah izračuna indeksa SPI za Ljubljano in opazovano obdobje (1853-2010) zavzema vrednosti, ki označujejo normalne razmere.

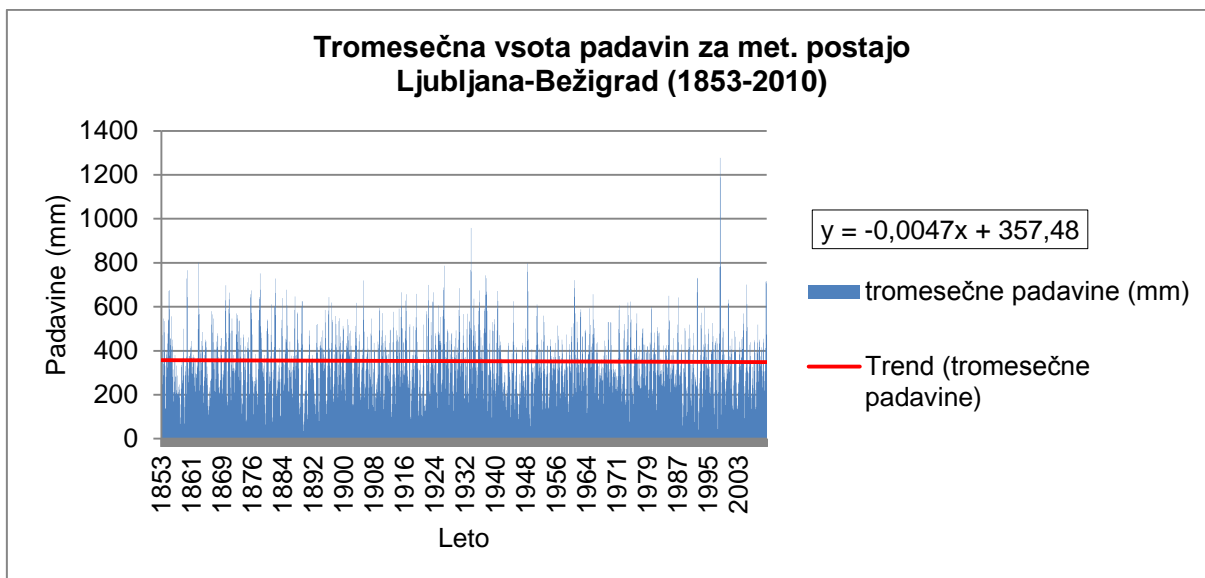
Ker je indeks SPI neposredno povezan s količino padavin, padlo v določenem obdobju, slike 79, 80, 81, 82, 83 in 84 prikazujejo časovno spremenljivost le teh in njihov trend.



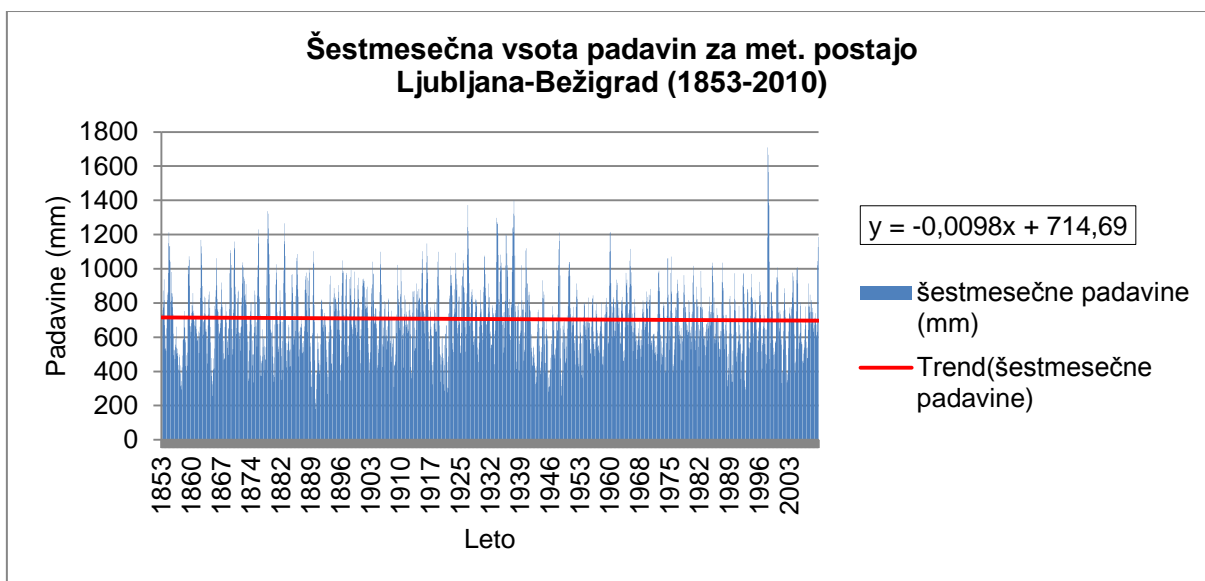
Slika 79: Mesečne padavine in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad



