

ČASOVNA IN PROSTORSKA ANALIZA NAJVEČJIH HIDROLOŠKIH SUŠ V SLOVENIJI

TEMPORAL AND SPATIAL ANALYSIS OF THE LARGEST HYDROLOGICAL DROUGHTS IN SLOVENIA

Jan Cunja

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, jan.cunja@gmail.com

Mira Kobold

dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, mira.kobold@gov.si

Mojca Šraj

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, mojca.sraj@fgg.uni-lj.si

Povzetek

Analize kažejo, da se pogostost suš v Sloveniji povečuje. S podatki vodomernih postaj državnega hidrološkega načrtnega spremljanja (monitoringa) smo izvedli časovno in prostorsko analizo največjih hidroloških suš v Sloveniji. V analizo smo zajeli 44 vodomernih postaj, ki zagotavljajo dobro prostorsko pokritost Slovenije in imajo na voljo podatke od leta 1960 naprej. S kazalniki malih pretokov smo ugotovili hidrološko suha leta, med katera sodijo 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012. Izračuni primanjkljajev odtoka in njihovih trajanj so pokazali, da kot najbolj suho leto izstopa leto 2003, ko je suša zajela večji del Slovenije. Sledita suši v letih 1993 in 2012. Je pa suša regionalni pojav. Leta 1993 je bila najbolj intenzivna suša na severu države, leta 2003 in 2012 v Prekmurju ter leta 2011 na jugu države.

Abstract

Analyses show that the frequency of drought events in Slovenia is increasing. Using the data from gauging stations which are part of the national hydrological monitoring system, we carried out a temporal and spatial analysis of the largest hydrological droughts in Slovenia. In the analysis, we included 44 gauging stations that ensure good spatial coverage of Slovenian territory and have available data from 1960 onwards. Using the low flow indices we identified hydrologically dry years, which include 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 and 2012. Our calculations of flow deficits and their durations showed that 2003 was the driest, and that drought in this year covered most of Slovenia. Slightly less severe droughts occurred in 1993 and 2012. Drought is a regional phenomenon. In 1993, the most severe drought occurred in northern Slovenia; in 2003 and 2012 in the Prekmurje region; and in 2011 in the southern part of the country.

Uvod

Zaradi podnebnih sprememb v prihodnosti pričakujemo vse več sušnih ekstremov (Stahl, 2001). Slovenija spada med najbolj vodnate države Evrope in sveta. Kljub temu pa podatki kažejo, da je suša zaradi pomanjkanja padavin in njihove neenakomerne časovne porazdelitve vse večja težava tudi v Sloveniji (Sušnik in sod., 2013). Suša je zapleten pojav, pri katerem moramo za njegovo celovito obravnavo upoštevati različne vidike. Poznamo meteorološko, kmetijsko, hidrološko, socialno-ekonomsko in ekološko sušo (Tallaksen in Van Lanen, 2004). V prispevku smo se osredotočili na hidrološki vidik. Hidrološko izrazje (Mikoš in sod., 2002) opredeljuje hidrološko sušo kot »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

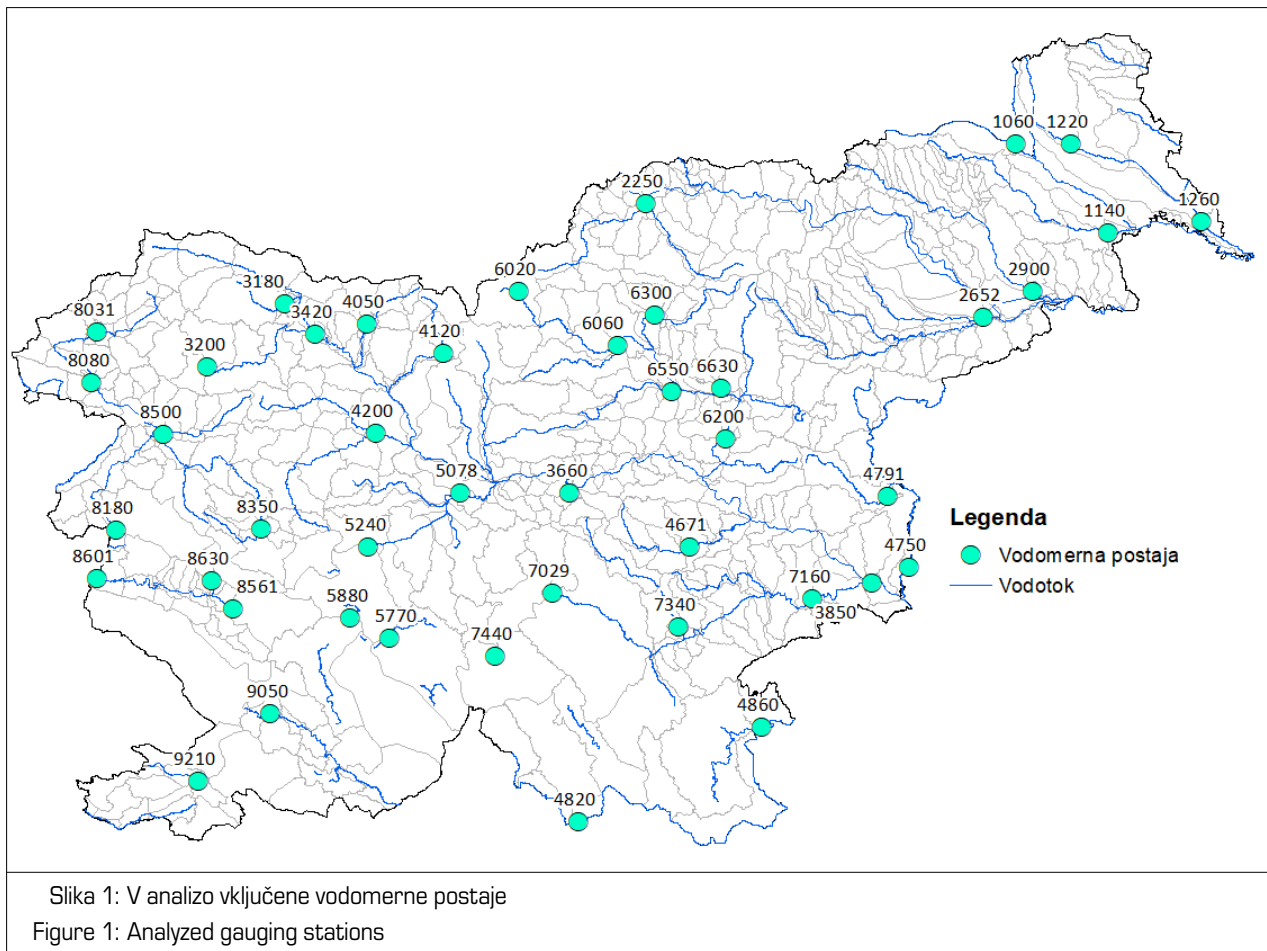
podtalnice«. Opredelitve suše se med seboj razlikujejo in nobena izmed njih ne opiše vseh možnih okoliščin, zato je prepoznavanje sušnih dogodkov in odzivanje nanje bolj zahtevno kot pri drugih naravnih nesrečah.

