

UDK/UDC: 551.577.38+556.18(497.4)

Prejeto/Received: 26.10.2020

Izvirni znanstveni članek – Original scientific paper

Sprejeto/Accepted: 22.12.2020

## ANALIZA PRIMANJKLJAJA ODTOKA PO METODI PRAGA NA PRIMERU TREH VODOMERNIH POSTAJ V SLOVENIJI

### ANALYSIS OF RUNOFF DEFICIT USING THE THRESHOLD METHOD FOR THE CASE OF THREE GAUGING STATIONS IN SLOVENIA

Jan Cunja<sup>1</sup>, Mira Kobold<sup>1,2</sup>, Mojca Šraj<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Agencija RS za okolje, Vojkova ulica 1b, 1000 Ljubljana

#### Izveček

Analiza obsega primerjavo volumnov in trajanj primanjkljajev odтока pri različnih izbirah sušnega praga za vodomerne postaje Polana na reki Ledava, Litija na reki Savi in Kubed na reki Rižani z različnimi podnebnimi pogoji za hidrološko najbolj suha leta obdobja 1960–2016 v Sloveniji. Pri metodi praga za sušne dogodke označimo vse dogodke, pri katerih pretoki padejo pod vnaprej izbrano vrednost praga. Za prag smo izbrali tri različne vrednosti, in sicer srednji mali obdobjni pretok  $sQ_{np}$  ter percentila krivulje trajanja  $Q_{90}$  in  $Q_{80}$ . Za vsako vodomerno postajo smo med posameznimi sušnimi dogodki določenega leta pri različnih izbirah praga izbrali dogodek z največjim volumnom primanjkljaja in njegovo trajanje ter skupni letni volumen primanjkljajev in skupno trajanje sušnih dogodkov za posamezno leto. Rezultati raziskave so pokazali, da ima izbira sušnega praga lahko velik vpliv na rezultate analiz primanjkljaja odтока. Pri višjih vrednostih praga se absolutne vrednosti trajanja in volumnov primanjkljajev povečajo. Poleg tega se pri spreminjanju vrednosti praga spremenijo tudi razmerja med rezultati posameznih let. Ne glede na izbiro praga se je po vseh štirih izbranih sušnih karakteristikah leto 2003 izkazalo kot najbolj sušno za vse tri obravnavane vodomerne postaje, sledijo mu leta 1993, 1971 in 2012. Je pa suša specifičen pojav regionalnega značaja in se različno odraža po posameznih regijah Slovenije.

**Ključne besede:** hidrološka suša, primanjkljaj odтока, metoda praga, Slovenija.

#### Abstract

This analysis deals with the comparison of volume and duration of runoff deficits using different drought thresholds for the gauging stations Polana on the Ledava, Litija on the Sava, and Kubed on the Rižana Rivers with different climatic conditions for the hydrologically driest years in the period 1960–2016 in Slovenia. Using the threshold method, all events in which discharge fell below a pre-selected threshold value were identified as drought events. Three different values were chosen for the threshold value, namely the mean low periodic discharge  $sQ_{np}$  and the percentiles of flow duration curve  $Q_{90}$  and  $Q_{80}$ . For each gauging station, the event with the largest deficit volume and duration, as well as the total annual deficit volume and the total

---

\* Stik / Correspondence: [mojca.sraj@fgg.uni-lj.si](mailto:mojca.sraj@fgg.uni-lj.si)

© Cunja J. et al.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0.](#)

© Cunja J. et al.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 Licence.](#)

<https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2020.08>

duration of drought events for the individual year, were selected using different threshold values. The study's results demonstrate that the choice of drought threshold can have a great impact on the results of runoff deficit analyses. The absolute values of the duration and volume of the runoff deficits increase with higher threshold values. Also the ratios between the results of the individual years change slightly when the threshold value changes. Regardless of the choice of the threshold, 2003 proved to be the driest year according to all four selected drought characteristics and for all three analysed gauging stations, followed by 1993, 1971, and 2012, respectively. However, drought is a specific phenomenon of a regional character and is reflected differently in the different regions of Slovenia.

**Keywords:** hydrological drought, runoff deficit, threshold method, Slovenia.

## 1. Uvod

Kakšno bo naše podnebje v prihodnosti, ne moremo zanesljivo napovedati, a zadnje ocene kažejo, da tudi v Sloveniji v prihodnosti lahko pričakujemo vpliv podnebne spremenljivosti na hidrološke spremenljivke (ARSO, 2017; 2018a).

Zaradi pomanjkanja padavin in njihove neenakomerne porazdelitve je suša oz. pomanjkanje vode že nekaj let tudi v Sloveniji vse večja težava (Sušnik et al., 2013; ARSO, 2017; Cunja et al. 2019). Po letu 1990 je bila npr. kmetijska suša v Sloveniji razglašena 11-krat, od tega kar 9-krat po letu 2000 (2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2009, 2012, 2013, 2017). V večini od naštetih let je suša dosegla razsežnosti naravne nesreče, kar pomeni, da je ocenjena neposredna škoda preseгла 0,3 promila načrtovanih prihodkov državnega proračuna (ARSO, 2017). Da je suša in z njo pomanjkanje vode vse večji problem, dokazuje tudi pregled literature. Kolbezen s sodelavci (1994) je za sušno leto 1993 opisal podnebne razmere in izdelal analize nizkovodnih stanj površinskih voda na podlagi trajanja nizkovodnega obdobja, primanjkljajev odtoka ter letnih minimalnih pretokov. Opisal je tudi sušne razmere v aluvialnih vodonosnikih in kmetijsko sušo. Kobold (2003) je opisala znanstvene vidike suše in nizkovodne razmere v letih 2000, 2001 in 2002. Opisani so vzroki za nastanek suše v teh letih. Nizkovodna stanja v obdobju 2000–2002 je ovrednotila na podlagi minimalnih pretokov različnih trajanj ter z oceno primanjkljaja po metodi praga, s katero so bili izračunani maksimalni in letni primanjkljaji odtoka. Kot prag je izbrala percentil (razdelitev vzorca na 100 enakih intervalov)  $Q_{95}$ , izračunan iz krivulje trajanja za obdobje 1960–1988, ki predstavlja

pretok, ki je bil dosežen ali presežen 95 % časa obravnavanega obdobja. Kobold in Sušnik (2003) sta predstavili hidrološke razmere v Sloveniji v letu 2003. Naredili sta analizo nizkovodnih razmer ter ovrednotili male pretoke z analizo minimalnih pretokov različnih trajanj. Dodatno sta naredili tudi analize temperatur vode na vodomernih postajah Podbočje (Krka) in Solkan (Soča) za leti 2003 in 1993 ter najvišjih in srednjih letnih temperatur za obdobje opazovanj. Kobold in sodelavci (2012) so opisali meteorološke in hidrološke nizkovodne razmere površinskih in podzemnih voda v letu 2012, ki so se odražale tudi v kmetijstvu. Sušnik s sodelavci (2013) pa je analizirala sušne razmere v letu 2013. Analizirali so spremenljivost kmetijskih in hidroloških suš v Sloveniji. Cunja (2019) je na vzorcu 44 vodomernih postaj, enakomerno razporejenih po celotnem območju Slovenije, s pomočjo različnih metod in kazalnikov analiziral časovno in prostorsko analizo največjih hidroloških suš v obdobju 1960–2016. Ugotovil je, da je bilo v obravnavanem obdobju najbolj sušno leto 2003. Potrdil je, da je suša pojav regionalnega značaja, saj v nobenem od najbolj sušnih let suša ni zajela celotne Slovenije.