Slike 80: Dvomesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

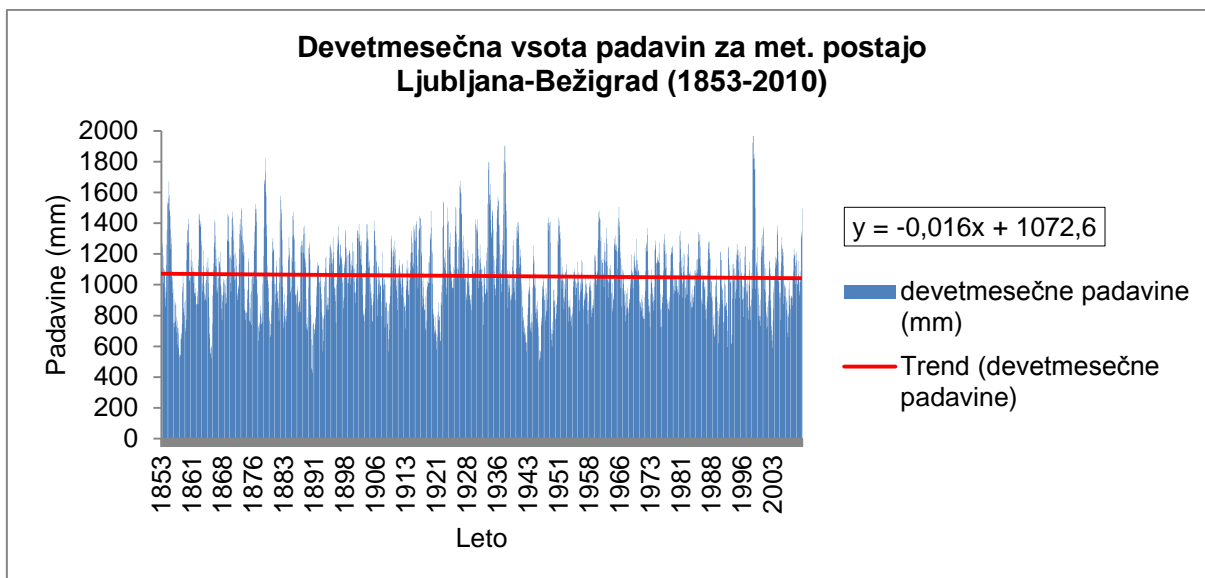


Slika 81: Tromesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

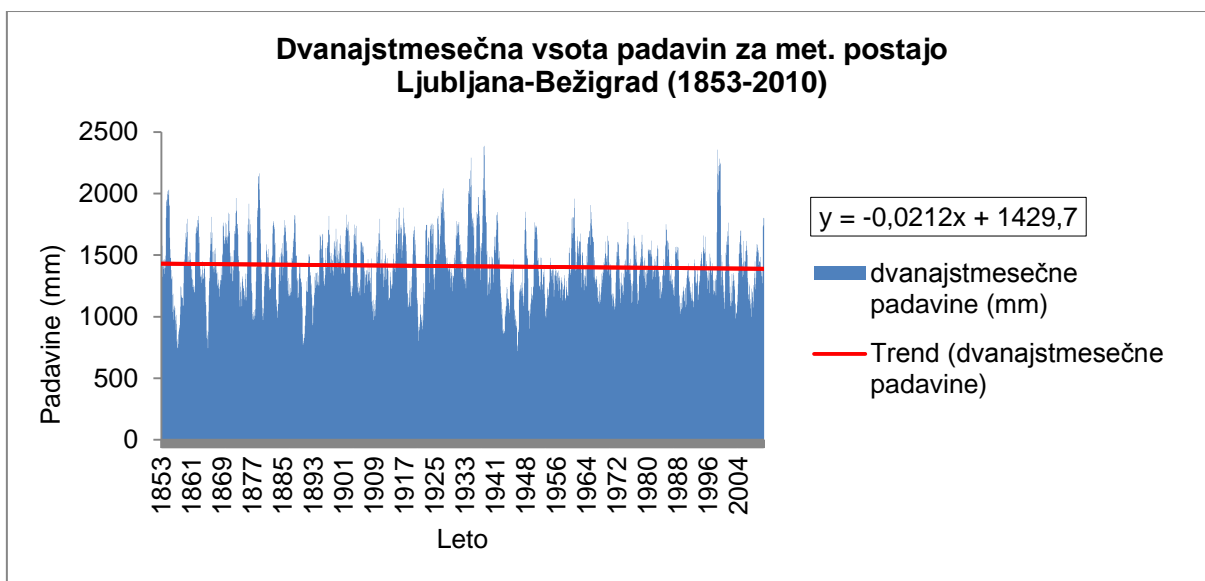


Slika 82: Šestmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad





Slika 83: Devetmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

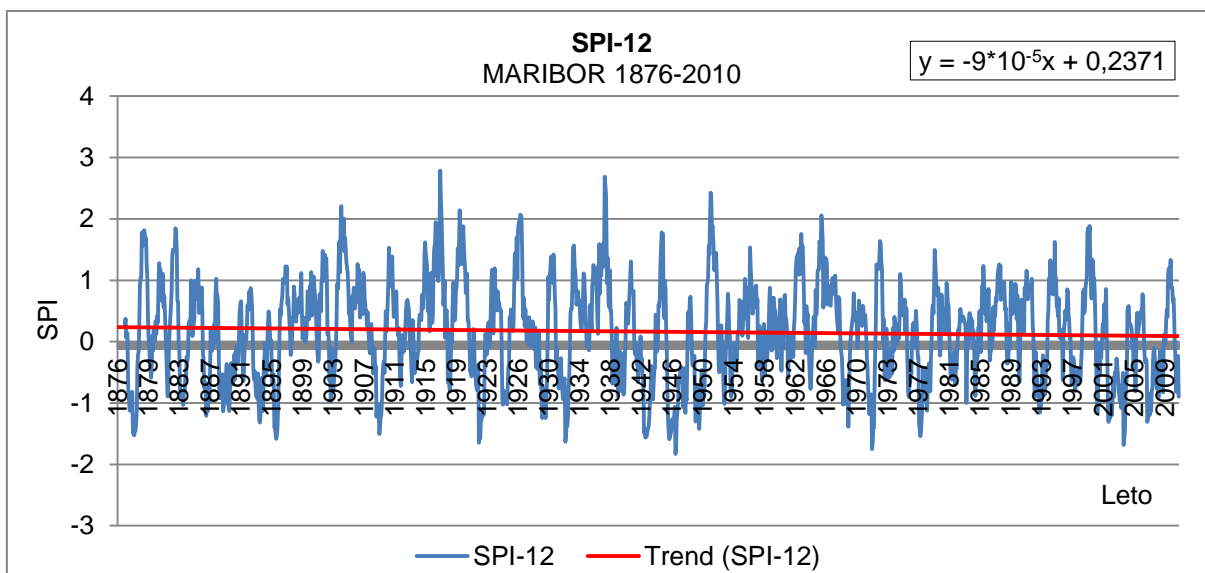


Slika 84: Dvanajstmesečna vsota padavin in pripadajoči trend za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

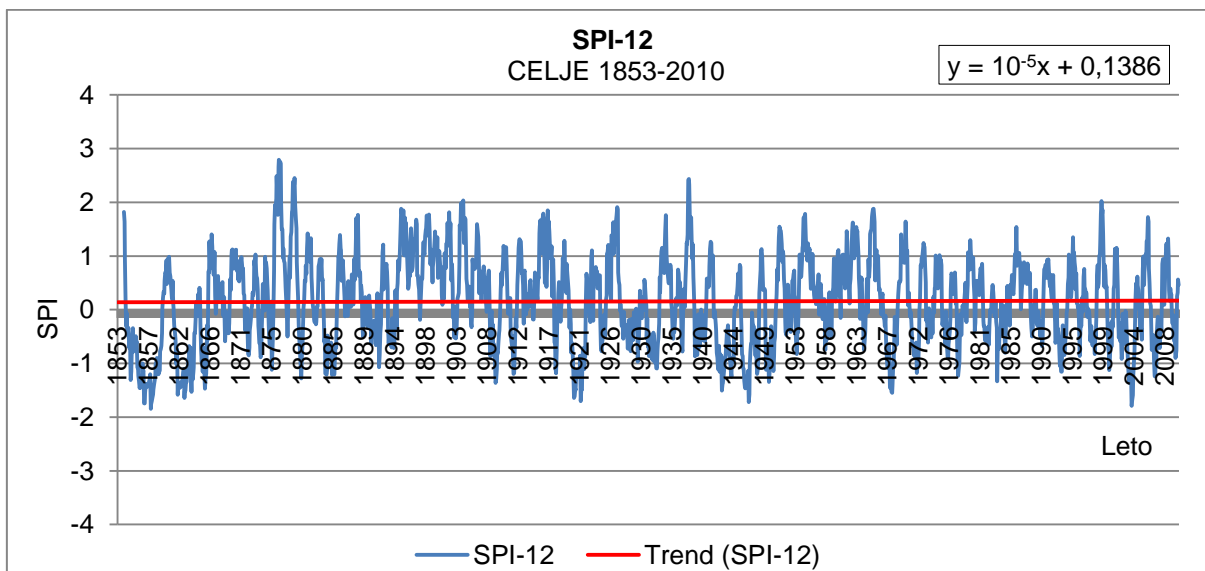
Tudi trend vsot padavin za vse izbrane časovne skale je za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad negativen, kar kaže na upadanja količine padlih padavin v Ljubljani. Tako kot pri indeksih SPI, se tudi pri vsotah padavin z večanjem skale izračuna, večja smerni koeficient, kar pomeni, da je regresijska premica dvanajstmesečne vsote padavine najbolj strma in letni primanjkljaj padavin najbolj očiten.

Pri analizi trendov ostalih izbranih meteoroloških postaj (Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst) je očiten negativen trend na vseh lokacijah in vseh časovnih skalah, z izjemo Celja. Izračunane regresijske premice za postajo Celje so na vseh časovnih skalah naraščajoče in

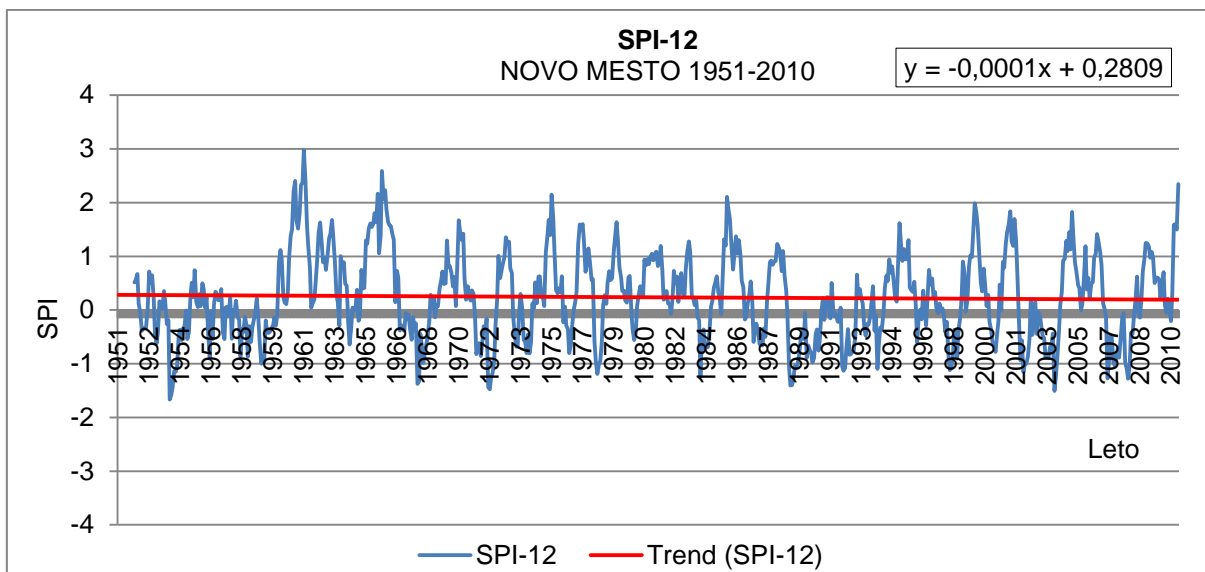
kažejo na normalne razmere (slika 86). Ravno tako pri ostalih postajah trendi na vseh časovnih skalah ne presežejo okvirjev normalnih razmer ( $-1 < SPI_x < 1$ ). Najizrazitejši je trend na letni časovni skali na vseh postajah, zato je na slikah 85, 86, 87 in 88 ta prikazan še za ostale meteorološke postaje (Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst).



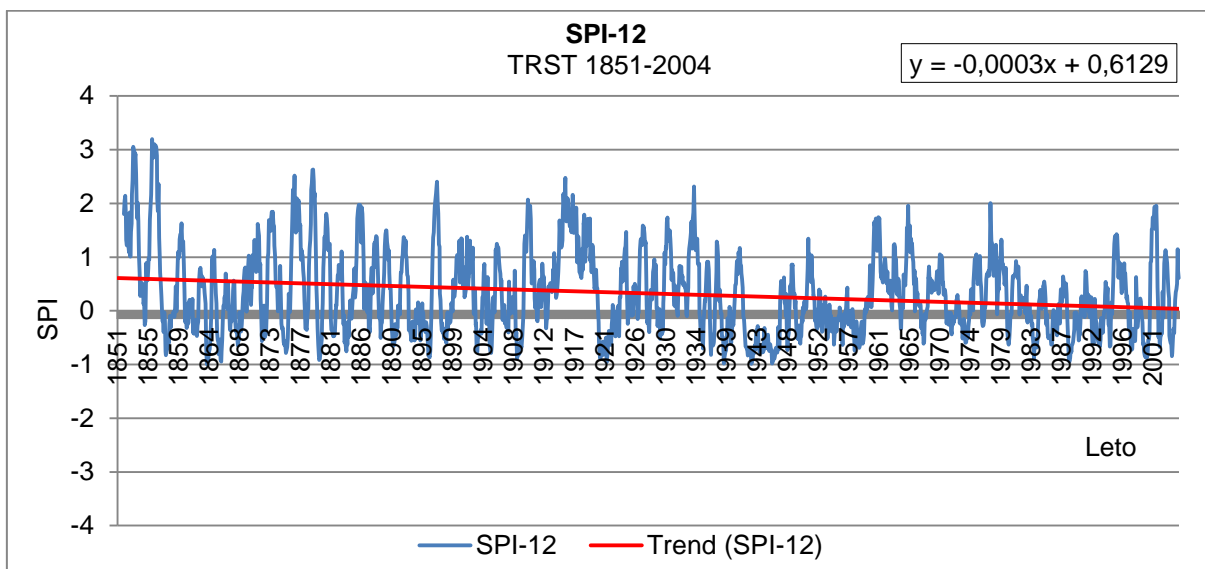
Slika 85: SPI-12 in pripadajoči trend za Maribor-Tabor



Slika 86: SPI-12 in pripadajoči trend za Celje



Slika 87: SPI-12 in pripadajoči trend za Novo mesto



Slika 88: SPI-12 in pripadajoči trend za Trst

Trst kaže v primerjavi z ostalimi postajami izrazitejši negativni trend, smerni koeficient je v absolutnem smislu najvišji, kar nakazuje hitrejše spremembe pri padavinskih vzorcih v opazovanem obdobju. Kljub negativnemu trendu, je na vseh postajah trendna linija na pozitivni strani ordinate s prevladujočimi namočenimi obdobji. Na slovenskih meteoroloških postajah, ki so stacionirane v notranjosti ali vzhodnem delu države, je v primerjavi s Trstom, ki zastopa primorski svet, razviden počasnejši proces spreminjanja podnebnih značilnosti in padavinskih vzorcev. Ljubljana in Maribor sta se v zadnjih desetletjih močno približala delu, ki nakazuje sušne razmere.

