

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Ljubljana, 2019

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	532.533:551.577.38(497.4)(043.3)
Avtor:	Jan Cunja
Mentorica:	izr. prof. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.
Somentorica:	asist. dr. Mira Kobold, univ. dipl. fiz.
Naslov:	Časovna in prostorska analiza največjih hidroloških suš v Sloveniji
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	53 str., 8 pregl., 48 sl., 3 en.
Ključne besede:	Hidrološka suša, mali pretoki, srednji letni minimum, sušni prag, deficit pretoka.

Izvleček

Suša je naravni pojav, ki se zaradi podnebnih sprememb v zadnjem obdobju pojavlja vedno pogosteje in prizadene različna območja po skoraj celem svetu. Pomanjkanje padavin in njihova neenakomerna porazdelitev povzroča težave tudi v Sloveniji. Na območju Slovenije v preteklosti ni bilo obsežnejših analiz hidrološke suše, čeprav povzroča škodo v energetiki, vodooskrbi, industriji in turizmu. Glavni namen magistrske naloge je bila zato izdelava obsežnejše časovne in prostorske analiza hidrološke suše v Sloveniji.

V časovno in prostorsko analizo največjih hidroloških suš v Sloveniji je bilo vključenih 44 vodomernih postaj, ki zagotavljajo dobro geografsko pokritost območja Slovenije in imajo dostopne nize podatkov brez daljših izpadov beleženja. Izračunani so bili kazalniki nizkih pretokov za celoten niz podatkov posameznih postaj, nato pa so bila na podlagi rezultatov identificirana leta z največjimi hidrološkimi sušami. Ker je večini izbranih postaj skupno obdobje beleženja 1960–2016, je bila za to obdobje izvedena še analiza sušnih dogodkov v identificiranih sušnih letih 1993, 2003, 2011 in 2012. V prvem delu analiz sta bili dodani še leti 1971 in 1989. Prvi del analiz obsega primerjavo volumnov in trajanj sušnih deficitov izračunanih po metodi praga z izbiro različnih vrednosti pragov za tri izbrane vodomerne postaje. V drugem delu analiz je opisan način identifikacije najbolj sušnih let na primeru diagrama najmanjših letnih pretokov $MAM(n)$ različnih trajanj. V nadaljevanju so izračunani in prikazani specifični najmanjši letni pretoki $MAM(180)$ za 180-dnevno drseče povprečje in specifični najmanjši pretoki drsečega povprečja za 180 dni v avgustu $MAM(180)_{avg}$ ter $MAM(n)_{avg}$ trajanj 7, 30, 180 in 360 dni za leto 1993. Sledijo izračuni standardiziranih volumnov in trajanj deficitov sušnih dogodkov ter njihovi grafični prikazi.

Na podlagi opravljenih analiz in dosedanjih ugotovitev drugih avtorjev smo ugotovili, da je bilo po letu 1960 v Sloveniji najbolj sušno leto 2003, ko je suša prizadela predvsem severovzhodni del Slovenije. To območje je zajela nekoliko milejša suša tudi v letu 2012. Leta 1993 je bil najbolj sušno prizadet sever, vzhod in severovzhod države. Najmanj sušno od identificiranih sušnih let pa je bilo leto 2011, ko so sušni dogodki zajeli južni del Slovenije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 532.533:551.577.38(497.4)(043.3)

Author: Jan Cunja

Supervisor: Assoc. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.

Co-advisor: Assist. Mira Kobold, Ph.D.

Title: Temporal and spatial analysis of the largest hydrological droughts in Slovenia

Document type: Master Thesis

Notes: 53 p., 8 tab., 48 fig., 3 eq.

Key words: Hydrological drought, low flows, mean annual minima, threshold level, streamflow deficit.

Abstract

Drought is a natural phenomenon that, in recent years, happens more and more frequently due to climate change and affects various regions almost all over the world. The lack of precipitation and its uneven distribution causes problems also in Slovenia. In the past, there has been no extensive analysis of hydrological drought in Slovenia even though it causes damage in energetics, water distribution, industry and tourism. The main objective of the master's thesis is therefore to provide a more extensive temporal and spatial analysis of hydrological droughts in Slovenia.

In temporal and spatial analysis of the largest hydrological droughts in Slovenia, 44 gauging stations were included, to ensure good geographical coverage of the Slovenian territory. Included gauging stations have accessible hydrological data sets without longer gaps of missing data. First, low-flow indices were calculated for the entire data set for each gauging station and then, on the basis of those results, the years with the most severe hydrological droughts were identified. Since the majority of selected gauging stations have overlapping river flow recordings for the 1960–2016 period, analysis was carried out for this interval for drought events in identified years 1993, 2003, 2011 and 2012. The years 1971 and 1989 were added to the first part of the analyses. This first part deals with the comparison of volumes and durations of drought deficits calculated using the threshold method for different selected thresholds for three gauging stations. The second part of the analysis describes the method of identifying the most severe drought stricken years on the diagram of mean annual minima $MAM(n)$ for different durations. Furthermore the specific mean annual minima $MAM(180)$ for moving average of 180 days and specific mean annual minima for the 180-day duration for August $MAM(180)_{avg}$ were shown. In addition $MAM(n)_{avg}$ of 7-, 30-, 180- and 360-day durations for the year 1993 were presented. Lastly, calculations of standardized volumes and durations of drought deficits were executed and graphically presented.

On the basis of executed analysis and previous findings of other authors we concluded that the year with the most severe drought after the 1960 was the year of 2003 when drought affected mainly north-eastern part of Slovenia. The same area was affected by a milder drought in 2012. In the year 1993, drought events were most severe in the northern, eastern and north-eastern part of the country. The least severe droughts were present in 2011 when drought events happened in the southern part of Slovenia.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici in somentorici za dostopnost, usmerjanje pri pisanju magistrske naloge in vse popravke.

Hvala sošolcem in sošolkam za pomoč pri študijskih obveznostih.

Rad bi se zahvalil tudi družini, prijateljem in prijateljicam, ki so me podpirali v času študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM.....	II
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE.....	VI
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
KAZALO SLIK.....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 Pregled literature	2
1.2 Cilji naloge	3
2 OPISI SUŠNIH RAZMER V SLOVENIJI	5
2.1.1 Leto 1993.....	5
2.1.2 Leto 2003.....	5
2.1.3 Leto 2012.....	5
3 METODE IN PODATKI.....	7
3.1 Metode.....	7
3.1.1 Percentili iz krivulje trajanja pretokov	7
3.1.2 Najmanjši letni (srednji dnevni) pretok	7
3.1.3 Korelacijska matrika.....	7
3.1.4 Metoda praga	8
3.1.5 Izbira praga.....	8
3.1.6 Standardizirani volumen deficita.....	10
3.1.7 Specifični odtok.....	10
3.1.8 Inverzna distančna metoda	10
3.2 Programska orodja.....	11
3.2.1 Programsko orodje R.....	11
3.2.2 ArcGIS Desktop	12
3.3 Podatki.....	12
4 REZULTATI.....	14
4.1 Izračun $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$	14
4.1.1 Celotno obdobje meritev	14
4.1.2 Obdobje 1960–2016	21
4.2 Korelacijska matrika.....	25
4.3 Izračun deficitov po metodi praga	27
4.3.1 Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Polana I (Ledava).....	28

4.3.2	Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Litija (Sava)	28
4.3.3	Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Kubed II (Rižana)	29
5	ANALIZA	31
5.1	Analiza deficitov sušnih dogodkov	31
5.1.1	Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Polana I (Ledava)	31
5.1.2	Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Litija (Sava)	33
5.1.3	Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Kubed II (Rižana)	35
5.2	Analiza diagramov $MAM(n)$ različnih trajanj	37
5.3	Analiza specifičnih $MAM(n)$ in $MAM(n)_{avg}$	38
5.4	Analiza brezdimenzijskih sušnih deficitov	41
6	POVZETEK ANALIZ IN RAZPRAVA	46
7	ZAKLJUČKI	49
	VIRI	51

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izbor postaj	12
Preglednica 2: Leta, v katerih se pojavijo najmanjši $MAM(n)$ v celotnem obdobju meritev posamezne vodomerne postaje.....	17
Preglednica 3: Preglednica najmanjših pretokov $MAM(n)$	24
Preglednica 4: Sušni pragi za posamezno vodomerno postajo, izračunani za obdobje 1960–2016	26
Preglednica 5: Korelacijska matrika pragov.....	27
Preglednica 6: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Polana I (Ledava), leta 2003, prag $sQnp$	28
Preglednica 7: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Litija (Sava), leta 2003, prag $sQnp$	29
Preglednica 8: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Kubed II (Rižana), leta 2003, prag $sQnp$	30

KAZALO SLIK

Slika 1: Primer krivulje trajanja pretokov za vodomerno postajo Litija (Sava) za obdobje 1960–2016.	7
Slika 2: Prikaz vrednosti Pearsonovih koeficientov korelacije za različne podatke (Yeager in sod., 2018)	8
Slika 3: Metoda praga a) konstantni in sezonsko konstantni prag b) mesečno spremenljivi prag c) dnevno spremenljivi prag (Stahl, 2001)	8
Slika 4: Prikaz vpliva izbire različnih pragov na primeru hidrograma vodomerne postaje Gornja Radgona I s pragi Q_{70} , Q_{90} in $sQnp$	9
Slika 5: Odvisna (rumena) celica, določena na podlagi vzorčnih (rdečih) točk (Esri Inc., 2014)	10
Slika 6: Analizirane vodomerne postaje	13
Slika 7: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(7)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje	15
Slika 8: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje	15
Slika 9: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(180)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje	16
Slika 10: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(360)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje	16
Slika 11: Število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ za najbolj sušna leta v celotnem nizu dostopnih podatkov posameznih vodomernih postaj	17
Slika 12: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Gornja Radgona I (Mura) za celotno obdobje meritev	19
Slika 13: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Litija (Sava) za celotno obdobje meritev	19
Slika 14: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Čatež I (Sava) za celotno obdobje meritev	19
Slika 15: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Metlika (Kolpa) za celotno obdobje meritev	20
Slika 16: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Moste I (Ljubljana) za celotno obdobje meritev	20
Slika 17: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Hasberg (Unica) za celotno obdobje meritev	20
Slika 18: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Nazarje (Savinja) za celotno obdobje meritev	21
Slika 19: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(7)$ v obdobju 1960–2016	22
Slika 20: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ v obdobju 1960–2016	22
Slika 21: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(180)$ v obdobju 1960–2016	23
Slika 22: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(360)$ v obdobju 1960–2016	23
Slika 23: Število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ za najbolj sušna leta v obdobju 1960–2016	25
Slika 24: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Polana I (Ledava)	28
Slika 25: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Litija (Sava)	29
Slika 26: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Kubed II reke Rižane	30
Slika 27: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag $sQnp$	31
Slika 28: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag Q_{90}	32
Slika 29: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag Q_{80}	32
Slika 30: Hidrogrami vodomerne postaje Polana I (Ledava) za leta 2003, 2011 in 2012	33
Slika 31: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag $sQnp$	34
Slika 32: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag Q_{90}	34
Slika 33: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag Q_{80}	34

Slika 34: Hidrogrami vodomerne postaje Litija (Sava) za leta 1971, 1993 in 2003.....	35
Slika 35: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag sQ_{np}	36
Slika 36: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag Q_{90}	36
Slika 37: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag Q_{80}	36
Slika 38: Hidrogrami vodomerne postaje Kubed II (Rižana) za leta 1989, 2003 in 2012.....	37
Slika 39: Primer analize grafičnega prikaza $MAM(n)$ za vodomerno postajo Litija (Sava)	38
Slika 40: Primerjava specifičnih $MAM(180)$ v izbranih sušnih letih.....	39
Slika 41: Primerjava najmanjših specifičnih pretokov drsečega povprečja za 180 dni v avgustu za sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012	40
Slika 42: Primerjava specifičnih najmanjših pretokov drsečega povprečja za n-dni v avgustu za sušno leto 1993	40
Slika 43: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 1993	41
Slika 44: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2003	42
Slika 45: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2011	42
Slika 46: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2012	43
Slika 47: Primerjava standardiziranih skupnih volumnov deficitov v letih 1993, 2003, 2011 in 2012.....	44
Slika 48: Primerjava skupnih trajanj deficitov v letih 1993, 2003, 2011 in 2012	45

1 UVOD

Suša je naravni pojav, ki dandanes prizadene različna območja po skoraj celem svetu. Vplivi suše so pogosto podcenjeni zaradi počasnega razvoja tega pojava in njegovega posrednega vpliva na človeška življenja. Pomanjkanje vode ogroža naravo, kvaliteto življenja in ekonomijo. Uporaba vode in upravljanje z njo je bilo skozi zgodovino sčasoma prilagojeno razpoložljivim vodnim virom posameznih območij. Potrebe po vodi naraščajo, spremembe izdatnosti vodnih virov, predvsem spremembe sezonskih nihanj količin vodnih zalog, pa so pri upravljanju z vodo včasih spregledane. Pogosto pojavljanje suš v osemdesetih in devetdesetih letih dvajsetega stoletja je širom Evrope prebudilo ozaveščenost za to naravno nevarnost. Zaradi klimatskih sprememb se v prihodnosti pričakuje vedno več hidroloških sušnih ekstremov (Stahl, 2001). Slovenija spada med eno najbolj vodnatih držav Evrope in sveta. Kljub temu pa podatki kažejo, da je suša zaradi pomanjkanja padavin in njihove neenakomerne časovne porazdelitve vedno večji problem tudi v Sloveniji (Sušnik in sod., 2013).

Suše lahko ločimo glede na njihov nastanek. Poznamo meteorološko, kmetijsko, hidrološko in socialno-ekonomsko ter ekološko sušo (Zalokar, 2018; Potočnik, 2014; Tallaksen in Van Lanen, 2004; Petek, 2014). Meteorološka suša nastopi po daljšem obdobju pomanjkanja padavin na večjem območju. Zaradi pomanjkanja padavin in visoke stopnje izhlapevanja pride do izsuševanja zemljine. Če vlažnost zemljine ni zadostna za potrebe rastlin, govorimo o kmetijski suši. Hidrološka suša nastopi zadnja, ko pomanjkanje vode v tleh pripelje do zmanjšanja nivojev rek in podtalnice. O socialno-ekonomski suši govorimo takrat, ko pomanjkanje vode vpliva na družbo in ekonomijo, o ekološki pa takrat, ko ima suša negativen vpliv na živali in rastline (Tallaksen in Van Lanen, 2004). V magistrski nalogi se bomo omejili na analizo hidrološke suše.

Hidrološka suša v Sloveniji povzroči največ težav v energetiki, vodooskrbi, pa tudi v industriji in turizmu (Sušnik in sod., 2013). Slovenske reke imajo večinoma podpovprečno letno vodnatost vse od leta 1980, obdobja z malimi pretoki pa so vse daljša. Zime so v zadnjih letih manj bogate s snegom, kar je eden od razlogov za statistično značilno upadanje pretokov na območjih z gorskim zaledjem. Hidrološka suša je regionalni pojav in nikoli ne zajame enakomerno cele Slovenije (Sušnik in sod., 2013).

Definicije suše so lahko konceptualne ali operativne. Konceptualne definicije opišejo splošne koncepte suše, operativne pa poskusijo določiti pogostost pojavljanja, identificirati začetek in konec ter intenziteto sušnih dogodkov (Wilhite in Glantz, 1985). Konceptualno je po Sheffieldu in Woodu (2011) suša najbolj splošno definirana kot »obdobje deficita vode glede na normalne pogoje« (Brenčič, 2017). V prispevku Hidrološko izrazje (Mikoš in sod., 2002) najdemo konceptualno definicijo hidrološke suše: *»Dovolj dolgo obdobje nenormalno suhega vremena, da povzroči povečano pomanjkanje vode, kar kažejo podpovprečni pretoki, podpovprečno znižanje gladin jezer in/ali znižanje vlage v tleh ter znižanje gladine podtalnice«*. Operativne definicije suše se med seboj razlikujejo in nobena izmed njih ne opiše vseh možnih okoliščin, zato je prepoznavanje sušnih dogodkov in odzivanje nanje bolj zahtevno kot pri ostalih naravnih nesrečah.

Danes za prepoznavanje sušnih dogodkov najpogosteje uporabljamo sušne indekse, na podlagi katerih se tudi odločamo, kdaj se je potrebno odzvati na sušni dogodek (NDMC, 2018). Pregled hidroloških sušnih indeksov za površinske vode, ki se uporabljajo v praksi po svetu, je bila predstavljena v magistrski nalogi Zalokar (2018). Zalokar (2018) je izdelala tudi izračun in analizo različnih indeksov na različnih časovnih skalah za 46 hidroloških postaj v Sloveniji. Na podlagi raziskave je predlagala najprimernejši indeks za razglasitev hidrološke suše površinskih voda v Sloveniji. Pred tem je bilo področje uporabe hidroloških sušnih indeksov v Sloveniji precej neraziskano.

1.1 Pregled literature

Wilhite in Glantz (1985) sta opisala različne definicije suše ter vplive suše na družbo, na koncu pa predlagala širšo definicijo, ki zajema tako fizikalne kot socialne pokazatelje suše (Wilhite in Glantz, 1985). Brenčič (2017) je opravil pregled različnih opredelitev in vrst suš ter parametrov suš in njihovih kazalcev, ki se pojavljajo v tuji in domači literaturi. Ugotovil je, da smo se v Sloveniji v preteklosti ukvarjali predvsem s kmetijsko sušo. Za boljše razumevanje sušnih dogodkov pa bomo v prihodnosti morali sušo obravnavati širše. Na tak način bomo bolje razumeli in obvladovali tudi kmetijsko sušo. (Brenčič, 2017).

Stahl (2001) je analizirala hidrološko sušo na področju Evrope. S ciljem boljšega razumevanja sušnih procesov in vzrokov zanje se je Stahl v svoji študiji ukvarjala s podrobnejšo analizo sušnih karakteristik v času in prostoru ter z vplivi, ki jih imajo na sušne karakteristike atmosferske gonilne sile. V svoji študiji je obravnavala več kot 600 evropskih rek, ki so imele skupno referenčno časovno obdobje beleženja dnevnih podatkov pretokov od leta 1962 do leta 1990. Prispevna območja teh vodotokov pokrivajo velik del zahodne, severne, centralne in vzhodne Evrope ter Španijo, kar pomeni veliko raznovrstnost pretočnih režimov ter sezon nizkih pretokov. Na podlagi teh podatkov je določila dve vrsti sušnih dogodkov, in sicer hidrološke suše na podlagi klasične metode sezonsko konstantnega praga in hidrološke suše na podlagi pretočnega primanjkljaja (anomalije) z uporabo metode spremenljivega praga. Za referenčno obdobje 1962–1990 so bili ugotovljeni trendi naraščanja resnosti sušnih dogodkov na področjih Španije, jugozahoda Združenega kraljestva in Slovaške. Stahl (2001) v svoji disertaciji vpelje indeks regionalnega pretočnega deficita ali RDI (angl. *regional streamflow deficiency index*), ki opiše moč vpliva pretočnega primanjkljaja na določeno regijo. Vpeljava indeksa RDI je omogočila prvo oceno prostorsko-časovnih karakteristik večjih sušnih obdobj v referenčnem obdobju. V nadaljevanju je na osnovi indeksa RDI analizirala še meteorološki vpliv na pretočne primanjkljaje po celi Evropi in izdelala modele, ki jih je uporabila za rekonstrukcijo zgodovinskih dogodkov ter napovedi različnih scenarijev regionalnih pretočnih deficitov RDI. Rekonstrukcija je dala primerljive rezultate zgodovinskim dokumentiranim meritvam in analizam. Na podlagi analiziranih scenarijev za prihodnost pa je bilo ugotovljeno, da bo večji del Evrope izpostavljen bolj mokrim razmeram, hkrati pa se bo povečalo število redkih in resnih sušnih dogodkov posebno na območjih Španije, jugozahoda Združenega kraljestva in severne Nemčije. Tallaksen in Van Lanen sta leta 2004 v sodelovanju s številnimi organizacijami in posamezniki izdala knjigo, v kateri sta zbrala ugotovitve relevantne za analizo hidrološke suše, ki so bile do tedaj objavljene v znanstvenih revijah, poročilih in tehničnih priročnikih. Knjiga je razdeljena v tri dele. V prvem je predstavljen pojav suše in njenih glavnih značilnosti, vplivi klimatologije na hidrološke procese in procesi, ki vplivajo na generiranje vodnega toka. Drugi del knjige se ukvarja z metodami vrednotenja suš. Podrobneje so opisane metode in izračuni, ki so podkrepjeni s praktičnimi primeri. V tretjem delu so opisani možni človeški vplivi na pojav suš, ekološki učinki suš na žive organizme v vodotokih in ključni vidiki operativne hidrologije nizkih pretokov. Fleigh in sodelavci (2006) so prikazali uporabo metode praga in tri metode združevanja na osnovi podatkov dnevnih pretokov (postopek drsečega povprečja, kriterij med-dogodka časa in volumna ter algoritem zaporednih konic) in ovrednotili njihovo uporabnost na različnih rečnih režimih.

Tudi v Sloveniji je bilo do sedaj že narejenih nekaj analiz sušnih dogodkov. Potočnik (2014) se je ukvarjal z določitvijo, analizo in uporabo sušnih kazalnikov za določanje hidrološke suše. Preveril je tudi njihovo medsebojno povezanost. Pojasnil je metodo praga ter določil sušni prag za izbrane postaje. Opisal je metode združevanja sušnih dogodkov in podrobneje obdelal metodo algoritma zaporednih konic. Na koncu je podal še smernice in predloge za sprotno spremljanje in vrednotenje hidrološke suše. Šebenik (2012) in Dornik (2016) sta analizirala meteorološko sušo na področju Slovenije s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa na različnih časovnih skalah (na ena-, dve-, tri-, šest-, devet- in

dvanajstmesečni skali) za obdobje 1951-2004 na vzorcu petih meteoroloških postaj (Šebenik, 2012) in za obdobje 1951-2014 na vzorcu dvajsetih meteoroloških postaj (Dornik, 2016). Oba sta prišla do enakih zaključkov; da se suša pojavlja regionalno in da v zadnjem obdobju postajajo suše pogostejše in izrazitejše. Šebenik (2012) omeni tudi opazen trend hitrega menjavanja ekstremnih sušnih in mokrih obdobji posebnost od leta 2000 dalje. Dornik (2016) doda, da se standardizirani padavinski indeks dobro obnese kot pokazatelj meteorološke suše, za kmetijsko in hidrološko sušo pa bi ga bilo potrebno dopolniti z dodatnimi kazalniki suše. Zalokar (2018) je opisala je kazalnike, s katerimi lahko definiramo hidrološko sušo. Za študijo hidrološke suše je uporabila standardizirani indeks pretoka SSI in sušni indeks pretoka SDI za izračun na različnih časovnih skalah. Te indekse je izračunala s programskimi orodji za izračun standardiziranega padavinskega indeksa SPI. Nato je analizirala rezultate izračunanih indeksov ter prikazala njihovo prostorsko porazdelitev za tipično mokro in suho leto. Na koncu je indekse prikazala še na kartah jakosti. Za izbrane hidrološke postaje je določila število hudih in ekstremnih suš. S pomočjo metode hierarhičnega razvrščanja je postaje tudi razvrstila v skupine glede na podobnost pojavljanja suš (Zalokar, 2018). Petek (2014) je v diplomski nalogi naredila pregled glavnih kazalnikov nizkih pretokov. To so statistike nizkih pretokov, indeks baznega odtoka, analiza recesijske krivulje in deficita vodnega toka, krivulja trajanja pretoka ter indeks in razmerje sezonskosti. Pri izračunih je uporabila programsko orodje R in paket *lfstat* (Koffler in sod., 2016), ki omogoča analizo nizkih pretokov. Za izračune je kot primer uporabila vodomerno postajo Kokra I (Kokra). V nadaljevanju je analizirala še dodatnih 55 vodomernih postaj ter jih uvrstila v pretočne režime. V zadnjem delu naloge je analizirala povezave med kazalniki nizkih pretokov. Paket *lfstat* temelji na priročniku z naslovom »Manual on low-flow Estimation and Prediction«, ki ga je izdala Svetovna meteorološka organizacija (WMO, 2008). Priročnik vsebuje napotke za oceno in napovedovanje nizkih pretokov.

V literaturi najdemo opise sušnih razmer na področju Slovenije za hidrološko najbolj suha leta. Kolbezen (1990) je opisal razmere površinskih in podzemnih voda v letu 1989. Kolbezen s sodelavci (1994) je za leto 1993 opisal klimatske razmere in opravil analize nizkovodnih stanj na podlagi trajanja nizkovodnega obdobja, deficitov odtoka ter letnih minimumov. Opisal je tudi sušne razmere v aluvialnih vodonosnikih in kmetijsko sušo (Kolbezen in sod., 1994). V reviji Ujma sta bila leta 2003 objavljena dva članka, ki se ukvarjata s sušnimi dogodki v obdobju 2000–2002 ter v letu 2003. Kobold (2003) je opisala znanstvene vidike suše in nato nizkovodne razmere v letih 2000, 2001 in 2002. Opisani so vzroki za nastanek suše v teh letih. Nizkovodna stanja v obdobju 2000–2002 so ovrednotena na podlagi minimalnih pretokov različnih trajanj (angl. *mean annual minimum* - MAM) ter metode praga, s katero so bili izračunani maksimalni in letni deficiti. Kot prag je bil izbran percentil Q_{95} , izračunan za obdobje 1960–1988. Kobold in Sušnik (2003) sta predstavili hidrološke razmere v Sloveniji v letu 2003, narejena je bila analiza nizkovodnih razmer ter ovrednotenje malih pretokov z analizo minimalnih pretokov različnih trajanj (MAM). Narejene so bile tudi analize temperatur vode na postajah Podbočje (Krka) in Solkan (Soča), za leti 2003 in 1993 ter najvišjih in srednjih letnih temperatur za obdobje opazovanj. Tudi za leto 2012 najdemo opis meteoroloških razmer in hidroloških nizkovodnih razmer površinskih in podzemnih voda. Na koncu je opisano še, kako se je suša odražala v kmetijstvu (Kobold in sod., 2012). Sušnik s sodelavci (2013) pa je analizirala sušne razmere v letu 2013. V istem prispevku je analizirana spremenljivost kmetijskih in hidroloških suš v Sloveniji.

1.2 Cilji naloge

Cilji te magistrske naloge so: (1) predstaviti metode in uporabljene podatke za časovno in prostorsko analizo hidroloških suš v Sloveniji, (2) izbrati sušni prag za analizo sušnih dogodkov v Sloveniji, (3) izračunati kazalnike nizkih pretokov različnih trajanj $MAM(n)$ in na podlagi le-teh identificirati leta z največjimi hidrološkimi sušami v Sloveniji, (4) prikazati postopek izračuna sušnih deficitov za

posamezno vodomerno postajo, (5) za leta z identificiranimi največjimi hidrološkimi sušami izvesti analize sušnih dogodkov, ki zajemajo (a) izračun volumnov in trajanj sušnih deficitov pri različnih pragih za tri vodomerne postaje ter prikaz hidrogramov teh postaj za sušna leta z največjimi izračunanimi letnimi volumni deficitov, (b) izris diagrama najmanjših letnih pretokov $MAM(n)$ različnih trajanj in opis načina za identifikacijo sušnih let, (c) izračun specifičnih $MAM(n)$ za vse izbrane vodomerne postaje ter grafični prikaz rezultatov, (d) izračun standardiziranih skupnih letnih volumnov in trajanj deficitov za izbrane vodomerne postaje in grafični prikaz rezultatov, (6) povzeti ugotovitve o sušnih razmerah v posameznih sušnih letih na podlagi rezultatov analiz in dosedanjih podatkov iz literature o sušnih razmerah v teh letih.

2 OPISI SUŠNIH RAZMER V SLOVENIJI

Med hidrološko najbolj suha leta glede na razpoložljivo obdobje meritev v Sloveniji sodijo leta 1946, 1947, 1949, nato pa leto 1993, obdobje 2000–2003 in leto 2012, med katerimi sta bili najbolj sušni leti 2003 in 2012 (Sušnik in sod., 2013). V nadaljevanju podajamo opise največjih sušnih dogodkov (1993, 2003 in 2012) in ugotovitve različnih avtorjev.

2.1.1 Leto 1993

Sušno obdobje brez padavin je trajalo že od sredine decembra v letu 1992 do konca avgusta 1993. Primanjkljaj padavin je bil tako velik, da ga niso nadoknadile niti padavine v jesenskih mesecih. Od januarja do konca julija je po večini Slovenije padlo le 50% padavin v primerjavi z obdobjem 1961–1990 (Kolbezen in sod., 1994). Tudi Dornik (2016) je ugotovil, da se je ena od treh večjih ekstremnih suš na šestmesečni skali SPI zgodila v letu 1993 na postajah Murska Sobota, Leskovica in Sinji Vrh. Upadanje voda in s tem začetek sušnega obdobja, se je pričelo že v decembru 1992. V mesecu marcu 1993 so se pretoki močno približali najnižjemu marčevskemu pretoku po letu 1960. Zaradi izpada pomladanskih padavin so na večini vodotokov v maju beležili najnižje majsko nizkovodno stanje po letu 1945. Izostanek aprilskih padavin ni bil tako velik na območju južne in jugozahodne Slovenije in absolutni majski minimumi pretokov na vodotokih Krka, Ljublanica, Unica, Mirna, Sotla, Kolpa, Idrijca, Vipava, Notranjska Reka in Rižana niso bili doseženi. Prav tako opisane sušne razmere ne veljajo za reki Muro in Dravo, ki imata snežni režim in zato največje vodno stanje v poletnih mesecih. Med poletjem se hidrološka suša ni bistveno poslabšala, saj so bile sicer skope padavine dokaj ugodno (enakomerno) razporejene. Dolgotrajno sušno obdobje je doseglo vrh 24. avgusta, nato pa so se razmere začele izboljševati. V vzhodni Sloveniji se je suša nadaljevala še v september. Na tem območju in severovzhodni Sloveniji so bili zabeleženi tudi absolutni minimalni pretoki (Kolbezen in sod., 1994).