Analize preteklih sušnih dogodkov so pomembne za razumevanje suš v sedanosti in tudi v prihodnosti, saj lahko le tako ugotovimo, kakšni so trendi pogostosti in intenzitete suš. Za zaznavanje, spremljanje in analizo sušnih razmer se uporabljajo različne statistične metode in analize (npr. Šebenik et al., 2017; Zalokar, 2018; Cunja et al., 2019), med katere spada tudi analiza primanjkljaja odtoka po metodi praga. To je ena od metod, ki jo za analizo malih pretokov oz. hidrološke suše predlaga tudi WMO (2008). Fleig s sodelavci (2006) je metodo uporabil za analizo sušnih značilnosti 16 vodotokov

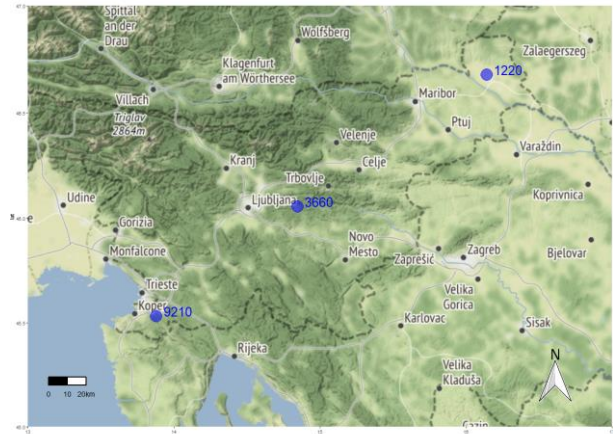
na različnih lokacijah po svetu, ki pripadajo različnim podnebnim območjem in imajo različne hidrološke režime. Pokazali so, da je metoda praga dovolj robustna za analizo sušnega primanjkljaja odtoka v zelo različnih hidroloških in podnebnih pogojih, tudi na regionalnem nivoju. To je velika prednost, saj se regionalna suša po navadi določa za večje in heterogene regije.

Ker sistematične analize primanjkljaja odtoka v Sloveniji še niso bile narejene, je bil glavni cilj študije preveriti uporabnost metode praga za izračun primanjkljaja odtoka na primeru slovenskih postaj v različnih podnebnih pogojih in analizirati vpliv izbire praga na rezultate izračunov.

## 2. Podatki in metode

### 2.1 Podatki

Predhodna podrobnejša analiza različnih kazalnikov nizkih pretokov (Cunja, 2019; Cunja et al., 2019) je pokazala, da so bila v obravnavanem obdobju (1960–2016) v Sloveniji hidrološko najbolj suha leta 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012. Omenjena leta smo zato izbrali za analizo primanjkljaja odtoka pri različnih izbirah sušnega praga. Za podrobnejšo analizo so bile izbrane tri vodomerne postaje v različnih delih Slovenije, in sicer postaja Polana I (1220, vključujoč podatke Polana 1210) na reki Ledava, postaja Litija (3660, vključujoč podatke Litija I 3650) na reki Savi ter postaja Kubed II (9210, vključujoč podatke Kubed I 9220) na reki Rižani (slika 1; preglednica 1). Nizi podatkov srednjih dnevni pretokov so bili preneseni iz spletnega arhiva hidroloških podatkov površinskih voda (ARSO, 2018b). Iz metapodatkovnih opisov vodomernih postaj (ARSO, 2020) razberemo, da je pri izbranih postajah v obdobju 1960–2016 večinoma potekalo kontinuirano merjenje pretokov. Izjema sta leti 1960 in 1961 za postajo Polana in leta 1960 do 1963 za postajo Kubed, ko so bila opazovanja enkrat dnevno.



Slika 1: Lokacija obravnavanih vodomernih postaj.

Figure 1: Location of analysed gauging stations.

**Preglednica 1:** Osnovne značilnosti obravnavanih vodomernih postaj ( $F$  predstavlja prispevno površino).

**Table 1:** Basic characteristics of the gauging stations ( $F$  represents contribution area).

Šifra	Vodomerne postaja	Vodotok	$F$ [km <sup>2</sup> ]	Kota 0 [m n. v.]
1220	Polana I	Ledava	209,37	191,35
3660	Litija	Sava	4849,67	230,55
9210	Kubed II	Rižana	204,66	61,13

### 2.2 Metoda praga in izračun primanjkljaja odtoka

Pri metodi praga za sušne dogodke označimo vse tiste dogodke, pri katerih pretoki padejo pod vnaprej izbrano vrednost praga (Hisdal et al., 2004). Začetek sušnega dogodka je opredeljen kot čas, ko pretoki padejo pod izbrani prag, konec pa kot čas, ko se pretoki spet dvignejo nad prag. Tako lahko določimo tudi trajanje primanjkljaja odtoka in volumen primanjkljaja posameznih sušnih dogodkov. Najnižji pretok pri posameznem sušnem dogodku označimo s  $Q_{min}$  (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

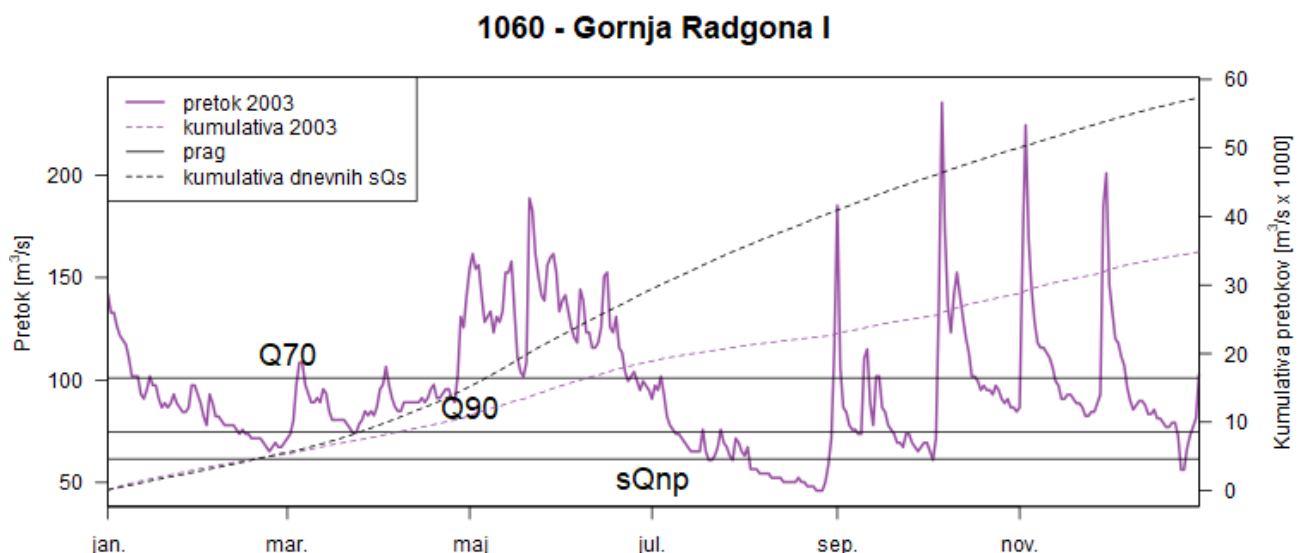
Izbira praga je odvisna od namena analize. Tako je lahko na primer za prag izbran pretok, ki je potreben, da napolni vodni zadrževalnik ali zagotavlja obstoj ekološkega habitata v vodotoku, ali pa je to pretok, potreben za varno rečno plovbo.

Kot prag lahko izberemo tudi statistično izračunano vrednost pretoka daljšega obdobja. To so lahko nizkovodni ekstremi določenega obdobja, povprečni pretok, delež povprečnega pretoka ali percentil, določen s krivuljo trajanja (Stahl, 2001; Sapač et al., 2019). Pri izbiri praga moramo biti pozorni tudi na hidrološki režim reke (Tallaksen in Van Lanen, 2004). Za reke s stalnimi, neničelnimi pretoki je smiselno, da kot prag izberemo pretok v razponu med  $Q_{70}$  in  $Q_{95}$  (Tallaksen in Van Lanen, 2004), ki ga določimo na osnovi pretočne krivulje in predstavlja vrednost pretoka, ki je dosežena ali presežena 70 do 95 % časa obravnavanega obdobja.

Pregled literature pokaže, da izbira praga ostaja subjektivna odločitev (Fleigh et al., 2006). Na sliki 2 je nazorno prikazano, kako lahko izbira različnih sušnih pragov vpliva na izračun volumnov primanjkljajev, saj bi pri izbiri praga  $Q_{70}$  zabeležili več sušnih dogodkov z daljšimi trajanji in večjimi volumni primanjkljajev kot pri izbiri praga  $Q_{90}$  ali srednjega malega pretoka  $sQnp$ .