### 7.3 Razmerje med časovnimi skalami standardiziranega padavinskega indeksa za meteorološko postajo Maribor-Tabor in standardiziranim srednjim mesečnim pretokom reke Pesnice

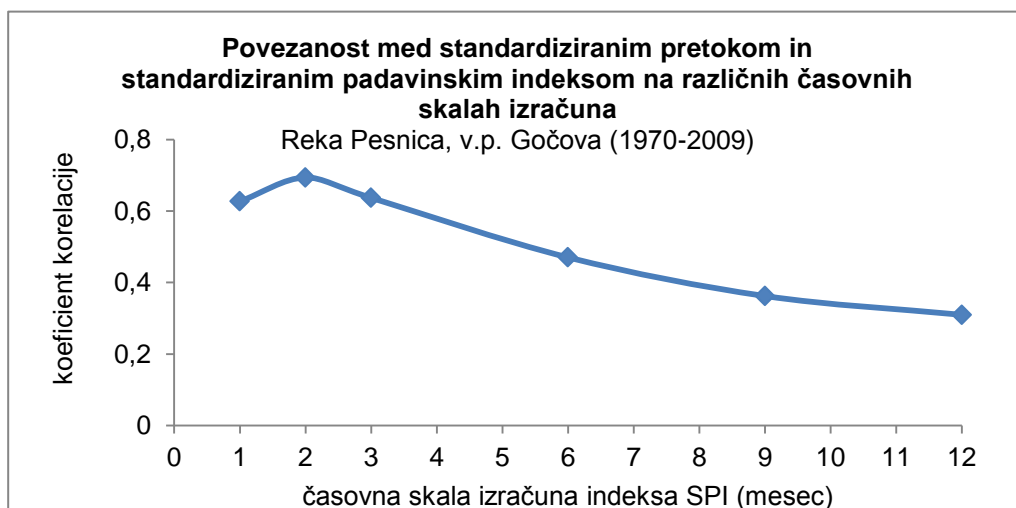
Za primerjavo med SPI in pretoki smo izbrali reko Pesnico. Za izračun SPI na območju reke Pesnice je reprezentativna meteorološka postaja Maribor-Tabor. Primerjava je bila narejena s podatki srednjega mesečnega pretoka za vodomerno postajo Gočova. Podatki srednjega mesečnega pretoka reke Pesnice so na voljo za obdobje med 1970 in 2009. Podatke smo pridobili na spletnih straneh Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv površinskih voda, 2011). Opravili smo ponoven izračun indeksa SPI za izbrano obdobje (1970–2009).

Standardizirane vrednosti srednjega mesečnega pretoka in standardiziranega padavinskega indeksa na različnih časovnih skalah smo primerjali na dveh nivojih:

- neprekinjeno (kontinuirano), kjer so upoštevani vsi meseci kot kontinuum in
- mesečno, ki je opisan v naslednjem poglavju.

Za primerjavo je bil izbran Pearsonov koeficient korelacije  $R$ .

Na sliki 89 je prikazana povezanost med neprekinjenimi standardiziranimi nizi srednjega mesečnega pretoka reke Pesnice in standardiziranim padavinskim indeksom na različnih časovnih skalah.



Slika 89: Povezanost med neprekinjenimi standardiziranimi nizi srednjega mesečnega pretoka reke Pesnice in standardiziranim padavinskim indeksom na različnih časovnih skalah

Medsebojna povezanost standardiziranih pretokov in padavin je za reko Pesnico za vse časovne skale izračuna SPI pozitivna, vendar se vrednosti korelacijskega koeficienta  $R$  spreminjajo glede na časovno skalo. Na krajših skalah izračuna (ena-, dvo- in tromesečna skala) je koeficient korelacije večji kot na daljših časovnih skalah. Najvišja vrednost koeficienta  $R$  je na dvomesečni časovni skali in je enaka 0.69. Koeficient korelacije se zmanjšuje z večanjem časovne skale izračuna SPI. Na dvanajstmesečni skali doseže najmanjšo vrednost, ki je enaka 0.31. Kljub slabemu korelacijskemu koeficientu je statistična analiza pokazala, da je odvisnost med standardiziranimi pretoki in letnim standardiziranim padavinskim indeksom močno statistično značilna s  $p$ -vrednostjo  $6.96 \cdot 10^{-12}$ . Rezultati kažejo, da srednje mesečne pretoke reke Pesnice v večji meri definirajo padavine tekočega in preteklega meseca, kar kaže na hiter odziv hidrološke spremenljivke (pretokov) na padavine. V preglednici 13 so prikazane vrednosti izračunanih korelacijskih koeficientov na vseh časovnih skalah izračuna.

Preglednica 13: Korelacijski koeficienti za vse izbrane časovne skale izračuna indeksa SPI

Časovna skala izračuna indeksa SPI (mesec)	Koeficient korelacije $R$
1	0.627
2	0.694
3	0.637
6	0.470
9	0.362
12	0.310

#### 7.4 Mesečna razmerja med časovnimi skalami SPI-ja in standardiziranega pretoka reke Pesnice

Primerjali smo mesečne vrednosti standardiziranega pretoka za celotno izbrano obdobje (1970–2009) s posameznimi mesečnimi vrednostmi indeksa SPI na različnih časovnih skalah in povezanost ponovno ovrednotili s Pearsonovim koeficientom korelacije  $R$ .

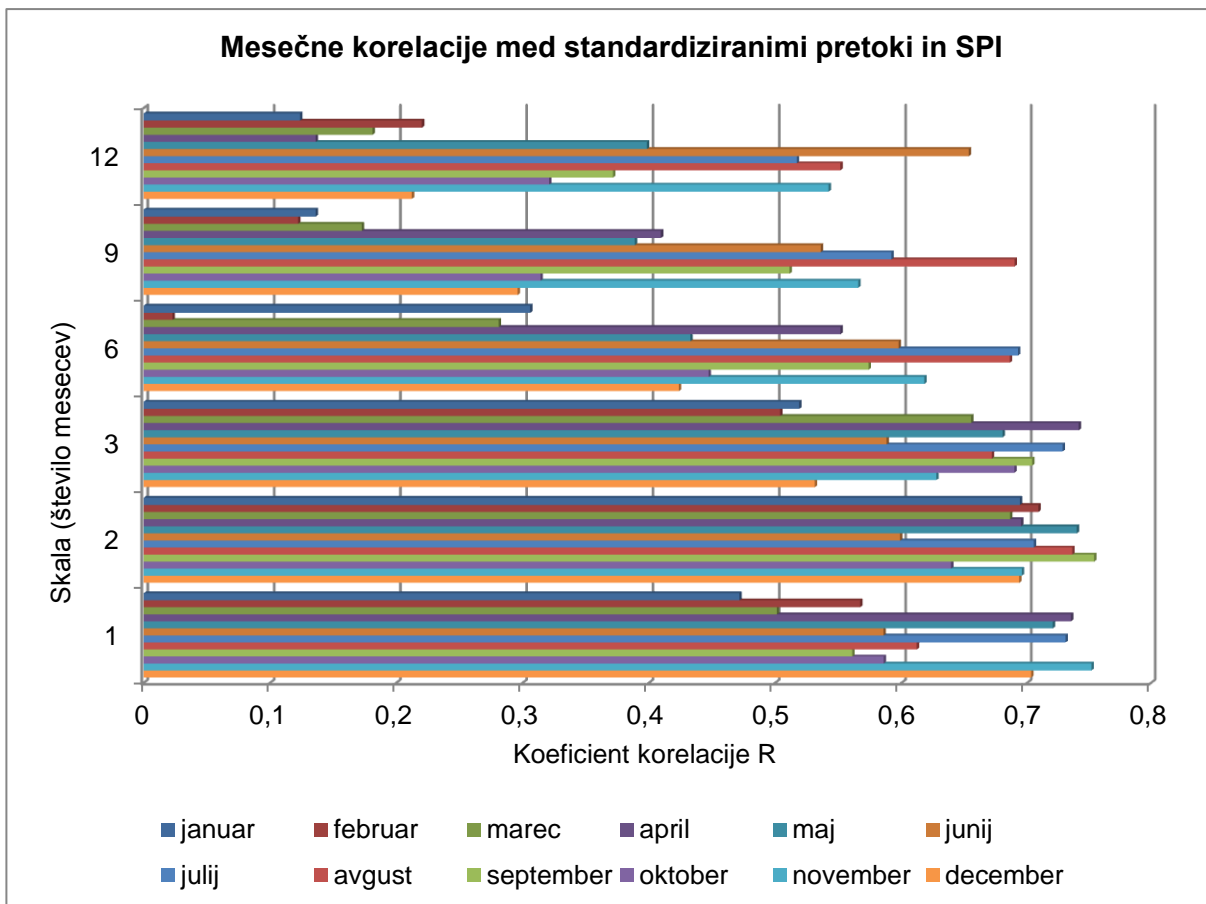
Vsi mesečni koeficienti korelacije so prikazani v preglednici 14, kjer so za vsak mesec poudarjene minimalne in maksimalne vrednosti korelacijskega koeficienta.