Namen tega prispevka je na podlagi kazalnikov malih pretokov ugotoviti in analizirati hidrološko najbolj sušna leta v Sloveniji v obdobju meritev 1960–2016.

Podatki in metode

Podatki

V analizah so bili uporabljeni podatki srednjih dnevni pretokov za 44 vodomernih postaj, za katere so bili na voljo podatki za obdobje 1960–2016 (slika 1). Merili za



izbiro postaj sta bili zagotovitev čim večje prostorske pokritosti Slovenije in izbira vodomerne postaje s čim manjšim izpadom podatkov (Cunja, 2018).

Najmanjši letni srednji dnevni pretok (MAM)

Za najmanjši letni pretok se v tuji strokovni literaturi uporablja oznaka *MAM* (angl. *mean annual minima*). Je eden od najpogosteje uporabljenih kazalnikov malih pretokov. Dobimo ga iz podatkov srednjih dnevni pretokov različnih trajanj (Tallaksen in Van Lanen, 2004). V prispevku smo letne minimalne pretoke izračunali za 7, 30, 180 in 360 dni z metodo drsečega povprečja. Leta, v katerih se na posameznih vodomernih postajah pojavijo najmanjši *MAM(30)* (MAM za 30 dni) v obdobju 1960–2016, so prikazana na sliki 2.

Metoda praga in izračun sušnega primanjkljaja

Pri metodi praga za sušne dogodke označimo vse tiste dogodke, pri katerih pretoki padejo pod vnaprej določen prag. Za prag najpogosteje uporabimo kazalnike malih pretokov ali percentile, ki so določeni s krivuljo trajanja pretokov. Pri izbiri praga moramo biti pozorni na hidrološki režim reke (Tallaksen in Van Lanen, 2004). Za

prikazano študijo je bil kot sušni prag izbran srednji mali pretok *sQnp*. Med kazalniki malih pretokov je velika korelacijska povezanost (Tallaksen in Van Lanen, 2004; Cunja, 2019).

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 primanjkljaja in volumen primanjkljaja posameznih sušnih dogodkov. Najnižji pretok pri posameznem sušnem dogodku označimo s *Qmin* (Tallaksen in Van Lanen, 2004).

Standardizirani primanjkljaj odtoka

Za potrebe analize prostorske spremenljivosti največjih hidroloških suš smo standardizirali primanjkljaje odtoka z obdobjnim srednjim pretokom, tako da dobimo brezdimenzijske enote po enačbi:

$$\text{standardizirani primanjkljaj odtoka} \left[\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^3/\text{s}} \right] = \frac{\text{prostorninski primanjkljaj} [\text{m}^3]}{\text{sQs}_{(1960-2016)} [\text{m}^3/\text{s}] \times 365 \times 24 \times 3600 [\text{s}]} \quad (1)$$

Inverzna distančna metoda

Za prikaz standardiziranih volumnov primanjkljajev in njihovih trajanj na kartah smo uporabili inverzno distančno metodo (IDW) v programu ArcMap (Esri

Inc., 2007). S to metodo določimo vrednosti odvisnih celic na podlagi linearno utežene kombinacije vzorca točk z znanimi vrednostmi. Metoda upošteva, da je vpliv na vrednost odvisne celice obratno sorazmeren oddaljenosti vzorčnih točk. V prispevku je vzorec 44 točk pomenil geografski položaj postaj, rezultati standardiziranih volumnov primanjkljajev pa so njihove vrednosti.

Rezultati in analiza

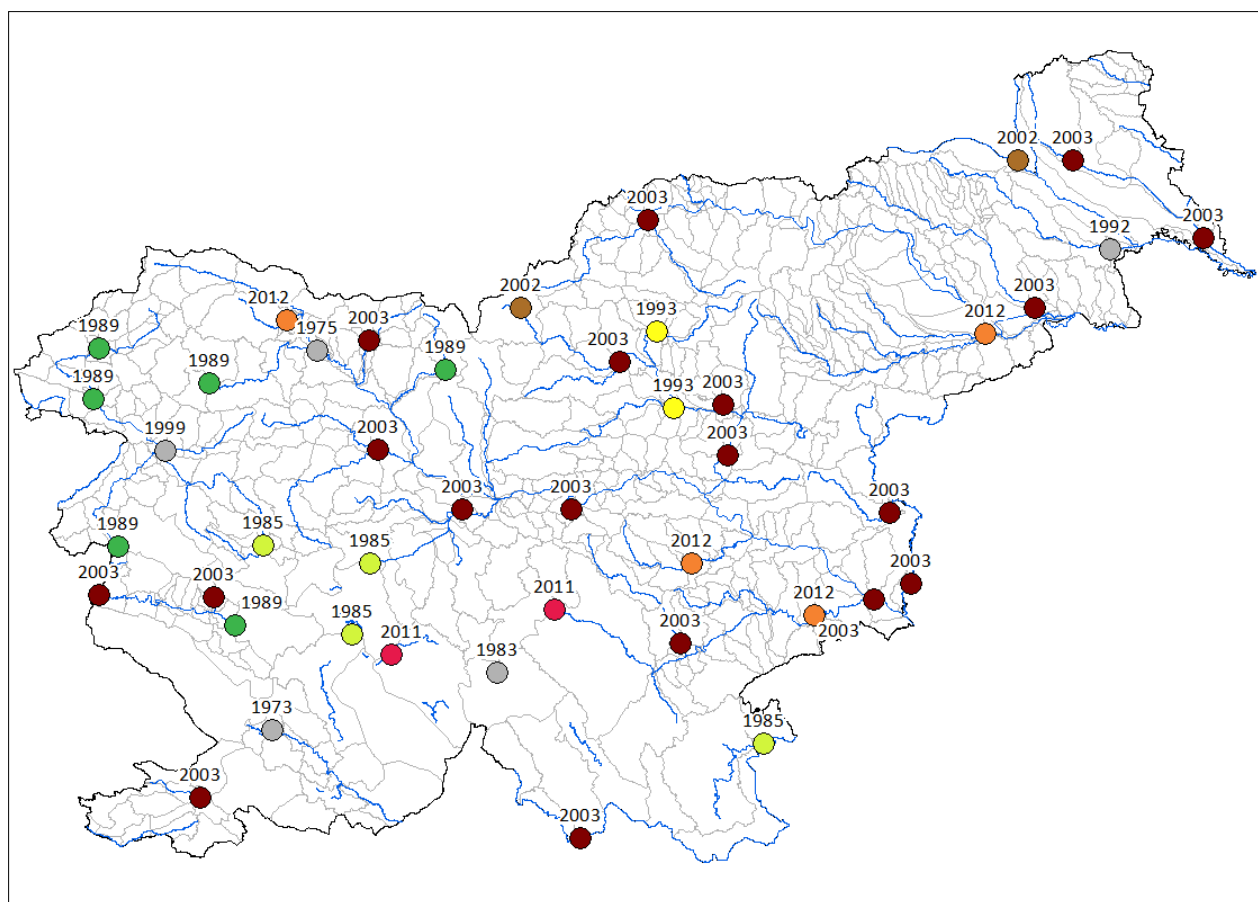
Izračun najmanjših letnih srednjih dnevni pretokov različnih trajanj

