

RAZPRAVE

**TRENDI PRETOKOV REK JADRANSKEGA POVODJA
V SLOVENIJI BREZ POSOČJA**

AVTOR

dr. Gregor Kovačič

Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije, Titov trg 5, SI – 6000 Koper, Slovenija
gregor.kovac@fhs.upr.si

DOI: 10.3986/GV88201

UDK: 556.342:551.583(497.472)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Trendi pretokov rek jadranskega povodja v Sloveniji brez Posočja

V prispevku so obravnavani trendi značilnih letnih in mesečnih pretokov rek jadranskega povodja v Sloveniji brez Posočja. Z uporabo Senovega naklona smo potrdili statistično značilne trende: zmanjševanje skupne letne višine padavin 36–61 mm/desetletje, naraščanje povprečne letne temperature zraka 0,32–0,34 °C/desetletje ter povečevanje skupne letne višine izhlapevanja 29–49 mm/desetletje. Omenjeni dejavniki podnebnih sprememb vplivajo na zmanjševanje srednjih letnih pretokov Rižane, Badaševice, Drnice, Dragonje in Reke na vodomerni postaji Cerkvonikov mlin. Padajoči trend je statistično značilen zgolj za Rižano (480 l/s na desetletje) in Dragonjo (160 l/s na desetletje). Naraščajoča trenda srednjega letnega pretoka Reke na vodomerni postaji Trnovo (360 l/s na desetletje) in Bistrice (60 l/s na desetletje) nista statistično značilna.

KLJUČNE BESEDE

trendi pretokov, trendi izhlapevanja, trendi padavin, jadransko povodje, Reka, Rižana, Dragonja, Drnica, Bistrica, Badaševica

ABSTRACT

Discharge trends of the Adriatic Sea basin rivers in Slovenia, excluding the Soča river basin

The article deals with trends in characteristic annual and monthly discharges of the Adriatic Sea basin rivers in Slovenia, excluding the Soča river basin. Using the non-parametric Sen's slope test, statistically significant trends were determined for: i) decreasing annual precipitation (36–61 mm per decade); ii) increasing mean annual air temperature (0.32–0.34 °C per decade); and iii) increasing annual evapotranspiration (29–49 mm per decade). These climate change factors are reflected in decreasing mean annual discharges of the Rižana, Badaševica, Drnica, Dragonja and Reka (the Cerkvonikov mlin gauging station) rivers. The decreasing trend is statistically significant only for the Rižana (480 l/s per decade) and the Dragonja (160 l/s per decade) rivers. The increasing trends in the mean annual discharge of the Reka river at the Trnovo gauging station (360 l/s per decade) and of the Bistrice river (60 l/s per decade) are not statistically significant.

KEY WORDS

discharge trends, evapotranspiration trends, precipitation trends, Adriatic Sea basin, Reka River, Rižana River, Dragonja River, Drnica River, Bistrice River, Badaševica River

Uredništvo je prispevek prejelo 25. avgusta 2016.

1 Uvod

V zadnjih letih se zaradi spreminjanja podnebja vse več raziskovalcev posveča preučevanju časovno dolgotrajnih sprememb različnih hidrometeoroloških spremenljivk z metodo analize trenda. Neodvisno od razumevanja vpliva različnih dejavnikov na spreminjanje podnebja, kažejo vrednosti nekaterih meteoroloških spremenljivk v zadnjih desetletjih jasne naraščajoče oziroma padajoče trende, kar prek členov vodne bilance vpliva tudi na spremembe pretokov v vodotokih.