V študiji smo izbrali za prag tri različne vrednosti, in sicer  $sQnp$ ,  $Q_{90}$  in  $Q_{80}$ . Odločitev za izbiro sušnega praga srednjega malega pretoka  $sQnp$  je bila sprejeta na podlagi povezave med omenjenim

pragom in ekološko sprejemljivim pretokom  $Q_{es}$  v 71. členu Zakona o vodah (Zakon o vodah (ZV-1), 2002), kjer je zapisano, da mora biti pri rabi površinskih voda v vseh obdobjih leta 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 (2009). Ekološko sprejemljivi pretok se po tej uredbi določa na podlagi vrednosti srednjega malega obdobjnega pretoka  $sQnp$ , ki je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka v obravnavanem obdobju. Dodatno je Cunja (2019) ugotovil, da  $sQnp$  izkazuje najmočnejšo korelacijo s pragom  $Q_{95}$ , zato je bil v študiji za primerjave namesto  $Q_{95}$  raje izbran  $Q_{90}$ . Prag  $Q_{80}$  pa je bil izbran kot primerljivejši z ostalima izbranimi pragoma, saj npr. prag  $Q_{70}$  mejo sušnega pretoka postavlja že precej visoko (slika 2). Vrednosti pragov  $Q_{90}$  in  $Q_{80}$  sta bili določeni iz krivulj trajanja dnevnih vrednosti pretokov za obdobje 1960–2016, ki predstavljajo grafični prikaz funkcije pretokov od deleža časa, pri katerem je določen pretok dosežen ali presežen. Vrednosti izbranih sušnih pragov za obravnavane vodomerne postaje in obravnavano obdobje so prikazane v preglednici 2.



**Slika 2:** Prikaz vpliva izbire različnih pragov ( $Q_{70}$ ,  $Q_{90}$  in  $sQnp$ ) na primeru hidrograma vodomerne postaje Gornja Radgona I (Cunja, 2019).

**Figure 2:** Influence of different thresholds ( $Q_{70}$ ,  $Q_{90}$ , and  $sQnp$ ) in the case of hydrograph Gornja Radgona I gauging station (Cunja, 2019).

**Preglednica 2:** Izbrani sušni pragi  $sQ_{np}$ ,  $Q_{90}$  in  $Q_{80}$  za obravnavane vodomerne postaje za obdobje 1960–2016.

**Table 2:** Selected threshold levels  $sQ_{np}$ ,  $Q_{90}$ , and  $Q_{80}$  for the analysed gauging stations in the period 1960–2016.

Šifra	Vodomerne postaja	$sQ_{np}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{90}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{80}$ [m <sup>3</sup> /s]
1220	Polana I	0,11	0,12	0,20
3660	Litija	47,09	59,00	73,58
9210	Kubed II	0,19	0,21	0,43

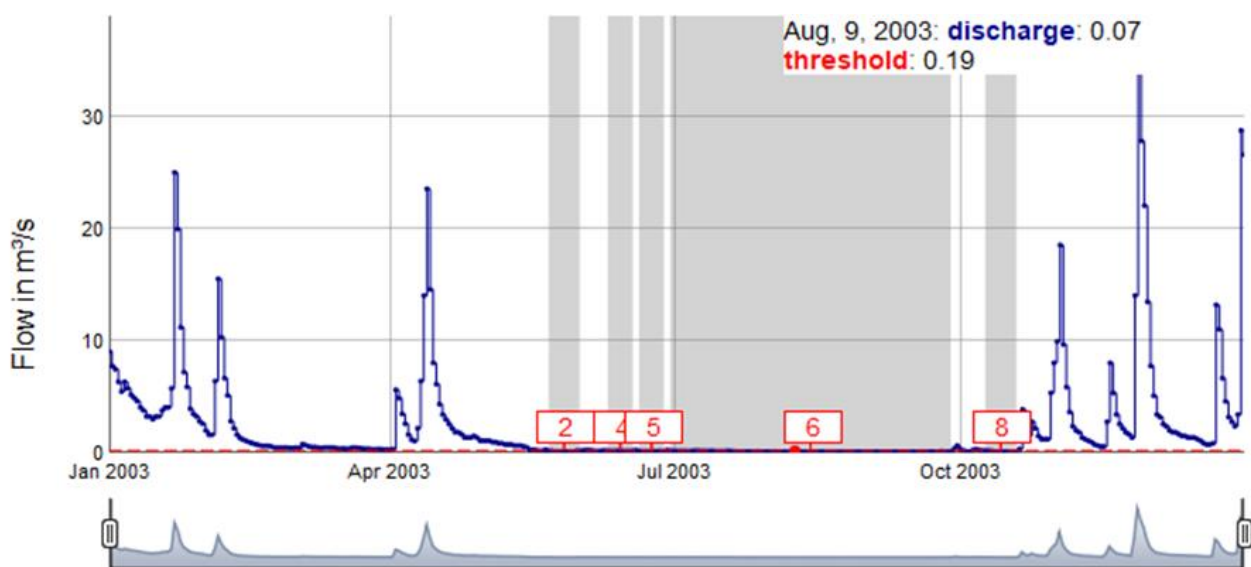
V nadaljevanju smo za hidrološko najbolj sušna leta v Sloveniji v obravnavanem obdobju (1960–2016), in sicer 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012, za vsako od treh obravnavanih postaj določili primanjkljaj odtoka največjih sušnih dogodkov po metodi praga. Pri tem smo za vsak sušni dogodek določili volumen primanjkljaja, njegovo trajanje

(začetek in konec sušnega dogodka), najmanjši pretok  $Q_{min}$  in njegov datum nastopa. Postopek smo ponovili za vse tri izbrane vrednosti sušnega praga ( $sQ_{np}$ ,  $Q_{90}$  in  $Q_{80}$ ) (preglednica 2).

Za izračun primanjkljaja odtoka je bila s programskim orodjem R (R Core Team, 2018) uporabljena funkcija *find\_droughts* iz paketa *lfstat* (Koffler et al., 2016), ki poišče sušne dogodke po metodi praga. S funkcijo *summary* iz omenjenega paketa lahko izpišemo povzetek sušnih dogodkov skupaj z volumni primanjkljajev, trajanji primanjkljajev, najmanjšim pretokom  $Q_{min}$  in njegovim datumom nastopa.

### 3. Rezultati in razprava

Primer izračuna primanjkljaja odtoka za prag  $sQ_{np}$  za postajo Kubed II na Rižani za leto 2003 je prikazan na sliki 3 in v preglednici 3.



**Slika 3:** Prikaz določitve sušnih dogodkov v letu 2003 za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in prag  $sQ_{np}$  (Cunja, 2019). Rdeče obrobljene številke označujejo posamezne zaznane sušne dogodke. Spodnji graf prikazuje iste pretoke v prilagojenem merilu za boljšo preglednost.

**Figure 3:** Demonstration of determination of the drought events in 2003 for the Kubed II gauging station (Rižana) and the  $sQ_{np}$  threshold level (Cunja, 2019). Red-bordered numbers indicate individual drought events. The graph below shows the same flows in an adjusted scale for better transparency.

**Preglednica 3:** Primer določitve sušnih dogodkov in njihovih osnovnih lastnosti v letu 2003 za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) in prag  $sQ_{np}$  (Cunja, 2019).

**Table 3:** Determination of the drought events and their basic characteristics in 2003 for the Kubed II gauging station (Rižana) and the  $sQ_{np}$  threshold level (Cunja, 2019).