Za vsako vodomerno postajo smo za vsako leto obravnavanega obdobja izračunali najmanjše letne srednje

Šifra	Postaja, vodotok	MAM(7)	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, Mura	44,14	2002	47,54	2002	66,62	1977	92,92	2003
1140	Pristava, Ščavnica	0,04	1992	0,05	1992	0,15	1971	0,4	2003
1220	Polana, Ledava	0	2003	0,01	2003	0,03	2003	0,13	2003
1260	Čentiba (*1969), Ledava	0,16	2003	0,25	2003	0,76	2003	1,31	2003
2250	Otiški Vrh, Meža	2,55	2003	2,89	2003	3,95	1993	6,08	2012
2652	Videm, Dravinja	0,63	2012	0,87	2012	2,42	2012	2,86	2012
2900	Zamušani (*1961), Pesnica	0,15	2003	0,19	2003	0,47	1993	1,3	2012
3180	Podhom, Radovna	1,17	1989	1,28	2012	2,4	1993	4,37	2011
3200	Sveti Janez, Sava Bohinjka	0,38	1972	0,49	1989	2,41	1977	4,42	2003
3420	Radovljica, Sava	6,05	1989	8,35	1975	18,26	1993	28,21	2002
3660	Litija, Sava	29,55	2003	32,03	2003	54,44	2003	86,64	2011
3850	Čatež, Sava	49,21	2003	51,65	2003	83,84	2003	137,21	2011
4050	Preska, Tržiška Bistrica	1,65	2003	1,7	2003	2,43	2003	2,78	1976
4120	Kokra, Kokra	0,77	1989	0,92	1989	1,15	1993	2,5	2007
4200	Suha, Sora	2,19	1993	2,54	2003	4,78	2003	9,77	2011
4671	Martinja vas, Mirna	0,33	2012	0,38	2012	0,75	2003	1,12	2012
4750	Rakovec, Sotla	0,34	2003	0,38	2003	0,8	2003	2,42	2003
4791	Zagaj (*1965), Bistrica	0,14	2012	0,19	2003	0,36	2003	0,71	2003
4820	Petrina, Kolpa	1,51	2003	1,63	2003	6,45	2003	11,78	2011
4860	Metlika, Kolpa	5,93	1985	6,2	1985	13,99	2009	29,36	2011
5078	Moste, Ljubljanica	4,62	2012	5,08	2003	10,54	2003	21,21	2011
5240	Verd, Ljubija	0,22	1964	0,51	1985	1,52	2003	3,01	2011
5770	Cerknica, Cerkniščica	0	2012	0,02	2011	0,17	1971	0,31	2011
5880	Hasberg, Unica	1,24	2011	1,34	1985	2,72	2003	6,99	2011
6020	Solčava, Savinja	0,2	1993	0,23	2002	0,37	1993	1	2007
6060	Nazarje, Savinja	2,08	2003	2,48	2003	4,83	1993	8,78	2012
6200	Laško, Savinja	4,11	2003	4,66	2003	9,72	2003	16,58	2012
6300	Šoštanj, Paka	0,09	1993	0,19	1993	0,37	1993	0,75	2012
6550	Dolenja vas (*1962), Bolska	0,17	1993	0,28	1993	0,71	2003	1,48	2011
6630	Levec, Ložnica	0	2003	0,04	2003	0,22	2003	0,62	2003
7029	Podbukovje, Krka	0,94	1967	1,03	2011	2,14	1971	3,1	2011
7160	Podbočje, Krka	4,48	2012	4,87	2012	14,45	2003	20,8	2012
7340	Prečna, Prečna	0,88	1991	0,97	2003	1,5	1971	1,89	2011
7440	Sodražica (*1963), Bistrica	0,05	1984	0,07	1983	0,17	2009	0,3	2012
8031	Kršovec, Soča	1,69	1989	1,78	1989	4,22	2006	5,87	2005
8080	Kobarid, Soča	4,59	1989	4,81	1989	12,65	1993	17,42	2005
8180	Solkan, Soča	14,1	1971	16,39	1989	30,94	2003	47,11	2003
8350	Podroteja (*1977), Idrijca	0,84	1985	0,84	1985	2,15	2003	4,52	2001
8500	Bača pri Modreju, Bača	0,5	1999	0,66	1999	2,17	2003	3,34	2011
8561	Vipava, Vipava	0,83	2004	0,89	1989	1,87	2003	3,27	2011
8601	Miren, Vipava	1,21	2003	1,27	2003	2,96	2003	7,46	2011
8630	Ajdovščina, Hubelj	0,18	2003	0,2	2003	0,55	2003	1,48	2007
9050	Cerkvenikov mlin, Reka	0,24	1971	0,31	1973	0,76	2003	1,79	2012
9210	Kubed, Rižana	0,05	1986	0,08	2003	0,24	2003	0,75	2012

Preglednica 1: Najmanjši pretoki MAM[n].

Table 1: Minimal values of MAM[n]



Slika 2: Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ v obdobju 1960–2016
 Figure 2: Years with minimum $MAM(30)$ values in the period 1960–2016

dnevne pretoke različnih trajanj (7, 30, 180 in 360 dni), označene z MAM (ang. mean annual minima): $MAM(7)$, $MAM(30)$, $MAM(180)$ in $MAM(360)$ ter pripadajoče leto, v katerem je bila vrednost $MAM(n)$ najmanjša (preglednica 1). Leta z najmanjšimi vrednostmi $MAM(30)$ so prikazana na sliki 2.