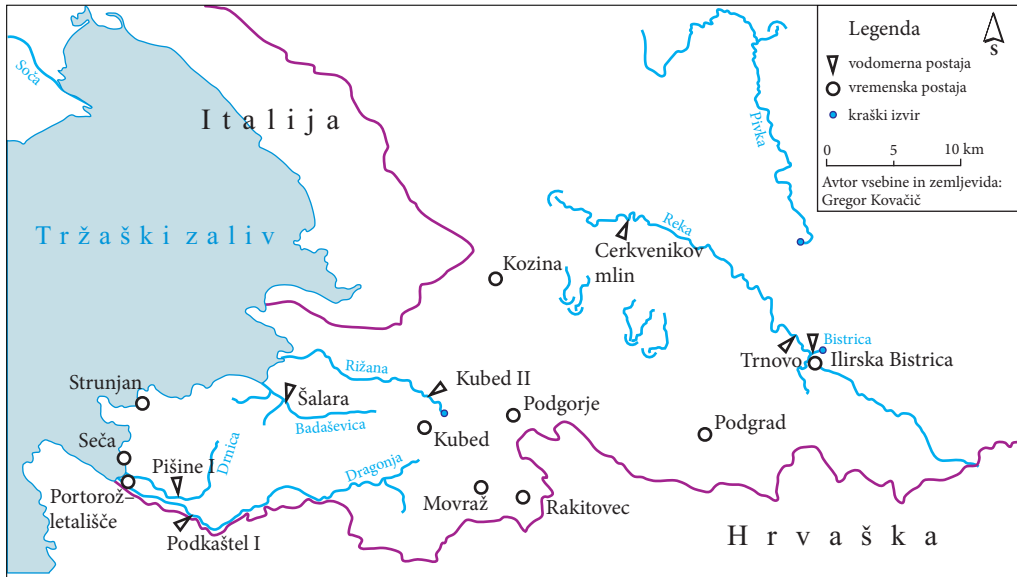
Za območje Slovenije je že bilo narejenih nekaj raziskav preučevanja trendov pretokov rek (Uлага 2002; Frantar 2008; Uлага, Kobold in Frantar 2008; Jurko 2009; Kobold in Uлага 2010; Pavlič in Brenčič 2011; Trobec 2012; Kovačič, Brečko Grubar in Kolega 2016). V naši raziskavi pa se osredotočamo na povodje jadranskih rek brez Posočja (slika 1). V prispevku prikazujemo dolgotrajne časovne spremembe pretokov Rižane, Dragonje, Badaševce, Drnice, Reke (dve vodomerni postaji) in njenega pritoka Bistrica, v povezavi s časovnimi spremembami vrednosti meteoroloških spremenljivk (višina padavin, temperatura, višina evapotranspiracije), ki vplivajo na njihove pretočne značilnosti. S pomočjo metod in podatkov, ki jih podrobneje opisujemo v naslednjem poglavju, smo opravili analizo trenda posameznih meteoroloških in hidroloških spremenljivk za daljša časovna obdobja na letni ravni in po posameznih letnih časih oziroma mesecih, saj smo skušali ugotoviti tudi morebitne spremembe letne razporeditve pretokov rek v preučevanem obdobju.

2 Metodologija in podatki

Za ugotavljanje trenda spreminjanja meteoroloških in hidroloških spremenljivk smo uporabili neparometrični Senov naklon (Theil-Senova cenilka) ocenjevanja naklona v linearnem modelu, ki je zelo pogosto uporabljen neparometrični test za ugotavljanje linearnega časovnega trenda (Theil 1950; Sen 1968; Kraner Šumenjak in Šuštar 2011; Tilgenkamp 2011; Vannest, Parker in Gonen 2011; GraphPad Software 2016). Senov naklon je v primerjavi z linearno regresijo bistveno bolj natančna cenilka za asimetrično porazdeljene podatke in daje povsem primerljive rezultate metodi najmanjših kvadratov pri normalno razporejenih podatkih (Tilgenkamp 2011). V primerih, ko Senov naklon ni pokazal statistično značilnih linearnih trendov, smo obstoj naraščajočih oziroma padajočih trendov preverili z uporabo neparometričnega Mann-Kendallovega testa, ki ni občutljiv na osamelce (*outliers*) (Kraner Šumenjak in Šuštar 2011), a se je izkazalo, da v izračunih trenda med metodama ni razlik. Vsem izračunanim trendom smo pripisali p -vrednosti. Vrednosti s statistično značilnostjo večjo od 95 % ($\alpha = 0,05$) smo privzeli kot statistično značilen pojav spreminjanja bodisi hidroloških bodisi meteoroloških spremenljivk.

V raziskavi smo za letne podatke ter za posamezne letne čase izračunali trende višin padavin in izhlapevanja ter povprečnih, najvišjih in najnižjih temperatur. Za letne podatke ter posamezne mesece smo izračunali trende srednjih, najmanjših in največjih pretokov. Izračunali smo tudi Pearsonove koeficiente korelacije med pari preučevanih hidro-meteoroloških spremenljivk.

V članku uporabljen izraz izhlapevanje ustreza pojmu potencialna evapotranspiracija. Evapotranspiracija ni merjena spremenljivka, izračunana je iz podatkov o energiji planetarnega sončnega obsevanja, temperature in vlažnosti zraka ter hitrosti vetra (Cesar in Šraj 2012; Trendi ... 2015). Absolutno in v deležu smo izračunali tudi razlike med začetno ter končno vrednostjo posamezne preučevane spremenljivke (pretok, temperatura, padavine, izhlapevanje) v preučevanem obdobju glede na Senov linearni trend. Na letnem nivoju smo prikazali odklone (absolutne in v deležu) vrednosti posameznih spremenljivk v zadnjem dvajsetletnem obdobju v primerjavi s celotnim obdobjem preučevanja. Za zadnje dvajsetletno obdobje smo za posamezne spremenljivke sešteli tudi leta s nadpovprečnimi oziroma podpovprečnimi vrednostmi v primerjavi s celotnim obdobjem preučevanja. Letni časi v raziskavi so opredeljeni kot trimesečna obdobja (na primer zima obsega mesece december, januar in februar).