Preglednica 14: Mesečni korelacijski koeficienti

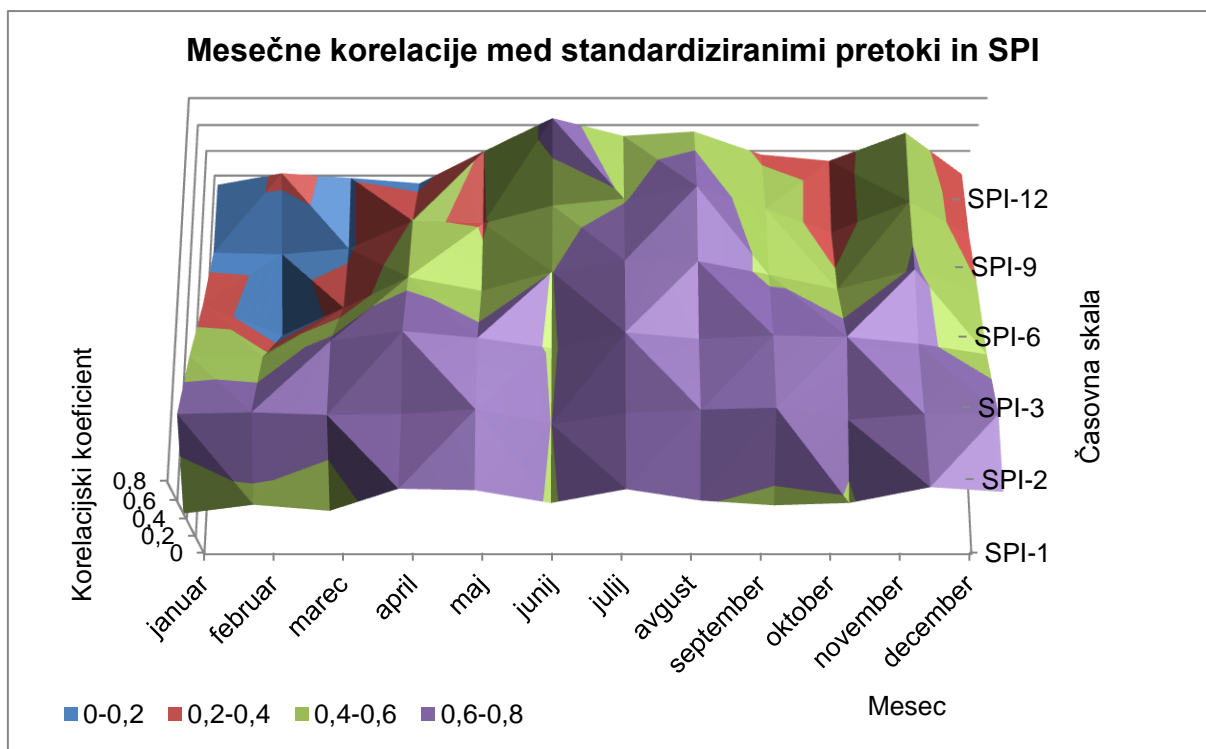
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
<b>SPI-1</b>	0.472	0.567	0.501	0.735	0.721	0.586	<b>0.731</b>	0.612	0.561	0.586	<b>0.752</b>	<b>0.703</b>
<b>SPI-2</b>	<b>0.694</b>	<b>0.709</b>	<b>0.686</b>	0.695	<b>0.740</b>	0.599	0.706	<b>0.736</b>	<b>0.754</b>	0.639	0.696	0.694
<b>SPI-3</b>	0.519	0.504	0.655	<b>0.742</b>	0.680	0.588	0.729	0.672	0.704	<b>0.690</b>	0.628	0.531
<b>SPI-6</b>	0.306	<b>0.023</b>	0.281	0.552	0.433	0.598	0.693	0.686	0.574	0.447	0.618	0.424
<b>SPI-9</b>	0.136	0.122	<b>0.173</b>	0.410	<b>0.389</b>	<b>0.536</b>	0.592	0.690	0.512	<b>0.314</b>	0.566	0.296
<b>SPI-12</b>	<b>0.124</b>	0.220	0.181	<b>0.136</b>	0.399	<b>0.653</b>	<b>0.517</b>	<b>0.552</b>	<b>0.372</b>	0.321	<b>0.542</b>	<b>0.212</b>

Najvišja korelacija ( $R=0.754$ ) je med septembrskim SPI-2 in standardiziranim septembrskim pretokom. Visoke korelacijske koeficiente ( $R > 0.7$ ) najdemo predvsem na krajših časovnih skalah izračuna indeksa, in sicer pri SPI-1, SPI-2 in SPI-3. Druge časovne skale indeksa SPI, ki so daljšega trajanja (SPI-6, SPI-9 in SPI-12), v nobenem mesecu ne presežejo te vrednosti korelacije. Visoko korelacijo na krajših časovnih skalah tako najdemo med novembrskim SPI-1 in standardiziranim novembrskim pretokom ( $R=0.752$ ), majskim SPI-2 in majskim standardiziranim pretokom ( $R=0.740$ ) ter aprilskim SPI-3 ter standardiziranim aprilskim pretokom ( $R=0.742$ ). V mesecu juliju, avgustu in novembru je zaznati visoko korelacijo pretokov z vsemi časovnimi skalami SPI-ja, tako krajšimi kot daljšimi. Korelacije so nekoliko višje pri krajših časovnih skalah kot pri daljših, v mesecu juliju in novembru vrednosti korelacije postopoma padajo proti najdaljši časovni skali. V splošnem je višje korelacijske koeficiente na krajših časovnih skalah zaznati pozno spomladi, poleti (julij in avgust) in jeseni (september, november).

Za lažjo predstavbo so korelacijski koeficienti prikazani tudi na vrstičnem 3D grafu (slika 90) in ploskovnem 3D grafu (slika 91).



Slika 90: Mesečne korelacije med standardiziranimi pretoki in SPI na časovnih skalah 1, 2, 3, 6, 9 in 12 mesecev



Slika 91: Prikaz mesečnih korelacij med standardiziranimi pretoki in SPI s pomočjo 3D ploskovnega grafa

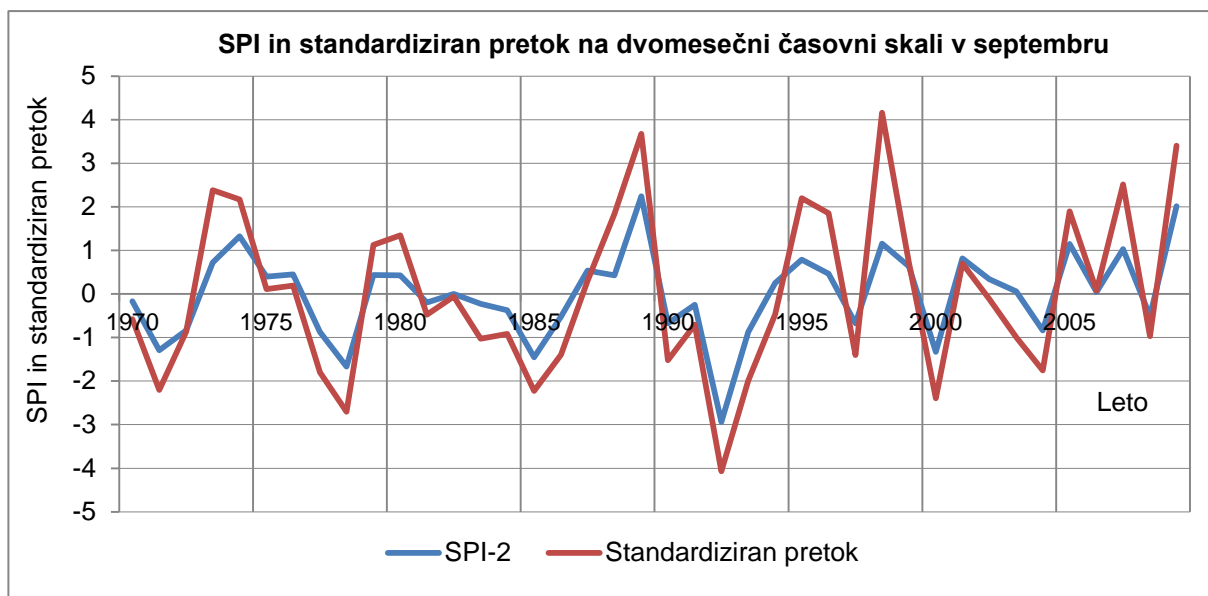
Najvišjo korelacijo med pretoki in SPI na dvomesečni skali je zaznati v februarju, maju, juliju, avgustu in septembru. Mesečni SPI pa se najboljše ujema s pretoki v aprilu, maju, juliju, novembru ter decembru. V poletnih mesecih (junij, julij in avgust) je korelacija nekoliko višja tudi pri SPI na daljših časovnih skalah (6, 9 in 12 mesecev).

Med decembrom in marcem so zaznane nižje korelacije kot v poletnih in jesenskih mesecih, pri tem pa so višje korelacije zimskih mesecev višje na krajših časovnih skalah (1–3 mesece).