2.1.2 Leto 2003

V letih 2000 in 2001 smo v Sloveniji beležili ekstremno nizke pretoke predvsem v poletnih mesecih (junij, julij, avgust). V letu 2002 so bili pretoki v mejah srednjih malih pretokov od začetka leta do julija. Pojavi sušnih dogodkov so bili posledica predvsem pomanjkanje padavin ter visoke temperature (2°C nad dolgoletnim povprečjem). Suša v Sloveniji je regionalnega značaja in najbolj prizadene severovzhodni del države zaradi nizke količine padavin (Kobold, 2003). Pomanjkanje padavin in posledično hidrološko suho obdobje, ki je trajalo že od leta 2000, se je le še nadaljevalo in doseglo vrh leta 2003, ko so bili pretoki v meji srednjih obdobjnih pretokov le januarja, avgusta pa so se približali najmanjšim izmerjenim obdobjnim pretokom. Medtem ko je do leta 2002 še veljalo, da je bilo leto 1993 najbolj sušno v zadnjih 40 letih, je po obdelavi in analizi hidroloških podatkov za leto 2003 bilo ugotovljeno, da je zelo podobno letu 1993. Najbolj resne hidrološke sušne razmere so nastale v južni, vzhodni in severovzhodni Sloveniji. Poleg nizkih pretokov so bile zabeležene tudi visoke temperature vode (Kobold in Sušnik, 2003). Na podlagi analiz standardiziranih padavinskih indeksov tudi Šebenik (2012) kot eno izmed najbolj sušnih prepozna leto 2003, ki je imelo rekordno sušno in vroče poletje, Dornik (2016) pa to leto prepozna kot eno od treh z večjimi ekstremnimi sušami na šestmesečni skali SPI.

2.1.3 Leto 2012

Od jeseni 2011 do konca septembra 2012 je bila vodnatost slovenskih rek manjša od običajne (Kobold in sod., 2012). Nizki vodostaji so bili posledica občutno manjših količin padavin od dolgoletnih povprečij. Padavinski primanjkljaj je bil beležen od novembra 2011 pa do konca leta, ko je v Sloveniji

padlo med 55% in 75% običajne količine padavin. Padavinski primanjkljaj je nato naraščal do konca marca. April in maj sta bila bogata s padavinami, v sredini junija pa se je začelo poletno padavinsko sušno obdobje. V obdobju od oktobra 2011 do konca poletja 2012 na Obali ni bilo obilnejših padavin in je bil beležen tudi največji primanjkljaj (Kobold in sod., 2012). Sušni pretoki so bili na površinskih vodah v letu 2012 zaznani že v februarju ter marcu in so se nadaljevali v poletnih mesecih. Zaradi pomanjkanja snega v zimi 2011/2012 je njegovo taljenje le malo prispevalo k pomladnim pretokom. Padavine v aprilu in maju so povečale vodnatost rek na običajno, le na območjih slovenske Istre in Obale se je zaradi manj obilnih padavin hidrološka suša nadaljevala. Zaradi visokih temperatur in pomanjkanja padavin se je resnost sušnega stanja v Sloveniji do začetka septembra le še povečevala. Takrat so najbolj resni sušni dogodki vladali na jugozahodu države v porečjih Rižane, Dragonje, Badaševce, Reke, delno Vipave in vodotokov v Goriških brdih. Izstopala so tudi porečja Krke, kraškega zaledja Ljublanice in manjših vodotokov na območju osrednje Slovenije. Vodnatost je bila zmanjšana tudi na območju vzhodne Slovenije, predvsem v porečjih rek s povirjem na območjih Pohorja, Halož, Slovenskih goric in Goriškega, ter v Zgornjesavski dolini in delu predalpskega hribovja. Sušne razmere niso bile izražene na porečjih Mure in Drave ter zgornjega Posočja. V primerjavi z leti 1993 in 2003 je bila hidrološka suša v letu 2012 dolgotrajnejša, vendar manj ekstremna (Kobold in sod., 2012). Na večini meteoroloških postaj izračunani letni standardizirani padavinski indeks (SPI12) kaže ekstremno sušo tudi v letu 2012 (Dornik, 2016).

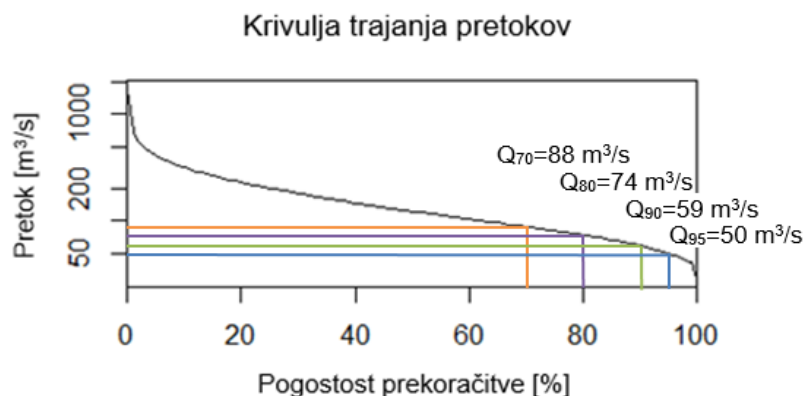
3 METODE IN PODATKI

3.1 Metode

Metode za izračun sušnih karakteristik so bile podrobneje opisane že v drugih delih (Tallaksen in Van Lanen, 2004; Potočnik, 2014), zato v nadaljevanju navajamo samo tiste, ki so bile uporabljene pri analizah sušnih dogodkov v tem magistrskem delu.

3.1.1 Percentili iz krivulje trajanja pretokov

Krivulja trajanja pretokov je grafični prikaz funkcije deleža časa, pri katerem je določen pretok presežen ali dosežen (slika 1). Krivulja trajanja pretokov je lahko osnovana na dnevni, mesečni ali daljših intervalih podatkov o pretokih (Tallaksen in Van Lanen, 2004). V magistrski nalogi smo to metodo uporabili za izračun percentilov Q_{70} , Q_{80} , Q_{90} in Q_{95} za obdobje 1960–2016.



Slika 1: Primer krivulje trajanja pretokov za vodomerno postajo Litija (Sava) za obdobje 1960–2016

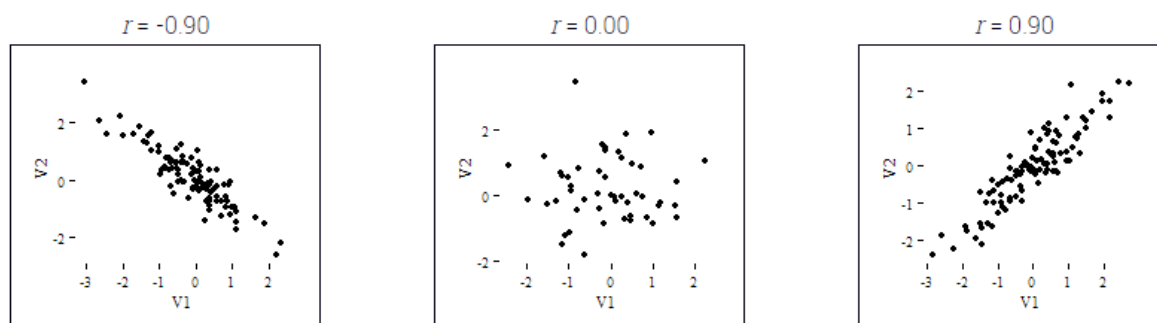
3.1.2 Najmanjši letni (srednji dnevni) pretok

Za najmanjši letni pretok se v tuji strokovni literaturi uporablja oznaka MAM (angl. *mean annual minima*). Je eden od najpogostejše uporabljenih indikatorjev nizkih pretokov. Dobimo ga kot povprečje letnih minimumov izbranih iz n -dnevnega drsnega povprečja pretokov (Tallaksen in Van Lanen, 2004). V magistrski nalogi smo letne minimume izračunali za 7, 30, 60, 180 in 360 dnevno drseče povprečje srednjih dnevnih pretokov. Za n dni je bilo drseče povprečje izračunano kot povprečje predhodnih $n/2$ dni in prihajajočih $n/2$ dni.

3.1.3 Korelacijska matrika

Korelacijska matrika je urejen prikaz koeficientov korelacije med posameznimi spremenljivkami. Koeficienti korelacije so bili v magistrski nalogi izračunani z metodo Pearsonovega koeficienta korelacije r , s katerim ugotavljamo linearno povezanost dveh spremenljivk. Povezanost je izražena z racionalnim številom na intervalu $[-1,1]$. Na podlagi predznaka Pearsonovega koeficienta ugotovimo, ali linearna povezanost spremenljivk obstaja in ali je pozitivna ali negativna. Bližje kot je koeficient 1 ali -1 močnejša je korelacija. Če je koeficient r enak 0, pomeni, da med spremenljivkami ne obstaja

linearna korelacija. Na sliki 2 vidimo primere raztresenih grafov vzorčnih podatkov ter pripadajoči Pearsonov koeficient korelacije r (Yeager in sod., 2018)



Slika 2: Prikaz vrednosti Pearsonovih koeficientov korelacije za različne podatke (Yeager in sod., 2018)

3.1.4 Metoda praga

Pri metodi praga za sušne dogodke označimo vse tiste dogodke, pri katerih pretoki padejo pod vnaprej določen prag. Metode izbire praga opisujemo v nadaljevanju. Začetek sušnega dogodka določa čas, ko pretoki padejo pod prag, konec pa določa čas, ko se pretoki spet dvignejo nad prag. Tako lahko določimo tudi trajanje deficita in volumen deficita posameznih sušnih dogodkov. Najnižji pretok pri posameznem sušnem dogodku označimo s $Q_{\min}$ (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

3.1.5 Izbira praga

Glede na tip vodnega deficita, ki ga preučujemo, se odločimo za konstantni (angl. *constant seasonal threshold*) ali spremenljivi prag (angl. *varying threshold*). Sezonsko konstantni prag uporabimo takrat, ko preučujemo poletno in zimsko hidrološko sušo (slika 3a). Pri uporabi spremenljivega praga (sliki 3b in 3c) zaznamo vodne deficite, če se pojavijo pri nizkih in pri visokih pretokih. Na tak način lahko opazujemo odstopanja od tipičnega letnega pretočnega režima. Vsi pretoki, ki so manjši od tipičnih, še ne pomenijo sušnega dogodka, zato je bolj primerno, če dogodke, ko pretok pade pod tako določen spremenljivi prag, raje poimenujemo z izrazom pretočna anomalija ali pretočni primanjkljaj (Stahl, 2001).



Slika 3: Metoda praga a) konstantni in sezonsko konstantni prag b) mesečno spremenljivi prag c) dnevno spremenljivi prag (Stahl, 2001)

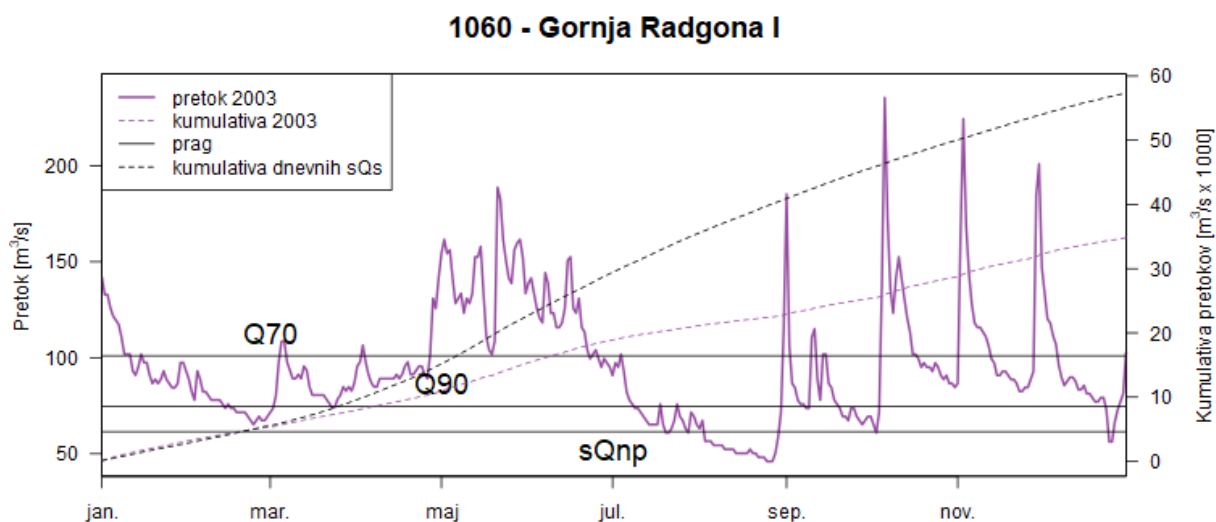
Metoda konstantnega (ali sezonsko konstantnega) praga je bila uporabljena v mnogih regionalnih študijah po celi Evropi. Ta metoda se je izkazala za najbolj ustrezno pri študijah vztrajnosti in trendov sušnih dogodkov v preteklosti, saj lahko z njo določimo najbolj resne poletne sušne dogodke (Stahl, 2001). Pojavita se lahko dve vrsti suš. Suše, ki nastanejo zaradi pomanjkanja padavin in visoke evapotranspiracije, ter tako imenovane zimske suše, ki nastanejo zaradi poledenele površine vodotoka

ali padavin, ki se zadržijo v obliki snega (Stahl, 2001). V magistrski nalogi je bil izbran konstantni sušni prag z namenom določitve najbolj resnih sušnih dogodkov.

V splošnem je potrebna odločitev o tem, katero konkretno vrednost praga izbrati. To je lahko na primer določen pretok, ki je potreben, da napolni vodni zadrževalnik ali zagotavlja obstoj ekološkega habitata v vodotoku ali pa je to pretok potreben za plutje rečnih plovil. Kot prag lahko izberemo tudi določeno statistično vrednost, ki jo izračunamo s pomočjo hidrograma postaje daljšega obdobja. To so lahko nizkovodni ekstremi določenega obdobja, povprečni pretok ali določen delež povprečnega pretoka ali percentil določen s krivuljo trajanja (Stahl, 2001).

Izbira konkretnega praga ostaja subjektivna odločitev (Fleigh in sod., 2006). Za določanje sušnih dogodkov kot prag najpogosteje uporabimo indikatorje nizkih pretokov ali percentile, določene s krivuljo trajanja pretokov. Pri izbiri praga moramo biti pozorni na hidrološki režim reke. Za reke s stalnimi, neničelnimi pretoki, je smiselno, da kot prag izberemo pretok v razponu med Q_{70} in Q_{95} . V primeru rek, ki pri nizkih pretokih presahnejo, je kot prag smiselno izbrati pretok z nižjim percentilom (Tallaksen in Van Lanen, 2004). Tak primer je v Sloveniji reka Dragonja, ki poleti presahne in je zato že Q_{70} blizu ničelnemu pretoku. V tem primeru bi bilo kot prag smiselno vzeti percentil Q_{60} ali celo nižjega (Potočnik, 2014). Druga možnost je, da pri izračunu krivulje trajanja pretokov uporabimo samo neničelne vrednosti (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

Na hidrogramu postaje Gornje Radgona I za leto 2003 na sliki 4 lahko vidimo, kako močno lahko izbira različnih pragov vpliva na izračun volumnov deficitov, saj bi pri izbiri praga Q_{70} zabeležili več sušnih dogodkov z daljšimi trajanji in večjimi volumni sušnih deficitov kot pri izbiri praga Q_{90} ali $sQnp$.



Slika 4: Prikaz vpliva izbire različnih pragov na primeru hidrograma vodomerne postaje Gornja Radgona I s pragi Q_{70} , Q_{90} in $sQnp$

V 71. členu Zakona o vodah (Zakon o vodah (ZV-1), 2002) je zapisano, da mora biti pri rabi površinskih voda v vseh letih zagotovljen ekološko sprejemljivi pretok Q_{es} . Na podlagi tega člena je Vlada Republike Slovenija izdala uredbo o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka, 2009). Ekološko sprejemljivi pretok se po tej uredbi določa na podlagi vrednosti

srednjega malega pretoka sQ_{np} . Odločitev, da za izračun deficitov kot sušni prag izberemo sQ_{np} , je bila sprejeta na podlagi povezave med omenjenim pragom in ekološko sprejemljivim pretokom Q_{es} v uredbi.

3.1.6 Standardizirani volumen deficita

Za potrebe analiz v magistrski nalogi smo standardizirali volumne deficita. Volumni so standardizirani z obdobjim srednjim pretokom $sQ_{s1960-2016}$, tako da dobimo brezdimenzijske enote po enačbi:

$$\text{standardizirani volumen deficita} \left[\frac{m^3/s}{m^3/s} \right] = \frac{\text{volumen deficita} [m^3]}{sQ_{s1960-2016} [m^3/s] * 365 * 24 * 3600 [s]} \quad (1)$$

3.1.7 Specifični odtok

Specifični odtok je odtok na površino povodja ($m^3/s/km^2$) (Brilly in Šraj, 2014). V magistrski nalogi so izračunani specifični najmanjši letni pretoki za 180-dnevno drseče povprečje po enačbi:

$$q = \frac{MAM(180)}{F} \quad (2)$$

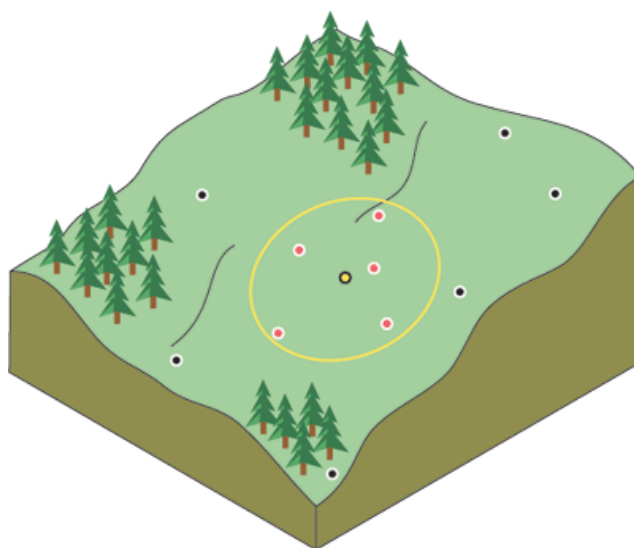
in specifični najmanjši pretoki 180-dnevnega drsečega povprečja v avgustu po enačbi:

$$q_{avg} = \frac{MAM(180)_{avg}}{F}, \quad (3)$$

pri čemer je $MAM(180)$ najmanjši letni pretok 180-dnevnega drsnega povprečja, $MAM(180)_{avg}$ najmanjši pretok 180-dnevnega drsečega povprečja v avgustu in F površina prispevnega območja. Enote smo pretvorili v $l/s/km^2$.

3.1.8 Inverzna distančna metoda

Inverzna distančna metoda (IDW) v programu ArcMap (Esri Inc., 2007) določi vrednosti odvisnih celic na podlagi linearno utežene kombinacije vzorca točk z znanimi vrednostmi. Pri tem upošteva utež, ki je funkcija inverzne oddaljenosti vzorčnih točk. Metoda upošteva, da je vpliv na vrednost odvisne celice obratno sorazmeren oddaljenosti vzorčnih točk. Na sliki 5 je z rumeno prikazana odvisna celica, katere vrednost je določena na podlagi vrednosti bližnjih vzorčnih celic, ki so na sliki označene z rdečimi točkami (Esri Inc., 2014).



Slika 5: Odvisna (rumena) celica, določena na podlagi vzorčnih (rdečih) točk (Esri Inc., 2014)

S pomočjo metode IDW je bil na osnovi vzorca točkovnih vrednosti za 44 analiziranih postaj izdelan grafični prikaz območij, ki jih je prizadela suša. Točkovni vzorec predstavljajo vrednosti različnih sušnih parametrov, ki so bile izračunane za izbrana leta, za vsako posamezno postajo s programskim orodjem R (R Development Core Team, 2015).

Tabela z rezultati je bila iz programskega orodja R izvožena kot tekstovna datoteka. Vrednosti so bile pred izvozom zaokrožene na dve decimalki in zapisane v tekstovno datoteko z decimalno piko. Da ne pride do težav pri branju tabele v programu ArcMap, moramo upoštevati nekaj osnovnih pravil za oblikovanje naslovov stolpcev (Esri Inc., 2016):

- naslov se mora začeti s črko,
- lahko vsebuje samo črke, števila ali podčrtaj,
- mora biti formatiran kot besedilo,
- lahko vsebuje največ 10 znakov.

3.2 Programska orodja

Izračuni so narejeni s pomočjo programskega orodja R (R Development Core Team, 2015). Rezultati so dodatno uvoženi tudi v programsko orodje Excel, s katerim so bile izdelane kontrole določenih rezultatov. Grafični prikazi rezultatov so izdelani s programskim orodjem R (R Development Core Team, 2015), kartografski prikazi pa v programskem okolju ArcGIS Desktop (Esri Inc., 2007).

3.2.1 Programsko orodje R

R (R Development Core Team, 2015) je programski jezik za statistične analize podatkov. Ponuja velik nabor orodij za statistične izračune in omogoča grafični prikaz rezultatov, ki ga uporabniki lahko dopolnjujejo s svojimi funkcijami. Prednosti vključujejo prosto, brezplačno dostopnost, odprtokodnost ter enostavnost izdelave grafičnih prikazov, nad katerimi ima uporabnik popoln nadzor (R-project, 2018).

Za analizo nizkih pretokov je bil uporabljen paket *lfstat* (Koffler in sod.. 2016), v katerem so zbrane funkcije, ki omogočajo izračun in grafični prikaz rezultatov analiz nizkih pretokov. Paket je osnovan na priročniku »Manual on Low-flow Estimation and Prediction«, ki ga je izdala Svetovna meteorološka organizacija (WMO, 2008). Paket ponuja funkcije za izračun v priročniku opisanih statistik in grafične prikaze le-teh (Koffler in sod. 2016). Uporabljene so bile funkcije:

- *MAM* za izračun najmanjših letnih pretokov (angl. *mean annual minima*) *MAM(7)*, *MAM(30)*, *MAM(60)*, *MAM(180)* in *MAM(360)*,
- *fdc* za prikaz krivulje trajanja pretokov,
- *Qxx* za izračun percentilov iz krivulje trajanja *Q₇₀*, *Q₈₀*, *Q₉₀*, *Q₉₅*,
- *meanflow* za izračun obdobjnih srednjih pretokov *sQs₁₉₆₀₋₂₀₁₆*,
- *find_droughts* za identificiranje pretokov pod izbranim sušnim pragom ter
- *summary* za povzetek sušnih dogodkov identificiranih z uporabo funkcije *find_droughts*.

Poleg tega smo za analize uporabili še pakete *corrplot* (Wei in Simko, 2017), *xlsx* (Dragulescu, 2014) in *lubridate* (Grolemund in Wickham, 2011), iz katerih so bile uporabljene naslednje funkcije:

- *cor* iz paketa *corrplot* za izračun korelacijske matrike;
- *write.xlsx* iz paketa *xlsx* za izvoz tabel z rezultati v Excel ter
- funkcije za lažje delo z datumi iz paketa *lubridate*.

3.2.2 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop (Esri Inc., 2007) je zbirka med seboj povezanih programskih orodij. Med drugimi paket vsebuje orodja ArcMap, ArcCatalog in ArcToolbox. Z uporabo ArcGIS orodij lahko opravljamo preproste ali bolj zahtevne naloge, kot so kartiranje, geografske analize, urejanje, upravljanje in zbiranje podatkov, vizualizacije ter geoproceniranje (Esri Inc., 2007). V magistrski nalogi je bil kot osrednji program iz paketa uporabljen ArcMap, v katerem so bili izdelani vsi grafični prikazi podatkov in rezultatov analiz sušnih pretokov za izbranih 44 hidroloških postaj na karti Slovenije. Podatki o državni meji Slovenije so bili pridobljeni na portalu Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS, 2018).

3.3 Podatki

Za analizo so bile izbrane vodomerne postaje s čim daljšimi nizi podatkov o meritvah, brez daljših izpadov beleženja in tako, da je bila zagotovljena pokritost celotne Slovenije. Izbor 44 postaj je prikazan v preglednici 1 in grafično na sliki 6. Nizi podatkov o pretokih so bili prenešeni iz spletnega arhiva hidroloških podatkov površinskih voda, ki je dostopen na spletni strani ARSO (ARSO, 2018). Obdobje, za katero so dostopni podatki o srednjih dnevni pretokih, je predstavljeno v preglednici 1. Kot je bilo že omenjeno, imajo nekatere postaje nekaj intervalov, v katerih pretoki niso bili zabeleženi, zato je v zadnjem stolpcu zapisan še delež popolnosti niza podatkov.