Rezultati so pokazali, da so bili najmanjši $MAM(7)$ zaznani na največ postajah leta 2003, in sicer predvsem v vzhodnem delu države. Najmanjši $MAM(30)$ je bil na največ postajah zaznan v letu 2003 na severu, vzhodu in v Prekmurju (slika 2). Najmanjša $MAM(7)$ in $MAM(30)$ se na severozahodu najpogosteje pojavljata v letu 1989. Najmanjši $MAM(180)$ je bil na več kot polovici postaj zaznan v letu 2003. Na severu države se je najmanjši $MAM(180)$ pogosto pojavil v letu 1993, na jugu pa leta 1971. Najmanjši $MAM(360)$ se najpogosteje pojavijo v letih 2003, 2011 in 2012. 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.

Na sliki 3 je prikazano še število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ v posameznih sušnih letih. Rezultati kažejo, da se najmanjši $MAM(7)$, $MAM(30)$ in $MAM(180)$ pojavijo na največ postajah v letu 2003, najmanjši $MAM(360)$ pa na največ postajah v letu 2011. Na več kot petih postajah je bil najmanjši $MAM(7)$ zaznan še v

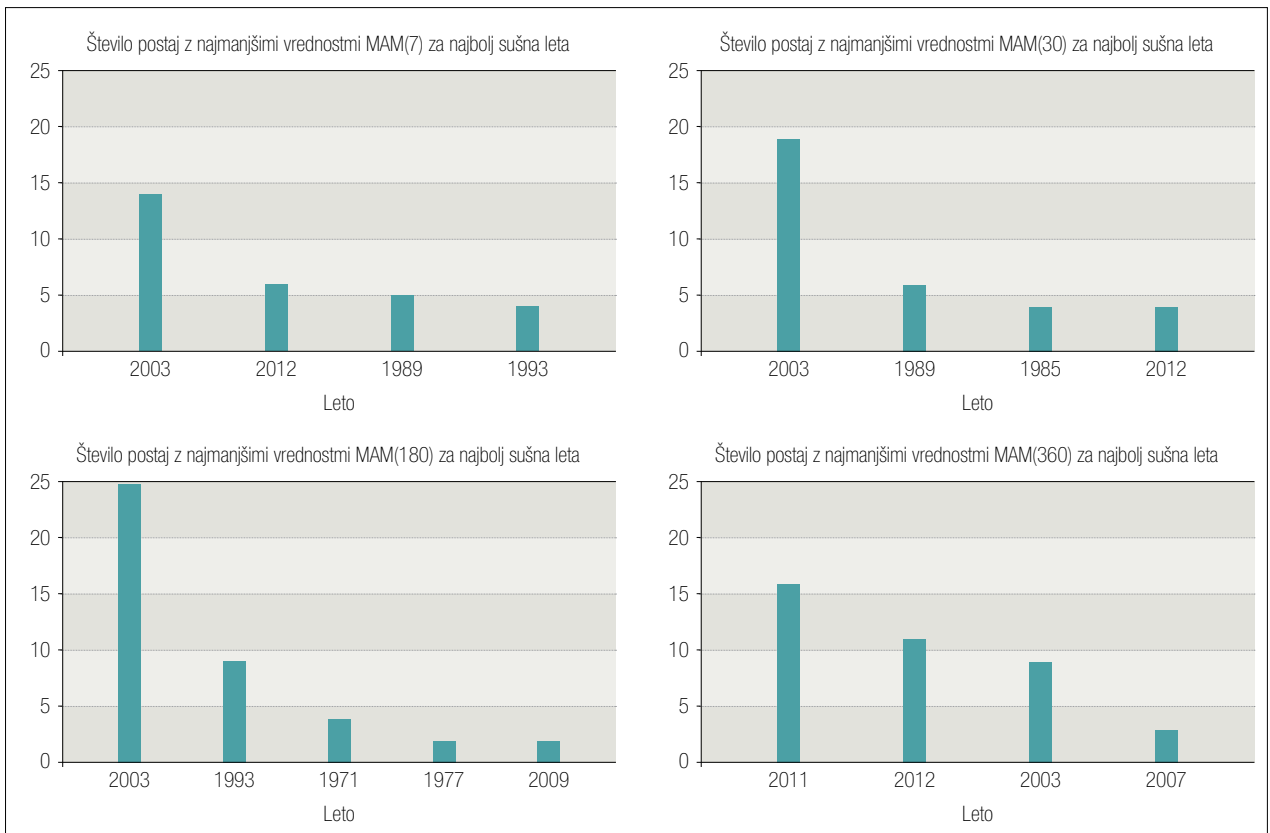
letu 2012, $MAM(30)$ v letu 1989, $MAM(180)$ v 1993 ter $MAM(360)$ v letih 2012 in 2003. Preostali $MAM(n)$ so bili zaznani na petih postajah ali manj, in sicer v letih (kronološko razvrščeno): 1971, 1977, 1985, 1989, 2007, 2009.

Na podlagi omenjenih rezultatov (slika 3) smo določili najbolj suha leta in jih dodatno analizirali. To so leta 1971, 1989, 1993, 2003, 2011 in 2012.