Na različne korelacijske vrednosti vplivajo predvsem značilnosti porečja, vključno s pripadajočimi hidrološkimi lastnostmi. Rečni režim opisuje nihanje vodnega stanja med letom, kar je v poglavitni meri odraz časovne razporeditve padavin, izhlapevanja, zadrževanja podzemnih voda in podobnega. Reka Pesnica se uvršča med dežno–snežne rečne režime kontinentalnega tipa. Primarni višek vode praviloma nastane v mesecu aprilu, ki kaže visoko povezanost z indeksom na krajših časovnih skalah (eno–, dve– in tri–mesečni skali), kar pomeni, da se reka Pesnica hitro odzove na večjo količino vode, ki je bila čez zimo shranjena v obliki snežne odeje bodisi je padla v obliki dežja. Nasičenost zemljine z vodo je v tem času velika, izhlapevanje pa manjše, zato večji del vode odteče. Sekundarni višek nastane v novembru, ki se ravno tako dobro ujema z indeksom na krajših časovnih skalah. Poletni meseci (najizrazitejši junij), za katere je značilna manjša količina padavin in večje izhlapevanje, kažejo boljše ujemanje na daljših časovnih skalah, ko so v vsotah padavin všteti tudi meseci zgodnje pomladi in zime, kjer je količina padavin večja. Odziv je kljub temu večji na krajših skalah (predvsem julij se dobro ujema na eno– in dvo–mesečni skali), kar najverjetneje kaže na pojav poletnih kratkotrajnih, vendar intenzivnejših nalivov. V jesenskih mesecih reka Pesnica ravnotako kaže hitrejši odziv na krajših skalah, kar kaže na večjo količino kratkotrajnih padavin in večjo količino vode v tleh. Zimski meseci (december, januar in februar) kažejo najvišjo korelacijo na dvomesečni skali, kar je posledica padavin, ki so na tem območju pogostejše v obliki dežja in ne snega, ki bi vodo zadrževal.

Slika 92 prikazuje razvoj septembrskega SPI-ja na dvomesečni skali in standardiziran pretok v septembru, ko je bila izkazana najvišja korelacija med spremenljivkama.





Slika 92: Standardiziran pretok in standardiziran padavinski indeks na dvomesečni časovni skali v septembru

SPI na dvomesečni časovni skali dopušča identifikacijo glavnih sušnih obdobij. Iz grafa lahko razberemo, da med sušnejša leta spadajo leto 1971, 1978, 1985, 1992 in 2000. Najbolj sušen vodostaj je bil zabeležen v letu 1992, ko je srednji mesečni pretok znašal le 0.042 m<sup>3</sup>/s. Nizki pretoki sledijo negativnemu odklonu SPI-2, zato so bili nizki srednji pretoki izmerjeni tudi v letih 1978, 1985, 2000 in letu 2004.

Iz grafa lahko vidimo, da se ekstremne vrednosti standardiziranega pretoka dobro časovno ujemajo z ekstremnimi vrednostmi SPI-2, so pa vrednosti standardiziranega pretoka nekoliko višje kot SPI-2.

## 8 ZAKLJUČEK

Med pojave, vezane na vodni krog, spadajo tudi ekstremni vremenski pojavi, med katere spada tudi suša. Podatki (prostorska razprostranjenost suše, gospodarska in okoljska škoda) nam kažejo, da moramo na sušo tudi v Sloveniji v prihodnje resno računati. V zadnjih letih se je povečala skrb zaradi večje pogostosti in vplivov ekstremnih vremenskih dogodkov.

Kljub temu, da je suša kompleksen pojav in za seboj pušča veliko gospodarsko in okoljsko škodo, spada med manj raziskane naravne nesreče. V prvem delu diplomske naloge je opisan pojav suše, vzroki za njen nastanek in značilnosti, v katerih se suša razlikuje od drugih naravnih nesreč. Ustrezen in pravočasen odziv na pojav suše zahteva poznavanje pojava suše in pravi pristop za spremljanje razvoja suše. Za količinsko opredelitev posameznih vrst suše (meteorološka, kmetijska in hidrološka) so danes v uporabi številni sušni indeksi, ki so hkrati tudi kazalci sušnih razmer. Sušni indeksi so nepogrešljivo orodje za zaznavanje, spremljanje in oceno stanja sušnega dogodka (Niemeyer, 2008).

Za analizo preteklih sušnih dogodkov v Sloveniji je izbran standardiziran padavinski indeks (SPI), ki je danes v svetu najpogosteje uporabljen sušni indeks (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005). Njemu v prid govorita preprostost izračuna in fleksibilnost z uporabo izračuna na različnih časovnih skalah. Edini vhodni podatek za izračun predstavljajo padavine. Izbrali smo pet meteoroloških postaj, ki imajo na voljo daljši padavinski niz podatkov (več kot 30 let) in izračunali SPI na šestih časovnih skalah (ena-, dve-, tri-, šest-, devet- in dvanajstmesečni skali). SPI se računa za vsako izbrano časovno obdobje in daje primerjavo med celotnimi padavinami izbranega (več-) mesečnega obdobja in primerjalnim obdobjem na izbrani lokaciji. Uporabnost različnih časovnih skal izračuna v splošnem kaže na možnost spremljanja suše na več področjih (v kmetijstvu, vodnem gospodarstvu, energetiki), saj se različni sistemi (tla, površinski in podzemni vodni viri) različno hitro odzivajo na pomanjkanje padavin (McKee in sod., 1993; Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005). Izbrane so bile meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst, ki kažejo na podnebno raznolikost Slovenije.

Narava izračuna indeksa SPI najprej zahteva določitev najprimernejše teoretične porazdelitve, ki najbolje opiše padavinski niz podatkov. V praksi se največkrat uporablja gama porazdelitev (Edwards, 1997; Guttman, 1999; Lloyd-Hughes in Saunders, 2002a; Giddings in sod., 2005; Wu in sod., 2005; Gregorič in Ceglar, 2007; Ceglar in Kajfež-Bogataj, 2008). Vrednosti indeksa so lahko znatno odvisne od izbrane teoretične porazdelitve (Guttman, 1999). Za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad smo za januarke padavine

preizkusili logaritemsko normalno, Gumbelovo, Pearsonovo III, logaritemsko Pearsonovo III in gama porazdelitev. Rezultati (primerjava teoretičnih porazdelitev z empirično Weibullovo) so pokazali, da se gama, Gumbelova in Pearsonova III porazdelitev najboljše prilagajajo izbranim podatkom, zato so bile omenjene porazdelitve uporabljene za izračun indeksa na vseh časovnih skalah za postajo Ljubljana-Bežigrad. Za vse ostale meteorološke postaje smo vrednosti indeksa SPI izračunali s pomočjo gama porazdelitve. Za kontrolo so SPI vrednosti izračunane še s pomočjo programa, ki je prosto dostopen na spletni strani ameriškega Nacionalnega centra za upravljanje s sušo (NDMC). Vse izračunane vrednosti smo med seboj primerjali s Pearsonovim korelacijskim koeficientom  $R$ . Gumbelova porazdelitev se za razliko od Pearsonove III porazdelitve na vseh časovnih skalah izračuna dobro ujema z gama porazdelitvijo. Vse vrednosti korelacijskega koeficienta  $R$  dosežejo vrednost enako ali večjo od 0.98. Pearsonova III porazdelitev kaže večjo variabilnost. Najbolje korelira na dvo- in šestmesečni skali, kjer so vrednosti nad 0.99. Na daljših skalah, kot sta devet- in dvanajstmesečna je zaznati precej manjše koeficiente korelacije. Kljub dokaj nizkemu korelacijskemu koeficientu pa p-vrednost kaže še vedno močno statistično značilno povezavo med posameznimi izračunanimi vrednostmi. Pri izračunu Pearsonove III porazdelitve indeksa ni bilo mogoče analitično izračunati za padavinske dogodke, ki imajo manjše vrednosti od parametra porazdelitve  $c$ . Za namen korelacijske analize so bile neizračunane vrednosti pri vseh porazdelitvah izločene. Glede na korelacijske vrednosti, bi bila za izračun indeksa na vseh časovnih skalah za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad primerna tudi Gumbelova porazdelitev.

Izračunane vrednosti indeksa smo nato za najdaljši dostopni niz podatkov in za vse časovne skale izračuna primerjali in iz vrednotili sušna obdobja na posamezni lokaciji. Suša se začne, ko je indeks SPI stalno negativen in doseže intenzivnost pri vrednosti indeksa  $-1$  ali manj. Dogodek se konča, ko vrednost indeksa postane pozitivna (McKee in sod., 1993). Zato več zaporednih mesecev z negativnimi vrednostmi indeksa nujno ne pomeni suše. Negativna vrednost namreč identificira mesece, ko je padla manjša količina padavin v primerjavi z dolgoletnim primerjalnim obdobjem. Indeks na krajši časovni skali za vse postaje kaže veliko variabilnost in večje število sušnih dogodkov, ki so krajšega trajanja. Za identifikacijo suše je zato potrebno analizirati tudi daljša obdobja izračuna indeksa, ki so hkrati tudi kazalci hidrološke suše.

Posebej je narejen tudi izračun indeksov za presečno obdobje 1951–2004 na vseh izbranih postajah in časovnih skalah. Vrednosti za posamezne lokacije smo primerjali med seboj in poiskali skupna sušna obdobja. Ugotovili smo, da v večini primerov meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto in Trst kažejo podoben vzorec pojavljanja sušnih in mokrih

obdobji, kar bi lahko rekli tudi za meteorološki postaji Celje in Maribor-Tabor. Razlike znotraj vsake skupine se kažejo v jakosti suše, ki se lahko razlikuje za cel razred in trajanju ter začetku suše, ki se med postajami znotraj vsake skupine razlikuje za mesec ali dva. Suša nikoli ne zajame enakomerno celotne Slovenije, kar potrjuje trditev, da je suša regionalen pojav. V analiziranem obdobju je bilo kar nekaj suhih let, mednje spadajo leta 1954, 1968, 1971, 1972, 1983, 2000 in leto 2003 z rekordno sušnim in vročim poletjem. Zadnje obdobje analize (1990–2004) kaže, da se število ekstremnih dogodkov povečuje in hkrati intenzivira. Na izbranih lokacijah se kaže trend hitrega menjavanja ekstremnih situacij (ekstremnih sušnih in mokrih obdobji), še posebej od leta 2000 naprej.

Za celotno opazovano obdobje in vse časovne skale izračuna indeksa SPI smo za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad predstavili trende, ki se kažejo glede na dobljene vrednosti indeksa. Tudi s pomočjo analize časovnih sprememb indeksa je mogoče napovedati trend pojavljanja sušnih oz. mokrih razmer in s tem pričakovane količine padavin. V Ljubljani so se v letih 1853-2010 tako vsote padavin posameznih časovnih skal kot same vrednosti indeksa stalno zmanjševale, kar kaže na primanjkljaj padavin in večjo pogostost sušnih razmer glede na preteklo obdobje.