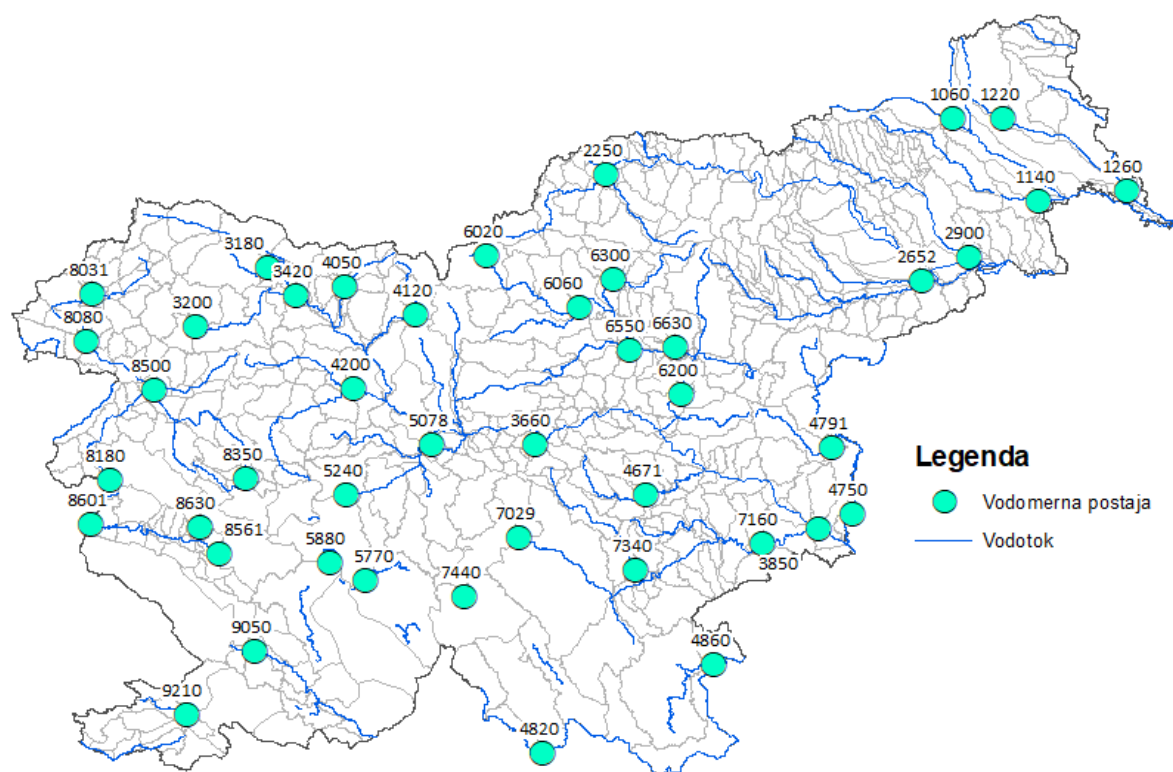
Preglednica 1: Izbor postaj

Šifra	Vodomer postaja	Vodotok	GKY	GKX	F [km ²]	Stacionaža [km]	Kota 0	Datum 0	Obdobje beleženja pretokov (od/do)		Popolnost niza pretokov [%]
1060	Gornja Radgona I	Mura	576509	171284	10197,20	106,64	202,34	16.07.1945	1946	2016	100,00
1140	Pristava I	Ščavnica	594880	153470	272,77	5,78	169,77	6.09.1973	1939	2016	92,31
1220	Polana I	Ledava	587362	171082	209,37	44,33	191,35	9.09.2015	1956	2016	99,42
1260	Čentiba	Ledava	613705	155645	861,67	11,54	154,67	16.10.1969	1969	2016	100,00
2250	Otiški Vrh I	Meža	502357	159305	552,60	1,35	333,4	9.12.2014	1953	2016	99,35
2652	Videm	Dravinja	569843	136428	767,34	4,16	209,21	20.03.2014	1946	2016	99,43
2900	Zamušani I	Pesnica	579855	141640	479,76	9,86	201,86	23.05.1971	1946	2016	98,59
3180	Podhom	Radovna	430058	139229	166,80	3,80	566,1	24.02.2016	1933	2016	98,67
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	414565	126620	94,35	32,80	524,95	13.07.1955	1951	2016	100,00
3420	Radovljica I	Sava	436120	133220	907,96	900,95	408,09	1.04.1953	1910	2016	99,55
3660	Litija	Sava	487124	101411	4849,67	818,15	230,62	7.11.2006	1895	2016	100,00
3850	Čatež I	Sava	547709	83402	10232,42	736,70	137,37	20.01.2016	1926	2016	100,00
4050	Preska	Tržiška Bistrica	446470	135100	121,50	11,17	488,73	3.03.2009	1958	2016	97,85
4120	Kokra I	Kokra	461770	129206	113,10	18,01	522,96	6.11.2015	1926	2016	99,26
4200	Suha I	Sora	448320	113319	568,86	7,98	329,47	7.08.1953	1926	2016	98,90
4671	Martinja vas II	Mirna	511020	90654	186,02	19,48	228,45	24.07.2014	1954	2016	99,24
4750	Rakovec	Sotla	554998	86544	561,30	8,00	140,12	5.08.2014	1926	2016	95,60
4791	Zagaj II	Bistrica	550785	100667	94,03	3,42	190,36	18.12.2014	1965	2016	97,37
4820	Petrina	Kolpa	488780	35521	467,31	268,33	219,31	21.01.2016	1952	2016	98,23
4860	Metlika	Kolpa	525549	54558	1966,27	181,50	126,96	14.08.2013	1926	2016	100,00
5078	Moste I	Ljubljana	465120	101350	1777,96	11,83	281,29	22.06.2005	1924	2016	100,00
5240	Verd I	Ljubija	446781	90583	88888,88	2,90	286,28	9.02.2011	1952	2016	98,46
5770	Cerknica I	Cerkniščica	450985	72380	49,50	4,60	559,44	7.07.2015	1954	2016	96,11
5880	Hasberg	Unica	443185	76294	88888,88	16,37	444,88	6.05.2015	1926	2016	100,00
6020	Solčava I	Savinja	476784	141780	63,41	89,45	635,84	19.11.2015	1949	2016	95,99
6060	Nazarje	Savinja	496710	130800	457,11	56,64	336,97	24.06.1954	1926	2016	100,00
6200	Laško I	Savinja	518410	112230	1668,16	14,34	215,03	1.01.1953	1953	2016	100,00

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 1

6300	Šoštanj	Paka	504092	136856	131,64	12,45	352,73	15.09.1991	1920	2016	97,21
6550	Dolenja vas II	Bolska	507533	121683	170,47	2,23	267,87	9.09.2015	1952	2016	95,38
6630	Levec I	Ložnica	517346	122220	102,89	2,50	240,95	9.08.1966	1954	2016	99,65
7029	Podbukovje I	Krka	483680	81415	346,92	91,34	258,49	28.08.2015	1959	2016	98,95
7160	Podbočje	Krka	535726	80170	2252,98	16,05	146,13	22.06.1911	1926	2016	97,80
7340	Prečna	Prečna	508820	74507	295,19	4,92	163,82	18.10.1989	1953	2016	99,81
7440	Sodražica	Bistrica	472188	68814	28,19	12,84	531,94	5.12.2013	1963	2016	84,72
8031	Kršovec I	Soča	392490	133495	158,07	118,41	401,54	14.06.2007	1945	2016	97,22
8080	Kobarid I	Soča	391369	123552	437,06	94,41	194,68	30.08.2016	1941	2016	97,37
8180	Solkan I	Soča	396180	93920	1580,35	44,23	51,84	1.01.1980	1928	2016	95,50
8350	Podroteja I	Idrijca	425277	94075	111,25	42,73	327,11	1.09.2015	1977	2016	98,95
8500	Bača pri Modreju	Bača	405797	113112	143,06	1,54	164,04	16.09.2015	1940	2016	93,38
8561	Vipava II	Vipava	419674	78070	131,92	43,47	96,09	11.12.2014	1960	2016	100,00
8601	Miren I	Vipava	392345	84260	588,29	2,24	35,8	4.06.2015	1950	2016	98,81
8630	Ajdovščina I	Hubelj	415402	83863	93,14	3,35	107,14	2.09.2015	1955	2016	98,15
9050	Cerkvenikov mlin	Reka	427181	57164	332,12	7,95	342,7	10.12.2015	1952	2016	100,00
9210	Kubed II	Rizana	412595	43764	204,66	13,25	57,68	5.05.1965	1947	2016	98,57



Slika 6: Analizirane vodomerne postaje

4 REZULTATI

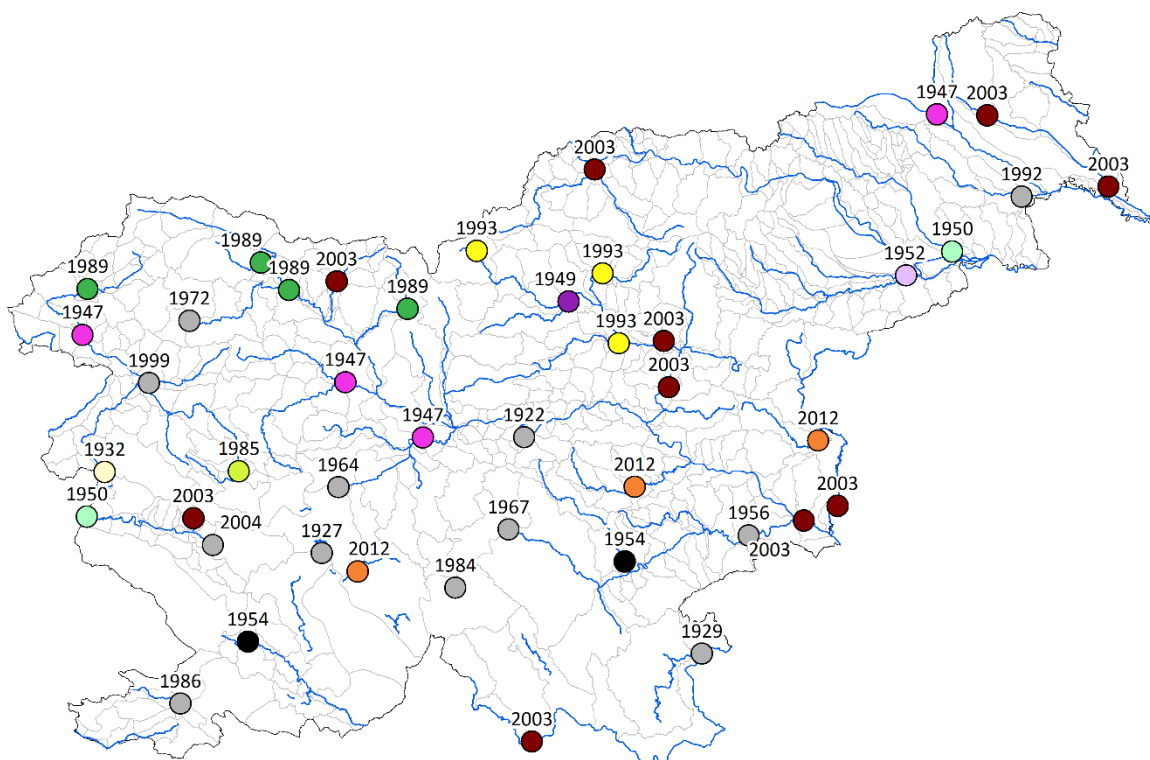
4.1 Izračun $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$

Za vsako od izbranih vodomernih postaj so bili za vsako leto v nizu dostopnih podatkov o pretokih (preglednica 1) izračunani najmanjši letni srednji dnevni pretoki različnih trajanj (7, 30, 180 in 360 dni): $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$. Nato smo za vsako vodomerno postajo izbrali leto, v katerem je bil $MAM(n)$ najmanjši in rezultate prikazali na kartah (slike 7-10). Enako analizo smo ponovili še za vsem postajam skupno obdobje meritev 1960–2016 (slike 19-22). Če se je na vsaj eni od teh kart posamezno leto z najmanjšim $MAM(n)$ pojavilo vsaj dvakrat, smo ga obarvali in enako barvo konsistentno uporabili tudi na vseh ostalih kartah. Leta, ki se na nobeni posamezni karti niso pojavila več kot enkrat, so obarvana sivo.

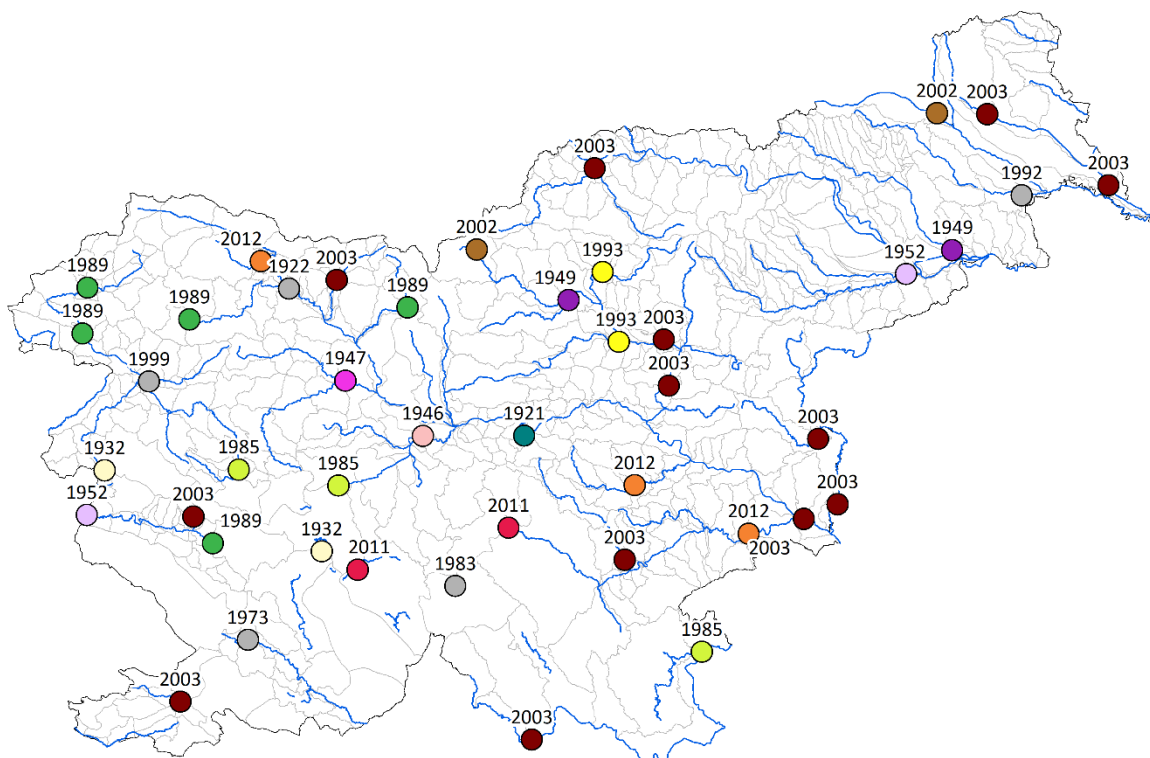
4.1.1 Celotno obdobje meritev

Na slikah od 7 do 10 so na kartah Slovenije za vsako vodomerno postajo prikazana leta najmanjših vrednosti $MAM(n)$ za celoten niz dostopnih podatkov posamezne vodomerne postaje. Postaja z najdaljšim nizom od leta 1895 je Litija (Sava).

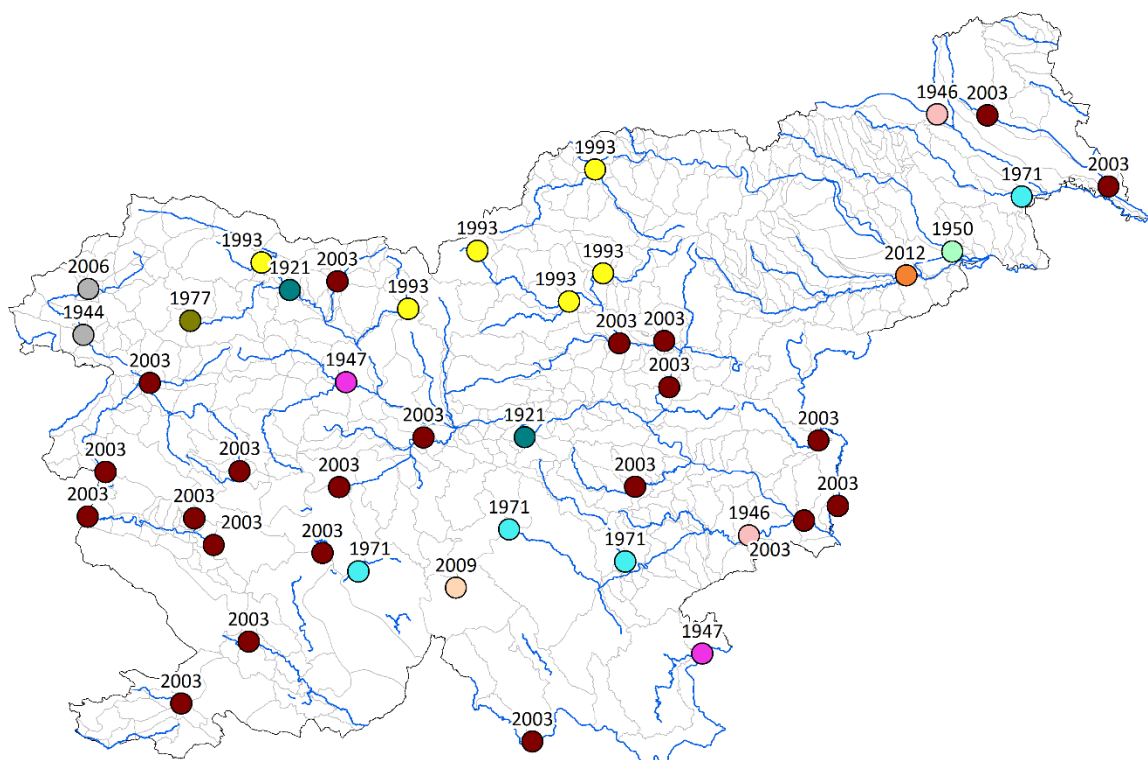
Slika 7 pokaže, da so bili najmanjši $MAM(7)$ zaznani na največ postajah leta 2003 in sicer predvsem na vzhodnem delu države in v Prekmurju. Tudi najmanjši $MAM(30)$ je bil na največ postajah zaznan v letu 2003 na vzhodu in v Prekmurju (slika 8). Na vodomernih postajah na severozahodu države pa se najmanjši $MAM(7)$ in $MAM(30)$ najpogosteje pojavljajo v letu 1989 (sliki 7 in 8). Najmanjši $MAM(180)$ je bil na kar polovici postaj zaznan v letu 2003, predvsem v Prekmurju, na vzhodu, jugozahodu in zahodu. Najmanjši $MAM(180)$ se na severu države pogosto pojavijo v letu 1993, na jugu pa leta 1971 (slika 9). Najmanjši $MAM(360)$ se najpogosteje pojavijo v letih 2003, 2011 in 2012 (slika 10). V letu 2003 se največkrat pojavijo na severovzhodu države, v letu 2011 v osrednji Sloveniji, v letu 2012 pa na jugozahodu in vzhodu države.



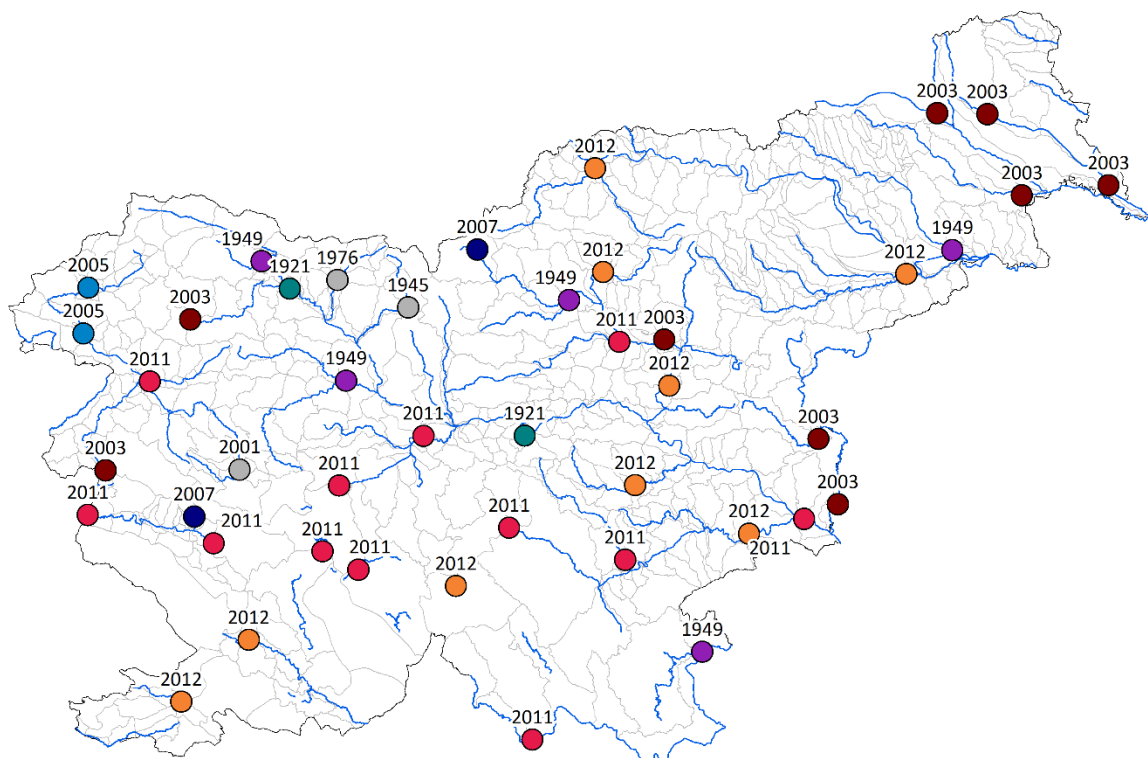
Slika 7: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(7)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje



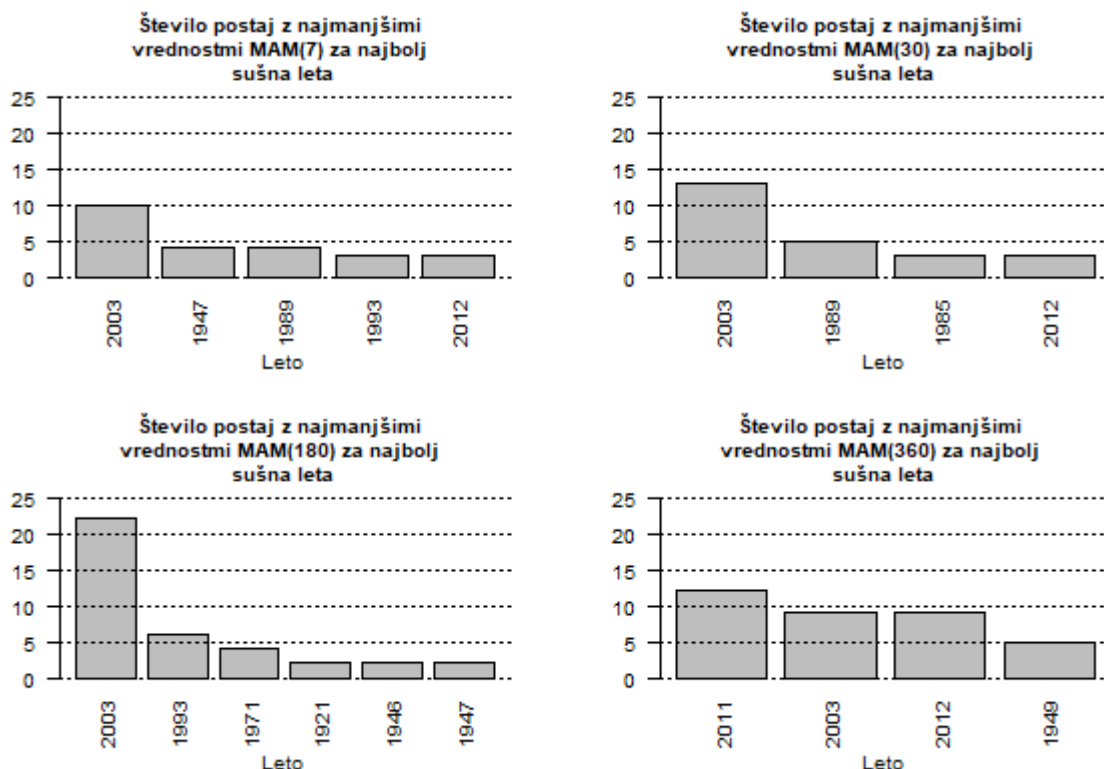
Slika 8: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje



Slika 9: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(180)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje



Slika 10: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(360)$ za celotno obdobje meritev posamezne vodomerne postaje



Slika 11: Število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ za najbolj sušna leta v celotnem nizu dostopnih podatkov posameznih vodomernih postaj

Na sliki 11 je grafično prikazano število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ v posameznih sušnih letih. Vidimo, da se najmanjši $MAM(7)$, $MAM(30)$ in $MAM(180)$ pojavijo na največ postajah v letu 2003, največ najmanjših $MAM(360)$ pa se pojavi v letu 2011. Na velikem številu postaj so bili najmanjši $MAM(360)$ zaznani tudi v letih 2003 in 2012. Na več kot petih postajah je bil najmanjši $MAM(180)$ zaznan še v letu 1993, ostali $MAM(n)$ pa so bili zaznani na petih postajah ali manj in sicer v letih (kronološko razvrščeno): 1921, 1946, 1947, 1949, 1971, 1985, 1989.

V preglednici 2 so v stolpcih a, b in c zapisane tri letnice, v katerih so se pojavili najmanjši $MAM(n)$ na posamezni vodomerni postaji, in sicer od najmanjšega do največjega $MAM(n)$. Če je bil v posameznem letu s tretjim zaporednim najnižjim pretokom, zaznani pretok enak pretoku v kakšnem drugem letu, je le-to zapisano v stolpcu c, za poševnico. Če poleg leta najmanjšega $MAM(7)$ upoštevamo še drugo in tretje leto zaporednega najmanjšega $MAM(7)$, ugotovimo, da se najmanjši $MAM(7)$ najbolj pogosto pojavijo v letih 2003, 1989, 1993 in 2012. Na enak način ugotovimo, da se najmanjši $MAM(30)$ najbolj pogosto pojavijo v letih 2003, 1989, 2012 in 1993, najmanjši $MAM(180)$ v letih 2003, 1993, 1971 in 1947, najmanjši $MAM(360)$ pa v letih 2011, 2012, 2003 in 1949.

Preglednica 2: Leta, v katerih se pojavijo najmanjši $MAM(n)$ v celotnem obdobju meritev posamezne vodomerne postaje

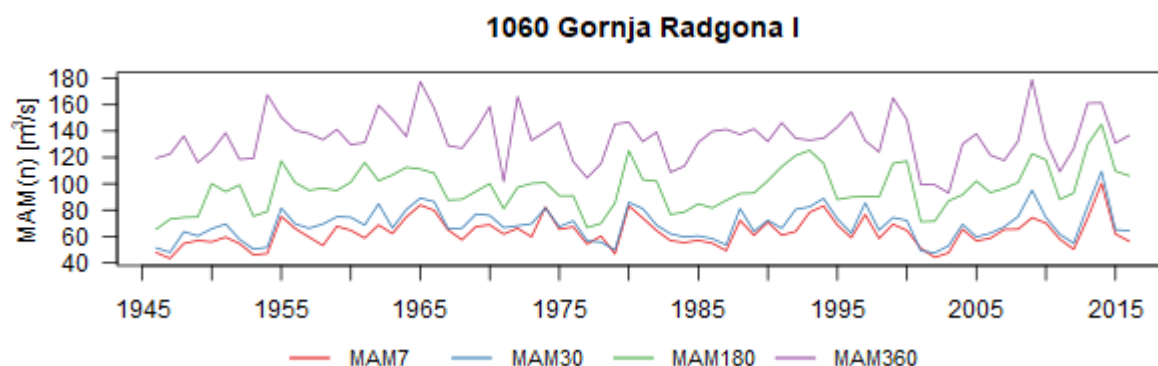
		$MAM(n)$											
(n)		7			30			180			360		
Šifra	Postaja	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1060	Gornja Radgona I	1947	2002	1953	2002	1947	2001	1946	1977	1978	2003	2002	2001
1140	Pristava I	1992	2003	1958	1992	2003	1950	1971	2003	1947	2003	2002	2012

se nadaljuje...

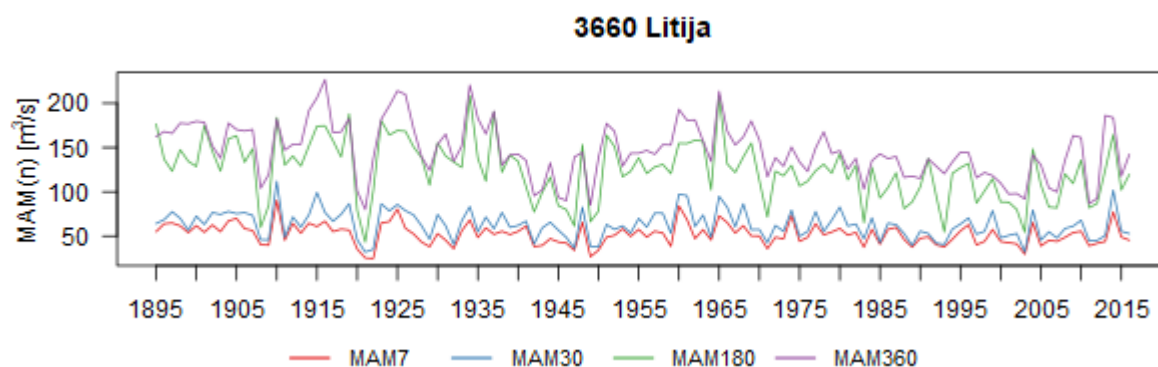
...nadaljevanje preglednice 2

1220	Polana I	2003	1993	1992	2003	1993	2000	2003	1971	1993	2003	2012	2001
1260	Čentiba	2003	2012	2000	2003	2012	1974	2003	2012	1971	2003	2012	2002
2250	Otiški Vrh I	2003	1993	1971	2003	1993	1964	1993	1971	2012	2012	2011	2002
2652	Videm	1952	2012	2003	1952	2012	1950	2012	2003	1993	2012	2011	2003
2900	Zamušani I	1950	1949	1948	1949	1950	1948	1950	1993	1971	1949	2012	2003
3180	Podhom	1989	1987	2012	2012	1989	1987	1993	1986	2012	1949	2011	2012
3200	Sveti Janez	1972	1989	1992	1989	1972	1992	1977	2006	1986	2003	2011	1983
3420	Radovljica I	1989	1922	1975	1922	1975	1921	1921	1993	1922	1921	1946	2002
3660	Litija	1922	1921	1949	1921	2003	1922	1921	2003	1993	1921	1949	2011
3850	Čatež I	2003	1993	1989	2003	1989	1992	2003	1993	1947	2011	2012	1949
4050	Preska	2003	1971	1975	2003	1975	1989	2003	1977	1975	1976	1975	2003
4120	Kokra I	1989	1985	1977	1989	1985	1940 /1941	1993	2003	1949	1945	1942	2007
4200	Suha I	1947	1949	1950	1947	2003	1950	1947	2003	1993	1949	2011	1946
4671	Martinja vas II	2012	2011	2003	2012	2003	1993	2003	2000	1971	2012	2011	1967
4750	Rakovec	2003	2012	1990	2003	1952	1946	2003	1946	1947	2003	2012	1946
4791	Zagaj II	2012	2003	2009	2003	2012	2009	2003	2000	1993	2003	1967	2002
4820	Petrina	2003	1985	1989	2003	1985	1989	2003	2009	2011	2011	2012	2003
4860	Metlika	1929	1942	1985	1985	1938	2001	1947	2009	1949	1949	2011	2012
5078	Moste I	1947	1928	1946	1946	1947	2003	2003	1947	1946	2011	1949	2012
5240	Verd I	1964	1985	2003	1985	1952	2003	2003	1983	1971	2011	2012	1971
5770	Cerknica I	2012	1993	2011	2011	2012	1976	1971	2011	2009	2011	2012	1971
5880	Hasberg	1927	1928	1932 /1946	1932	1927	1946	2003	1983	1946	2011	2012	1949
6020	Solčava I	1993	2003	2002	2002	2003	1993	1993	1971	2003	2007	2006	2001
6060	Nazarje	1949	1947	1950	1949	1950	2003	1993	2003	1950	1949	1942	2012
6200	Laško I	2003	1992	1993	2003	1992	2013	2003	1993	1971	2012	2011	2003
6300	Šoštanj	1993	1972	1971	1993	1971	1972	1993	1971	2003	2012	2011	2003
6550	Dolenja vas II	1993	2003	1992	1993	2003	1992	2003	1993	1983	2011	2003	2012
6630	Levec I	2003	1993	1992	2003	1993	2012	2003	1993	1971	2003	2002	2000
7029	Podbukovje I	1967	2011	1992	2011	1993	1967	1971	2011	2003	2011	2012	2007
7160	Podbočje	1956	2012	1929 /1931	2012	1931	1932	1946	1931	1947	2012	2011	1946
7340	Prečna	1954	1991	2003	2003	1991	2000	1971	2003	2000	2011	2012	2003
7440	Sodražica	1984	1983	2009	1983	1984	2009	2009	2011	2003	2012	2011	2001
8031	Kršovec I	1989	1987	1954	1989	2002	1987	2006	1976	1986	2005	1976	1945
8080	Kobarid I	1947	1989	1954	1989	1954	1952	1944	1993	1943	2005	2003	2002
8180	Solkan I	1932	1929	1940	1932	1929	1947	2003	1947	2002	2003	1949	2002
8350	Podroteja I	1985	1978	1989	1985	1978	1989	2003	2007	2011	2001	2003	2011
8500	Bača pri Modreju	1999	1989	1942	1999	1998	1942	2003	1993	2011	2011	2002	2003
8561	Vipava II	2004	2011	1989	1989	1985	2011	2003	1983	2007	2011	2015	2012
8601	Miren I	1950	1952	1951	1952	1950	2003	2003	1950	1983	2011	2001	2007
8630	Ajdovščina I	2003	1991	1989	2003	1985	1971	2003	1983	2007	2007	2011	2001
9050	Cerkvenikov mlin	1954	1971	2003	1973	2003	1954	2003	1983	2012	2012	2011	2007
9210	Kubed II	1986	1985	1988	2003	2012	1989	2003	1947	2009	2012	2011	1949

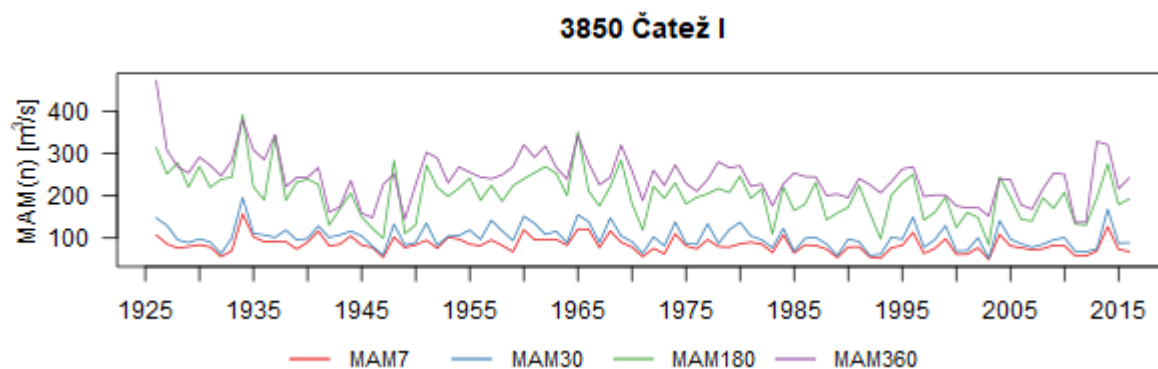
Indikatorje $MAM(n)$ smo prikazali tudi grafično (slike od 12 do 18). Na abscisi so leta, na ordinati pa najmanjši letni $MAM(n)$ za trajanja 7, 30 180 in 360 dni. Za grafični prikaz so bile izbrane samo postaje s popolnimi nizi podatkov.