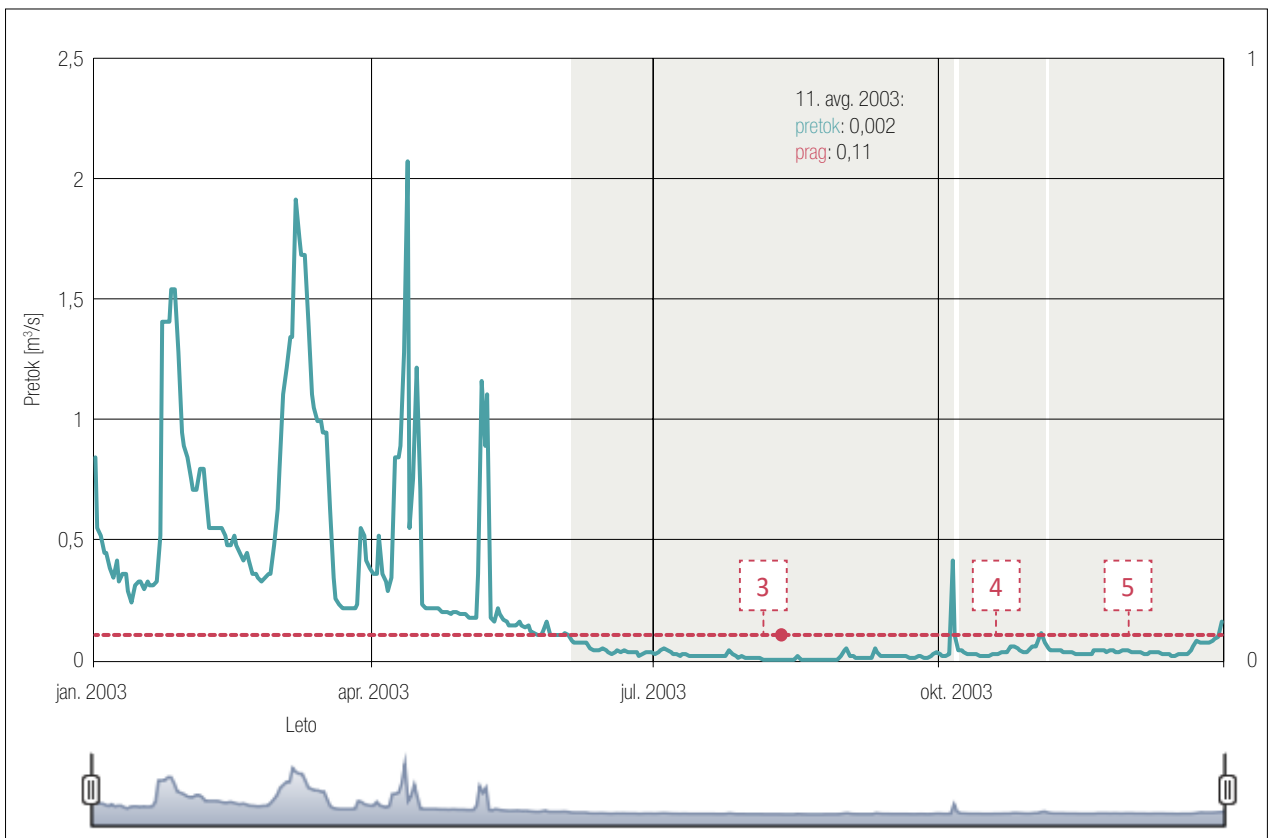
Izračun in analiza primanjkljajev po metodi praga

Primer določitve primanjkljaja po metodi praga s srednjim malim pretokom sQ_{np} je prikazan na sliki 4, s katere razberemo, da so bili na vodomerni postaji Polana na Ledavi od začetka junija do konca leta zabeleženi trije resnejši sušni dogodki s krajšima nekajdnevnima prekinitvama.

V preglednici 2 so poleg treh večjih zabeleženi tudi manjši sušni dogodki. Maksimalni volumen primanjkljajev je bil za postajo Polana na Ledavi izračunan za sušni dogodek 3 (preglednica 2), ki je hkrati tudi najdaljši sušni dogodek na tej postaji v tem letu. Skupni (letni) volumen, izračunan v vseh 216 sušnih dneh, znaša 1.423.317,22 m³. Najnižji pretok je bil dosežen 11. avgusta 2003 in je znašal 0,002 m³/s.



Slika 3: Število postaj z najmanjšimi vrednostmi $MAM(n)$ za najbolj sušna leta v obdobju 1960–2016
 Figure 3: The number of gauging stations with minimum $MAM(n)$ values for the driest years in the 1960-2016 period



Slika 4: Prikaz primanjkljajev največjih sušnih dogodkov leta 2003 na vodomerni postaji Polana na Ledavi za prag sQ_{np}
 Figure 4: Display of deficits for the most severe drought events in 2003 at the Polana station on the river Ledava for the sQ_{np} threshold

Dogodek	Začetek	Konec	Volumen [m ³]	Trajanje [dni]	Q_{min} [m ³ /s]	Čas pojava Q_{min}
1	24. maj 2003	25. maj 2003	582,06	2	0,107	24. maj 2003
2	28. maj 2003	1. junij 2003	1455,16	5	0,107	28. maj 2003
3	3. junij 2003	4. oktober 2003	918.145,52	124	0,002	11. avgust 2003
4	6. oktober 2003	2. november 2003	167.470,48	28	0,023	14. oktober 2003
5	4. november 2003	30. december 2003	335.664,00	57	0,023	15. december 2003

Preglednica 2: Primer izračuna primanjkljajev največjih sušnih dogodkov za vodomerno postajo Polana na Ledavi
Table 2: An example of deficit calculations for the most severe drought events for the Polana station on the river Ledava

Na sliki 5 je prikazana primerjava volumnov in trajanj primanjkljajev šestih izbranih sušnih let, ki smo jih izračunali z metodo praga $sQnp$ za vodomerno postajo Polana. Po vseh štirih sušnih značilnostih primanjkljaja (maksimalno trajanje, maksimalni volumen, skupno trajanje in skupni volumen) izstopa leto 2003, sledita leti 1971 in 1993.

Dodatne informacije o časovni razporeditvi sušnih dogodkov dajejo hidrogrami pretokov. Na sliki 6 so izrisani trije hidrogrami pretokov za leta, v katerih so bili izračunani največji skupni volumni primanjkljajev za prag $sQnp$ na vodomerni postaji Polana (1971, 1993 in 2003). Izrisani so tudi vsotne krivulje pretokov, prag $sQnp$ ter obdobja vsotna krivulja srednjih dnevni pretokov sQs v obdobju 1960–2016. Zaradi preglednosti je prikazan samo spodnji del hidrogramov (brez visokovodnih konic).

Na vodomerni postaji Polana (Ledava) smo največje skupne primanjkljaje izračunali 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 $sQnp$ in tako vztrajali do konca leta, medtem ko so leta 1993 v začetku novembra znova narasli.

Na hidrogramu za leto 1993 opazimo, da so bili pretoki v začetku leta precej nizki v primerjavi z letoma 1971 in 2003 (slika 6). Poročilo Hidrometeorološkega zavoda za leto 1993 (Kolbezen in sod., 1994) pokaže, da so zaradi pomanjkanja padavin pretoki začeli upadati že decembra