Dogodek	Začetek	Konec	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Trajanje [dni]	$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /s]	Datum nastopa $Q_{min}$
1	19.5.2003	20.5.2003	2869	2	0,162	19.5.2003
2	22.5.2003	1.6.2003	48484	11	0,107	28.5.2003
3	6.6.2003	8.6.2003	5297	3	0,162	6.6.2003
4	10.6.2003	18.6.2003	15893	9	0,162	11.6.2003
5	20.6.2003	28.6.2003	34555	9	0,141	21.6.2003
<b>6</b>	<b>30.6.2003</b>	<b>28.9.2003</b>	<b>655653</b>	<b>91</b>	<b>0,074</b>	<b>9.8.2003</b>
7	3.10.2003	4.10.2003	12978	2	0,107	4.10.2003
8	9.10.2003	19.10.2003	69133	11	0,083	18.10.2003

Kot je razvidno iz slike 3 in preglednice 3, je v letu 2003 na postaji Kubed II (Rižana) daljše obdobje sušnih dogodkov trajalo od začetka tretje deкаде maja do začetka tretje deкаде oktobra. Nekaj krajših prekinitev sušnih pretokov je bilo v juniju in v prvi dekadki oktobra. Krajši sušni dogodki so trajali največ tri dni, daljši pa okrog deset dni. Izjema je najdaljša poletna suša, ko je sušni dogodek trajal kar tri mesece (od 30. junija do 28. septembra) in je imel tudi največji volumski primanjkljaj (dogodek 6 v preglednici 3). Sušni dogodki so skupno trajali dobro tretjino leta. Skupni letni primanjkljaj je znašal 844.864 m<sup>3</sup>, maksimalni pa 655.653 m<sup>3</sup>, torej dobre tri četrtine skupnega. Najnižji pretok je bil dosežen 9. avgusta 2003 in je znašal 0,074 m<sup>3</sup>/s.

Na enak način so bili narejeni izračuni primanjkljaja odtoka za vsa hidrološko sušna leta, za vse tri obravnavane postaje in tri izbrane vrednosti sušnega praga.

Na podlagi izračunov primanjkljaja odtoka za posamezno obravnavano vodomerno postajo smo med posameznimi sušnimi dogodki določenega leta izbrali dogodek z največjim volumnom primanjkljaja in njegovo trajanje. Iz izračunov smo iz vrednotili tudi skupni letni volumen primanjkljajev in skupno trajanje sušnih dogodkov za posamezno leto in postajo pri različnih izbirah praga. Ker nam take analize dajo zgolj informacijo o volumnih primanjkljajev in trajanju sušnih dogodkov, ne pa tudi informacije o njihovi časovni razporeditvi, smo dodatno za vsako postajo izrisali

tudi hidrograme pretokov za tri sušna leta, v katerih so bili glede na izračune pri pragu  $sQ_{np}$  skupni volumni primanjkljajev največji. Primerjava in analiza rezultatov je za vsako postajo posebej predstavljena v nadaljevanju.

### 3.1 Vodomerna postaja Polana I (Ledava)

Na sliki 4 je prikazana primerjava volumnov in trajanj primanjkljajev odtoka šestih hidrološko najbolj sušnih let, ki so bili izračunani z različno izbiro praga za vodomerno postajo Polana I (Ledava). Ne glede na izbiro praga po vseh štirih sušnih karakteristikah (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen primanjkljaja) izstopa leto 2003, ki mu skoraj v vseh primerih sledita leti 1971 in 1993. Izjema je le skupno trajanje primanjkljaja pri pragu  $Q_{80}$ , kjer letu 2003 sledi z najdaljšim trajanjem primanjkljaja leto 2012 (slika 4 in preglednica 4). Primerjava rezultatov analiz ob različnih izbirah praga (slika 4 in preglednica 4) kaže, da se absolutne vrednosti volumnov in trajanj primanjkljajev povečajo, če prag premaknemo višje (preglednica 4), kar je bilo pričakovano. Poleg tega lahko opazimo, da se razmerja med rezultati posameznih let pri spreminjanju praga nekoliko spremenijo (slika 4).

Da bi dobili še dodatne informacije o časovni razporeditvi sušnih dogodkov, smo zrisali tudi hidrograme pretokov. Na sliki 5 so prikazani trije hidrogrami pretokov za leta, v katerih so bili

izračunani največji skupni volumni primanjkljajev za prag  $sQ_{np}$  na vodomerni postaji Polana I (Ledava). Izrisane so tudi vsotne krivulje pretokov posameznih let, prag  $sQ_{np}$  ter vsotna krivulja srednjih dnevni pretokov v obdobju 1960–2016. Zaradi preglednosti je prikazan samo spodnji del hidrogramov (brez konic).

Iz virov (Kobold in Sušnik, 2003) je razvidno, da so se v letu 2003 najbolj resne hidrološke suše zgodile na južnem, vzhodnem in severovzhodnem delu države, in sicer zaradi najmanjše količine padavin na tem območju. Tudi naše analize potrjujejo, da so bili na vodomerni postaji Polana I (Ledava) največji skupni primanjkljaji izračunani prav za leto 2003. V tem letu so bili do začetka maja beleženi višji pretoki kot v letu 1993, so se pa nato zmanjšali,

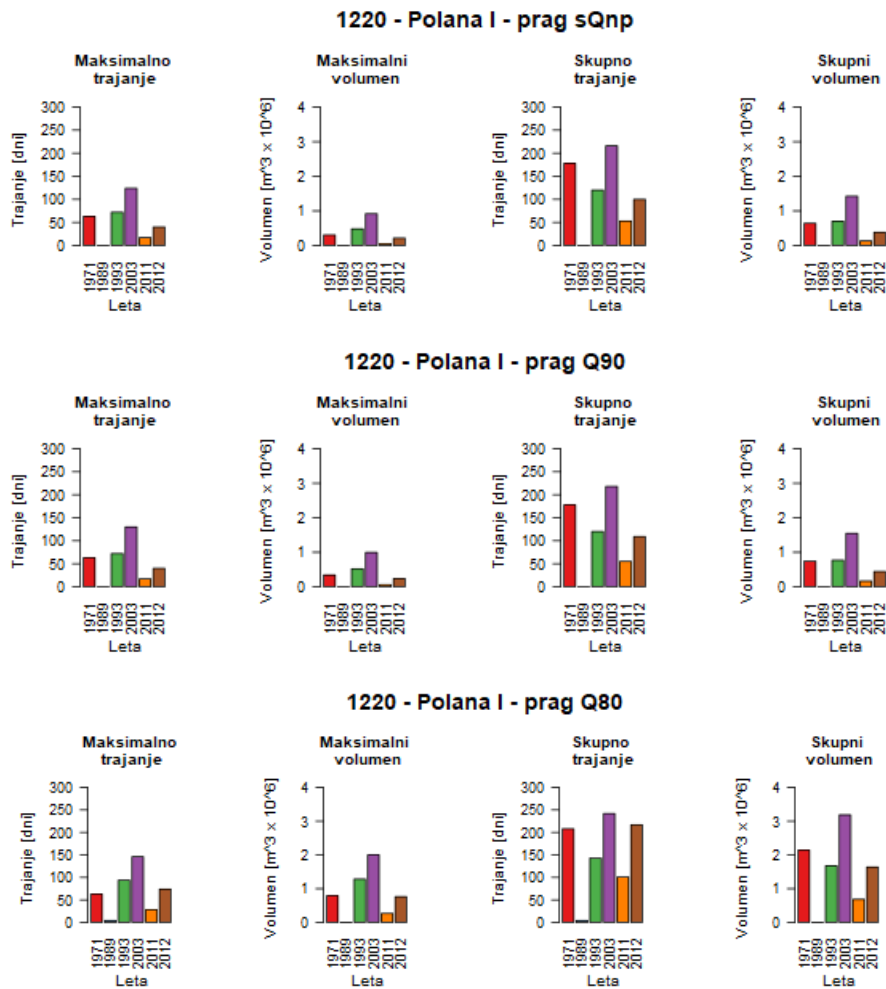
junija padli pod prag  $sQ_{np}$  in tako vztrajali do konca leta, medtem ko so leta 1993 v začetku novembra znova narasli (slika 5).