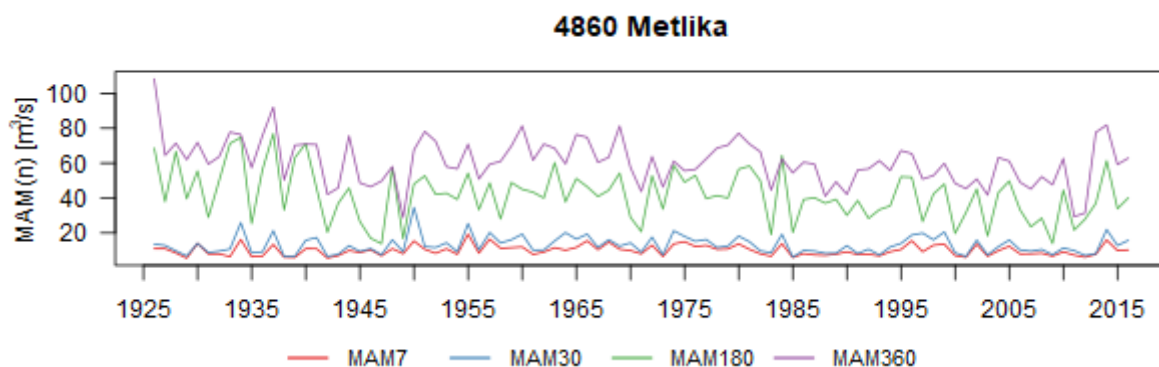
Slika 12: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Gornja Radgona I (Mura) za celotno obdobje meritev



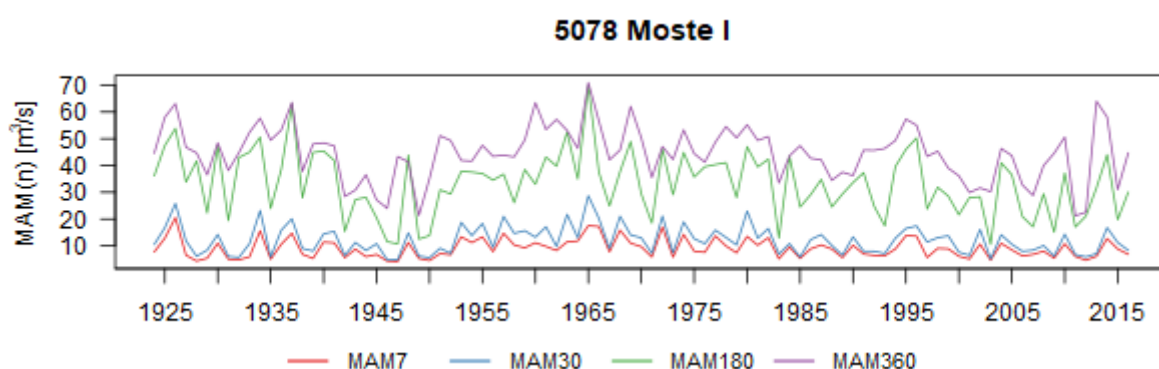
Slika 13: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Litija (Sava) za celotno obdobje meritev



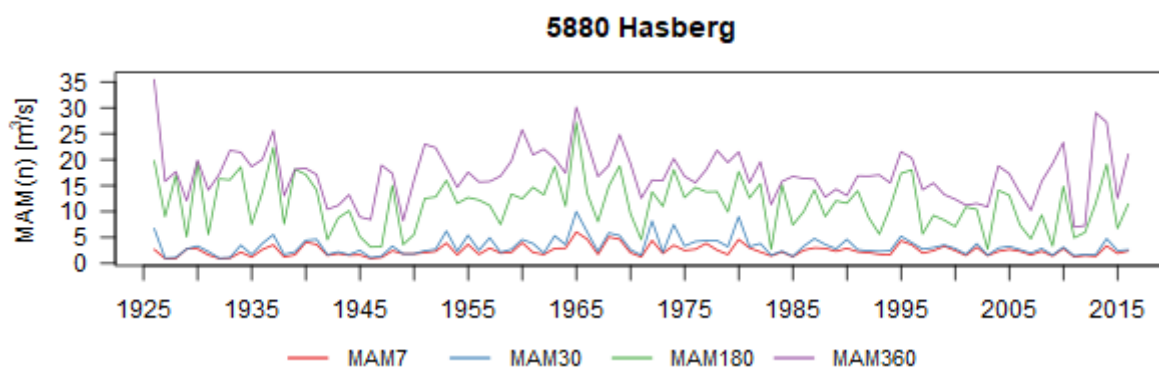
Slika 14: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Čatež I (Sava) za celotno obdobje meritev



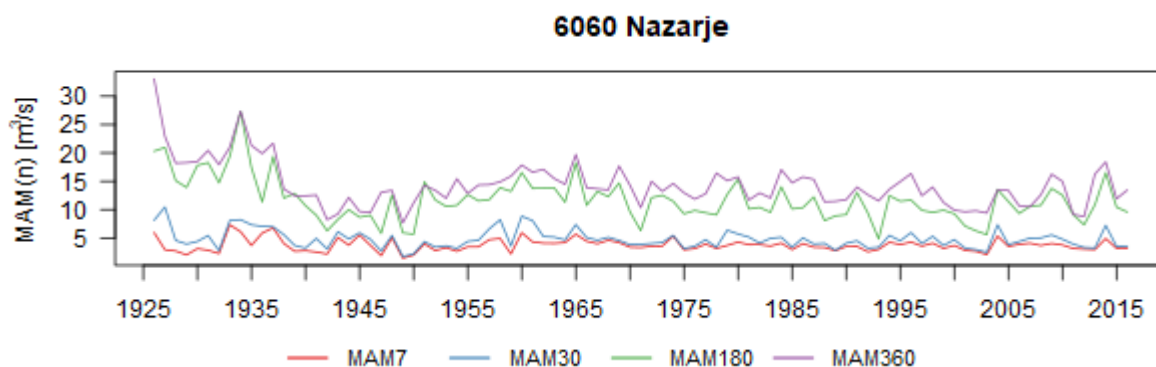
Slika 15: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Metlika (Kolpa) za celotno obdobje meritev



Slika 16: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Moste I (Ljubljana) za celotno obdobje meritev



Slika 17: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Hasberg (Unica) za celotno obdobje meritev

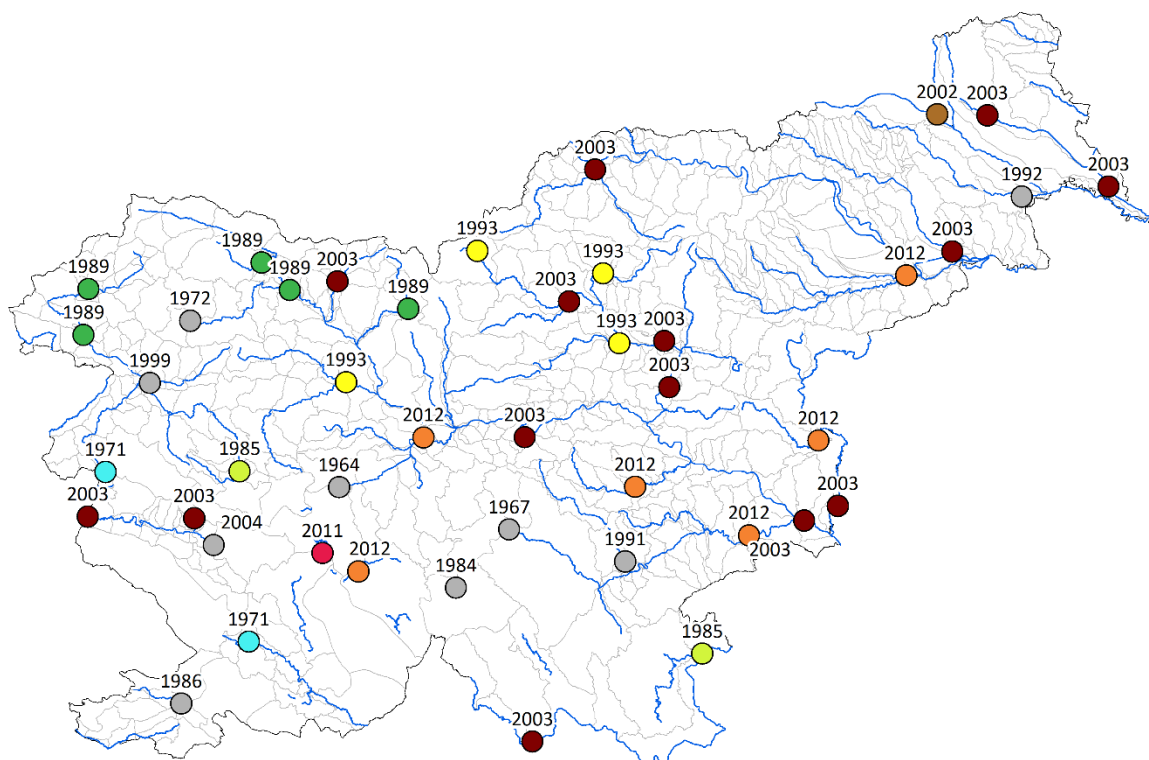


Slika 18: Grafični prikaz $MAM(n)$ za postajo Nazarje (Savinja) za celotno obdobje meritev

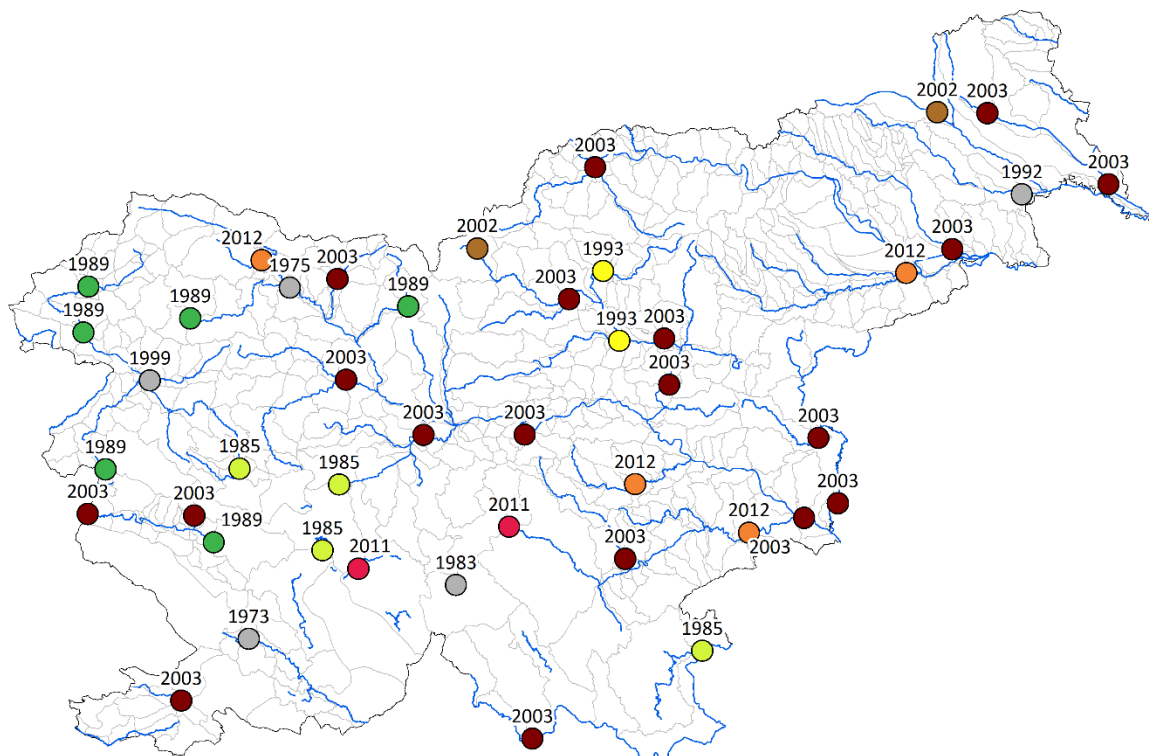
4.1.2 Obdobje 1960–2016

Za vsako od 44 postaj so bili, podobno kot za celoten niz podatkov, tudi za skupno obdobje meritev 1960–2016 za vsako leto izračunani $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$. Nato je bilo za vsako postajo izbrano leto, v katerem je bila vrednost $MAM(n)$ najmanjša. Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ so prikazana na slikah 19 do 22.

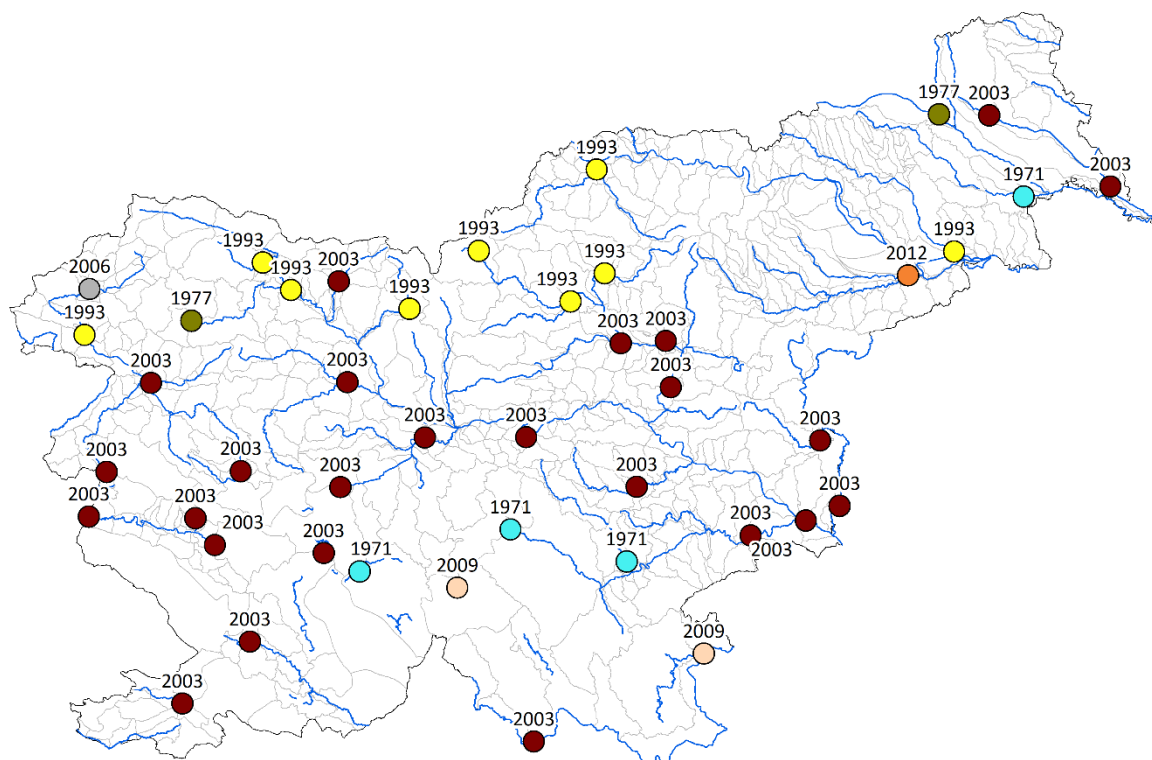
Ugotovitve so zelo podobne tistim iz poglavja 4.1.1. Najnižji $MAM(7)$ so zaznani na največ postajah leta 2003 in sicer predvsem na vzhodnem delu države in v Prekmurju (slika 19). Najmanjši $MAM(30)$ je bil na največ postajah zaznan v letu 2003 na severu, vzhodu in v Prekmurju (slika 20). Sliki 19 in 20 pokažeta, da se na severozahodnih postajah najmanjši $MAM(7)$ in $MAM(30)$ najpogosteje pojavljajo v letu 1989. Najmanjši $MAM(180)$ je bil na več kot polovici postaj zaznan v letu 2003, predvsem v Prekmurju na vzhodu, jugozahodu, zahodu in v osrednji Sloveniji (slika 21). Najmanjši $MAM(180)$ se pogosto pojavijo na severu države v letu 1993, na jugu pa leta 1971. Najmanjši $MAM(360)$ se najpogosteje pojavijo v letih 2003, 2011 in 2012 (slika 22). Največkrat je najmanjši $MAM(360)$ za leto 2003 zaznan na severovzhodu države, za leto 2011 v osrednji Sloveniji, za leto 2012 pa na jugozahodu in vzhodu Slovenije.



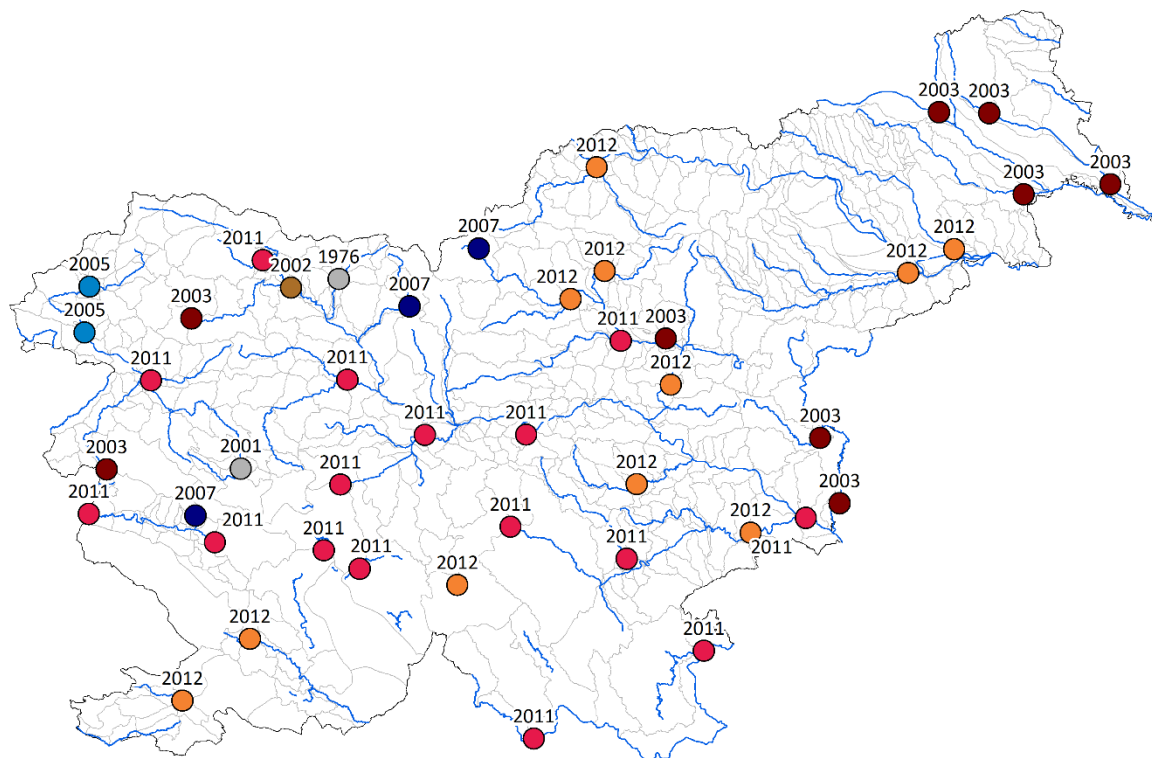
Slika 19: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(7)$ v obdobju 1960–2016



Slika 20: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ v obdobju 1960–2016



Slika 21: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(180)$ v obdobju 1960–2016



Slika 22: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(360)$ v obdobju 1960–2016

V preglednici 3 so zbrani najmanjši pretoki $MAM(n)$ za posamezno vodomerno postajo v obdobju 1960–2016 ter leta, v katerih se pojavijo. Nekaj je takih postaj, ki imajo začetek niza po letu 1960, so pa bile izbrane, da smo zadovoljivo pokrili Slovenijo. Letnica začetka beleženja srednjih dnevnih pretokov je pri teh postajah zapisana v preglednici poleg imena postaje.

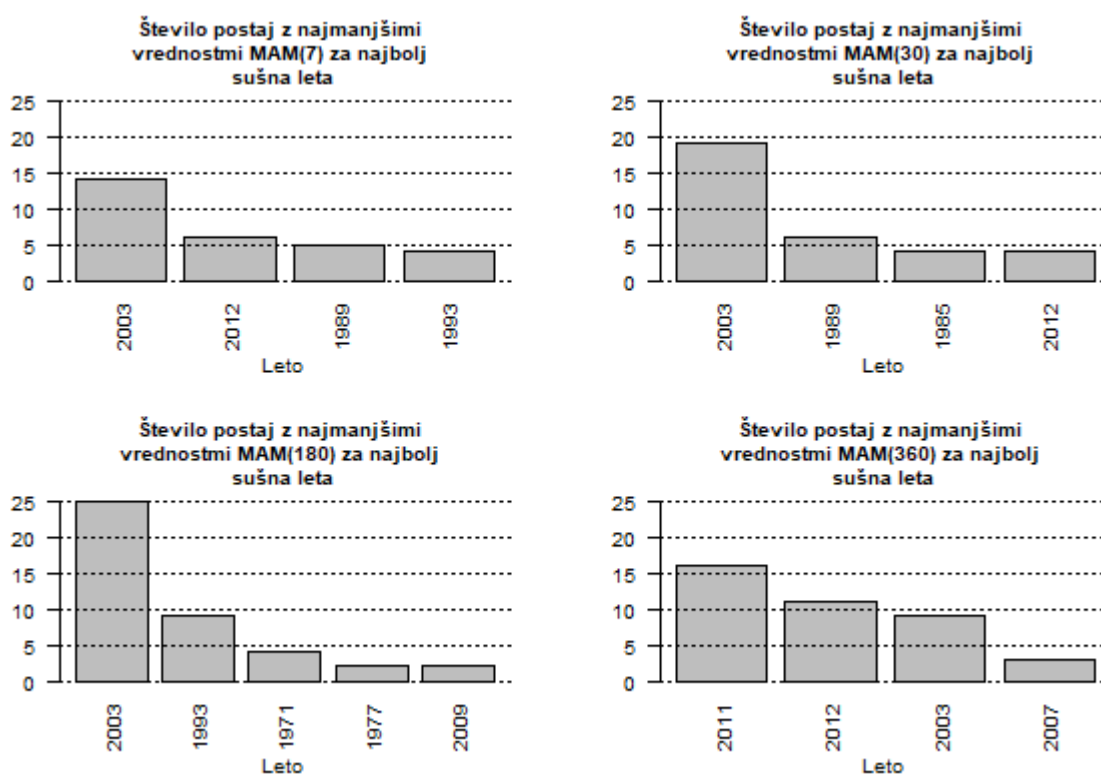
Preglednica 3: Preglednica najmanjših pretokov $MAM(n)$

Šifra	Postaja	$MAM(7)$ [m ³ /s]	Leto $MAM(7)$	$MAM(30)$ [m ³ /s]	Leto $MAM(30)$	$MAM(180)$ [m ³ /s]	Leto $MAM(180)$	$MAM(360)$ [m ³ /s]	Leto $MAM(360)$
1060	Gornja Radgona I	44,14	2002	47,54	2002	66,62	1977	92,92	2003
1140	Pristava I	0,04	1992	0,05	1992	0,15	1971	0,40	2003
1220	Polana I	0,00	2003	0,01	2003	0,03	2003	0,13	2003
1260	Čentiba (*1969)	0,16	2003	0,25	2003	0,76	2003	1,31	2003
2250	Otiški Vrh I	2,55	2003	2,89	2003	3,95	1993	6,08	2012
2652	Videm	0,63	2012	0,87	2012	2,42	2012	2,86	2012
2900	Zamušani I (*1961)	0,15	2003	0,19	2003	0,47	1993	1,30	2012
3180	Podhom	1,17	1989	1,28	2012	2,40	1993	4,37	2011
3200	Sveti Janez	0,38	1972	0,49	1989	2,41	1977	4,42	2003
3420	Radovljica I	6,05	1989	8,35	1975	18,26	1993	28,21	2002
3660	Litija	29,55	2003	32,03	2003	54,44	2003	86,64	2011
3850	Čatež I	49,21	2003	51,65	2003	83,84	2003	137,21	2011
4050	Preska	1,65	2003	1,70	2003	2,43	2003	2,78	1976
4120	Kokra I	0,77	1989	0,92	1989	1,15	1993	2,50	2007
4200	Suha I	2,19	1993	2,54	2003	4,78	2003	9,77	2011
4671	Martinja vas II	0,33	2012	0,38	2012	0,75	2003	1,12	2012
4750	Rakovec	0,34	2003	0,38	2003	0,80	2003	2,42	2003
4791	Zagaj II (*1965)	0,14	2012	0,19	2003	0,36	2003	0,71	2003
4820	Petrina	1,51	2003	1,63	2003	6,45	2003	11,78	2011
4860	Metlika	5,93	1985	6,20	1985	13,99	2009	29,36	2011
5078	Moste I	4,62	2012	5,08	2003	10,54	2003	21,21	2011
5240	Verd I	0,22	1964	0,51	1985	1,52	2003	3,01	2011
5770	Cerknica I	0,00	2012	0,02	2011	0,17	1971	0,31	2011
5880	Hasberg	1,24	2011	1,34	1985	2,72	2003	6,99	2011
6020	Solčava I	0,20	1993	0,23	2002	0,37	1993	1,00	2007
6060	Nazarje	2,08	2003	2,48	2003	4,83	1993	8,78	2012
6200	Laško I	4,11	2003	4,66	2003	9,72	2003	16,58	2012
6300	Šoštanj	0,09	1993	0,19	1993	0,37	1993	0,75	2012
6550	Dolenja vas II (*1962)	0,17	1993	0,28	1993	0,71	2003	1,48	2011
6630	Levec I	0,00	2003	0,04	2003	0,22	2003	0,62	2003
7029	Podbukovje I	0,94	1967	1,03	2011	2,14	1971	3,10	2011
7160	Podbočje	4,48	2012	4,87	2012	14,45	2003	20,80	2012
7340	Prečna	0,88	1991	0,97	2003	1,50	1971	1,89	2011
7440	Sodražica (*1963)	0,05	1984	0,07	1983	0,17	2009	0,30	2012
8031	Kršovec I	1,69	1989	1,78	1989	4,22	2006	5,87	2005
8080	Kobarid I	4,59	1989	4,81	1989	12,65	1993	17,42	2005
8180	Solkan I	14,10	1971	16,39	1989	30,94	2003	47,11	2003

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 3

8350	Podroteja I (*1977)	0,84	1985	0,84	1985	2,15	2003	4,52	2001
8500	Bača pri Modreju	0,50	1999	0,66	1999	2,17	2003	3,34	2011
8561	Vipava II	0,83	2004	0,89	1989	1,87	2003	3,27	2011
8601	Miren I	1,21	2003	1,27	2003	2,96	2003	7,46	2011
8630	Ajdovščina I	0,18	2003	0,20	2003	0,55	2003	1,48	2007
9050	Cerkvenikov mlin	0,24	1971	0,31	1973	0,76	2003	1,79	2012
9210	Kubed II	0,05	1986	0,08	2003	0,24	2003	0,75	2012



Slika 23: Število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ za najbolj sušna leta v obdobju 1960–2016

V nadaljevanju smo se omejili na obdobje 1960–2016. Na sliki 23 je grafično prikazano število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ v posameznih sušnih letih. Opazimo, da se najmanjši $MAM(7)$, $MAM(30)$ in $MAM(180)$ pojavijo na največ postajah v letu 2003, največ najmanjših $MAM(360)$ pa v letu 2011. Na več kot petih postajah je bil najmanjši $MAM(7)$ zaznan še v letu 2012, $MAM(30)$ v letu 1989, $MAM(180)$ v 1993 in $MAM(360)$ v letih 2012 in 2003. Ostali $MAM(n)$ pa so bili zaznani na petih postajah ali manj in sicer v letih (kronološko razvrščeno): 1971, 1977, 1985, 1989, 2007, 2009. Na podlagi omenjenih rezultatov (slika 23) smo za izračun volumnov in trajanja deficitov v poglavju 5.1 izbrali najprimernejša sušna leta za analizo, in sicer 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012, za nadaljnjo analizo pa le leta 1993, 2003, 2011 in 2012.