Pri analizi trendov ostalih izbranih meteoroloških postaj (Maribor-Tabor, Celje, Novo mesto in Trst) je očitno negativen trend na vseh lokacijah in vseh časovnih skalah, z izjemo Celja. Izračunane regresijske premice za postajo Celje so na vseh časovnih skalah naraščajoče in kažejo na normalne razmere. Ravno tako pri ostalih postajah trendi na vseh časovnih skalah ne presežejo okvirjev normalnih razmer. Vendar sta se Ljubljana in Maribor v zadnjih desetletjih močno približala delu, ki nakazuje sušne razmere. Trst kaže v primerjavi z ostalimi postajami izrazitejši negativni trend, smerni koeficient je v absolutnem smislu najvišji, kar nakazuje hitrejše spremembe pri padavinskih vzorcih v opazovanem obdobju.

Padavine so torej glavni dejavnik nadzora oblikovanja in vztrajnosti suše, na čemer temelji tudi standardiziran padavinski indeks. Vendar padavine ne predstavljajo edine pomembne meteorološke spremenljivke (Vicente-Serrano in sod., 2010). Evapotranspiracija, temperatura, hitrost vetra in vodozadrževalna sposobnost tal so prav tako pomembni vplivni faktorji razvoja suše. Meritve padlih padavin v krajšem časovnem obdobju tudi ne upoštevajo začetnega stanja tal niti sezonske variabilnosti evaporacije. Zato je potrebno za podrobnejšo analizo posamezne vrste suše uporabiti še druga orodja za spremljanje suše: sušni indeksi, ki vključujejo tudi druge spremenljivke, vodnobilančni modeli, analiza nizkih pretokov rek ipd. SPI zato predstavlja predvsem prvo informacijo o sušnih razmerah (Hayes in sod., 1999). Za določitev, kdaj začeti z izvajanjem ustreznih ukrepov, potrebujemo še dodatne informacije

drugih meteoroloških in hidroloških spremenljivk ter poznavanje podnebnih in hidroloških značilnosti analiziranega območja.

Eden izmed glavnih razlogov za široko uporabo SPI indeksa je ravno možnost izračuna na različnih časovnih skalah, ki odražajo razmere v različnih sistemih hidrološkega kroga (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005). Posamezne komponente hidrološkega kroga se različno odzivajo na časovna obdobja izračuna indeksa SPI (1, 2, 3, 4,...72 mesecev). Indeks, primeren za operativno rabo pri upravljanju z vodnimi viri mora biti na določeni časovni skali izračuna reprezentativen za sušne razmere v hidrološkem sistemu. Na tem področju do sedaj še ni bilo izvedenih veliko raziskav in ugotovljenih gotovih povezav med različnimi časovnimi obdobji spremljanja suše in vodnimi viri. V nalogi je bila za analizo srednjih mesečnih pretokov izbrana reka Pesnica za obdobje 1970–2009. SPI je bil izračunan za meteorološko postajo Maribor-Tabor.

Standardizirane vrednosti srednjega mesečnega pretoka in standardiziranega padavinskega indeksa na različnih časovnih skalah smo primerjali neprekinjeno, kjer so upoštevani vsi meseci kot kontinuum. Za primerjavo je bil izbran Pearsonov koeficient korelacije  $R$ . Medsebojna povezanost standardiziranih pretokov in padavin je za reko Pesnico za vse časovne skale izračuna SPI pozitivna, vendar se vrednosti korelacijskega koeficienta  $R$  spreminjajo glede na časovno skalo. Na krajših skalah izračuna (ena-, dvo- in tromesečna skala) je koeficient korelacije večji kot na daljših časovnih skalah. Najvišja vrednost koeficienta  $R$  je na dvomesečni časovni skali in je enaka 0.69. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Vicente-Serrano in Lopez-Moreno (2005) ter Gregorič in Ceglar (2007).

Nato smo primerjali še mesečne vrednosti standardiziranega pretoka za celotno izbrano obdobje (1970–2009) s posameznimi mesečnimi vrednostmi indeksa SPI na različnih časovnih skalah. Najvišja korelacija ( $R=0.754$ ) je med septembrskim SPI-2 in standardiziranim septembrskim pretokom. Visoke korelacije ( $R > 0.7$ ) najdemo predvsem na krajših časovnih skalah izračuna indeksa, in sicer pri SPI-1, SPI-2 in SPI-3. Druge časovne skale indeksa SPI, ki so daljšega trajanja (SPI-6, SPI-9 in SPI-12), v nobenem mesecu ne dosežejo te vrednosti korelacije. Najvišjo korelacijo med pretoki in SPI na dvomesečni skali je zaznati v februarju, maju, juliju, avgustu in septembru. Mesečni SPI pa se najbolje ujema s pretoki v aprilu, maju, juliju, novembru ter decembru. Med decembrom in marcem so zaznane nižje korelacije kot v poletnih in jesenskih mesecih, pri tem pa so višje korelacije zimskih mesecev višje na krajših časovnih skalah (1–3 mesece). Na različne korelacijske vrednosti vplivajo predvsem značilnosti porečja (relief, vodozadrževalna sposobnost tal, pokrovnost tal, oblika in velikost porečja) vključno s pripadajočimi hidrološkimi lastnostmi

(Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005). Na variabilnost korelacije hidrološke in meteorološke spremenljivke ima vpliv tudi rečni režim, ki opisuje nihanje vodnega stanja med letom, kar je v poglavitni meri odraz časovne razporeditve padavin, izhlapevanja, zadrževanja podzemnih voda in podobnega. Reka Pesnica ima dežno-snežni rečni režim kontinentalnega tipa (Kolbezen, 1998), ki s svojim viškom in nižkom med drugim določa odzivnost hidrološkega sistema na padavine (Vicente-Serrano in Lopez-Moreno, 2005).

Najvišje korelacije med standardiziranimi pretoki in SPI so torej zaznane na dvomesečni časovni skali, kar je v nasprotju s splošno trditvijo, da indeks SPI na daljši časovni skali (dvanajstmesečni in daljši) opisuje sušne razmere na površinskih in podzemnih vodnih virov (McKee in sod., 1993; Hayes in sod., 1996). Primer reke Pesnice kaže, da je potrebno za vsako porečje posebej določiti najprimernejšo skalo izračuna, saj se hidrološke, meteorološke in reliefne lastnosti bistveno razlikujejo med porečji. Rezultata prav tako ne bi mogla posplošiti za Slovenijo, ker je v izračun vključena le ena reprezentativna meteorološka postaja in manjša reka.

Merjeni pretoki se običajno ne prilegajo normalni porazdelitvi. V tem primeru smo metodologijo povzeli po avtorjih Vicente-Serrano in Lopez-Moreno (2005) ter domačih avtorjih Gregorič in Ceglar (2007). Pretoke smo standardizirali po normalni porazdelitvi zaradi večje primerljivosti in boljše ocene medsebojne povezanosti indeksa SPI in standardiziranega pretoka, kar nam omogoča lažjo primerjavo med meteorološkimi in hidrološkimi spremenljivkami. Po našem mnenju pa bi lahko še boljše rezultate dobili s standardizacijo pretokov s katero izmed porazdelitvenih funkcij, ki se v hidrologiji najpogosteje uporabljajo.

Slovenija je razmeroma bogata z vodnimi viri, vendar trendi v zadnjem času in izkušnje v preteklosti kažejo, da je tudi v Sloveniji aktualno vprašanje vodooskrbe in kakovosti vodnih virov v času sušnih razmer. Diplomaska naloga predstavlja možnosti uporabe meteorološkega indeksa za merjenje razmer v hidrološkem sistemu. Zagotovo so potrebne nadaljnje raziskave, predvsem v porečjih z drugimi lastnostmi.

## 9 VIRI

AFP. 2011.

<http://www.delo.si/novice/svet/afriski-rog-huda-susa-povzrocila-mnozicne-migracije.html>

(Pridobljeno 6. 2. 2012.)

Agnew, C.T. 2000. Using the SPI to Identify Drought. Drought Network News 12, 1: 6–12.

Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, C.T., Wieringa, J. 2003. Guidelines of climate data and homogenization. WMO/TD No. 1186.

Arhiv površinskih voda. 2011.

[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 13. 12. 2011.)

Atlas okolja. 2012.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso)

(Pridobljeno 29. 1. 2012.)

Bazza, M. 2001. Inferences a drought mitigation action plan. V: FAO – Regional Office for the Near East (ur.). Expert Consultation and Workshop on Drought Preparedness and Mitigation in the Near East and the Mediterranean. Aleppo, Syria, 27.–31. maj 2001. FAO: p. 1–12.

Blain, G.C. 2011. Standardized Precipitation Index based on Pearson Type III Distribution. Revista Brasileira de Meteorologia 26, 2: 167–180.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Bryant, E. 2005. Natural hazards. Cambridge [etc.]: Cambridge University Press: 312 str.

Bokal, S. 2010. Ekonomsko geografske posledice kmetijskih suš v Sloveniji – analiza suše 2006. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta (S. Bokal): 86 f.

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

Cegnar, T. 2010. Podnebne spremembe in potreba po prilagajanju nanje. V: *Okolje se spreminja. Podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje*. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 162 str.

Cegnar, T. 2003. Klimatske značilnosti leta 2003. Mesečni bilten Agencije Republike Slovenije za okolje X, 12: 23–32.

Chortaria, C., Karavitis, C.A., Alexandris, S. 2010. Development of the SPI Drought Index for Greece using geostatistical Methods. V: Morell, M. (ur.). *Conference on Water observation and information system for decision support: abstracts, May 25-29, 2010*. Skopje, Faculty of civil engineering: p. 1–11.

Commission of the European Communities. 2007. *Communication from the Commission of the European Communities to the European Parliament and the Council: Addressing the Challenge of Water Scarcity and Droughts in the European Union*. Brussels: 14 str.

Climate Division SPI Map Archive. 2011.

<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/ClimateDivisionSPI/ArchivedSPIMaps.aspx>

(Pridobljeno 31. 10. 2011.)