Na hidrogramu za leto 1993 opazimo, da so bili pretoki v začetku leta precej nizki v primerjavi z letoma 1971 in 2003. Poročilo Hidrometeorološkega zavoda za leto 1993 (Kolbezen et al., 1994) 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. Na postaji Polana I (Ledava) so bili primanjkljaji zaznani do konca septembra, nato pa še v obliki dveh krajših sušnih dogodkov oktobra in novembra.

**Preglednica 4:** Pregled sušnih karakteristik pri različnih izbirah praga šestih hidrološko najbolj sušnih let za vodomerno postajo Polana I (Ledava).

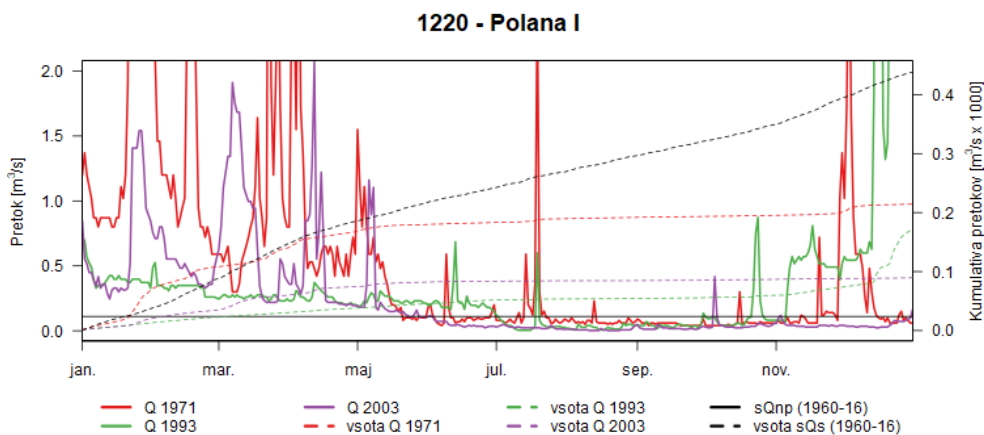
**Table 4:** Overview of drought characteristics using various drought thresholds for the six hydrologically driest years at the Polana I gauging station (Ledava).

	Prag	1971	1989	1993	2003	2011	2012
Število dogodkov	$sQ_{np}$	12	0	4	5	7	10
	$Q_{90}$	12	0	4	4	8	13
	$Q_{80}$	9	1	8	5	17	15
Maksimalno trajanje [dni]	$sQ_{np}$	63	0	72	124	17	40
	$Q_{90}$	63	0	72	130	17	40
	$Q_{80}$	63	4	94	146	28	74
Maksimalni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQ_{np}$	0,302	0	0,480	0,918	0,048	0,213
	$Q_{90}$	0,338	0	0,521	0,993	0,058	0,236
	$Q_{80}$	0,790	0,003	1,283	2,003	0,264	0,760,
$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /s]	$sQ_{np}$	0,04	0,191	0,004	0,002	0,061	0,029
	$Q_{90}$	0,04	0,191	0,004	0,002	0,061	0,029
	$Q_{80}$	0,04	0,191	0,004	0,002	0,061	0,029
Skupno trajanje [dni]	$sQ_{np}$	178	0	120	216	53	100
	$Q_{90}$	178	0	120	218	55	109
	$Q_{80}$	208	4	143	242	101	217
Skupni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQ_{np}$	0,641	0	0,700	1,423	0,131	0,381
	$Q_{90}$	0,743	0	0,768	1,547	0,162	0,440
	$Q_{80}$	2,141	0,003	1,678	3,186	0,683	1,640



*Slika 4: Maksimalni in skupni volumni primanjkljajev ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana I (Ledava) pri različnih izbirah praga (Cunja, 2019).*

*Figure 4: Maximum and total deficit volumes and their durations for the Polana I (Ledava) gauging station using various thresholds (Cunja, 2019).*



*Slika 5: Hidrogrami in vsotne krivulje pretokov vodomerne postaje Polana I (Ledava) za leta 1971, 1993 in 2003 (Cunja, 2019).*

*Figure 5: Hydrographs and cumulative curves of discharges at the Polana I (Ledava) gauging station for the years 1971, 1993, and 2003 (Cunja, 2019).*



Leti 1971 in 1993 sta imeli pri pragu  $sQnp$  podobni vrednosti skupnih volumnov primanjkljajev odtoka (slika 4). 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 prej in ostali pod pragom tudi potem, ko so pretoki v letu 1993 strmo narasli (slika 5).

Vsotne krivulje pretokov za vodomerno postajo Polana I na Ledavi (slika 5) pokažejo, da so imela vsa tri prikazana leta pretoke nižje od povprečja obdobja 1960–2016, le pri letu 1971 so se kumulativni pretoki gibali okoli povprečnih (na začetku leta celo do nadpovprečnih), in sicer do meseca aprila, in nato padli pod obdobjno vsotno krivuljo.

### 3.2 Vodomerna postaja Litija (Sava)

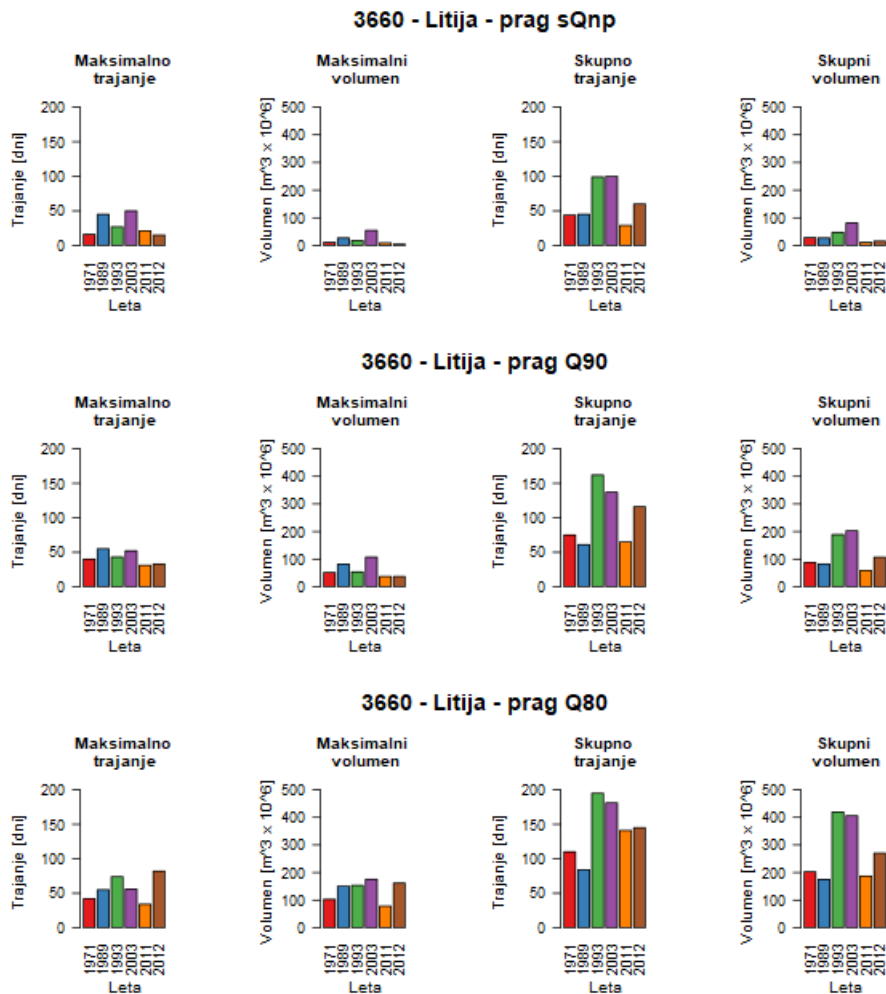
Primerjava maksimalnih ter skupnih volumnov primanjkljajev odtoka in njihovih trajanj za

vodomerno postajo Litija na Savi v šestih hidrološko najbolj sušnih letih obravnavanega obdobja kaže, da pri pragu  $sQnp$  izstopa leto 2003, ki mu glede na skupne volumne primanjkljajev in njihovih trajanj sledi leto 1993, glede na maksimalne volumne primanjkljajev in njihovih trajanj pa leto 1989 (slika 6 in preglednica 5). Slika pa se spremeni že pri pragu  $Q90$ , ko je skupno trajanje primanjkljaja največje v letu 1993, skupni volumen pa ostane največji za leto 2003, a razlika med letoma ni več tako očitna. Maksimalni volumni primanjkljajev in njihovih trajanj pa, enako kot pri pragu  $sQnp$ , ostajajo največji v letu 2003, ki mu sledi leto 1989. Pri pragu  $Q80$  leto 1993 izstopa tako po skupnem primanjkljaju kot njegovem trajanju, maksimalni volumni ostajajo največji za leto 2003, maksimalno trajanje pa je pri tem pragu največje v letu 2012. Rezultati kažejo, da se v primeru postaje Litija razmerja med rezultati posameznih let pri spreminjanju praga precej spremenijo.