4.2 Korelacijska matrika

Ker je od izbire sušnega praga odvisno tudi trajanje in volumen sušnih deficitov, smo posebej izdelali analizo linearne korelacije med različnimi sušnimi pragi $sQnp$, sQs , $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(60)$, $MAM(180)$, $MAM(360)$, Q_{70} , Q_{80} , Q_{90} in Q_{95} . Našteti sušni pragi so bili izračunani za vsako vodomerno

postajo posebej za obdobje 1960–2016 in nato organizirani v preglednico 4. S Pearsonovo metodo linearne korelacije je bila nato s pomočjo programskega orodja R izračunana korelacijska matrika med posameznimi pragi (preglednica 5).

Preglednica 4: Sušni pragi za posamezno vodomerno postajo, izračunani za obdobje 1960–2016

Postaja	sQs	$sQnp$	$MAM(7)$	$MAM(30)$	$MAM(60)$	$MAM(180)$	$MAM(360)$	$Q95$	$Q90$	$Q80$	$Q70$
Gornja Radgona I	157,06	61,48	64,82	70,36	76,31	99,32	135,85	65,80	74,60	88,90	101,00
Pristava I	2,25	0,22	0,26	0,37	0,54	1,11	1,65	0,20	0,28	0,45	0,62
Polana I	1,20	0,11	0,13	0,18	0,25	0,55	0,83	0,07	0,12	0,20	0,30
Čentiba	4,63	1,08	1,20	1,48	1,74	2,73	3,38	0,83	1,11	1,58	1,98
Otiški Vrh I	12,52	4,08	4,36	5,05	5,86	8,46	10,21	4,20	4,86	5,85	6,78
Videm	11,14	1,96	2,27	3,01	3,91	6,71	8,67	2,10	2,70	3,70	4,56
Zamušani I	5,21	0,60	0,67	0,88	1,26	2,64	3,75	0,52	0,75	1,10	1,44
Podhom	8,06	1,86	1,93	2,28	2,78	4,87	6,70	1,91	2,33	3,04	3,78
Sveti Janez	8,07	0,94	1,00	1,31	1,71	4,10	6,70	1,00	1,33	1,90	2,56
Radovljica I	44,91	9,78	12,70	16,25	19,04	29,76	38,02	12,60	15,66	19,70	23,43
Litija	164,50	47,09	51,08	60,83	74,25	114,97	138,70	49,90	59,00	73,58	87,71
Čatež I	281,02	76,45	81,61	99,42	123,44	193,84	236,13	80,56	95,70	121,25	146,47
Preska	5,02	2,32	2,43	2,65	2,92	3,75	4,34	2,19	2,38	2,84	3,17
Kokra I	4,31	1,36	1,43	1,64	1,92	2,96	3,63	1,35	1,59	1,93	2,25
Suha I	19,97	3,72	3,98	5,06	6,46	12,25	16,14	4,03	4,94	6,36	7,89
Martinja vas II	2,68	0,69	0,74	0,88	1,08	1,73	2,09	0,66	0,78	0,96	1,13
Rakovec	8,56	0,90	1,02	1,42	2,18	4,42	6,46	1,04	1,34	1,86	2,45
Zagaj II	1,72	0,34	0,40	0,50	0,64	1,04	1,35	0,34	0,41	0,54	0,65
Petrina	26,03	2,85	3,13	4,23	5,97	14,53	21,47	3,28	4,16	5,78	7,74
Metlika	71,73	9,28	10,02	12,98	17,83	39,76	58,75	10,10	13,10	18,00	23,66
Moste I	55,64	7,83	9,27	12,29	16,87	33,05	45,29	8,74	11,70	16,95	22,36
Verd I	6,83	0,98	1,06	1,51	2,18	4,31	5,73	1,02	1,50	2,44	3,39
Cerknica I	1,04	0,11	0,14	0,22	0,29	0,59	0,80	0,11	0,15	0,23	0,33
Hasberg	22,15	2,39	2,62	3,54	5,04	11,54	17,42	2,44	3,23	5,05	7,50
Solčava I	2,22	0,41	0,44	0,56	0,73	1,31	1,75	0,40	0,51	0,73	0,96
Nazarje	16,76	3,52	3,74	4,62	6,27	10,97	13,68	3,83	4,48	5,70	7,05
Laško I	39,50	7,83	8,51	11,13	15,13	25,64	31,77	8,60	10,40	13,58	16,70
Šoštanj	2,33	0,39	0,52	0,71	0,90	1,47	1,82	0,45	0,60	0,84	1,01
Dolenja vas II	3,82	0,57	0,66	0,86	1,19	2,19	2,96	0,64	0,80	1,09	1,38
Levec I	1,63	0,13	0,16	0,25	0,45	0,91	1,26	0,15	0,21	0,30	0,41
Podbukovje I	8,06	1,65	1,73	2,13	2,69	5,02	6,52	1,63	2,01	2,62	3,30
Podbočje	53,74	10,19	10,82	13,50	17,64	32,84	43,47	10,70	13,41	17,70	21,90
Prečna	4,37	1,51	1,56	1,75	1,99	2,88	3,59	1,40	1,63	1,97	2,30
Sodražica	0,88	0,16	0,18	0,22	0,29	0,54	0,71	0,15	0,18	0,25	0,32
Kršovec I	11,72	2,64	2,69	3,13	3,69	6,81	9,76	2,68	3,12	3,95	4,88
Kobarid I	34,16	8,02	8,28	9,67	11,88	21,80	28,53	8,31	9,90	12,56	15,28
Solkan I	94,48	20,53	23,49	28,09	36,77	65,46	78,24	22,30	25,99	33,70	40,93
Podroteja I	8,38	1,52	1,58	1,82	2,33	4,79	6,65	1,51	1,70	2,00	2,34

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 4

Bača pri Modreju	6,89	1,44	1,56	1,92	2,43	4,48	5,63	1,59	1,91	2,47	3,00
Vipava II	6,54	1,17	1,22	1,49	1,97	4,10	5,44	1,14	1,37	1,79	2,23
Miren I	17,98	2,04	2,20	2,93	4,06	9,47	14,22	2,20	2,75	3,80	5,06
Ajdovščina I	2,93	0,37	0,39	0,52	0,73	1,79	2,38	0,37	0,47	0,68	0,94
Cerkvenikov mlin	8,16	0,63	0,72	0,95	1,26	3,21	6,08	0,66	0,92	1,25	1,65
Kubed II	4,01	0,19	0,22	0,34	0,54	1,82	3,13	0,16	0,21	0,43	0,71

Preglednica 5: Korelacijska matrika pragov

	<i>sQs</i>	<i>sQnp</i>	<i>MAM(7)</i>	<i>MAM(30)</i>	<i>MAM(60)</i>	<i>MAM(180)</i>	<i>MAM(360)</i>	<i>Q95</i>	<i>Q90</i>	<i>Q80</i>	<i>Q70</i>
<i>sQs</i>	1										
<i>sQnp</i>	0,9730	1									
<i>MAM(7)</i>	0,9757	0,9996	1								
<i>MAM(30)</i>	0,9847	0,9973	0,9984	1							
<i>MAM(60)</i>	0,9922	0,9909	0,9927	0,9978	1						
<i>MAM(180)</i>	0,9983	0,9722	0,9752	0,9853	0,9941	1					
<i>MAM(360)</i>	0,9999	0,9766	0,9791	0,9873	0,9938	0,9982	1				
<i>Q95</i>	0,9731	0,9997	0,9998	0,9975	0,9907	0,9720	0,9767	1			
<i>Q90</i>	0,9786	0,9993	0,9997	0,9989	0,9937	0,9775	0,9818	0,9996	1		
<i>Q80</i>	0,9849	0,9978	0,9987	0,9996	0,9967	0,9840	0,9875	0,9981	0,9994	1	
<i>Q70</i>	0,9897	0,9953	0,9965	0,9992	0,9984	0,9891	0,9919	0,9955	0,9977	0,9994	1

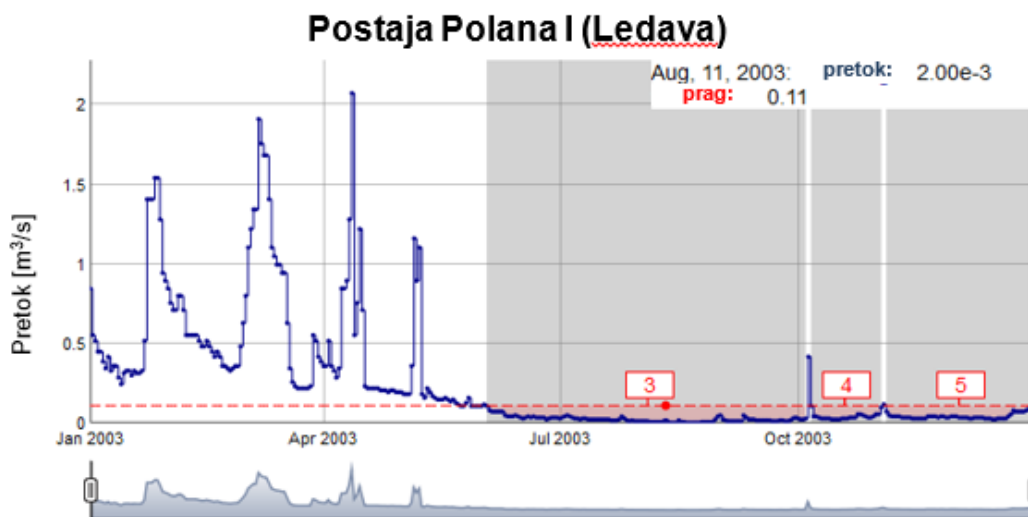
Korelacijska matrika pokaže, da so vsi indikatorji nizkih pretokov *MAM(n)*, percentili iz krivulje trajanja in obdobjne statistike *sQs* in *sQnp* zelo močno povezani med seboj. Do enake ugotovitve sta v svojih diplomskih delih prišla tudi Potočnik (2014) in Petek (2014). Kot že omenjeno v poglavju o metodologiji, je bil za analizo sušnih dogodkov izbran prag *sQnp*, ki ima najmočnejšo korelacijo s pragom *Q95*. Za primerjavo razlik med rezultati maksimalnih in skupnih volumnov ter trajanja deficitov parametrov sušnih dogodkov, ki nastanejo ob različni izbiri pragov, smo poleg praga *sQnp* izbrali še *Q80* in *Q90*.

4.3 Izračun deficitov po metodi praga

Za izračun deficitov je bila s programskim orodjem R uporabljena funkcija *find_droughts* iz paketa *lfstat* (Koffler in sod., 2016), ki poišče sušne dogodke po metodi praga. Kot prag je bil uporabljen pretok *sQnp*, izračunan za vsako vodomerno postajo posebej za obdobje 1960–2016. Z uporabo gnezdenja funkcije *find_droughts* v funkcijo *plot* programsko orodje izriše hidrogram (slike 24 do 26). S funkcijo *summary* iz paketa *lfstat* lahko izpišemo povzetek sušnih dogodkov skupaj z volumni deficitov, trajanji deficitov, najmanjšim letnim pretokom *Qmin* in njegovim datumom nastopa. Primeri izračunov za leto 2003 za tri vodomerne postaje na različnih lokacijah v Sloveniji so prikazani na slikah 24-26, glavne značilnosti deficitov pa v preglednicah 6-8. Dogodek z maksimalnim volumnom deficita je v preglednicah 6-8 rdeče obarvan. V zadnji vrstici preglednic 6-8 so zabeležene tudi vsote. Vsota volumnov deficitov posameznih dogodkov nam da skupni letni deficit, vsota trajanj pa skupno trajanje sušnih dogodkov.

4.3.1 Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Polana I (Ledava)

Na sliki 24 vidimo, da so bili na vodomerni postaji Polana I (Ledava) resnejši sušni dogodki s krajšima nekajdnevnima prekinitvama beleženi od začetka junija do konca leta. Označeni so večji sušni dogodki, ki so z ostalimi manjšimi podrobneje zabeleženi v preglednici 6.



Slika 24: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Polana I (Ledava)

Preglednica 6: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Polana I (Ledava), leta 2003, prag s_{Qnp}

Dogodek	Začetek	Konec	Volumen [m³]	Trajanje [dni]	Q_{min} [m³/s]	t_{Qmin}
1	24.5.2003	25.5.2003	582,06	2	0,107	24.5.2003
2	28.5.2003	1.6.2003	1455,16	5	0,107	28.5.2003
3	3.6.2003	4.10.2003	918145,52	124	0,002	11.8.2003
4	6.10.2003	2.11.2003	167470,48	28	0,023	14.10.2003
5	4.11.2003	30.12.2003	335664,00	57	0,023	15.12.2003
Skupaj:			1423317,22	216		

Prva dva dogodka sta trajala samo nekaj dni, ostali trije pa so bili veliko daljši (preglednica 6). Najdaljši je trajal dobre štiri mesece, skupno pa so bili sušni dogodki prisotni slabi dve tretjini leta. Skupni letni deficit je znašal 1.423.317,22 m³, maksimalni deficit pa 918.145,52 m³, torej dobri dve tretjini skupnega. Najnižji pretok je bil dosežen 11. avgusta 2003 in je znašal 0,002 m³/s.

4.3.2 Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Litija (Sava)

Na sliki 25 je prikazan hidrogram za postajo Litija (Sava) v letu 2003. Daljša obdobja suš so trajala od začetka junija do konca septembra, s prekinitvami v prvi dekadi julija in v začetku septembra. Večji sušni dogodki so označeni na hidrogramu, manjši so zabeleženi le v preglednici 7.



Slika 25: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Litija (Sava)

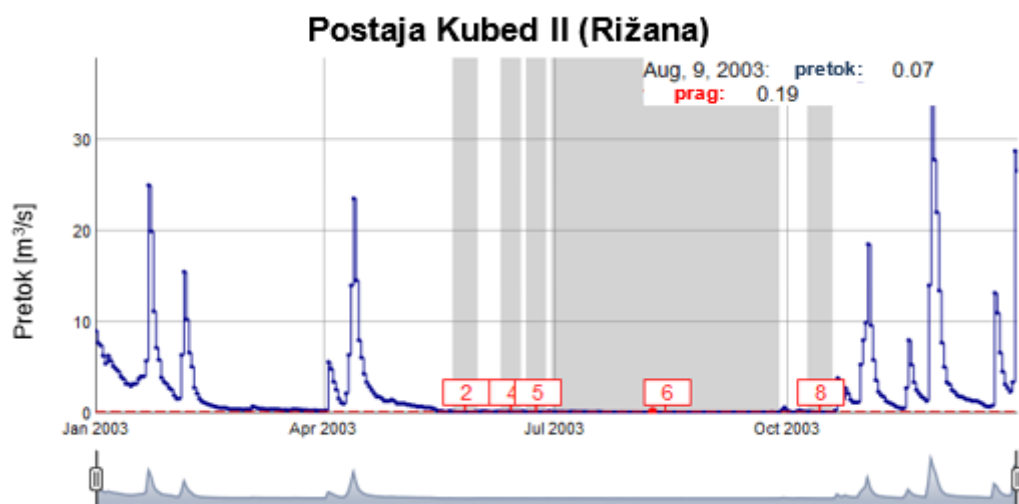
Preglednica 7: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Litija (Sava), leta 2003, prag sQ_{np}

Dogodek	Začetek	Konec	Volumen [m³]	Trajanje [dni]	Q_{min} [m³/s]	t_{Qmin}
1	20.5.2003	20.5.2003	460148,21	1	41,77	20.5.2003
2	1.6.2003	1.6.2003	83962,61	1	46,12	1.6.2003
3	6.6.2003	28.6.2003	10698061,64	23	37,05	14.6.2003
4	12.7.2003	30.8.2003	54472389,73	50	28,66	13.8.2003
5	6.9.2003	10.9.2003	2994273,85	5	36,19	8.9.2003
6	12.9.2003	24.9.2003	9925654,74	13	33,07	23.9.2003
7	26.9.2003	29.9.2003	2186192,84	4	35,37	28.9.2003
8	3.10.2003	3.10.2003	277757,81	1	43,88	3.10.2003
9	19.10.2003	20.10.2003	266248,42	2	44,98	19.10.2003
Skupaj:			81364689,85	100		

V preglednici 7 je predstavljenih vseh šest krajših in trije daljši sušni dogodki. Krajši so trajali največ 5 dni, daljši pa od 13 do 50 dni. Najdlje je sušni dogodek torej trajal slaba dva meseca, skupno pa so v letu 2003 sušni dogodki na postaji Litija (Sava) trajali dobre tri mesece. Skupni letni deficit je znašal 81.364.689,85 m³, maksimalni deficit pa 54472389,73 m³, torej dobri dve tretjini skupnega. Najnižji pretok je bil dosežen 13. avgusta 2003 in je znašal 28,66 m³/s.

4.3.3 Izračun deficitov za leto 2003 za vodomerno postajo Kubed II (Rižana)

V letu 2003 je na postaji Kubed II (Rižana) obdobje daljših suš trajalo od začetka tretje deкаде maja do začetka tretje deкаде oktobra. Nekaj krajših prekinitev sušnih pretokov je bilo v juniju in v prvi dekad i oktobra, od 30. junija do 28. septembra pa je vztrajal najdaljši 91 dnevni sušni dogodek, ki je imel tudi največji volumski deficit in je v preglednici 8 rdeče obarvan.



Slika 26: Prikaz deficitov največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Kubed II reke Rižane

Preglednica 8: Pregled deficitov največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Kubed II (Rižana), leta 2003, prag sQ_{np}

Dogodek	Začetek	Konec	Volumen [m ³]	Trajanje [dni]	Q_{min} [m ³ /s]	t_{Qmin}
1	19.5.2003	20.5.2003	2869,39	2	0,162	19.5.2003
2	22.5.2003	1.6.2003	48484,04	11	0,107	28.5.2003
3	6.6.2003	8.6.2003	5297,68	3	0,162	6.6.2003
4	10.6.2003	18.6.2003	15893,05	9	0,162	11.6.2003
5	20.6.2003	28.6.2003	34555,45	9	0,141	21.6.2003
6	30.6.2003	28.9.2003	655653,22	91	0,074	9.8.2003
7	3.10.2003	4.10.2003	12978,19	2	0,107	4.10.2003
8	9.10.2003	19.10.2003	69133,64	11	0,083	18.10.2003
Skupaj:			844864,66	138		

V preglednici 8 so predstavljeni trije krajši in pet daljših sušnih dogodkov. Krajši so trajali največ 3 dni, daljši pa okrog deset dni. Izjema je najdaljša poletna suša, ko je sušni dogodek trajal tri mesece. Sušni dogodki so skupno trajali dobro tretjino leta. Skupni letni deficit je znašal 844.864,66 m³, maksimalni deficit pa 655.653,22 m³, torej dobre tri četrtine skupnega. Najnižji pretok je bil dosežen 9. avgusta 2003 in je znašal 0,074 m³/s.

5 ANALIZA

Sušne razmere so v nadaljevanju analizirane na naslednje načine:

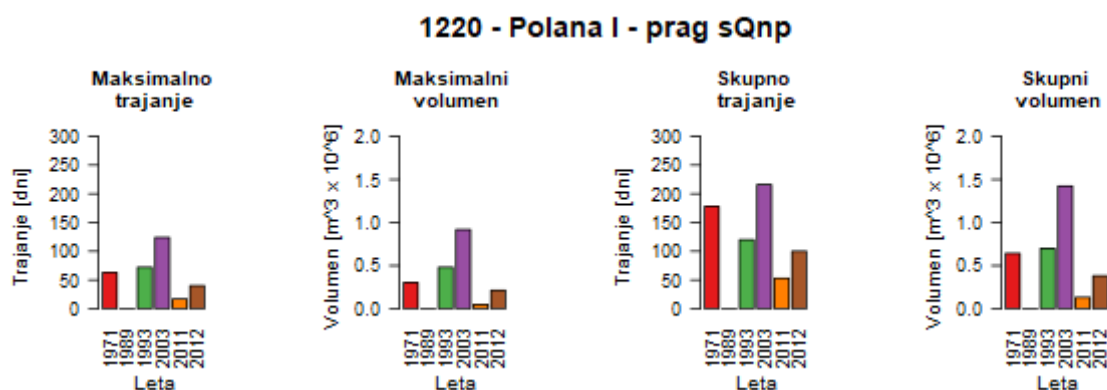
- Izračunani so volumni ter trajanja sušnih deficitov pri različnih pragih za tri vodomerne postaje in nato prikazani hidrogrami teh postaj za sušna leta z največjimi izračunanimi letnimi volumni deficitov,
- izrisan je diagram najmanjših letnih pretokov $MAM(n)$ različnih trajanj in opisan način za identifikacijo sušnih let,
- izračunani in grafično prikazani so specifični najmanjši letni pretoki $MAM(180)$ za 180 dnevno povprečje in specifični najmanjši pretoki drsečega povprečja za 180 dni v avgustu $MAM(180)_{avg}$ ter $MAM(n)_{avg}$ trajanj 7, 30, 180 in 360 dni za leto 1993,
- izračunani so standardizirani skupni letni volumni in trajanja deficitov za izbrane vodomerne postaje. Rezultati so tudi grafično prikazani.

5.1 Analiza deficitov sušnih dogodkov

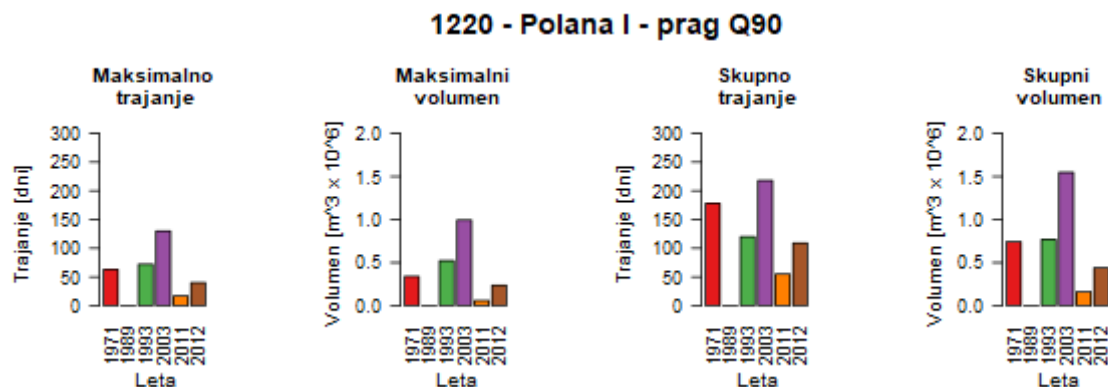
V poglavju 4.3 so bili že izračunani deficiti posameznih sušnih dogodkov za leto 2003 za izbrani prag $sQnp$. Na enak način so bili dobljeni rezultati tudi za leta 1971, 1989, 1993, 2011 in 2012, ki smo se jih odločili analizirati na podlagi analize v poglavju 4.1.2 (slika 23). Najprej je bil med posameznimi sušnimi dogodki določenega leta izbran tisti z maksimalnim volumnom deficita, nato pa še njegovo trajanje. Nato je bil iz povzetkov sušnih dogodkov izračunan skupni letni volumen deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov. Zaradi primerjave razlik med rezultati pri različno izbranih pragih je bil izračun izpeljan za prag $sQnp$, nato pa še za praga Q_{80} in Q_{90} . Na koncu smo rezultate prikazali v obliki stolpčnih diagramov (slike 27-29, 31-33, 35-37). Izračuni deficitov in prikazi s stolpčnimi diagrami nam dajo zgolj informacijo o volumnih deficitov in trajanju sušnih dogodkov, ne pa tudi informacije o njihovi časovni razporeditvi. Zato so bili dodatno izrisani tudi hidrogrami pretokov za tri sušna leta, v katerih so bili glede na izračune pri pragu $sQnp$ skupni volumni deficitov največji (slike 30, 34 in 38).

5.1.1 Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Polana I (Ledava)

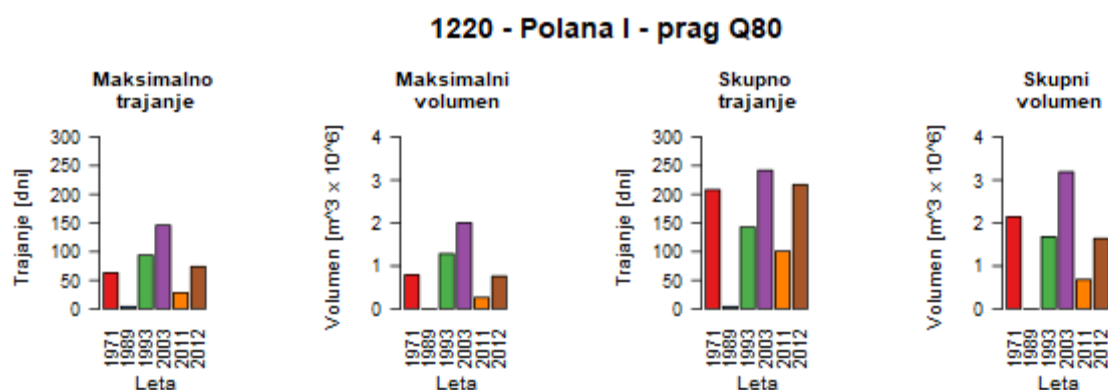
Na sliki 27 je prikazana primerjava volumnov in trajanja deficitov šestih izbranih let, ki so bili izračunani z metodo praga ($sQnp$) za vodomerno postajo Polana I (Ledava). Po vseh štirih sušnih karakteristikah (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen) deficita izstopa leto 2003, sledita leti 1971 in 1993.



Slika 27: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag $sQnp$



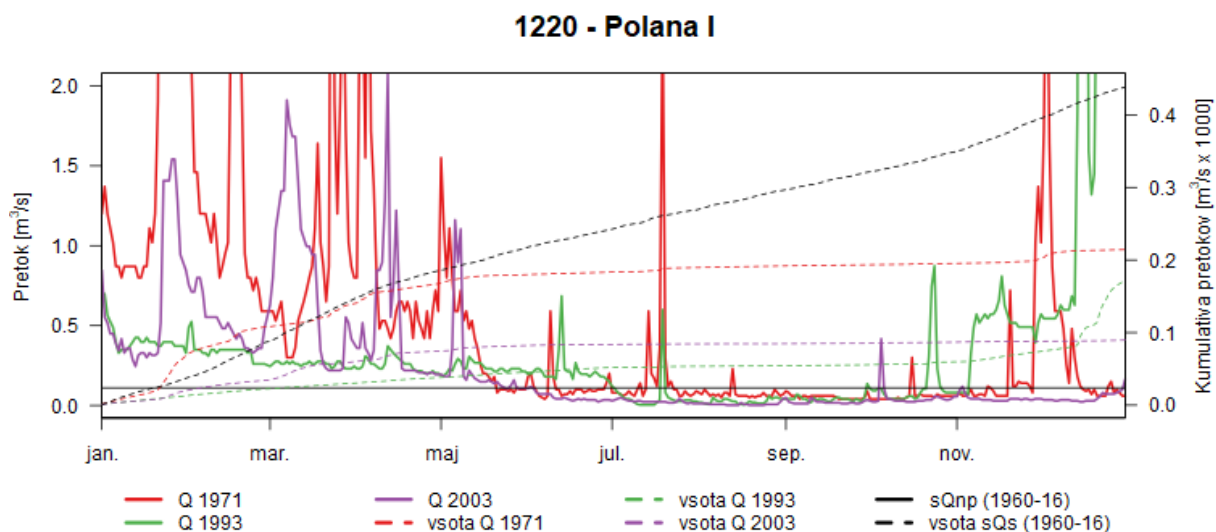
Slika 28: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag Q_{90}



Slika 29: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) in izbrani prag Q_{80}

Podobna analiza je bila izvedena še za praga Q_{90} (slika 28) in Q_{80} (slika 29). Primerjava rezultatov analiz ob različnih izbirah praga (slike 27-29) kaže, da se absolutne vrednosti trajanja in volumnov deficitov povečajo, če prag premaknemo višje, kar je bilo glede na sliko 4 pričakovano. Poleg tega opazimo tudi, da se razmerja med rezultati posameznih let nekoliko spremenijo. Če si velikosti skupnih letnih deficitov pri pragu $sQnp$ in Q_{90} po vrsti od največjega do najmanjšega sledijo 2003, 1993 in 1971, ima pri pragu Q_{80} leto 1971 večji volumen deficita kot leto 1993. Za leto 2012 je bil pri pragu Q_{80} izračunan enak skupni volumen deficita kot v letu 1993, medtem ko je bil pri pragih $sQnp$ in Q_{90} skupni volumen deficita v letu 2012 precej manjši v primerjavi z letom 1993. Po skupnem trajanju je leto 2012 pri pragu $sQnp$ in Q_{90} četrto po vrsti od največjega do najmanjšega, pri pragu Q_{80} pa drugo največje.