Dolar, M., Nadbath, M., Vičar, Z., Vertačnik, G., Pavčič, B. 2012. *Zgodovina podnebnih podatkov v Sloveniji*.

<http://www.ing.unitn.it/~foralps/Brochure/FORALPS%20brochure%20SLO.pdf>

(Pridobljeno 28. 1. 2012)

Edwards, D.C. 1997. *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Master of Science degree in Atmospheric Science. Fort Collins, Colorado State University, Department of Atmospheric Science: 155 f.

European Drought Centre. 2011.

<http://www.geo.uio.no/edc/> (Pridobljeno 25. 9. 2011.)

Furlan, D. 1961. *Padavine v Sloveniji*. V: *Acta geographica Slovenica = Geografski zbornik* 6. Ljubljana, ZRC SAZU: str. 5–150.



Gams, I. 1983. Dostavek k prispevku Ogroženost Slovenije zaradi Suše. V: Gams, I. (ur.). Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Zbornik posveta, 14. oktober, 1983. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti: str. 99–100.

Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B.M., Maarouf, A. 2005. Standardized Precipitation Index Zones for Mexico. *Atmosfera* 18, 1: 33–56.

Glossary. 2011.

<http://drought.unl.edu/DroughtBasics.aspx> (Pridobljeno 29. 9. 2011.)

Gregorič, G., Ceglar, A. 2007. Monitoring suše – regionalni aspekt. V: 18. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 10. december, 2007. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 124–127.

Gregorič, G., Sušnik, A. 2008. Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi. V: Bat, M. (ur.), Bergant, K. (ur.), Cegnar, T. (ur.), Gregorčič, B. (ur.), Knez, J. (ur.). 60 let slovenske meteorološke in hidrološke službe. Posebna številka biltena Naše okolje Agencije RS za okolje. XV, posebna izdaja: 55–59.

Guttman, N.B. 1999. Accepting the Standardized Precipitation Index: a Calculation Algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35, 2: 311–322.

Hayes, M.J. 2000. Revisiting the SPI: Clarifying the Process. *Drought Network News* 12, 2: 3–7.

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.

Heim, R.R.Jr. 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 8: 1149–1165.

Hidrološki letopis Slovenije. 2006.

<http://www.arso.si/vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/letopisi.html>

(Pridobljeno 3. 2. 2012.)

Hisdal, H., Tallaksen, L.M. 2000. Meteorological Drought. V: Hisdal, H. (ur.), Tallaksen, L.M. (ur.). Technical Report to the ARIDE project No. 6. University of Oslo, Department of Geophysics: p. 6–8.

International Glossar of Hydrology. 2011.

<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglu.htm> (Pridobljeno 25. 9. 2011.)

Kajfež Bogataj, L. 2008. Kaj nam prinašajo podnebne spremembe? Ljubljana, Pedagoški inštitut: 134 str.

Kemp, D.D. 1990. Global environmental issues : a climatological approach. London ; New York, Routledge: 220 str.

Kmetijska suša. 2001.

<http://www.arso.gov.si/cd/klima1/Zaslon/PDF%20Zaslon/42-Sedma%20susa%20v%20zadnjih%2041%20letih.pdf> (Pridobljeno 6. 2. 2012.)

Kobold, M. 2009. Vpliv podnebnih sprememb na ekstremne hidrološke pojave. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2009, 23: 128–135.

Kobold, M., Sušnik, M. 2003a. Hidrološke razmere površinskih voda opazovanih slovenskih rek v letu 2003. V: 14. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 15. december, 2003. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 70–78.

Kobold, M. 2003b. Hidrološka suša slovenskih vodotokov v obdobju 2000-2002. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2003/2004, 17–18: 102–111.

Kobold, M., Mikulič, Z., Sušnik, M., Rogelj, D. 2000. Hidrološka suša v letu 2000. V: 11. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 8. december, 2000. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 1–9.

Kolbezen, M. 1998. Rečni režimi. V: Kolbezen, M. (ur.), Pristov, J. (ur.). Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. 50 let organizirane hidrometeorološke službe na Slovenskem 1947–1997. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Slovenije: 13–14.

Kroženje vode. 2008.

[http://www.gimvic.org/projekti/projektno\\_delo/2008/2a/voda/krozenjevode.html](http://www.gimvic.org/projekti/projektno_delo/2008/2a/voda/krozenjevode.html)

(Pridobljeno 9. 11. 2011.)

Lloyd - Hughes, B., Saunders, M.A. 2002a. A Drought Climatology for Europe. *International Journal of Climatology* 22, 13: 1571–1592.

Lloyd-Hughes, B. 2002b. The Long-Range Predictability of European Drought. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy of the University of London. London, University College London, Department of Space and Climate Physics, Mullard Space Science Laboratory: str. 203.

Lokalno. 2011.

[http://www.lokalno.si/2011/12/07/71711/aktualno/Vase\\_fotke\\_Nizek\\_vodostaj\\_reke\\_Krke\\_v\\_Kostanjevici/](http://www.lokalno.si/2011/12/07/71711/aktualno/Vase_fotke_Nizek_vodostaj_reke_Krke_v_Kostanjevici/) (Pridobljeno 6. 2. 2012.)

Maracchi, G. 2000. Agricultural Drought – A Practical Approach to Definition, Assessment and Mitigation Strategies. V: Vogt, J.V. (ur.), Somma, R. (ur.). *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Dordrecht [etc.], Kluwer academic publishers: str. 63–75.

Matajč, I. 1991. Suša v kmetijstvu in namakanje. *Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami*. 1991, 5: 153–156.

Mawdsley, J., Petts, G., Walker, S. 1994. Assessment of Drought Severity. *British Hydrological Society Occasional Paper No.3*: 30 str.

McKee, T.B., Nolan, D.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. V: *Preprints of 8th Conference on Applied Climatology*. January 17–22, Anaheim, California, 1993. p. 179–184.

Meteorološki letopis 2009.

<http://www.arso.si/vreme/podnebnje/meteorolo%c5%a1ki%20letopis/2009mreza.pdf>

(Pridobljeno 26. 1. 2012)

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Mueller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* 20, 32.

Mikulič, Z., Andjelov, M., Savič, V. 2002. Prelomna suša podzemnih voda v letu 2002. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2003/2004, 17–18: 112–119.

Mishra, A.K., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391, 1–2: 202–216.

Nadbath, M. 2012. Opis izbranih meteoroloških postaj (splet). Sporočilo za: Šebenik, U. 1. 2. 2012. Osebna komunikacija.

Nadbath, M. 2008. Meteorološka postaja Ljubljana–Bežigrad.

<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/stations/ljubljana-bezigrad.pdf>

(Pridobljeno 27. 1. 2012)

Naravni logaritem. 2011.

[http://sl.wikipedia.org/wiki/Naravni\\_logaritem](http://sl.wikipedia.org/wiki/Naravni_logaritem) (Pridobljeno 26. 12. 2011.)

Natek, K. 1983. Ogroženost Slovenije zaradi suše. V: Gams, I. (ur.). Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Zbornik posveta, 14. oktober, 1983. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika Znanstvenoraziskovalnega centra Slovenske akademije znanosti in umetnosti: str. 94–99.

Nedoh, M. 2008. Okoljska ocena in makrofiti reke Pesnice. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba M. Nedoh): 77 f.

Niemeyer, S. 2008. New drought indices. V: Lopez-Francos A. (ur.). Drought management: scientific and technological innovations. 1. International Conference Drought Management: Scientific and Technological Innovations, Zaragoza, Spain, June 12–14, 2008. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; No. 80). Zaragoza, CIHEAM-IAMZ: p. 267–272.

Ntale, H.K., Gan, T.Y. 2003. Drought indices and their application to East Africa. International Journal of Climatology. 23, 11: 1335–1357.

Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No.45. US Dept. Of Commerce, Weather Bureau: 58 str.

Panofsky, H.A., Brier, G.W. 1963. Some Applications of Statistics to Meteorology. Pennsylvania, University Park, The Pennsylvania State University: 224 str.

Program to Calculate Standardized Precipitation Index. 2012.

<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

(Pridobljeno 8. 12. 2011)

Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 329 str.

Report of the RA II Working Group on Agricultural Meteorology. 1993. CAgM Report No. 52. WMO/TD-No. 524.

Revizijsko poročilo o smotrnosti ravnanja Republike Slovenije pri preprečevanju in odpravi posledic suše v kmetijstvu. 2007.

<http://www.rs->

[rs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K99638A13FF506FB3C1257322003D2E6B/\\$file/Susa\\_RSP00-06.pdf](http://www.rs-si/rsrs/rsrs.nsf/I/K99638A13FF506FB3C1257322003D2E6B/$file/Susa_RSP00-06.pdf)

(Pridobljeno 9. 4. 2011.)

Ruprecht, J. 2003. Desorpcijske značilnosti tal za vodo. Sodobno kmetijstvo: znanstveno-strokovna revija za kmetijstvo, živilstvo in gozdarstvo 36, 2: 21–22, 24, 27.

Steinemann, A.C., Hayes, M.J., Cavalcanti, L.F.N. 2005. Drought Indicators and Triggers. V: Wilhite, D.A. (ur.). Drought and Water Crises. Science, Technology and Management Issues. Boca Raton: CRC Press, Taylor and Francis Group: str. 72–90.

Sustainable water use. Extreme hydrological events: floods and droughts. 2001. Environmental issue report No 21. Luxembourg, EEA-Office for Official Publications of the EC: 84 str.

Standard score. 2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_score](http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_score) (Pridobljeno 24. 1. 2012.)

Stravisi, F. 2006. La meteorologia a Trieste.

<http://www.dst.univ.trieste.it/OM/papers/58-%20Stravisi%20F.%202006-%20La%20meteorologia%20a%20Trieste.pdf> (Pridobljeno 2. 2. 2012.)

Sušnik, A. 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo (A. Sušnik): 147 f.

Sušnik, A., Gregorič, G. 2008. Trendi ranljivosti na kmetijsko sušo. V: 19. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 8. december, 2008. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 26–31.