**Preglednica 5:** Pregled sušnih karakteristik pri različnih izbirah praga šestih hidrološko najbolj sušnih let za vodomerno postajo Litija (Sava).

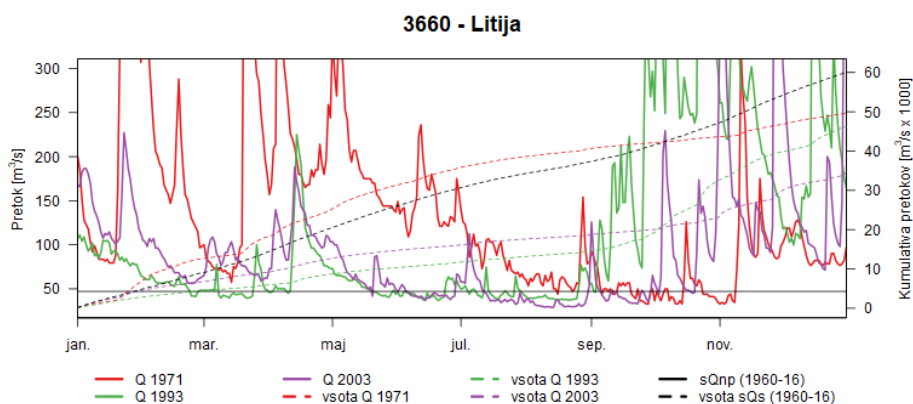
**Table 5:** Overview of drought characteristics using various drought thresholds for the six hydrologically driest years at the Litija gauging station (Sava).

	Prag	1971	1989	1993	2003	2011	2012
Število dogodkov	$sQnp$	10	1	13	9	2	9
	$Q90$	10	5	11	9	4	7
	$Q80$	7	5	8	8	14	7
Maksimalno trajanje [dni]	$sQnp$	16	45	27	50	21	15
	$Q90$	40	55	43	52	31	33
	$Q80$	42	55	74	56	34	82
Maksimalni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQnp$	11,328	27,221	17,725	54,472	9,155	4,838
	$Q90$	51,382	81,388	53,628	107,062	37,049	37,240
	$Q80$	102,852	150,668	153,363	175,696	78,140	161,841
$Qmin$ [m <sup>3</sup> /s]	$sQnp$	32,9	36,6	37	28,663	37,068	39,662
	$Q90$	32,9	36,6	37	28,663	37,068	39,662
	$Q80$	32,9	36,6	37	28,663	37,068	39,662
Skupno trajanje [dni]	$sQnp$	44	45	99	100	29	60
	$Q90$	75	61	162	137	65	116
	$Q80$	110	84	195	181	141	145
Skupni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQnp$	28,587	27,221	47,345	81,364	10,967	15,815
	$Q90$	88,032	82,347	188,956	202,737	58,191	106,982
	$Q80$	202,857	174,634	419,550	406,068	187,076	270,134



**Slika 6:** Maksimalni in skupni volumni primanjkljajev ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Litija (Sava) pri različnih izbirah praga (Cunja, 2019).

**Figure 6:** Maximum and total deficit volumes and their durations at the Litija (Sava) gauging station for various thresholds (Cunja, 2019).



**Slika 7:** Hidrogrami in vsotne krivulje pretokov vodomerne postaje Litija (Sava) za leta 1971, 1993 in 2003 (Cunja, 2019).

**Figure 7:** Hydrographs and cumulative curves of discharges at the Litija (Sava) gauging station for the years 1971, 1993, and 2003 (Cunja, 2019).

Primerjava hidrogramov na sliki 7 pokaže, da je bilo leto 1971 v prvih treh četrtinah leta izmed vseh treh primerjanih let najbolj mokro, od septembra dalje pa najbolj sušno. Obratno pa je bilo leto 1993 izmed vseh treh primerjanih let od začetka leta do septembra najbolj suho in od septembra naprej najbolj mokro. Marca 1993 se pojavi že prvi daljši sušni dogodek. Tako stanje pretokov je bilo posledica pomanjkanja padavin, ki je trajalo že od decembra predhodnega leta (Kolbezen et al., 1994). V zadnjih dneh avgusta so padavine zajele večji del države (Kolbezen et al., 1994), zaradi česar so se povišali tudi pretoki na reki Savi, kar je lepo razvidno tudi iz hidrograma (slika 7). V letu 2003 je bilo najbolj sušno obdobje od sredine julija do konca avgusta, ko so bili izmerjeni tudi najnižji pretoki, tudi v primerjavi z letoma 1993 in 1971. To je tudi vzrok, da pri primerjavi maksimalnih volumnov primanjkljajev, ne glede na izbiro praga, v vseh primerih izstopa leto 2003.

Primerjava vsotnih krivulj pokaže, da so bili pretoki v letih 1993 in 2003 celo leto pod obdobjem povprečjem (1960–2016), leto 1971 pa je bilo na začetku leta celo nadpovprečno mokro, na koncu leta pa vsotna krivulja pretokov pade pod obdobjno krivuljo.

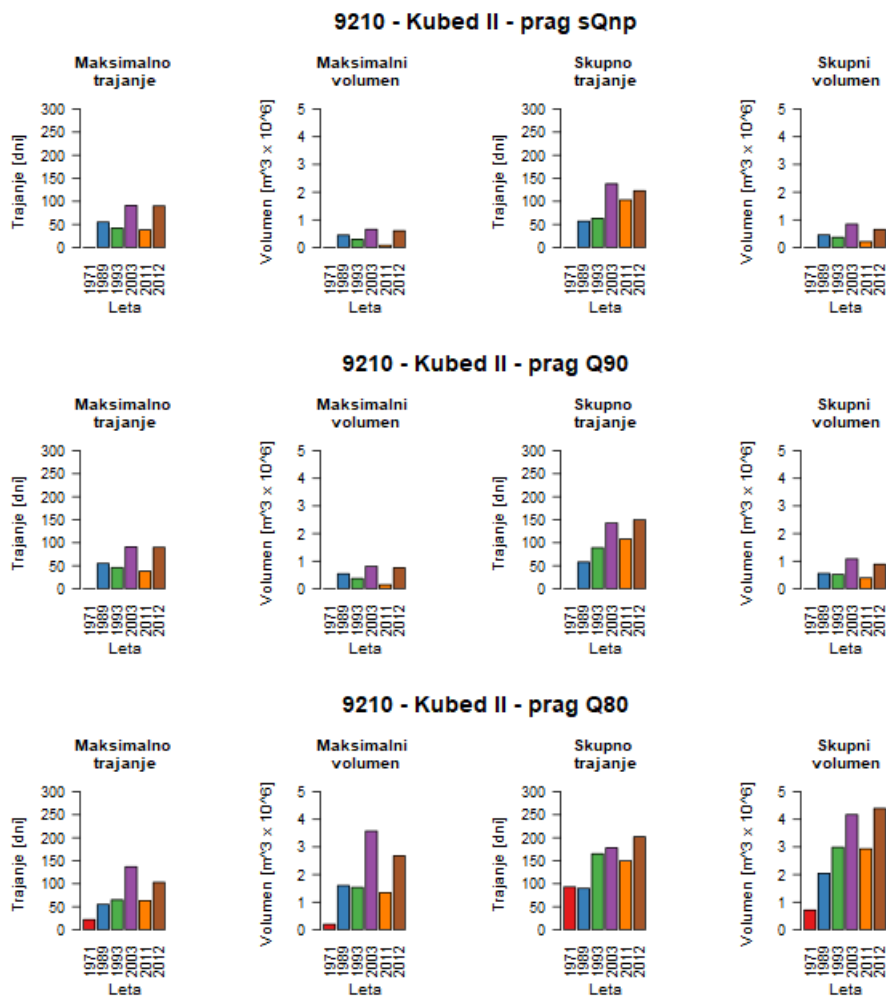
### 3.3 Vodomerna postaja Kubed II (Rižana)