Da bi dobili še dodatne informacije o časovni razporeditvi sušnih dogodkov, smo izrisali tudi hidrograme pretokov. Na sliki 30 so izrisani trije hidrogrami pretokov za leta, v katerih so bili izračunani največji skupni volumni deficitov za prag $sQnp$ na vodomerni postaji Polana I (Ledava). Izrisane so tudi kumulativne vsote pretokov, prag $sQnp$ ter povprečna kumulativna dnevni srednji pretokov sQs v obdobju 1960–2016. Zaradi preglednosti je prikazan samo spodnji del hidrogramov (brez konic).



Slika 30: Hidrogrami vodomerne postaje Polana I (Ledava) za leta 2003, 2011 in 2012

V letu 2003 so se najbolj resne hidrološke suše zgodile na južnem, vzhodnem in severovzhodnem delu države zaradi najmanjše količine padavin na tem območju (Kobold in Sušnik, 2003). Na vodomerni postaji Polana I (Ledava) so bili največji skupni deficiti izračunani v letu 2003. V tem letu so bili do začetka maja beleženi višji pretoki kot v letu 1993, so se pa nato zmanjšali, junija padli pod prag $sQnp$ in tako vztrajali do konca leta, medtem ko so leta 1993 v začetku novembra znova narasli.

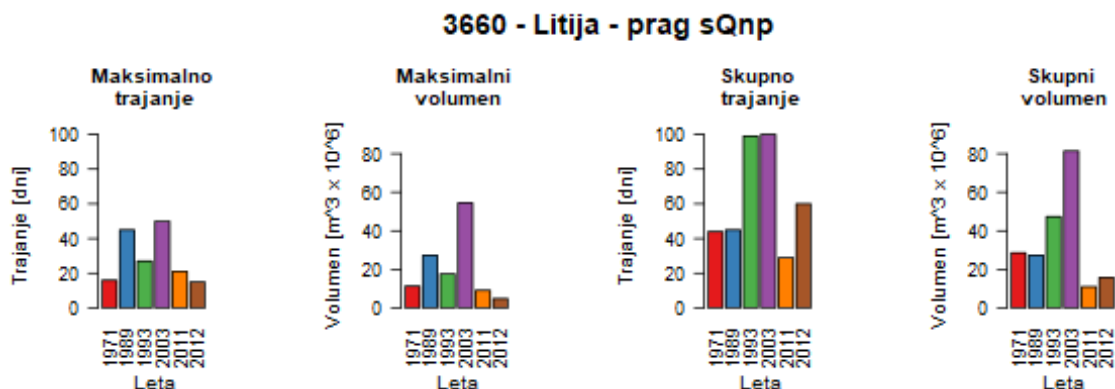
Na hidrogramu za leto 1993 opazimo, da so pretoki v začetku leta precej nizki v primerjavi z letoma 1971 in 2003. Poročilo Hidrometeorološkega zavoda za leto 1993 pokaže, da so zaradi pomanjkanja padavin pretoki začeli upadati že decembra 1992 po celi Sloveniji. Sušno obdobje je za večino analiziranih slovenskih postaj trajalo do konca avgusta, na zahodu države pa se je zavleklo v september (Kolbezen in sod., 1994). Na postaji Polana I (Ledava), so bili deficiti merjeni do konca septembra, nato pa še v obliki dveh krajših sušnih dogodkov oktobra in novembra.

Leti 1971 in 1993 sta imeli podobni vrednosti volumnov skupnih deficitov. Nizki pretoki v letu 1971 so bili sicer višji od pretokov leta 1993, so pa v letu 1971 pretoki padli pod prag $sQnp$ dobra dva meseca bolj zgodaj in padali pod prag tudi potem, ko so pretoki v letu 1993 strmo narasli.

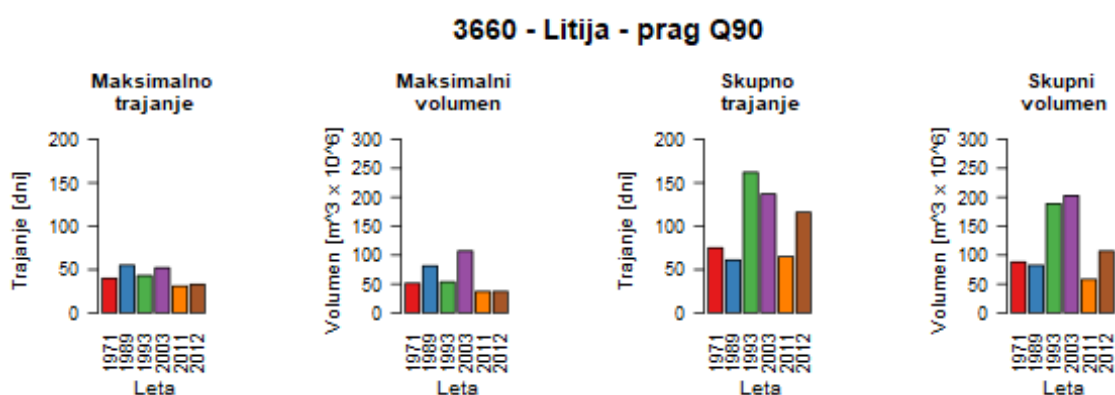
Kumulativne vsote pretokov za vodomerno postajo Polana I na Ledavi (slika 30) pokažejo, da so imela vsa tri obravnavana leta pretoke nižje od povprečja obdobja 1960–2016, le pri letu 1971 so se kumulativni pretoki gibal okoli povprečnih (na začetku leta celo do nadpovprečnih), in sicer do meseca aprila in nato padli pod obdobjno kumulativno krivuljo.

5.1.2 Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Litija (Sava)

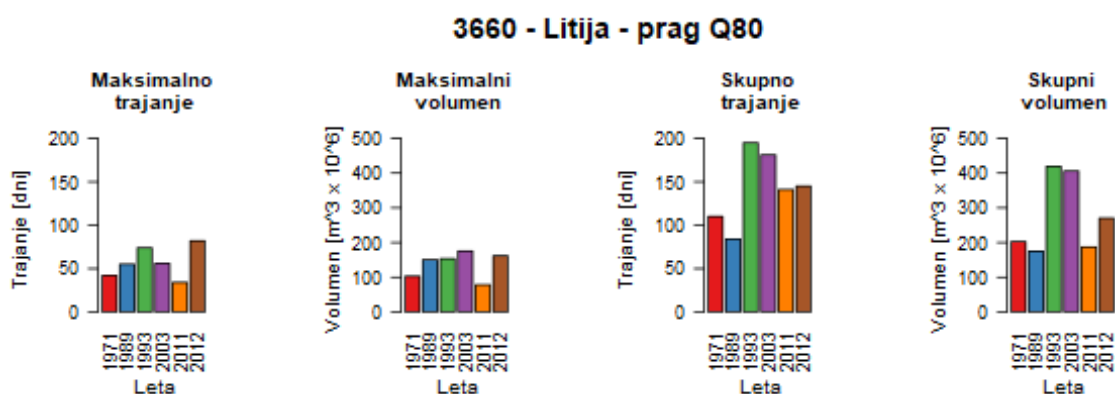
Na sliki 31 je prikazana primerjava volumnov in trajanja deficitov šestih izbranih let, ki so bili izračunani z metodo praga ($sQnp$) za vodomerno postajo Litija (Sava). Po vseh štirih sušnih karakteristikah (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen) deficita izstopa leto 2003, sledita leti 1993 in 1971.



Slika 31: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag sQ_{np}



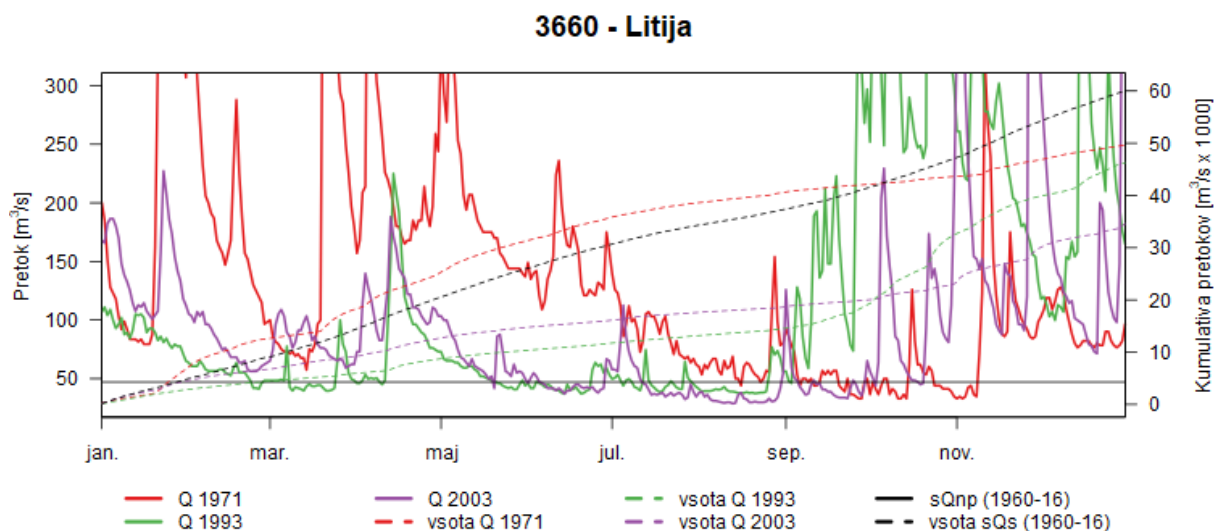
Slika 32: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag Q_{90}



Slika 33: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) in izbrani prag Q_{80}

Podobna analiza je bila izvedena še za praga Q_{90} (slika 32) in Q_{80} (slika 33). Primerjava rezultatov analiz ob različnih izbirah praga (slike 31-33) kaže, da so glede na skupni volumen deficitov najbolj sušna leta 1993, 2003 in 2012, medtem ko je leto 2012 pri upoštevanem pragu sQ_{np} glede na skupni volumen deficitov šele na petem mestu. Opazimo tudi, da je skupni volumen deficitov pri izbiri praga sQ_{np} za leto 2003 veliko večji od tistega za leto 1993, pri izbiri višjih pragov pa sta si vrednosti skupnih volumnov deficitov za leti 1993 in 2003 zelo podobni.

Največji volumen skupnih deficitov za vodomerno postajo Litija (Sava) je bil za prag sQ_{np} izračunan v letih 1971, 1993 in 2003. Da bi dobili še dodatne informacije o časovni razporeditvi sušnih dogodkov, je bil za ta leta izrisan hidrogram pretokov in kumulativnih vsot pretokov (slika 34). Na sliki 34 je prikazana tudi kumulativna vsota dnevnih povprečij sQs ter prag sQ_{np} za obdobje 1960–2016. Zaradi preglednosti je prikazan samo spodnji del hidrogramov (brez konic).



Slika 34: Hidrogrami vodomerne postaje Litija (Sava) za leta 1971, 1993 in 2003

Na hidrogramu za leto 2003 opazimo, da je bilo hidrološko najbolj sušno obdobje od sredine julija do konca avgusta, ko so bili izmerjeni tudi najnižji pretoki v letu 2003 in tudi v primerjavi z letoma 1993 in 1971.

Na hidrogramu za leto 1993 opazimo, da so pretoki nižji kot v letih 1971 in 2003. Marca 1993 se pojavi že prvi daljši sušni dogodek. Tako stanje pretokov je posledica pomanjkanja padavin, ki je trajalo že od decembra predhodnega leta (Kolbezen in sod., 1994). V zadnjih dneh avgusta so padavine zajele večji del države (Kolbezen in sod., 1994), zaradi česar so se povišali tudi pretoki na reki Savi, kar lahko opazimo na hidrogramu.

V letu 1971 so bili najbolj resni sušni dogodki zaznani šele jeseni.

Pri primerjavi kumulativnih vsot (slika 34) ugotovimo, da so pretoki v letih 1993 in 2003 pod povprečjem vrednosti obdobja 1960–2016, leto 1971 pa je na začetku leta celo nadpovprečno v tem smislu, na koncu leta pa krivulja kumulativnih vsot pade pod obdobjno.

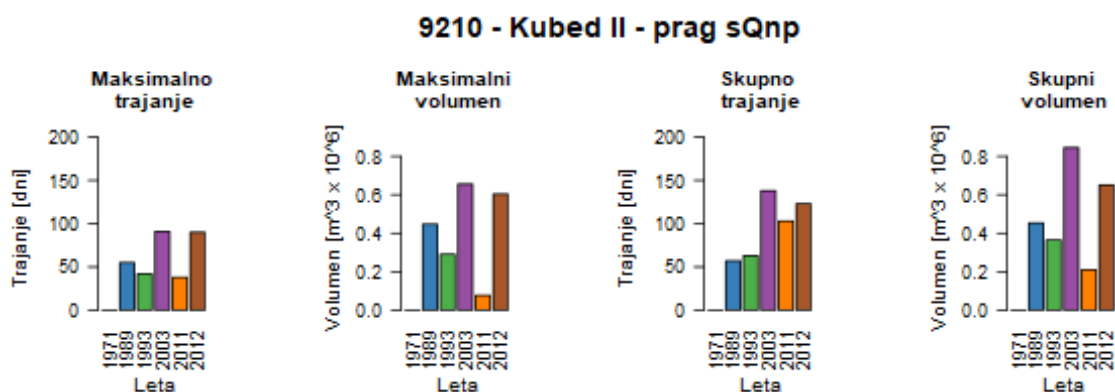
5.1.3 Analiza deficitov sušnih dogodkov za vodomerno postajo Kubed II (Rižana)

Ker se merilno mesto Kubed II (Rižana) nahaja nekaj sto metrov dolvodno od izvira reke Rižane se na merilnem mestu kažejo tudi umetni vplivi.

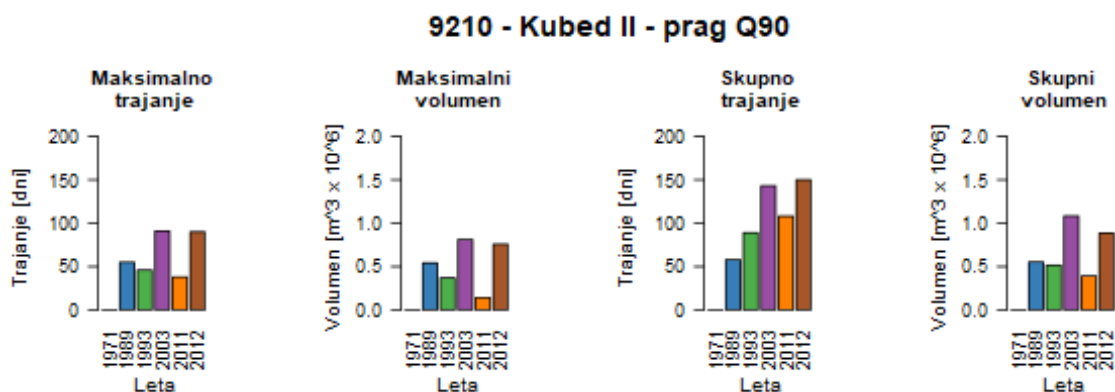
Odvzem vode za vodooskrbo na izviru reke Rižane v povprečju znaša okrog 240 l/s (Krajnc in sod., 2007). Črpališči Tonaži in Podračje, ki se nahajata v zaledju izvira, skrbita za odjem podtalnice, ko rižanski izvir presuši. Del načrpanega odjema se porabi za zagotavljanje minimalne zahteve za ekološko sprejemljiv pretok v strugi reke Rižane, ki znaša 100 l/s. Preostali pretok se uporabi za vodooskrbo (Kryžanovski in Žigon, 2012). Analiza je bila opravljena na izmerjenih pretokih vodomerne postaje Kubed II (Rižana), vendar se je potrebno zavedati, da so merjeni pretoki zaradi vodooskrbnega odjema

v večini leta nižji od naravnih, v obdobju zelo nizkih ali celo ničelnih naravnih pretokov pa so merjeni pretoki na postaji višji zaradi zagotavljanja ekološkega minimuma s črpanjem.

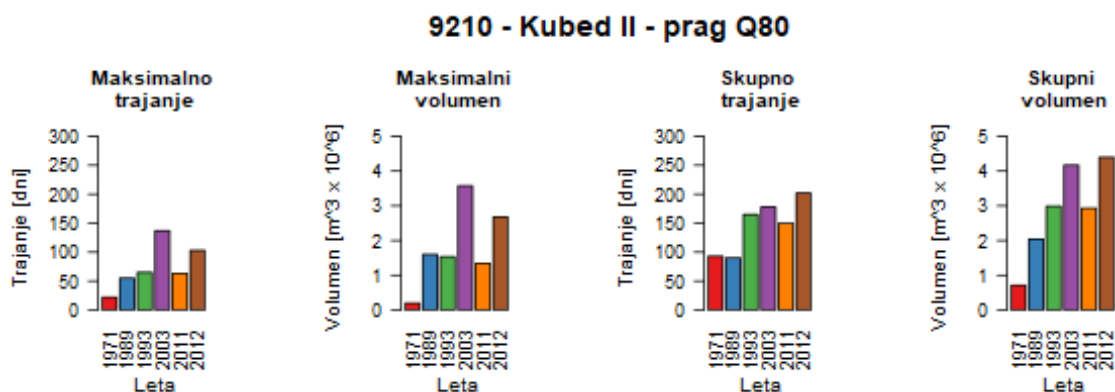
Na slikah 35 do 37 je prikazana primerjava rezultatov analiz volumnov in trajanja deficitov šestih izbranih let za tri različne prage (sQ_{np} , Q_{90} in Q_{80}) za vodomerno postajo Kubed II (Rižana). Leto 2003 znova izstopa po najvišjih vrednostih skupnih volumnov deficitov (slika 35). Sledita leti 2012 in 1989. Enako velja za prag Q_{90} (slika 36), medtem ko se pri pragu Q_{80} (slika 37) najvišja vrednost skupnega deficita pojavi v letu 2012, sledita pa mu leti 2003 in 1993.



Slika 35: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag sQ_{np}

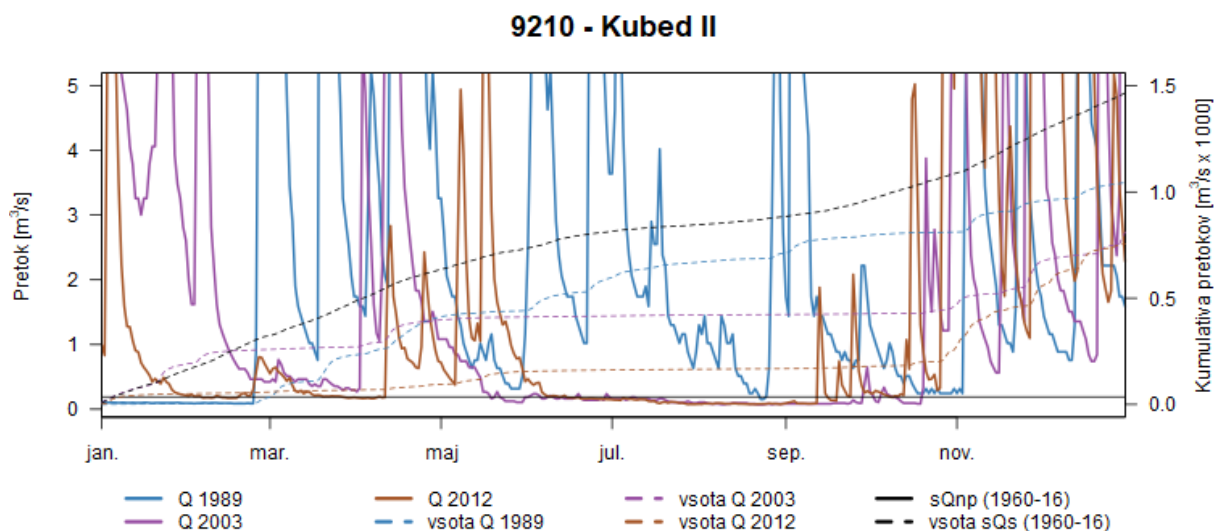


Slika 36: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag Q_{90}



Slika 37: Maksimalni in skupni volumen deficitov ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in izbrani prag Q_{80}

Da bi dobili še dodatne informacije o časovni razporeditvi sušnih dogodkov, smo izrisali tudi hidrograme pretokov. Na sliki 38 so izrisani trije hidrogrami pretokov za leta, v katerih so bili izračunani največji skupni volumni deficitov za prag $sQnp$, na vodomerni postaji Kubed II (Rižana). Izrisane so tudi kumulativne vsote pretokov, prag $sQnp$ ter povprečna kumulativa dnevnih srednjih pretokov sQs v obdobju 1960–2016. Zaradi preglednosti je prikazan samo spodnji del hidrogramov (brez konic).



Slika 38: Hidrogrami vodomerne postaje Kubed II (Rižana) za leta 1989, 2003 in 2012

V februarju leta 2012 je najnižji pretok na postaji Kubed II (Rižana) znašal 168 l/s, ob vodovodnem odjemu 172 l/s, kar pomeni da je naravni pretok znašal 340 l/s (Kryžanovski in Žigon, 2012). V aprilu je bil dosežen najnižji naravni pretok 334 l/s. V juniju so se razmere poslabšale in izvir je presahnil v začetku julija. Tako stanje je trajalo do konca avgusta (Kryžanovski in Žigon, 2012). Na hidrogramu na sliki 38 v teh dveh mesecih ne opazimo, da bi izvir presahnil, saj se je s pomočjo zalednih črpališč v strugi zagotavljal ekološko sprejemljivi pretok.

Vzorca nihanja pretokov v letih 2003 in 2012 sta si zelo podobna. Pretoki v letu 2003 so v prvem četrtletju nekoliko višji kot v letu 2012, vendar so od konca maja večkrat v deficitu.

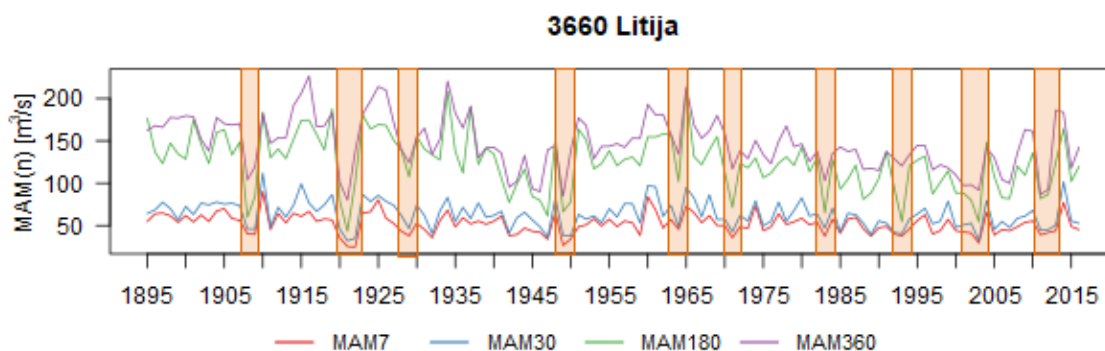
Leta 1989 lahko v prvem četrtletju na hidrogramu opazimo dolgo obdobje zelo nizkih pretokov, ki so posledica zimske suše, ki je prizadela velik del Slovenije. Skoraj 80-dnevno obdobje brez padavin je trajalo od začetka decembra 1988 do 22. februarja 1989, zaradi česar so se močno zmanjšali pretoki vseh rek na območju Slovenije, z izjemo reke Mure, katere prispevno območje je bilo izven prizadetega območja (Kolbezen, 1990). Najnižji pretok na postaji Kubed II (Rižana), ki se nahaja pod črpališčem Rižanskega vodovoda, je v februarju znašal 0,087 m³/s. V tem času je Rižanski vodovod iz rižanskega izvira v vodovodno omrežje pošiljal 180 l/s, kar pomeni, da bi naravni pretok Rižane znašal 0,267 m³/s (Kolbezen, 1990).

Kumulativne vsote pretokov (slika 38) pokažejo, da so vsa tri obravnavana leta imela pretoke nižje od kumulativne vsote obdobjnega povprečja 1960–2016. Izjema je začetek leta 2003, v katerem je do začetka marca bila kumulativna vsota pretokov nekoliko nad povprečjem.

5.2 Analiza diagramov $MAM(n)$ različnih trajanj

Obdobja suš lahko prepoznamo tudi na grafičnih prikazih $MAM(n)$ različnih trajanj, ki so bili prikazani v poglavju 4.1.1. Najbolj suha leta so tista leta, v katerih so vrednosti najmanjših letnih pretokov

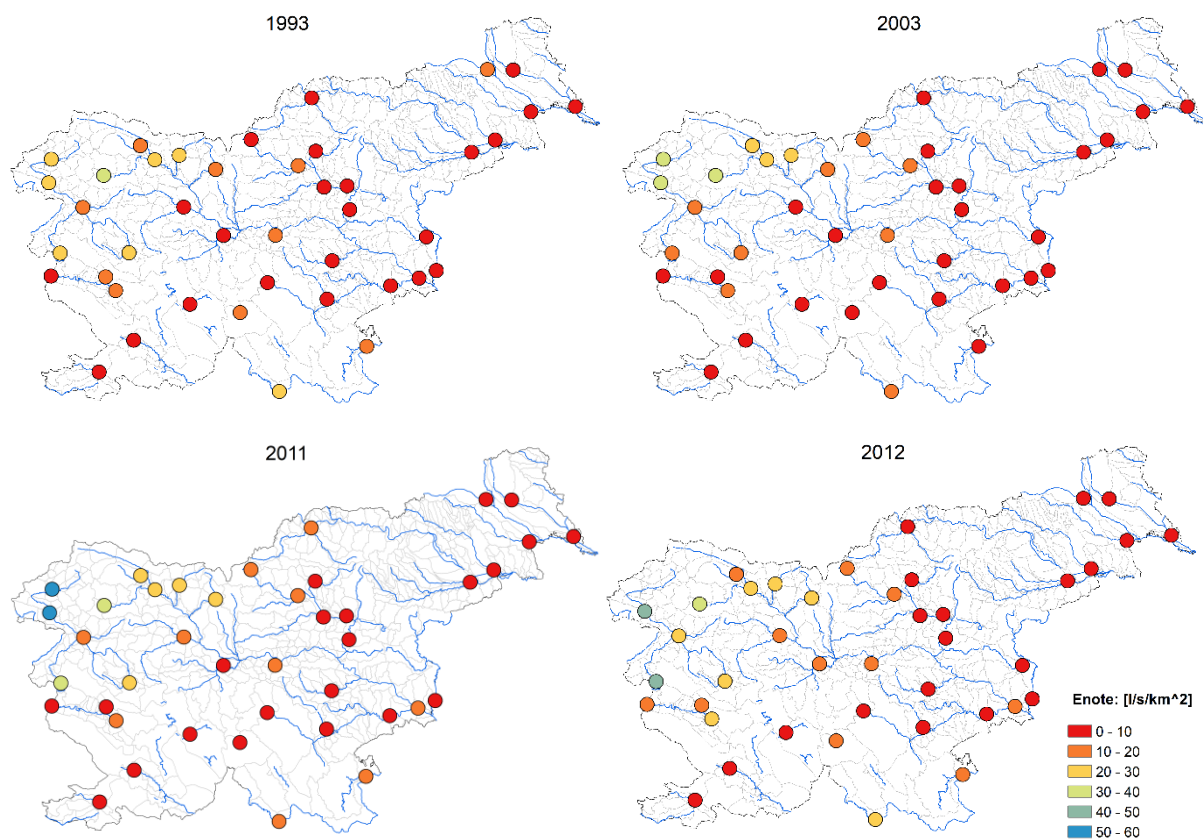
$MAM(n)$ nizke za različna trajanja. Za ta leta lahko sklepamo, da so bili nizki pretoki zaznani v krajšem in tudi v daljšem časovnem obdobju. Na sliki 39 je prikazan primer analize na grafičnih prikazih $MAM(n)$ za postajo Litija (Sava). Obdobja nizkih $MAM(n)$ (sušna leta) so označena z oranžnimi pasovi. Prepoznamo lahko najbolj suha leta 1907, 1921, 1922, 1929, 1949, 1964, 1971, 1983, 1993, 2003, 2011 in 2012. Večina rezultatov se ujema z ugotovitvami iz ostalih analiz v tej magistrski nalogi oziroma z ugotovitvami ostalih avtorjev. Najnižji $MAM(7)$ so bili na postaji Litija (Sava) zaznani v letu 1922, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$ pa v letu 1921, kar se sklada z rezultati v preglednici 2. V preglednici 2 najdemo tudi leto 1949 kot leto, v katerem je bil za postajo Litija (Sava) zaznan tretji najmanjši $MAM(7)$ in drugi najmanjši $MAM(360)$ ter leto 2003, v katerem sta bila zaznana drugi najmanjši $MAM(30)$ in $MAM(180)$. V obravnavanem obdobju 1960–2016 so bili najmanjši $MAM(7)$, $MAM(30)$ in $MAM(180)$ zaznani v letu 2003, najmanjši $MAM(360)$ pa v letu 2011 (glej preglednico 3). Za postajo Litija (Sava) so bili v poglavju 5.1.2 največji volumni deficitov izračunani v letih 1971, 1993 in 2003. Za leto 1993 Kolbezen s sodelavci (1994) ugotovi, da je bilo tega leta doseženo najnižje majsko nizkovodno stanje, tako kot na večini ostalih slovenskih rek tega leta. Do leta 2003 je leto 1993 veljalo za najbolj sušno leto v zadnjih štiridesetih letih (Kobold, 2003). Leto 2003 je bilo zelo podobno letu 1993 (Kobold in Sušnik, 2003). Šebenik (2012) je na osnovi izračunanih vrednosti SPI leta 1971, 1983 in 2012 prepoznala kot najbolj sušna leta v meteorološkem smislu. Kobold in sodelavci (2012) sušo v letu 2012 označijo kot manj ekstremno, vendar dolgotrajnejšo v primerjavi z leti 1993 in 2003.