Szalai, S., Szinell, C. 2000. Comparison of Two Drought Indices for Drought Monitoring in Hungary – A Case Study. V: Vogt, J.V. (ur.), Somma, R. (ur.). Drought and Drought Mitigation in Europe. Dordrecht [etc.], Kluwer academic publishers: str. 161–166.

Šraj, M. 2012. Primer verjetnostne analize (splet). Sporočilo za: Šebenik, U. 11. 1. 2012. Osebna komunikacija.

Tate, E.L., Gustard, A. 2000. Drought Definition: A Hydrological Perspective. V: Vogt, J.V. (ur.), Somma, R. (ur.). Drought and Drought Mitigation in Europe. Dordrecht [etc.], Kluwer academic publishers: str. 23–48.

The Glossary of Meteorology. 2011.

<http://ams glossary.allenpress.com/glossary/search?id=drought1> (Pridobljeno 30. 9. 2011.)

Thom, H.C.S. 1966. Some Methods of Climatological Analysis. Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization. Technical Note No. 81.

Thorntwaite, C.W. 1947. Climate and Moisture Conservation. Annals of the Association of American Geographers 37, 2: 87–100.

Trontelj, M. 1997. Kronika izrednih vremenskih dogodkov XX. stoletja: pomembni vremenski dogodki v zgodovini: vreme ob pomembnih dogodkih. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 136 str.

Turk, G. 2011. Verjetnostni račun in statistika.

<http://km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/ovrs/OVRSLit.htm> (Pridobljeno 23. 1. 2012.)

van Lanen, H.A.J., Peters, E. 2000. Definition, Effects and Assessment of Groundwater Droughts. V: Vogt, J.V. (ur.), Somma, R. (ur.). Drought and Drought Mitigation in Europe. Dordrecht [etc.], Kluwer academic publishers: str. 49–61.

Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate 23, 7: 1696–1718.

Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. Hydrology and Earth System Sciences 9, 5: 523–533.

Zakon o ratifikaciji Konvencije Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji v tistih državah, ki doživljajo hudo sušo in/ali dezertifikacijo, zlasti v Afriki. Uradni list RS-MP, št. 14/2001: 925–964.

Zupan, M. 1991. Kakovost površinskih voda v sušnih obdobjih. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. 1991, 5: 156–160.

Zupančič, B. 2012. Pridobljeni podatki meteoroloških postaj (splet). Sporočilo za: Šebenik, U. 30. 1. 2012. Osebna komunikacija.

Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I. 2005. Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. Hydrology and Earth System Sciences 9, 5: 523–533.

What is drought? 2011. National Drought Mitigation Centre, University of Nebraska, Lincoln.  
<http://drought.unl.edu/DroughtBasics/WhatIsDrought.aspx> (Pridobljeno 25. 9. 2011.)

Wilhite, D.A., Buchanan-Smith M. 2005. Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context. V: Wilhite, D.A. (ur.). Drought and Water Crises. Science, Technology and Management Issues. Boca Raton, CRC Press, Taylor and Francis Group: str. 4–27.

Wilhite, D.A. 2003. Drought. V: Holton, R. J. (ur.). Encyclopedia of atmospheric sciences. Amsterdam [etc.], Academic Press: str. 650–658.

Wilhite, D.A., Glantz, M.H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10, 3: 111–120.

Wu, H., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., Svoboda, M. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology* 25, 4: 505–520.



## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A: DEFINICIJE SUŠE IN SUŠNI INDEKSI Z RAZLIČNIMI VHODNIMI PODATKI

## **PRILOGA A: DEFINICIJE SUŠE IN SUŠNI INDEKSI Z RAZLIČNIMI VHODNIMI PODATKI**

Tabela A.1: Definicije klimatološke suše in sušni indeksi s temperaturo ali padavinami kot vhodnima spremenljivkama

Tabela A.2: Definicije kmetijske suše in sušni indeksi s količino talne vode in parametri poljščin kot vhodnima spremenljivkama

**PRILOGA A.1: DEFINICIJE KLIMATOLOŠKE SUŠE IN SUŠNI INDEKSI S  
TEMPERATURO ALI PADAVINAMI KOT VHODNIMA SPREMENLJIVKAMA (cit. po Tate  
in Gustard, 2000: str 31; cit. po Maracchi, 2000: 65; cit. po Sušnik, 2006: PRILOGA A)**

Avtor	Definicije suše ali povezanega koncepta	Regija in komentar
Abu-Zeid in Abdel-Dayem (1990)	uporaba petletnega drsečega povprečja letnega odtoka	
Baldwin-Wiseman (1941)	3 ali več zaporednih mesecev s 50 % primanjkljajem povprečnih padavin	Avstralija
Banerji in Chabra (1964)	več kot 50 % sezonski deficit padavin – huda suša	Andhra Pradesh, Indija
Bates (1935)	75 % količina normalnih letnih padavin oziroma 60 % količine normalnih mesečnih padavin	ZDA
Bazza in Stockton (1990)	uporaba koeficientov variabilnosti letnih in mesečnih padavin	
Blumenstock (1942)	obdobje s padavinami manjših količin (0.1 palcev v 48 urah)	
British Rainfall Organisation (1936)	Absolutna suša: najmanj 15 zaporednih dni, ko dnevno pade manj kot 0.25 mm. Lokalna suša: najmanj 29 dni, v katerih povprečna količina padavin ne preseže 0.25 mm na dan. Suho obdobje: 15 zaporednih dni, z manj kot 1 mm na dan.	Velika Britanija
Brounov (začetek 20. stoletja)	10 dni z manj kot 5 mm padavin	cit. po Tannehill (1947)
Bryant in sod. (1992)	DSI (drought severity indicator) ali indikator jakosti suše: akumuliran mesečni deficit v primerjavi s povprečjem standardnega obdobja (1951-1989)	
Budyko (1970)	hidrotermični koeficient	Rusija
Clarke (1933)	letna količina padavin < 75 % povprečnih vrednosti je suša	
Cole (1933)	15 dnevno obdobje brez dežja	ZDA
Condra (1944)	obdobje močnega vetra, majhne količine padavin, visokih temperatur in nizke relativne vlage	ZDA
Foley (1954)	indeks jakosti suše, razmerje ostankov in povprečnih vrednosti	Avstralija
Gausson (1954)	skupna mesečna količina padavin v mm je manjša od dvakratne povprečne temperature (°C)	
Bibbs in Maher (1967)	decilna analiza padavin, prostorska in časovna porazdelitev suše (prvi decil – sušna območja)	Avstralija
Gommes in Petrassi (1994)	nacionalni indeks padavin – RI: izračun temelji na utežitvi letnega nacionalnega povprečja padavin z dolgoletnim povprečjem posamezne postaje	Afrika. Indeks RI dovoljuje primerjave med posameznimi leti in med regijami.
Henry (1906)	21 ali več dni, ko pade 30 % ali manj padavin od povprečja v času in prostoru; ekstremna suša nastopi, ko količina padavin pade na 10 % povprečnih padavin	ZDA
Hoyt (1936)	količina padavin < 85 % povprečja	ZDA
Knochenbauer (1937)	dnevna maksimalna temperatura in relativna vlaga v popoldanskem času (podatka za definiranje suhega obdobja)	Nemčija
Koloskov (1925)	razmerje letnih padavin in akumulirane povprečne dnevne temperature v vegetacijskem obdobju	Rusija
Le Houérou (1988, 1993)	verjetnost pojava dežja (dependable rains – DR); definiran kot količina dežja, ki pade v štirih letih od petih	Africa

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Priloge A.1

McKee in sod. (1993)	standardiziran padavinski indeks (SPI): izračun temelji na razliki padavin od povprečja v določenem časovnem obdobju, deljena s standardno deviacijo	ZDA
Phillips in McGregor (1998)	DSI3 – tri mesečni indeks jakosti suše: suša se pojavi, ko so padavine v mesecu manjše od povprečja zadnjih treh mesecev DSI6 – šestmesečni indeks jakosti suše je namenjen za testiranje DSI3	Velika Britanija
Tannehill (1947)	obdobje 21 dni, ko je padavin 30 % manj od povprečja	
Tardieu in Plus (1990)	uporaba triletnega drsečega povprečja letnih padavin	
Tennessee Valley Authority (1944)	obdobje, ko se v 21 zaporednih dneh pojavi 1/3 normalnih padavin	

**PRILOGA A.2: DEFINICIJE KMETIJSKE SUŠE IN SUŠNI INDEKSI S KOLIČINO TALNE VODE IN PARAMETRI POLJŠČIN KOT VHODNIMA SPREMENLJIVKAMA**  
(cit. po Maracchi, 2000: str 67)

Avtor	Definicije suše ali povezanega koncepta	Regija in komentar
Barger in Thom (1949)	ocena padavin glede na produktivnost poljščin	ZDA
Bova (1941)	indeks kot funkcija padavin, temperature in vlažnosti tal	- Rusija - škodo na rastlinah zaradi suše je zaznati, ko je indeks manjši od 1.5
Foley (1957)	poročila razmer poljščin in živine, objavljenih v uradnih biltenih in časopisih, skupaj z analizami padavin	- Avstralija - v pomoč pri opredelitvi posledic padavinskega primanjkljaja
Holmes (1962)	za količinsko ocenjevanje kmetijske suše je najpomembnejše natančno in regularno opazovanje vode v tleh	Kanada
Russel (1896)	niz mesecev ali let, v katerih pade malo padavin	Avstralija
Thorntwaite in Mather (1955)	vodnobilančni koncept z različnim skladiščenjem talne vode	ZDA
Van Bavel (1953)	suša naj bo definirana glede na vodne razmere v tleh in temu primerne rasti poljščin	ZDA
Van Bavel in Verlinden (1956)	okoliščine, v katerih ni na razpolago dovolj vode v tleh	ZDA
White (1955)	z oziroma na kserofite rastline in razmere na pašnikih	- Zahodna Avstralija - prenos na druga geografska področja ni možen