Za razliko od ostalih dveh postaj se na vodomerni postaji Kubed II (Rižana), ki je nekaj sto metrov dolvodno od izvira reke Rižane, kažejo tudi umetni vplivi na vodni režim. Odvzem vode za vodooskrbo na izviru reke Rižane v povprečju znaša okrog 240 l/s (Krajnc et al., 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 ekološko sprejemljivega pretoka  $Q_{es}$  v strugi reke Rižane, ki znaša 100 l/s. Preostali pretok se uporabi za vodooskrbo (Kryžanovski in Žigon, 2012).

**Preglednica 6:** Pregled sušnih karakteristik pri različnih izbirah praga šestih hidrološko najbolj sušnih let za vodomerno postajo Kubed II (Rižana).

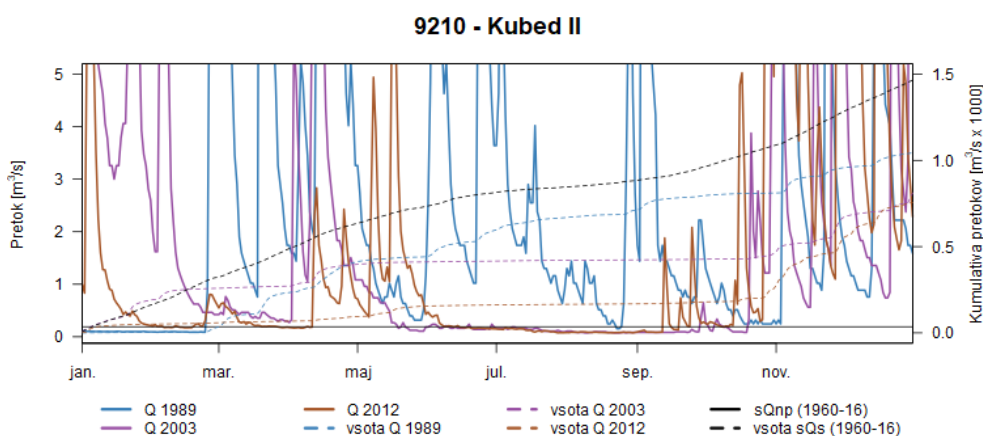
**Table 6:** Overview of drought characteristics using various drought thresholds for the six hydrologically driest years at the Kubed II gauging station (Rižana).

	Prag	1971	1989	1993	2003	2011	2012
Število dogodkov	$sQ_{np}$	0	2	6	8	6	8
	$Q_{90}$	0	2	6	7	7	10
	$Q_{80}$	7	5	10	7	9	11
Maksimalno trajanje [dni]	$sQ_{np}$	0	55	42	91	38	90
	$Q_{90}$	0	55	46	91	38	90
	$Q_{80}$	22	55	65	137	63	103
Maksimalni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQ_{np}$	0	0,447	0,290	0,655	0,077	0,603
	$Q_{90}$	0	0,541	0,369	0,812	0,142	0,758
	$Q_{80}$	0,196	1,601	1,534	3,575	1,336	2,678
$Q_{min}$ [m <sup>3</sup> /s]	$sQ_{np}$	0,26	0,087	0,081	0,074	0,132	0,075
	$Q_{90}$	0,26	0,087	0,081	0,074	0,132	0,075
	$Q_{80}$	0,26	0,087	0,081	0,074	0,132	0,075
Skupno trajanje [dni]	$sQ_{np}$	0	57	63	138	103	123
	$Q_{90}$	0	58	89	143	108	150
	$Q_{80}$	93	90	165	178	150	202
Skupni volumen [ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	$sQ_{np}$	0	0,453	0,364	0,844	0,209	0,651
	$Q_{90}$	0	0,553	0,515	1,082	0,391	0,885
	$Q_{80}$	0,710	2,043	2,988	4,170	2,931	4,397



**Slika 8:** Maksimalni in skupni volumni primanjkljajev ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Kubeđ II (Rižana) pri različnih izbirah praga (Cunja, 2019).

**Figure 8:** Maximum and total deficit volumes and their durations for the Kubeđ II (Rižana) gauging station using various thresholds (Cunja, 2019).



**Slika 9:** Hidrogrami in vsotne krivulje merjenih pretokov vodomerne postaje Kubeđ II (Rižana) za leta 1989, 2003 in 2012 (Cunja, 2019).

**Figure 9:** Hydrographs and cumulative curves of discharges at the Kubeđ II (Rižana) gauging station for the years 1989, 2003, and 2012 (Cunja, 2019).

Poudariti je treba, da je bila analiza primanjkljaja odtoka v tej študiji narejena na izmerjenih pretokih vodomerne postaje Kubed II (Rižana), pri čemer se je treba 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 omenjenega zagotavljanja ekološkega minimuma s pomočjo odjema podtalnice.

Tudi analize brezdimenzijskih primanjkljajev odtoka (volumni standardizirani s srednjim obdobjem pretokom  $sQ_{S1960-2016}$ ) (Cunja, 2019) so pokazale, da so volumni primanjkljajev za vodomerno postajo Kubed II (Rižana) relativno majhni v primerjavi z njihovimi trajanji. Ugotovljeno je bilo relativno dolgo skupno trajanje sušnih dogodkov glede na nizek skupni volumen primanjkljaja (preglednica 6), kar je bila posebnost med obravnavanimi postajami. Predvidevamo, da je to posledica zagotavljanja ekološkega minimuma z ukrepom črpanja iz zalednih črpališč.

Primerjava rezultatov analiz (slika 8 in preglednica 6) pokaže, da ne glede na izbiro praga po vseh štirih sušnih karakteristikah (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen primanjkljaja) izstopata leti 2003 in 2012. Ostala obravnavana sušna leta se izmenjujejo na tretjem do šestem mestu v odvisnosti od izbire praga.

V februarju leta 2012 je, ob vodovodnem odjemu 172 l/s, najnižji pretok na postaji Kubed II (Rižana) znašal 168 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 (slika 9) v teh dveh mesecih ne opazimo, da bi izvir presahnil, saj se je s pomočjo zalednih črpališč v strugi zagotavljal ekološko sprejemljivi pretok.

Kot lahko opazimo, sta si vzorca nihanja pretokov v letih 2003 in 2012 zelo podobna (slika 9). Pretoki v letu 2003 so v prvem četrletju nekoliko višji kot v letu 2012, vendar so od konca maja večkrat pod pragom  $sQ_{np}$ , kar kaže na vodni primanjkljaj. Leta

1989 lahko v prvem četrletju 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 zunaj prizadetega območja (Kolbezen, 1990). Najnižji izmerjeni pretok na postaji Kubed II (Rižana) je v februarju 1989 znašal 0,087 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s (Kolbezen, 1990).

Vsotne krivulje pretokov na sliki 9 kažejo, da so vsa tri obravnavana sušna leta imela pretoke nižje od vsotne krivulje obdobjnega povprečja (1960–2016). Izjema je začetek leta 2003, v katerem je bila do začetka marca vsota pretokov nekoliko nad povprečjem.