Slika 39: Primer analize grafičnega prikaza $MAM(n)$ za vodomerno postajo Litija (Sava)

5.3 Analiza specifičnih $MAM(n)$ in $MAM(n)_{avg}$

Specifične $MAM(n)$ smo izračunali po postopku, ki je opisan v poglavju 3.1.7, in sicer po enačbah (2) in (3). Ker imata postaji Hasberg (Unica) in Verd I (Ljubljana) kraško zaledje in je zato njuno prispevno območje nedoločljivo, sta bili ti dve postaji izločeni iz analiz specifičnih $MAM(n)$ ter $MAM(n)_{avg}$. Dodatno sta bili iz prikazov na kartah izločeni še postaja Kršovec I (Soča) na prikazih za leto 2011 in postaja Zagaj II (Bistrica) na prikazih za leto 2012 zaradi izpada beleženja podatkov o pretokih v teh letih.

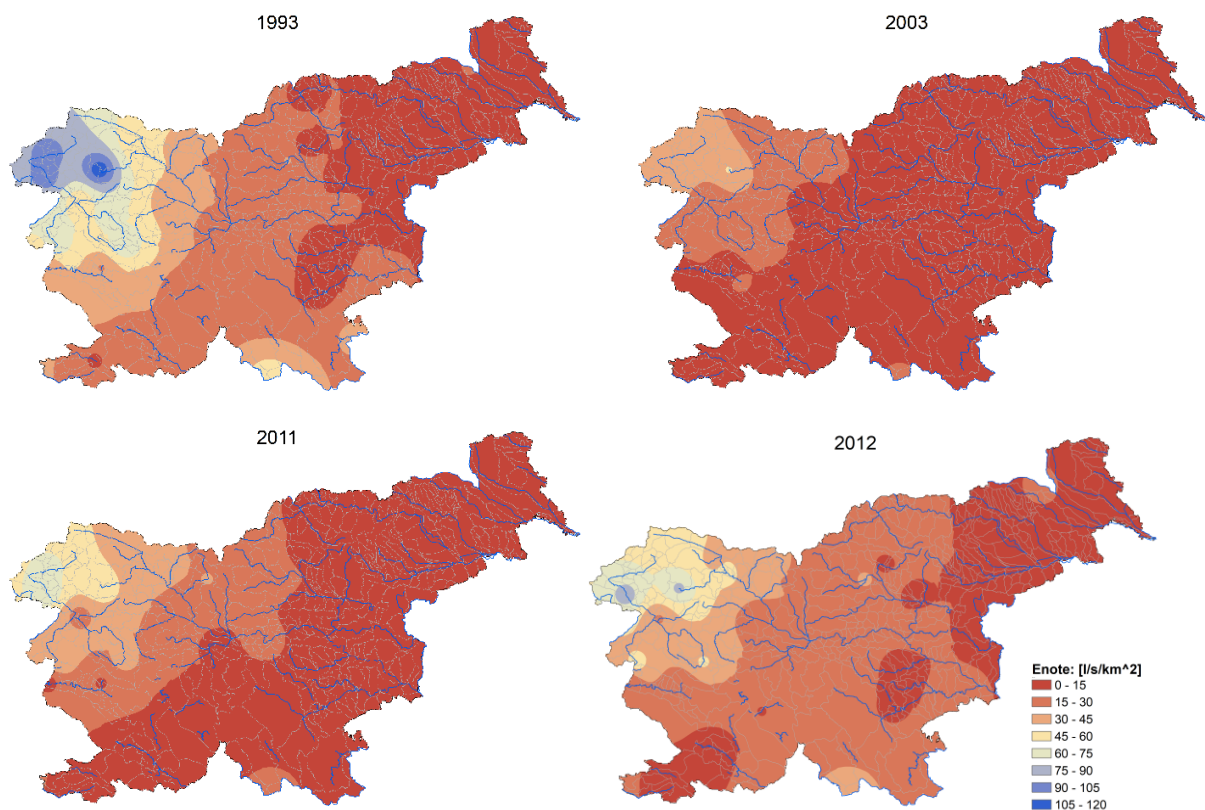


Slika 40: Primerjava specifičnih $MAM(180)$ v izbranih sušnih letih

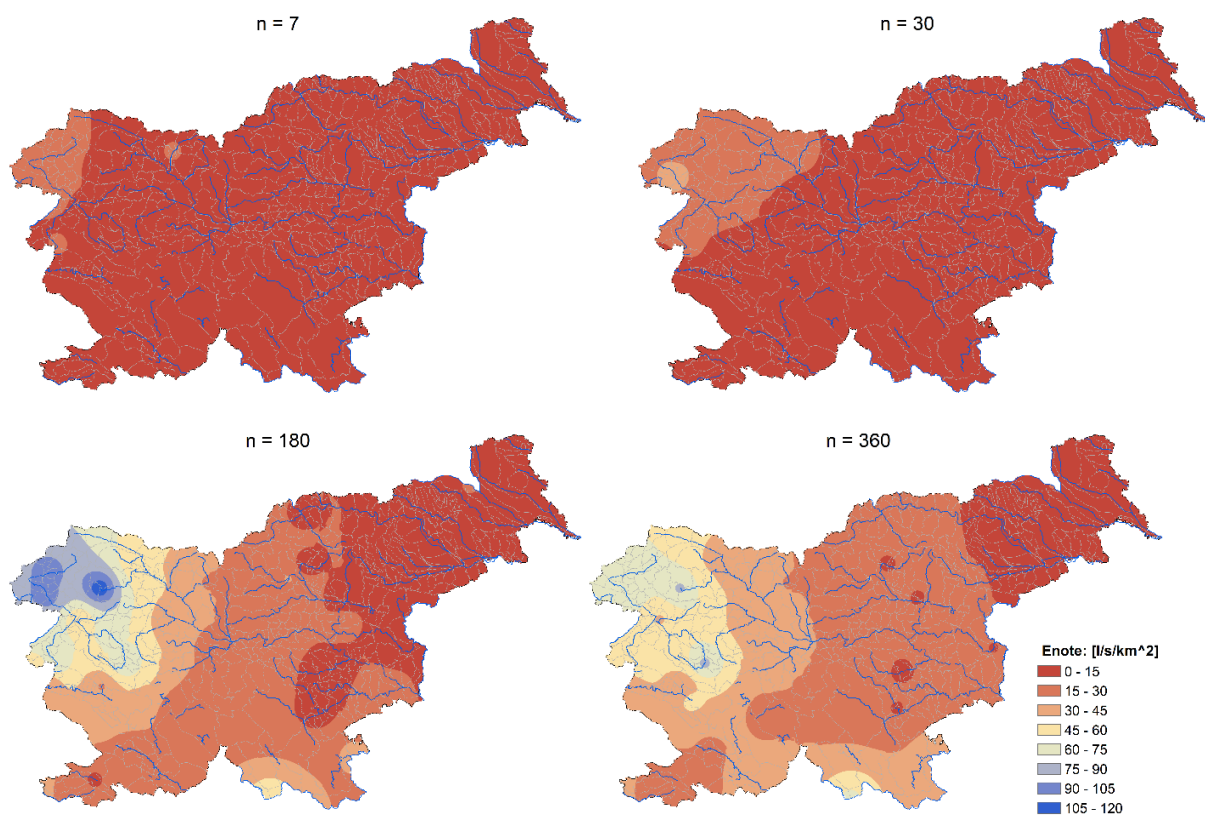
Grafični prikaz specifičnih $MAM(180)$ v letih 1993, 2003, 2011 in 2012 na sliki 40 pokaže, da so bili najmanjši specifični $MAM(180)$ v vseh omenjenih letih zaznani predvsem na severovzhodnem, vzhodnem in jugozahodnem delu Slovenije. Leta 1993 so bile vrednosti specifičnih $MAM(180)$ precej visoke tudi na severu in v osrednji Sloveniji, leta 2003 tudi v osrednji, leta 2011 pa tudi na jugu Slovenije. V letu 2003 je bil specifični $MAM(180)$ z vrednostjo manjšo od $10 l/s/km^2$ zaznan na največ postajah. Največji specifični $MAM(180)$ pa so bili zaznani na severozahodu države, najbolj izrazito v letih 2011 in 2012.

Narejena je bila tudi časovna analiza, po kateri se je izkazalo, da so bili najmanjši $MAM(180)$ zaznani v različnih mesecih. Zato je v nadaljevanju prikazana še primerjava najmanjših specifičnih pretokov drsečega povprečja za 180 dni v avgustu $MAM(180)_{avg}$ za sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012 (slika 41) in nato še primerjava najmanjših specifičnih pretokov drsečega povprečja različnih trajanj v avgustu za leto 1993 (slika 42).

Za štiri sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012 so bili izračunani specifični najmanjši pretoki 180-dnevnega drsečega povprečja v avgustu $MAM(180)_{avg}$, za vsako od obravnavanih vodomernih postaj. Nato so bili rezultati prikazani s pomočjo inverzne distančne metode na sliki 41. Ugotovimo lahko, da se najmanjše vrednosti specifičnih $MAM(180)_{avg}$ v vseh štirih letih pojavijo na severovzhodu države. Najmanjši specifični $MAM(180)_{avg}$ so zajemali največji del države leta 2003. Na severozahodnem delu Slovenije so bile v letu 2003 zaznane manjše vrednosti specifičnih $MAM(180)_{avg}$ kot v ostalih treh letih, v letu 1993 pa so bile na tem območju zaznane največje vrednosti.



Slika 41: Primerjava najmanjših specifičnih pretokov drsečega povprečja za 180 dni v avgustu za sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012



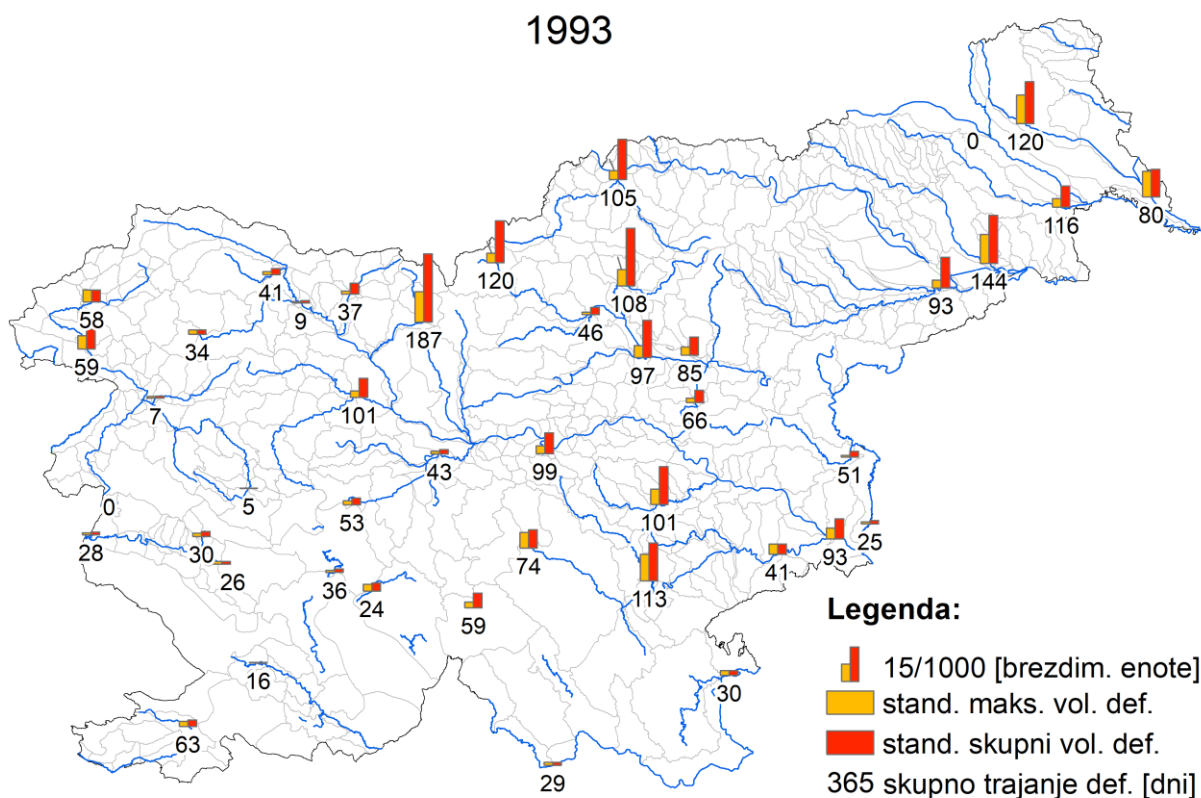
Slika 42: Primerjava specifičnih najmanjših pretokov drsečega povprečja za n-dni v avgustu za sušno leto 1993

Nato so bili za leto 1993 izračunani najmanjši specifični pretoki n -dnevnega drsečega povprečja v avgustu $MAM(n)_{avg}$ za vsako od obravnavanih vodomernih postaj za 7, 30, 180 in 360 dni. Rezultati so bili znova prikazani s pomočjo inverzne distančne metode na sliki 42. Opazimo, da se z daljšanjem trajanja drsečega povprečja oži območje z najmanjšimi vrednostmi specifičnih $MAM(n)_{avg}$.

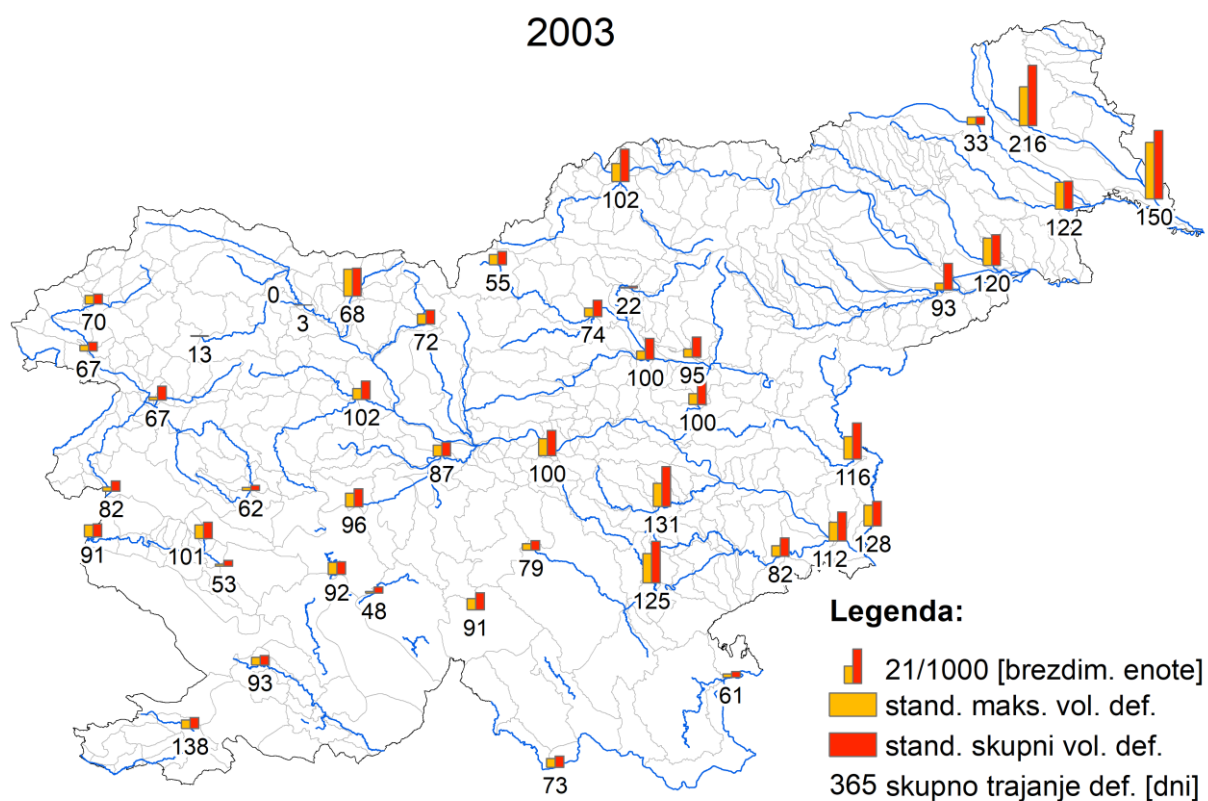
5.4 Analiza brezdimenzijskih sušnih deficitov

Na enak način kot v poglavju 4.3 so bili za prag sQ_{np} izračunani volumni in trajanja deficitov za vseh 44 postaj za izbrana sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012. Volumni so bili nato standardizirani z obdobjnim srednjim pretokom $sQ_{s1960-2016}$ po enačbi (1).

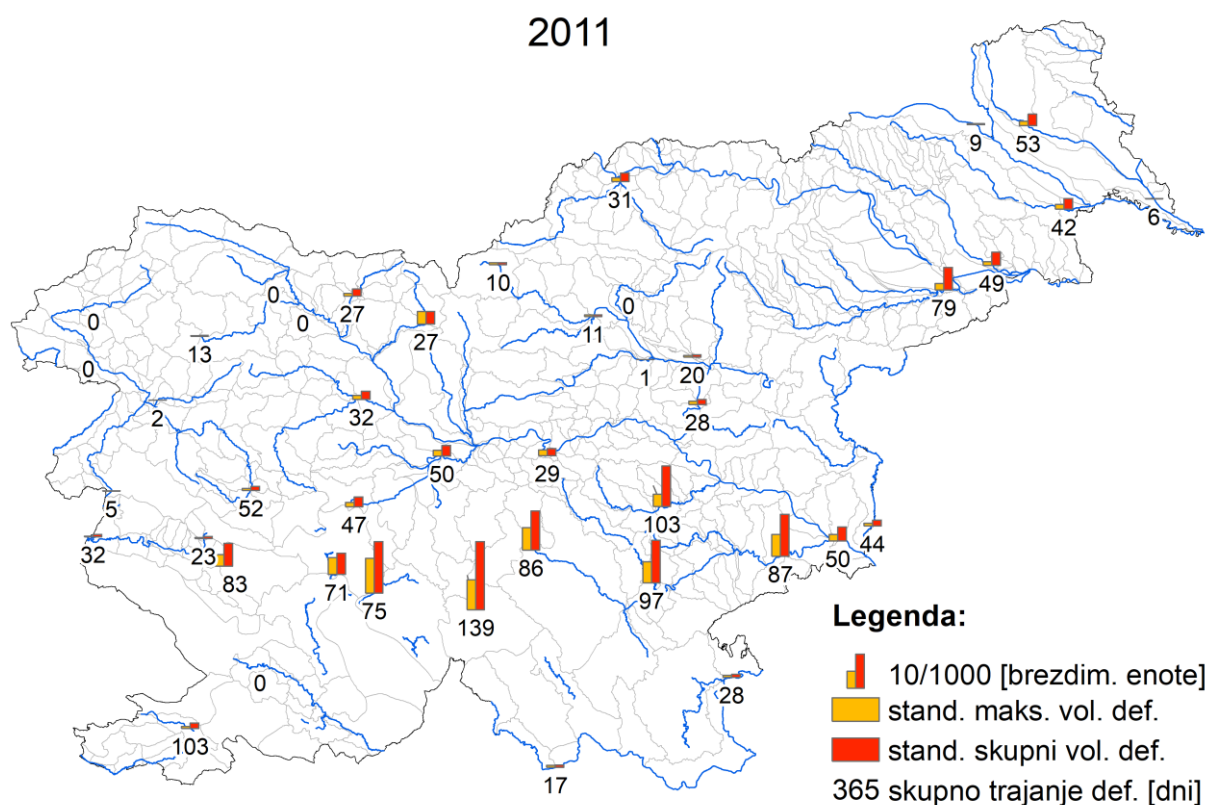
Standardizirani maksimalni in skupni letni brezdimenzijski volumni deficitov so s stolpcnimi diagrami prikazani na slikah 43-46. Številka pod stolpcnim diagramom pove, koliko dni v letu so bili pretoki v vodotoku pod sušnim pragom. Tako kot v analizah specifičnih $MAM(n)$ sta iz prikazov na kartah bili izločeni postaja Kršovec I (Soča) na prikazih za leto 2011 in postaja Zagaj II (Bistrica) na prikazih za leto 2012 zaradi izpada beleženja podatkov o pretokih v teh dveh letih.



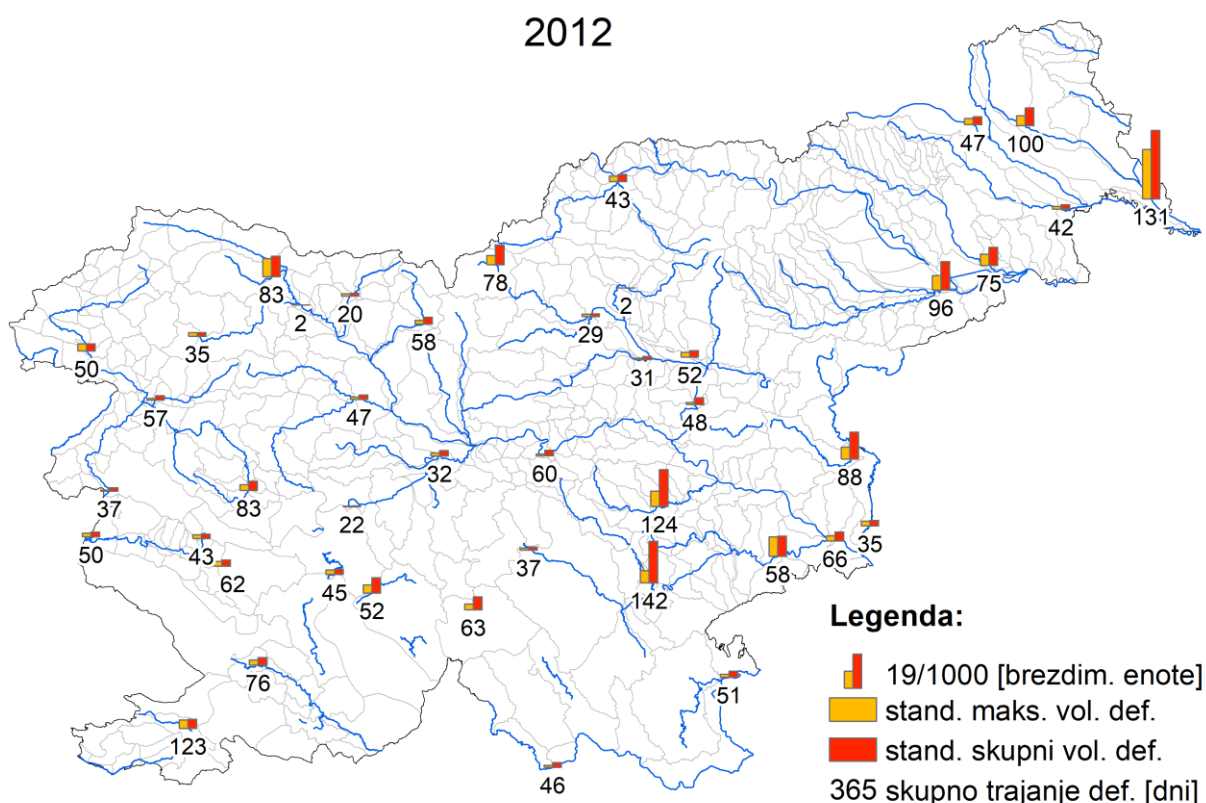
Slika 43: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 1993



Slika 44: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2003



Slika 45: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2011



Slika 46: Standardizirani volumni deficitov in skupno trajanje sušnih dogodkov v letu 2012

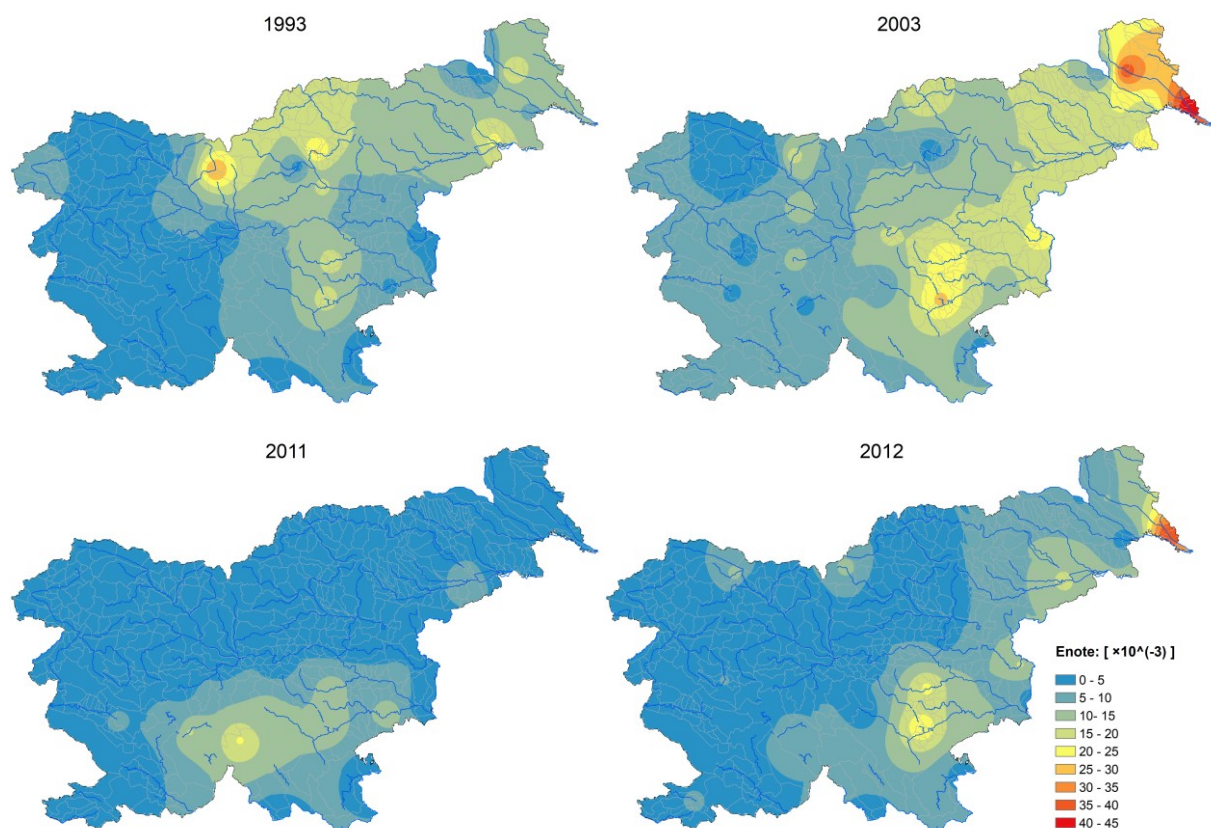
Na slikah 43-46 opazimo, da v letu 1993 ni bilo zaznanih sušnih dogodkov le na vodomernih postajah Solkan I (Soča) in Gornja Radgona I (Mura). Največji standardizirani volumni deficitov so bili v letu 1993 izračunani na severu in severovzhodu države. Največji standardizirani volumni deficitov v letu 2003 so bili zaznani na severovzhodu in vzhodu Slovenije. V letu 2011 sušni dogodki niso bili zaznani na šestih od vseh analiziranih postaj. Največji standardizirani volumni deficitov so bili tega leta zaznani na jugu države. Leta 2012 smo zaznali deficite na vseh analiziranih postajah. Največji standardizirani volumni deficitov so bili v tem letu zaznani na postajah Martinja vas II (Mirna), Prečna (Prečna) in Čentiba (Ledava).

Opazimo tudi, da so skupni standardizirani volumni deficitov in njihova trajanja v večini primerov sorazmerna - večji kot je standardizirani volumen deficitov, daljše je trajanje. Vendar ni vedno tako. Najbolj očitno je neskladje s tem opažanjem na postaji Kubed II (Rižana), kjer v vseh štirih analiziranih letih zaznamo zelo dolgo skupno trajanje sušnih dogodkov, a nizek standardizirani skupni volumen deficita. To si lahko razlagamo z dejstvom, da so pretoki padli pod sušni prag in dolgo vztrajali tik pod njim.