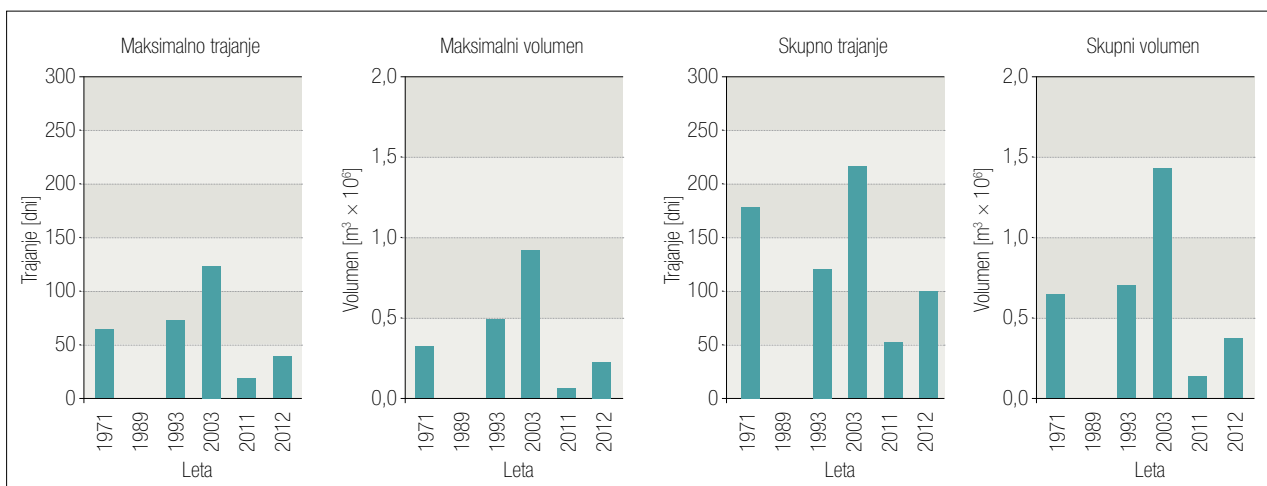
1992 po celi Sloveniji. Sušno obdobje je za večino analiziranih slovenskih postaj trajalo do konca avgusta, na zahodu države pa se je zavleklo v september. Na postaji Polana so primanjkljaji trajali do konca septembra, nato pa sta bila še dva krajša sušna dogodka oktobra in novembra.

Leti 1971 in 1993 sta imeli podobni vrednosti volumnov skupnih primanjkljajev. Mali 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 se pretoki leta 1993 že povečali.

Vsotne krivulje pretokov za vodomerno postajo Polana na Ledavi (slika 6) pokažejo, da sta imeli leti 1993 in 2003 pretoke nižje od povprečja obdobja 1960–2016 že od začetku leta. Leta 1971 pa je bila vsota pretokov na začetku leta celo nadpovprečna do začetka aprila, nato pa je padla pod obdobjno vsotno krivuljo in tam ostala do konca leta.

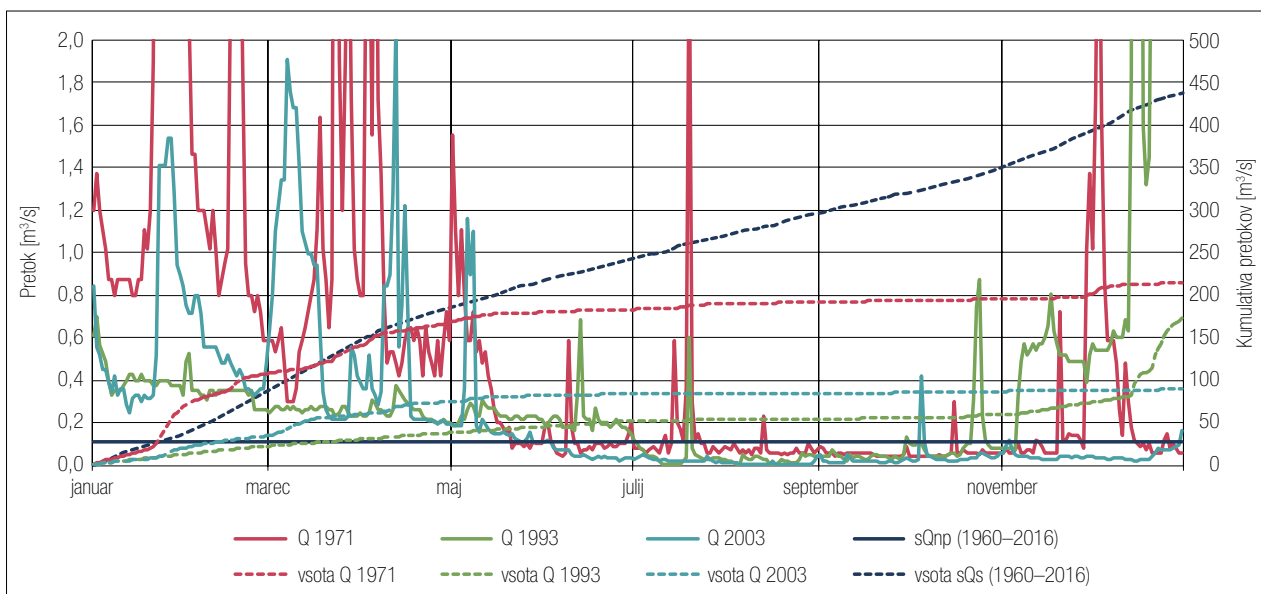
Prostorska spremenljivost največjih hidroloških suš

Analiza prostorske spremenljivosti sušnih primanjkljajev je bila narejena za vse obravnavane postaje in izbrana sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012. Na sliki 7 so