#### 4. Zaključki

Pomanjkanje padavin in njihova neenakomerna časovna in prostorska porazdelitev povzroča težave s sušo tudi v Sloveniji. V kar nekaj letih (1971, 1989, 1993, 2003, 2011, 2012) smo beležili daljša sušna obdobja in močnejše suše. Med temi leti se je po vseh štirih obravnavanih sušnih karakteristikah (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen primanjkljaja) leto 2003 za vse tri obravnavane vodomerne postaje (Polana I, Litija, Kubed II) izkazalo kot najbolj sušno. Do podobnih ugotovitev je prišel z analizami še drugih kazalnikov suše tudi Cunja (2019). Je pa vsaka suša specifičen pojav in se glede na hidrografske pestrost in podnebno raznolikost Slovenije različno odraža po posameznih regijah, kar so pokazali že Cunja et al. (2019).

Analize primanjkljaja odtoka po metodi praga 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. To je seveda do neke mere odvisno tudi od izbire praga. Da bi lahko definirali med seboj neodvisne sušne dogodke, bi bilo verjetno smiselno uporabiti katero izmed metod

združevanja, npr. metodo zaporednih konic (Tallaksen in Van Lanen, 2004). Predvidevamo, da bi pri uporabi metode zaporednih konic v primerjavi z uporabljenimi metodami nastale razlike predvsem pri izračunanih vrednostih maksimalnih volumnov in maksimalnih trajanj primanjkljajev.

Rezultati raziskave so pokazali, da ima izbira sušnega praga lahko velik vpliv na rezultate analiz primanjkljaja odtoka oz. izračun sušnih karakteristik, kot so maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen primanjkljaja. V določenih primerih (npr. v primeru vodomerne postaje Litija) se pri spreminjanju praga spremenijo celo razmerja med rezultati posameznih let. Je pa izbira praga odvisna od namena analize, kar so poudarili že drugi raziskovalci (npr. Tallaksen in Van Lanen, 2004).

Študija je pokazala pomembnost celovitosti raziskav, saj imajo na izračun sušnih značilnosti velik vpliv tudi umetni vplivi na pretok, kar se je izkazalo na primeru vodomerne postaje Kubed II (Rižana). Na omenjeni postaji smo zaznali umetne vplive zaradi odvzema in črpanja vode za vodooskrbo tudi v času, ko izvir reke Rižane presuši. Dodatne analize brezdimenzijskih primanjkljajev odtoka (Cunja, 2019) so pokazale, da so volumni primanjkljajev 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. Takšne vplive bi bilo pri tovrstnih analizah treba upoštevati, so pa za to potrebni dodatni in natančni podatki o vseh odvzemih/bogatenjih vode, ki pa jih je po navadi težko dobiti. Druga rešitev pri tovrstnih analizah pa je izločiti vodomerne postaje, na katere delujejo umetni vplivi, in namesto teh izbrati ustrezne druge postaje v isti regiji.

Suša je zapleten naravni pojav, ki se zaradi podnebnih sprememb od konca prejšnjega stoletja pojavlja pogosteje tudi v Sloveniji (ARSO, 2017). Za boljše razumevanje suš, napovedovanje njihovega pojavljanja v prihodnosti ter preprečevanje oziroma zmanjševanje škode, ki jo suše povzročajo, bo potrebnih še veliko podobnih analiz, izdelanih v sklopu celovitih raziskav, ki obravnavajo sušo v najširšem pomenu besede.

## Zahvala

Agenciji RS za okolje se zahvaljujemo za posredovane podatke. Delo je bilo delno sofinancirano iz raziskovalnega programa P2-0180 Vodarstvo in geotehnika, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ter raziskovalnega programa Slovenske nacionalne komisije za UNESCO (UNESCO IHP C3330-20-456010).

## Viri

- ARSO (2017). Ocena tveganja za sušo. Dostopno na: [http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/OT/Ocena\\_tveganja\\_Susa\\_DOPOLNJENA\\_PS.pdf](http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/OT/Ocena_tveganja_Susa_DOPOLNJENA_PS.pdf) (pridobljeno 6. 10. 2020).
- ARSO (2018a). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Sintezno poročilo – prvi del. MOP ARSO, Ljubljana, 156 p. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21\\_Porocilo.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/OPS21_Porocilo.pdf) (pridobljeno 6. 6. 2019)
- ARSO (2018b). Arhiv površinskih voda. Arhiv hidroloških podatkov. Dostopno na: [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 4. 10. 2018)
- ARSO (2020). Mesečne statistike. Dostopno na: [http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski\\_arhiv.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html) (Pridobljeno 8. 12. 2020)
- Cunja, J. (2019). Časovna in prostorska analiza največjih hidroloških suš v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Cunja), 53 str.
- Cunja, J., Kobold, M., Šraj, M. (2019). Časovna in prostorska analiza največjih hidroloških suš v Sloveniji. *Ujma* 33, 95–103. Dostopno na: <http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2019/095-103.pdf> (pridobljeno 25. 1. 2020).
- Fleigh, A. K., Tallaksen, L. M., Hisdal, H., Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrology and Earth System Sciences* 10(4), 535–552. <https://doi.org/10.5194/hess-10-535-2006>
- Hisdal, H. B., Clausen, A., Gustard, E. P., Tallaksen, L. M. (2004). Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. In: Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J. (ur.), *Developments in Water Science*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, Nizozemska, 579 str.

- Kobold, M., Sušnik, M. (2003). Analiza nizkovodnih razmer slovenskih vodotokov leta 2003. *Ujma* **17–18**, 120–126. Dostopno na: [http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article\\_2003.html](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* **17–18**, 102–111. Dostopno na: [http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article\\_2003.html](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. 23. Mišičev vodarski dan, 5. december 2012, Maribor. Zbornik referatov, Vodnogospodarski biro, Maribor, 1–12.
- Koffler, D., Gauster, T., Laaha, G. (2016). Lfstat: Calculation of Low Flow Statistics for Daily Stream Flow Data. R package version 0.9.4. CRAN.R-project.org. Dostopno na: <https://CRAN.R-project.org/package=lfstat> (Pridobljeno 4. 10. 2018).
- Kolbezen, M. (1990). Hidrološke značilnosti suše v letu 1989. *Ujma* **4**, 87–90. [http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article\\_1990.html](http://www.sos112.si/slo/page.php?src=/ujma/article_1990.html) (Pridobljeno 17. 11. 2018).
- Kolbezen, M., Lalič, B., Matajca, I., Mikulič, Z., Zupančič, B. (1994). Suša v letu 1993. Ministrstvo za okolje in prostor RS, Hidrometeorološki zavod, Ljubljana, 44 str.
- Krajnc, U., Kryžanowski, A., Ignjatović, M. (2007). Ekološko sprejemljiva pretoka rek Rižane in Reke : ključni element strategije dolgoročne slovenske oskrbe obale in zalednega kraškega območja s pitno vodo. 18. Mišičev vodarski dan, 10. december 2007, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro, 116–123.
- Kryžanovski, A., Žigon, I. (2012). Ureditev oskrbe prebivalstva s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja. 23. Mišičev vodarski dan, 5. december 2012, Maribor. Zbornik referatov. Maribor: Vodnogospodarski biro, 64–72.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sapač, K., Rusjan, S., Šraj, M. (2019). Assessment of consistency of low-flow indices of a hydrogeologically nonhomogeneous catchment: A case study of the Ljubljana river catchment, Slovenia. *Journal of Hydrology* **583**, 124621. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124621>.
- Stahl, K. (2001). Hydrological Drought – a Study across Europe. University of Freiburg, Freiburg, Nemčija, 122 p. <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. 24. Mišičev vodarski dan, 4. december 2013, Maribor. Zbornik referatov. Vodnogospodarski biro, Maribor, 102–109.
- Šebenik, U., Brilly, M., Šraj, M. (2017). Drought Analysis Using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Acta geographica Slovenica*, **57(1)**, 31–49. <http://dx.doi.org/10.3986/AGS.729>
- Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J. (2004). Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. In: Tallaksen, L. M., van Lanen, H.A.J. (Eds.), *Developments in Water Science*. Elsevier Science B.V, Amsterdam, The Netherlands, 579 str.
- Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. (2009). Uradni list RS, št. 97/2009.
- WMO. (2008). Manual on Low-flow Estimation and Prediction, in: Operational Hydrology Report. WMO, Geneva, Switzerland, WMO-No. 1029, str. 136.
- 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.