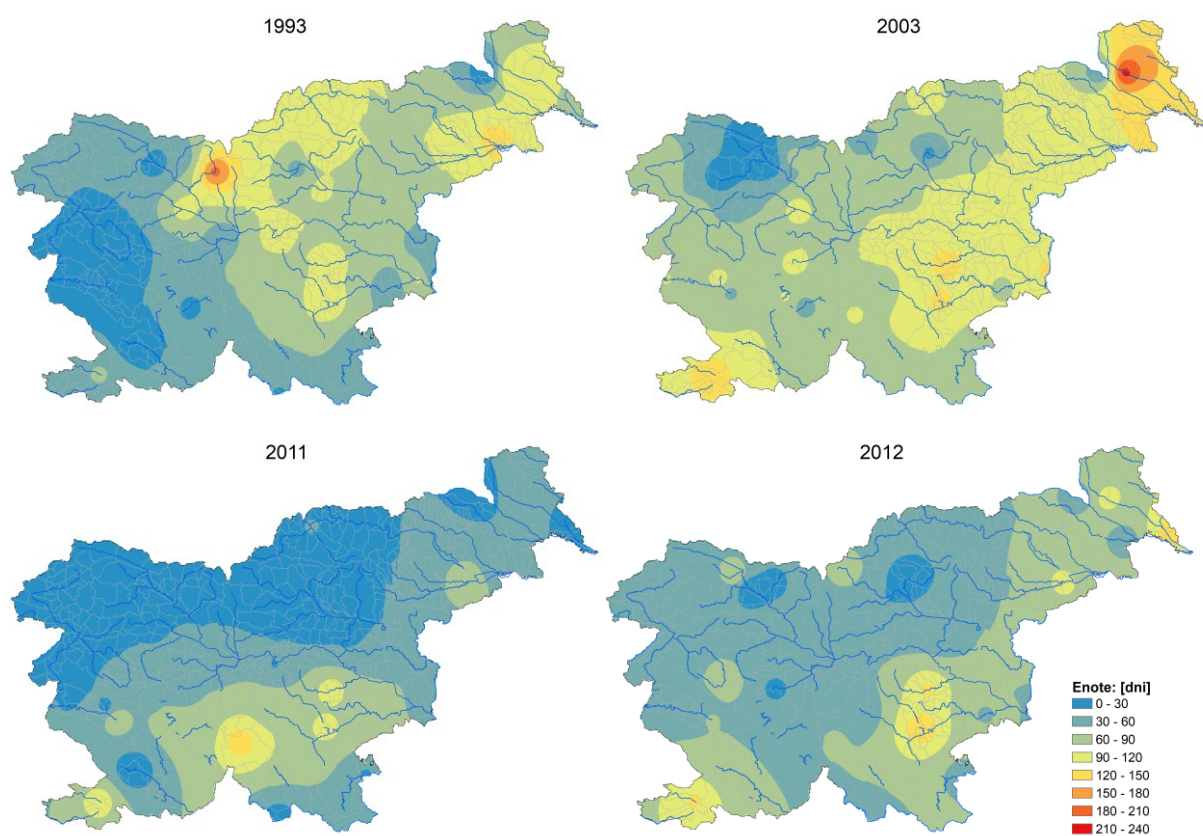
Standardizirani maksimalni volumni deficitov so ponekod enako veliki kot standardizirani skupni volumni deficitov, spet drugje veliko manjši. Iz tega lahko sklepamo, da imamo v nekaterih letih en glavni sušni dogodek in običajno nekaj manjših, v ostalih letih pa so sušni dogodki bolj enakomerno razdeljeni. Samo na podlagi teh rezultatov ne moremo razbrati, koliko časa so trajale prekinitev med posameznimi sušnimi dogodki in ali gre za med seboj odvisne sušne dogodke ali ne. Če bi odvisne dogodke med seboj združili s kakšno od metod združevanja, pričakujemo, da bi dobili višje vrednosti standardiziranih maksimalnih volumnov deficitov.

Na sliki 47 je s pomočjo inverzne distančne metode s poenoteno skalo prikazana še primerjava standardiziranih skupnih volumnov deficitov v analiziranih letih 1993, 2003, 2011 in 2012. Glede na standardizirane skupne volumne deficitov je bilo sušno najbolj prizadeto leto 2003 in sicer predvsem severovzhodni in vzhodni del Slovenije. Podobno prostorsko razporeditev suš z nekoliko manjšimi standardiziranimi deficiti pokaže tudi analiza za leto 2012. V letu 1993 je bil najbolj prizadet severni in severovzhodni del Slovenije. Po obsegu in intenzivnosti je bilo med obravnavanimi leti najmanj sušno leto 2011, kjer analiza pokaže največje standardizirane deficite na južnem in jugovzhodnem delu Slovenije.

Skupno trajanje deficitov je z inverzno distančno metodo s poenoteno skalo prikazano na sliki 48. Opazimo, da smo glede na skupno trajanje deficitov najdlje trajajoče sušne pretoke po največjem delu države beležili leta 2003. Tudi glede na trajanje je v letu 2003 zaradi suše najbolj trpela severovzhodna in vzhodna Slovenija, se pa za območje z dlje trajajočimi sušnimi dogodki izkaže tudi jugozahod države. Ob primerjavi trajanj letnih deficitov za leti 2003 in 2012 ponovno opazimo podobno prostorsko razporeditev, s tem da so bili nizki pretoki leta 2012 beleženi manjši del leta kot v 2003. Največji del leta 1993 so sušne pretoke beležile postaje na severu in severovzhodu, leta 2011 pa na jugu, jugovzhodu in jugozahodu. Tudi po trajanju sušnih dogodkov je leto 2011 najmanj sušno v primerjavi z ostalimi tremi. Sušni dogodki so se pojavljali manjši del tega leta in na manjšem prostorskem območju kot v ostalih treh analiziranih letih.



Slika 47: Primerjava standardiziranih skupnih volumnov deficitov v letih 1993, 2003, 2011 in 2012



Slika 48: Primerjava skupnih trajanj deficitov v letih 1993, 2003, 2011 in 2012

6 POVZETEK ANALIZ IN RAZPRAVA

V magistrski nalogi so bile najprej izdelane analize deficitov na treh izbranih vodomernih postajah, in sicer Polana I (Ledava), Litija (Sava) in Kubed II (Rižana), za šest identificiranih sušnih let (1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012). Analiza je bila narejena pri treh različnih sušnih pragih, in sicer sQ_{np} , Q_{90} in Q_{80} . S spremembo nivoja praga se spremenijo tudi razmerja med volumni in trajanji deficitov posameznih let. Višje kot je postavljen prag, večji so seveda volumni in trajanja deficitov. Na vseh treh vodomernih postajah se je pri izbranem pragu sQ_{np} kot leto z največjim skupnim volumnom in trajanjem deficitov izkazalo leto 2003. V nadaljevanju smo se pri analizah omejili na štiri najbolj sušna leta, in sicer 1993, 2003, 2011 in 2012.

Pri pregledu kart najmanjših $MAM(n)$ za leto **1993** v poglavju 4.1.2 opazimo, da se najnižji $MAM(n)$ za 7-dnevno drseče povprečje pojavljajo na severnem delu države, za 30-dnevno povprečje na vodomernih postajah Šoštanj (Paka) in Dolenja vas II (Bolska), za 180-dnevno povprečje pa na severu in severozahodu države. V opisu razmer v poročilu "Suša v letu 1993", ki ga je izdal Hidrometeorološki zavod sta za to leto kot sušni omenjeni predvsem območji vzhodne in severovzhodne Slovenije, kjer je suša vztrajala največ časa (Kolbezen in sod., 1994). Na kartah specifičnih $MAM(180)$ opazimo, da so bili najmanjši specifični $MAM(180)$ res izračunani predvsem na vzhodu in severovzhodu države, poleg tega pa tudi na jugozahodu države, in sicer na postajah Kubed II (Rižana) in Cerkvenikov mlin (Reka). Precej pogosto se najmanjši specifični $MAM(180)$ pojavljajo tudi v severni in osrednji Sloveniji. V primerjavi z leti 2003, 2011 in 2012 so vrednosti specifičnih $MAM(180)$ na severu in severozahodu države v tem letu najnižje v primerjavi z ostalimi tremi analiziranimi leti. Prikaz specifičnih najmanjših pretokov drsečega povprečja za 180 dni v avgustu pokaže najnižje $MAM(180)_{avg}$ na vzhodu in severovzhodu Slovenije. Tako karte standardiziranih skupnih letnih volumnov deficitov kot tudi karte skupnih letnih trajanj deficitov pokažejo najbolj sušne razmere na severu, severovzhodu in vzhodu države. Na teh kartah opazimo, da ima največji skupni volumen in trajanje deficita vodomerna postaja Kokra I (Kokra). **Glede na vse analize lahko zaključimo, da se kot najbolj sušni deli Slovenije v letu 1993 izkažejo sever, vzhod in severovzhod države.**

Najmanjši $MAM(n)$ za leto **2003** v obravnavanem obdobju 1960–2016 so bili zaznani na večini od 44 vodomernih postaj za 7-, 30- in 180-dnevno trajanje in so bili razpršeni po celotni Sloveniji. Najmanjši $MAM(7)$ in $MAM(30)$ v obravnavanem obdobju so bili zaznani predvsem na vzhodu države in v Prekmurju, najmanjši $MAM(180)$ pa tudi na zahodu in jugovzhodu države. V članku "Analiza nizkovodnih razmer slovenskih vodotokov leta 2003" je zapisano, da je do najbolj resnih hidroloških sušnih razmer prišlo v južni, vzhodni in severovzhodni Sloveniji (Kobold in Sušnik, 2003). Prikaz specifičnih $MAM(180)$ in $MAM(180)_{avg}$ takšno prostorsko razporeditev suš potrdi, saj so bili na teh območjih zaznani najnižji specifični $MAM(180)$ in $MAM(180)_{avg}$. Najnižje vrednosti specifičnih $MAM(180)$ so bile zaznane tudi v osrednji Sloveniji. Poleg tega opazimo, da so vse vrednosti specifičnih $MAM(180)$ in $MAM(180)_{avg}$ na večini postaj nižje kot v ostalih treh analiziranih letih. Za specifične $MAM(180)_{avg}$ so bile v tem letu zaznane nizke vrednosti tudi za jugovzhodni, jugozahodni in v osrednji Sloveniji. Najvišji standardizirani skupni volumni deficitov so bili zaznani na severovzhodu in vzhodu države, kjer so bila izračunana tudi najdaljša trajanja skupnih sušnih dogodkov. Na jugozahodu so bila zaznana tudi najdaljša trajanja skupnih sušnih dogodkov, so pa bili standardizirani volumni deficitov veliko manjši kot v najbolj sušnih delih države. **Glede na vse analize lahko ugotovimo, da je bilo v letu 2003 najbolj sušno prizadeto vzhodno in severovzhodno območje Slovenije. Nekatere analize pokažejo sušne razmere tudi na jugu, jugozahodu in v osrednji Sloveniji.**

Najmanjše vrednosti $MAM(7)$ za leto **2011** v obdobju 1960–2016 so bile zaznane na vodomerni postaji Hasberg (Unica), najmanjše vrednosti $MAM(30)$ pa na isti postaji in na postaji Podbukovje (Krka).

Medtem ko najmanjši $MAM(180)$ za leto 2011 niso bili izračunani za nobeno postajo, so bili najmanjši $MAM(360)$ zaznani na več kot tretjini od 44 vodomernih postaj, vključenih v analizo in sicer predvsem v osrednji Sloveniji. V članku "Razvoj suše v letu 2012" je zapisano, da so imele slovenske reke leta 2012 nizko vodnatost, ki se je začela že v jeseni 2011 (Kobold in sod., 2012). Prikaz specifičnih $MAM(180)$ pokaže relativno visoke vrednosti na vodomernih postajah Soče in Save Bohinjke ter Idrijce. Najnižje vrednosti specifičnih $MAM(180)$ so bile na jugu, jugozahodu, zahodu in severozahodu države. Najmanjši specifični $MAM(180)_{avg}$ so bili izračunani na večjem delu Slovenije le na severu, na severozahodu in zahodu so bile te vrednosti višje. Največji standardizirani skupni volumni deficitov so bili zaznani v južni Sloveniji, najdaljša trajanja skupnih sušnih dogodkov pa na jugu in jugozahodu države. **Če povzamemo vse analize, so bili največji sušni dogodki v letu 2011 zaznani na jugu Slovenije. Nekatere analize kažejo tudi na sušo na jugozahodu, vzhodu in severovzhodu.**

Najmanjši $MAM(7)$ za leto 2012 v obdobju 1960–2016 so bili zaznani predvsem v vzhodnem delu Slovenije. Najmanjši $MAM(30)$ so bili v letu 2012 zaznani na vodomernih postajah Martinja vas (Mirna), Videm (Dravinja) in Podbočje (Krka). Najmanjši $MAM(180)$ je bil v letu 2012 zaznan na vodomerni postaji Videm (Dravinja). Najmanjši $MAM(360)$ obravnavanega obdobja so bili za leto 2012 zaznani na četrtini od vseh analiziranih postaj in sicer na severovzhodu, vzhodu in jugozahodu Slovenije. V poročilu »Razvoj suše v Sloveniji v letu 2012« je zapisano, da so septembra najbolj resni sušni dogodki vladali na jugozahodu države (Kobold in sod., 2012). Izstopala so tudi porečja Krke, kraškega zaledja Ljubljani in manjših vodotokov na območju osrednje Slovenije. Vodnatost je bila zmanjšana tudi na območju vzhodne Slovenije (Kobold in sod., 2012). Najnižje vrednosti specifičnih $MAM(180)$ so bile na jugozahodu, vzhodu in severovzhodu države. Specifični $MAM(180)_{avg}$ so bili največji na jugozahodu in severovzhodu države pa tudi na porečju Krke. Prikazi standardiziranih skupnih volumnov deficitov pokažejo najvišje vrednosti na severovzhodu države in na porečju Krke. Najdaljše skupno trajanje sušnih dogodkov je bilo zaznано na jugozahodu in severovzhodu Slovenije ter na porečju Krke. **V večini analiz za leto 2012 se torej kot najbolj sušne slovenske regije pokažejo jugozahod in severovzhod ter porečje Krke.**

Pri primerjavi analiz sušnih dogodkov v letih 1993, 2003, 2011 in 2012 se je kot najbolj sušno izmed teh let izkazalo leto 2003, kot najmanj sušno pa leto 2011. Leta 2003 so bili v primerjavi z ostalimi tremi leti zaznani najbolj intenzivni sušni dogodki po trajanju in volumnu primanjkljajev. Poleg tega so bili na največjem prostorskem obsegu v primerjavi z ostalimi leti zaznani najmanjši $MAM(n)$ v obdobju 1960–2016 (poglavje 4.1.2), najmanjši specifični $MAM(180)$ in specifični $MAM(180)_{avg}$. Analize za leto 2011 pa so pokazale najmanjše standardizirane volumne deficitov in njihovih trajanj ter manjšo razprostranjenost v primerjavi z ostalimi tremi leti. Leto 2003 sta kot eno izmed najbolj sušnih zaznala tudi Šebenik (2012) in Dornik (2016) na podlagi standardiziranih padavinskih indeksov.

V članku »Razvoj suše v Sloveniji v letu 2012« je zapisano, da je bila hidrološka suša leta 2012 v primerjavi z letoma 1993 in 2003 dolgotrajnejša vendar manj ekstremna (Kobold in sod., 2012), kar se le deloma sklada z rezultati analiz standardiziranih deficitov. Na kartah standardiziranih deficitov (sliki 47 in 48) opazimo, da je bila na večini postaj hidrološka suša dolgotrajnejša leta 2003. Do tega neskladja bi lahko prišlo zato, ker smo za ovrednotenje trajanja hidrološke suše 2012 v tej nalogi upoštevali število dni, ko so bili pretoki nižji od praga $sQnp$, medtem ko je v članku »Razvoj suše v Sloveniji v letu 2012« upoštevana mala vodnatost (od dolgoletnega minimuma do 10. percentila).

V prispevku »Spremenljivost suš v slovenskem prostoru in analiza suše 2013« je zapisano, da med hidrološko najbolj suha leta glede na razpoložljiva obdobja podatkov sodijo leta 1946, 1947, 1949, nato pa leto 1993 in obdobje 2000–2003, med katerimi je bilo najbolj sušno leto 2003 in 2012 (Sušnik in sod., 2013), kar se je tudi potrdilo v narejenih analizah. Leta 1946, 1947 in 1949 niso bila vključena v analize, smo jih pa zaznali z indikatorji $MAM(n)$ različnih trajanj v poglavju 4.1.1.

V nobenem od štirih analiziranih let suša ni zajela celotne Slovenije. Da je suša regionalen pojav potrjujejo tudi ostale raziskave in literatura o sušnih dogodkih (Kobold, 2003). Leta 1993 je bil glede na rezultate večine analiz najbolj sušno prizadet sever, vzhod in severovzhod Slovenije. Suše so bile v letih 2003 in 2012 najhujše na severovzhodu države tako po trajanju in po standardiziranem volumnu deficitov kot tudi glede na ostale rezultate analiz. Precej resna suša je v letu 2003 zajela še vzhod države, leta 2012 pa porečje Krke. Za leto 2011 večina analiz kaže na to, da je bil najbolj sušno prizadet južni del države. Nekoliko milejše sušne razmere kot v najbolj sušnih regijah v letih 2003, 2011 in 2012 opazimo na jugozahodu države. V tem delu države so bila sicer zaznana dolgotrajna sušna obdobja, vrednosti standardiziranih volumnov deficitov pa so bile nizke.

7 ZAKLJUČKI

Analize preteklih sušnih dogodkov so pomembne tudi za razumevanje suš v sedanjosti, saj lahko le na tak način ugotovimo, kakšni so trendi pogostosti in intenzitet suš. Zaradi podnebne spremenljivosti lahko v prihodnosti pričakujemo vedno več sušnih ekstremov po celem svetu. Pomanjkanje padavin in njihova neenakomerna časovna in prostorska porazdelitev povzroča težave s sušo tudi v Sloveniji.

Časovno in prostorsko analizo največjih hidroloških suš v Sloveniji smo izvedli na vzorcu 44 vodomernih postaj, ki so enakomerno razporejene po celotnem območju Slovenije. Najbolj sušna leta so bila prepoznana s pomočjo indikatorjev $MAM(n)$ različnih trajanj, najprej za celotna razpoložljiva obdobja podatkov, nato pa še za obdobje 1960–2016, za katero so bili dostopni podatki dnevni srednjih pretokov za skoraj vse v analizo vključene postaje. Za vse izbrane vodomerne postaje smo izračunali najmanjše letne pretoke $MAM(n)$ različnih trajanj in na osnovi analize rezultatov identificirali najbolj sušna leta. To so bila leta 1993, 2003, 2011 in 2012, ki so bila izbrana za nadaljnjo analizo. Sušne dogodke smo določili po metodi praga. Kot prag smo izbrali $sQnp$ obdobja 1960–2016. V prvem delu analiz smo letom 1993, 2003, 2011 in 2012 dodali še leti 1971 in 1989 ter za tri različne prage ($sQnp$, Q_{90} ter Q_{80}) po metodi praga izračunali in med seboj primerjali volumne in trajanja deficitov vseh šestih let. Ugotovili smo, da izbira praga precej vpliva na končne rezultate volumnov in trajanja deficitov. Natančnejša analiza hidrogramov treh izbranih postaj je pokazala, da se leto 2003 izkaže kot najbolj sušno. Za postajo Litija (Sava) smo s pomočjo grafičnega prikaza različnih trajanj ter primerjave z analizami drugih avtorjev ugotovili, da je bilo najbolj sušno leto v nizu podatkov za to postajo leto 1921, v obdobju 1960–2016 pa leti 1993 in 2003. Najmanjši specifični $MAM(180)$ so bili v vseh štirih analiziranih letih 1993, 2003, 2011 in 2012 zaznani predvsem na severovzhodu, vzhodu in jugozahodu Slovenije. Ker so bili najmanjši $MAM(180)$ v teh letih zaznani v različnih mesecih, smo izračunali še najmanjše specifične pretoke drsečega povprečja za 180 dni v avgustu $MAM(180)_{avg}$, ki se v vseh štirih analiziranih letih pojavijo na severovzhodu države, v večini let pa tudi na jugozahodu in odvisno od leta še na drugih delih države. Na primeru leta 1993 smo ugotovili, da se z daljšanjem trajanja drsečega povprečja oži območje z najmanjšimi vrednostmi specifičnih $MAM(n)_{avg}$. Analiza deficitov pokaže, da se največji standardizirani skupni letni deficiti vsako leto pojavijo v drugem delu Slovenije, leta 1993 na severu, leta 2003 in 2012 v Prekmurju in leta 2011 na jugu države. Podobno so razporejeni sušni dogodki z najdaljšim trajanjem. Glede na analizo deficitov lahko zaključimo, da je najbolj intenzivna suša največji del Slovenije zajela leta 2003.

Ugotovili smo, da se kot najbolj sušno leto izkaže leto 2003, kot najmanj sušno od analiziranih let pa leto 2011, ki pa je bilo pomembno za razvoj suše v letu 2012, ki je bilo spet eno izmed najbolj sušnih let. V nobenem od štirih analiziranih let suša ni zajela celotne Slovenije. Potrdili smo, da je suša pojav regionalnega značaja. V letu 1993 je bil najbolj sušno prizadet sever, vzhod in severovzhod države, v letih 2003 in 2012 so bile suše najhujše na severovzhodu, leta 2011 pa na jugu Slovenije.

Za določitev sušnih dogodkov je bila v nalogi izbrana metoda praga. Zanimivo bi bilo preveriti, kakšne rezultate bi dobili, če bi uporabili kakšno drugo metodo za določanje karakteristik deficitov. Analize so pokazale, da v dolgotrajnih sušnih obdobjih pretok preseže sušni prag le za nekaj dni, zaradi česar je velik sušni dogodek razdeljen na več manjših med seboj odvisnih sušnih dogodkov. Da bi lahko definirali med seboj neodvisne sušne dogodke, bi bilo verjetno smiselno uporabiti katero izmed metod združevanja, npr. metodo zaporednih konic (Tallaksen & Van Lanen, 2004).. Predvidevamo, da bi pri uporabi metode zaporednih konic v primerjavi z uporabljenno metodo nastale razlike predvsem pri izračunanih vrednostih maksimalnih volumnov in maksimalnih trajanj deficitov.

Umetni vplivi na pretok, ki se pojavijo pred vodomerno postajo, imajo vpliv na izračun sušnih karakteristik. Kot primer navajamo vodomerno postajo Kubed II (Rižana), na kateri so zaznani umetni vplivi zaradi odvzema vode za vodooskrbo in črpanja tudi v času, ko izvir reke Rižane presuši. Tudi te vplive bi bilo potrebno upoštevati. Za takšno analizo bi v tem primeru potrebovali bolj natančne podatke o črpanju in vodooskrbnem odvzemu na izviru Rižane. Bolj enostavno pa bi bilo izločiti vodomerne postaje, na katere delujejo umetni vplivi in namesto teh izbrati ustrezne druge postaje v isti regiji. Analize so pokazale, da so volumni deficitov za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) relativno majhni v primerjavi z njihovimi trajanji. Predvidevamo, da je to posledica zagotavljanja ekološkega minimuma z ukrepom črpanja iz zalednih črpališč.

Suša je zapleten naravni pojav. Za boljše razumevanje suš, napovedovanje pojavljanja le-teh v prihodnosti ter preprečevanje oziroma zmanjševanje škode, ki jo suše povzročajo, bo potrebnih še veliko podobnih raziskav, s katerimi bomo lahko ta naravni pojav obravnavali celoviteje.

VIRI

- ARSO. 2018. Arhiv površinskih voda. Arhiv hidroloških podatkov. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno 4. 10. 2018.)
- Brenčič, M. 2017. Kaj je suša?. V: 28. Mišičev vodarski dan, 6. december 2017, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 27-36.
- Brilly, M. in Šraj, M. 2014. Osnove hidrologije: univerzitetni učbenik. Ponatis. Ljubljana: Komisija za tisk UL FGG: 309 str.
- Dornik, M. 2016. Standardizirani padavinski indeks - izračun in analiza za Slovenijo. Diplomaska naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Dornik): 98 str.
- Dragulescu, A. A. 2014. xlsx: Read, write, format Excel 2007 and Excel 97/2000/XP/2003 files. R package version 0.5.7. <https://CRAN.R-project.org/package=xlsx> (Pridobljeno 16. 12. 2018.)
- Esri Inc. 2007. What is ArcGis Desktop?. ESRI Developer Network. http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp_vb6_vba_vc++_doc/shared/desktop/get_started/what_is_dtop.htm (Pridobljeno 12. 11. 2018.)
- Esri Inc. 2014. ArcGIS Resources. ArcGIS Desktop. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/> (Pridobljeno 4. 10. 2018.)
- Esri Inc. 2016. How To: Format a table in Microsoft Excel for use in ArcMap. Esri Technical Support. <https://support.esri.com/en/technical-article/000008591> (Pridobljeno 10. 12. 2018.)
- Fleight, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H. in Demuth, S. 2006. A global evaluation of streamflow drought characteristics. Hydrology and Earth System Sciences 10:4: str. 535-552. <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/535/2006/hess-10-535-2006-discussion.html> (Pridobljeno 12. 11. 2018.)
- Grolemund, G. in Wickham, H. 2011. Dates and Times Made Easy with lubridate. Journal of Statistical Software: str. 1-25. <http://www.jstatsoft.org/v40/i03/> (Pridobljeno 16. 12. 2018.)
- GURS. 2018. Evidenca državne meje. E-Geodetski podatki. <https://egp.gu.gov.si/egp/> (Pridobljeno 7. 5. 2018.)
- Kobold, M. in Sušnik, M. 2003. Analiza nizkovodnih razmer slovenskih vodotokov leta 2003. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Št. 17-18 / Letnik 2003-2004: str. 120-126. http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article_2003.html (Pridobljeno 17. 11. 2018.)
- Kobold, M. 2003. Hidrološka suša slovenskih vodotokov v obdobju 2000–2002. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Št. 17-18 / Letnik 2003-2004: str. 102-111. http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article_2003.html (Pridobljeno 17. 11. 2018.)
- Kobold, M., Petan, S., Pogačnik, N., Sušnik, M., Polajnar, J., Pavlič, U., . . . Božič, P. 2012. Razvoj suše v Sloveniji v letu 2012. V: 23. Mišičev vodarski dan, 5. december 2012, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 1-12.

- Koffler, D., Gauster, T. in Laaha, G. 2016. lfstat: Calculation of Low Flow Statistics for Daily Stream Flow Data. R package version 0.9.4. CRAN.R-project.org. <https://CRAN.R-project.org/package=lfstat> (Pridobljeno 4. 10. 2018.)
- Kolbezen, M. 1990. Hidrološke značilnosti suše v letu 1989. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Št. 4 / Letnik 1990: str. 87-90. http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article_1990.html (Pridobljeno 17. 11. 2018.)
- Kolbezen, M., Lalič, B., Matajč, I., Mikulič, Z. in Zupančič, B. 1994. Suša v letu 1993. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor RS, Hidrometeorološki zavod: 44 str.
- Krajnc, U., Kryžanowski, A. in Ignjatović, M. 2007. Ekološko sprejemljiva pretoka rek Rižane in Reke : ključni element strategije dolgoročne slovenske oskrbe obale in zalednega kraškega območja s pitno vodo. V: 18. Mišičev vodarski dan, 10. december 2007, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 116-123.
- Kryžanovski, A. in Žigon, I. 2012. Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja. V: 23. Mišičev vodarski dan, 5. december 2012, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 64–72.
- Mikoš, M., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Veselič, M. in Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje. Ljubljana: Univerza v Ljubljani: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 326 str.
- NDMC. 2018. What is Drought?. National Drought Mitigation center. <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/WhatIsDrought.aspx> (Pridobljeno 2. 12 2018.)
- Petek, M. 2014. Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Petek): 68 str.
- Potočnik, N. 2014. Kazalci za sprotno vrednotenje hidrološke suše. Diplomski naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Potočnik): 79 str.
- R Development Core Team. 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (Pridobljeno 17. 11. 2018.)
- R-project. 2018. An introduction to R, version 3.5.1. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf> (Pridobljeno 4. 10. 2018.)
- Stahl, K. 2001. Hydrological Drought - a Study across Europe. Freiburg, Nemčija: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. University of Freiburg: 122 str. <https://freidok.uni-freiburg.de/data/202> (Pridobljeno 6. 10. 2018.)
- Sušnik, A., Gregorič, G., Uhan, J., Kobold, M., Andjelov, M., Petan, S., . . . Valher, A. 2013. Spremenljivost suš v slovenskem prostoru in analiza suše 2013. V: 24. Mišičev vodarski dan, 4. december 2013, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro: str. 102-109.
- Šebenik, U. 2012. Analiza suše s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa. Diplomski naloga. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Šebenik): 123 str.
- Tallaksen, M. in Van Lanen, A. 2004. Hydrological Drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Oslo: Developments in Water Science: str. 139–177.

- Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. 2009. Uradni list RS, št. 97/2009.
- Wei, T. in Simko, V. 2017. R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84). <https://github.com/taiyun/corrplot> (Pridobljeno 16. 12. 2018.)
- Wilhite, D. A. in Glantz, M. H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International 10:3: str. 111–120.
- WMO. 2008. Manual on Low-flow Estimation and Prediction. Operational Hydrology Report No. 50, WMO-No. 1029. World Meteorological Organization: Library: 136 str. http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1029_en.pdf (Pridobljeno 2. 12. 2018.)
- Yeager, K., Burke, R., Novisky, M. in Samblanet, S. 2018. SPSS Tutorials: Pearson Correlation. University Libraries. <https://libguides.library.kent.edu/SPSS/PearsonCorr> (Pridobljeno 3. 12. 2018.)
- Zakon o vodah (ZV-1). 2002. Uradni list RS, št. 67/02.
- Zalokar, L. 2018. Izbira sušnega indeksa za razglasitev hidrološke suše površinskih voda v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Zalokar): 66 str.