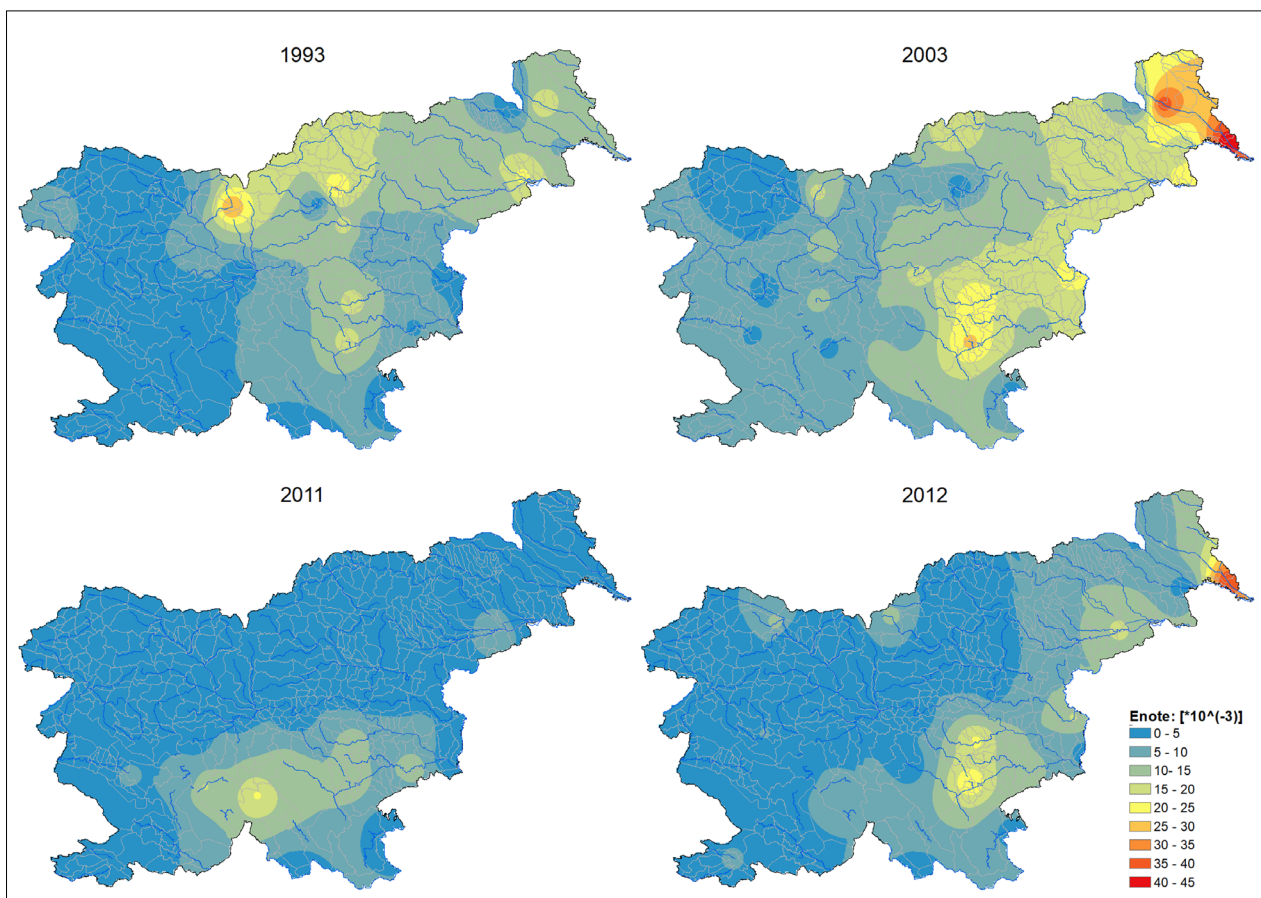


Slika 5: Maksimalni in skupni volumen primanjkljajev ter njihovo trajanje za vodomerno postajo Polana na Ledavi za prag $sQnp$

Figure 5: Maximum and cumulated deficit volume and duration for the Polana station on the river Ledava



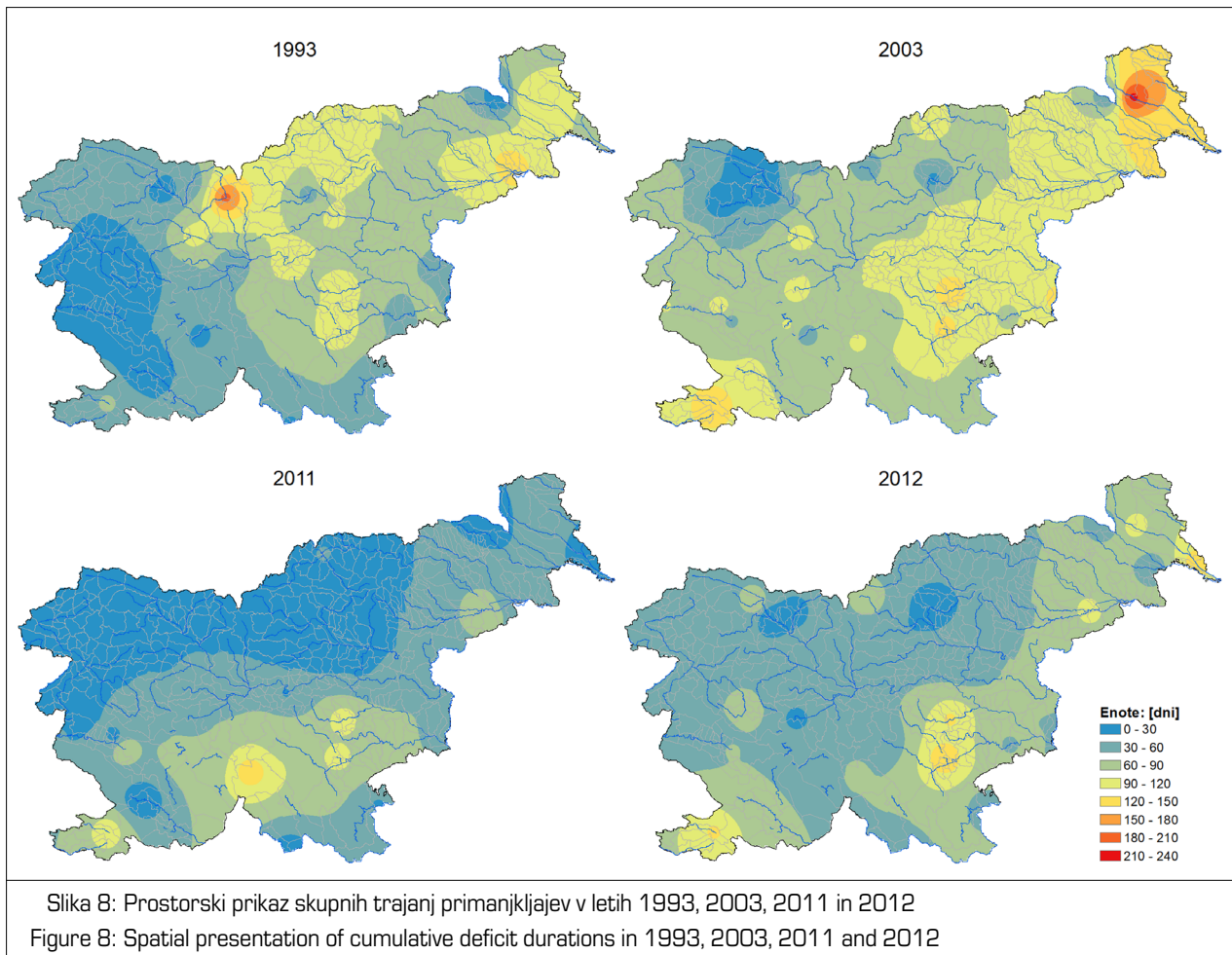
Slika 6: Hidrogrami vodomerne postaje Polana na Ledavi za leta 2003, 2011 in 2012 ter vsotne krivulje pretokov
 Figure 6: Hydrographs for the Polana station on the river Ledava in 2003, 2011 and 2012 and cumulative flow diagrams



Slika 7: Prostorski prikaz standardiziranih skupnih volumnov primanjkljajev za leta 1993, 2003, 2011 in 2012
 Figure 7: Spatial presentation of standardized cumulative deficit volumes in 1993, 2003, 2011 and 2012

prikazani standardizirani skupni volumni sušnih primanjkljajev, izračunani po enačbi 1, na sliki 8 pa njihova trajanja. Glede na standardizirane skupne volumne primanjkljajev je Slovenija hidrološka suša najbolj prizadela leta 2003, ko je bil najbolj prizadet severovzhodni in

vzhodni del Slovenije. Podobno prostorsko razporeditev suše z nekoliko manjšimi primanjkljaji 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 primanjkljaje na južnem in jugovzhodnem delu Slovenije.

Skupno trajanje primanjkljajev je prikazano na sliki 8. Opazimo, da smo glede na skupno trajanje primanjkljajev 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 primanjkljajev za leta 2003 in 2012 znova opazimo podobno prostorsko razporeditev, s tem da so bili mali pretoki leta 2012 beleženi manjši del leta kot leta 2003. Največji del leta 1993 so sušne pretoke beležile vodomerne 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 s preostalimi tremi. Sušni dogodki so se pojavljali manjši del tega leta in na manjšem prostorskem območju kot v preostalih treh analiziranih letih.

Sklepne misli

Na osnovi rezultatov analize primanjkljajev za hidrološko sušna leta 1993, 2003, 2011 in 2012 lahko povzamemo, da je najbolj intenzivna suša zajela največji del Slovenije leta 2003. Poleg tega so bili v tem letu v

primerjavi s preostalimi leti v večjem obsegu po Sloveniji zaznani najmanjši $MAM(n)$ v obdobju 1960–2016. Kot najmanj sušno od analiziranih let se izkaže leto 2011, ki pa je bilo pomembno za razvoj suše v letu 2012, znova enim izmed bolj suhih let. Analize za leto 2011 so pokazale najmanjše standardizirane volumne primanjkljajev in njihovih trajanj ter manjšo razprostranjenost v primerjavi s preostalimi tremi leti. Leto 2003 so kot eno izmed najbolj sušnih zaznali tudi Šebenik (2012), Dornik (2016) in Šebenik in sod. (2017) na podlagi standardiziranih padavinskih indeksov. Tudi Sušnik in sodelavci (2013) navajajo, da med hidrološko najbolj suha leta glede na razpoložljiva obdobja podatkov po letu 1960 sodijo leto 1993 in obdobje 2000–2003 (v katerem je bilo najbolj sušno leto 2003) in leto 2012, kar so analize tudi potrdile.

V nobenem od štirih analiziranih let suša ni zajela celotne Slovenije. Da je suša regionalen pojav, potrjujejo tudi druge raziskave in literatura o sušnih dogodkih (Kobold, 2003). Analiza primanjkljajev je pokazala, da se največji skupni letni primanjkljaji vsako leto pojavijo v drugem delu Slovenije, leta 1993 na severu, leta 2003 in 2012 v Prekmurju ter leta 2011 na jugu države. Je pa severovzhodni del Slovenije (Prekmurje) najbolj potrjen sušnim dogodkom. Podobno so razporejeni sušni dogodki z najdaljšim trajanjem. 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 dolgotrajna sušna obdobja, vrednosti standardiziranih volumnov primanjkljajev pa so bile nizke.

Za določitev sušnih dogodkov je bila v prispevku izbrana metoda praga. Zanimivo bi bilo preveriti, kakšne rezultate bi dobili, če bi uporabili kakšno drugo metodo za določanje značilnosti primanjkljajev. 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 opredelili med seboj neodvisne sušne dogodke, bi bilo verjetno smiselno uporabiti katero izmed metod združevanja, na primer metodo zaporednih konic (Tallaksen & 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.

Umetni vplivi na pretok, ki se pojavijo pred vodomerno postajo, imajo vpliv na izračun sušnih značilnosti. Kot primer navajamo vodomerno postajo Kubed na reki Rižani, 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 treba upoštevati. Za takšno analizo bi pri tem potrebovali bolj natančne podatke o črpanju in vodooskrbnem odvzemu na izviro Rižane. Bolj enostavno pa bi bilo izločiti vodomerno postajo, na katere delujejo umetni vplivi, in namesto teh izbrati druge ustrezne postaje v isti regiji. Analize so pokazale, da so volumni primanjkljajev za vodomerno postajo Kubed sorazmerno 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, ki se vse pogosteje pojavlja na območjih po skoraj vsem svetu. Za njeno celovito obravnavo bo v prihodnosti potrebnih še veliko podobnih raziskav.

Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji RS za okolje za posredovane podatke o pretokih. Rezultati raziskave so delno nastali pri delu programske skupine P2-0180 »Vodarstvo in geotehnika«, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).

Viri in literatura

1. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), 2018: Arhiv površinskih voda. Arhiv hidroloških podatkov. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (4. oktober 2018.)
2. Cunja, J., 2019. Časovna in prostorska analiza največjih hidroloških suš v Sloveniji. Magistrsko delo. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
3. Dornik, M., 2016. Standardizirani padavinski indeks - izračun in analiza za Slovenijo. Diplomsko naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
4. Esri Inc., 2007: What is ArcGIS Desktop?. ESRI Developer Network. http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp_vb6_vba_vcpp_doc/shared/desktop/get_started/what_is_dtop.htm (12. november 2018.)
5. Kobold, M., 2003. Hidrološka suša slovenskih vodotokov v obdobju 2000-2002. Ujma 17-18, 102-111.
6. Kolbezen, M., Lalič, B., Matajč, I., Mikulič, Z. in Zupančič, B., 1994. Suša v letu 1993. Hidrometeorološki zavod, Ministrstvo za okolje in prostor RS. Ljubljana.
7. Mikoš, M., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Veselič, M. in Brilly, M., 2002. Hidrološko izraze. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
8. NDMC, 2018. What is Drought?. National Drought Mitigation center: <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth/WhatIsDrought.aspx> (2. december 2018.)
9. Stahl, K., 2001. Hydrological Drought - a Study across Europe. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, University of Freiburg Freiburg. Freiburg.
10. 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, 102-109.
11. Šebenik, U., 2012. Analiza suše s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa. Diplomsko naloga, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
12. Šebenik, U., Brilly, M., Šraj, M., 2017. Analiza sušnih razmer s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa. Acta geographica Slovenica, 57(1), 31-49.
13. Tallaksen, M. in Van Lanen, A., 2004. Hydrological Drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater; Developments in Water Science, 139-177.