Slika 1: Prikaz lege obravnavanih vremenskih postaj ter vodotokov z vodomernimi postajami.

V analizo smo vključili najdaljše razpoložljive časovne nize podatkov o skupnih mesečnih in letnih višinah padavin: v obdobju 1961–2013 (53 let) na padavinskih postajah Portorož–letališče, Movraž, Rakitovec, Seča, Strunjan, Podgrad in Kozina, v obdobju 1961–2011 (51 let) na padavinskih postajah Podgorje pod Slavnikom in Ilirska Bistrica. Najdaljše razpoložljive časovne nize podatkov smo uporabili tudi pri skupnih mesečnih in letnih višinah izhlapevanja: v obdobju 1971–2011 (41 let) na vremenskih postajah Kubed in Ilirska Bistrica, v obdobju 1971–2013 (43 let) pa na vremenski postaji Portorož–letališče. Vir za povprečne najvišje in najnižje mesečne ter letne temperature zraka na postajah Portorož–letališče (1961–2013, 53 let) in Ilirska Bistrica (1961–2011, 51 let) so bili homogenizirani klimatološki nizi in arhiv meteoroloških podatkov; oboji dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv ... 2015; Pregled ... 2015; slika 1). Padavinski postaji Podgrad in Kozina sta v analizo vključeni kot referenčni za zaledje kraškega izvira Rižane, saj Podgrajsko podolje z brkinskimi ponikalnicami predstavlja vzhodni del njegovega hidrografskega zaledja (Krivic s sodelavci 1987; Krivic, Bricelj in Zupan 1989; Janža 2010). Podatke o značilnih mesečnih in letnih pretokih vodomernih postaj Rižana–Kubed II (obdobje 1966–2013, 48 let), Badaševica–Šalara (1994–2013, 20 let), Dragonja–Podkaštel I (1979–2013, manjkajo podatki za leto 1997, 34 let), Drnica–Pišine I (1995–2013, 19 let), Reka–Trnovo (1985–2013, 29 let), Reka–Cerkvenikov mlin (1952–2013, 62 let) in Bistrica–Ilirska Bistrica (1989–2013, 25 let) smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (Podatki ... 2015). Za vodomerni postaji na Badaševici in Drnici sta obdobji rednih meritev za ugotavljanje trendov razmeroma kratki, na pretočni režim Badaševice pa vpliva tudi zadrževalnik Vanganelško jezero v njenem povirju. Na pretočni režim Reke vplivata zadrževalnika Klivnik in Molja v njenem porečju. Zaradi različno dolgih preučevanih obdobj izračunani trendi posameznih rek niso povsem medsebojno primerljivi.

3 Rezultati

3.1 Trendi padavin in izhlapevanja

Na klimatološki postaji Portorož–letališče je v obdobju 1961–2013 v povprečju letno padlo 989,4 mm padavin, na postajah Movraž 1280,1 mm, Rakitovec 1501,2 mm, Seča 983,2 mm, Strunjan 963,5 mm, Podgorje pod Slavnikom 1491,6 mm, Podgrad 1532,3 mm, Kozina 1308,6 mm in Ilirska Bistrica pa 1359,5 mm. Vse obravnavane postaje izkazujejo zmerno sredozemski padavinski režim, z viškom v jesenskih mesecih ter nizkoma poleti in pozimi. Postaje ob morju (Portorož–letališče, Seča in Strunjan) imajo prvi višek padavin septembra (113,7 mm, 113,3 mm in 114,9 mm) in drugega novembra, ter prvi nižek februarja (55,8 mm, 56,2 mm in 54,1 mm). Postaje v notranjosti (Movraž, Rakitovec, Podgorje, Podgrad, Kozina in Ilirska Bistrica) pa izkazujejo izrazit novembrski višek (147,8 mm, 175,7 mm, 172,1 mm, 187,2 mm, 144 mm in 156,1 mm) ter večjo skupno letno izmerjeno višino padavin. Prvotna nižka omenjenih postaj sta februarski (Kozina 79,2 mm in Ilirska Bistrica 83,1 mm) in julijski (Movraž 79,6 mm, Rakitovec 89,8 mm, Podgorje pod Slavnikom 83,4 mm in Podgrad 97 mm).

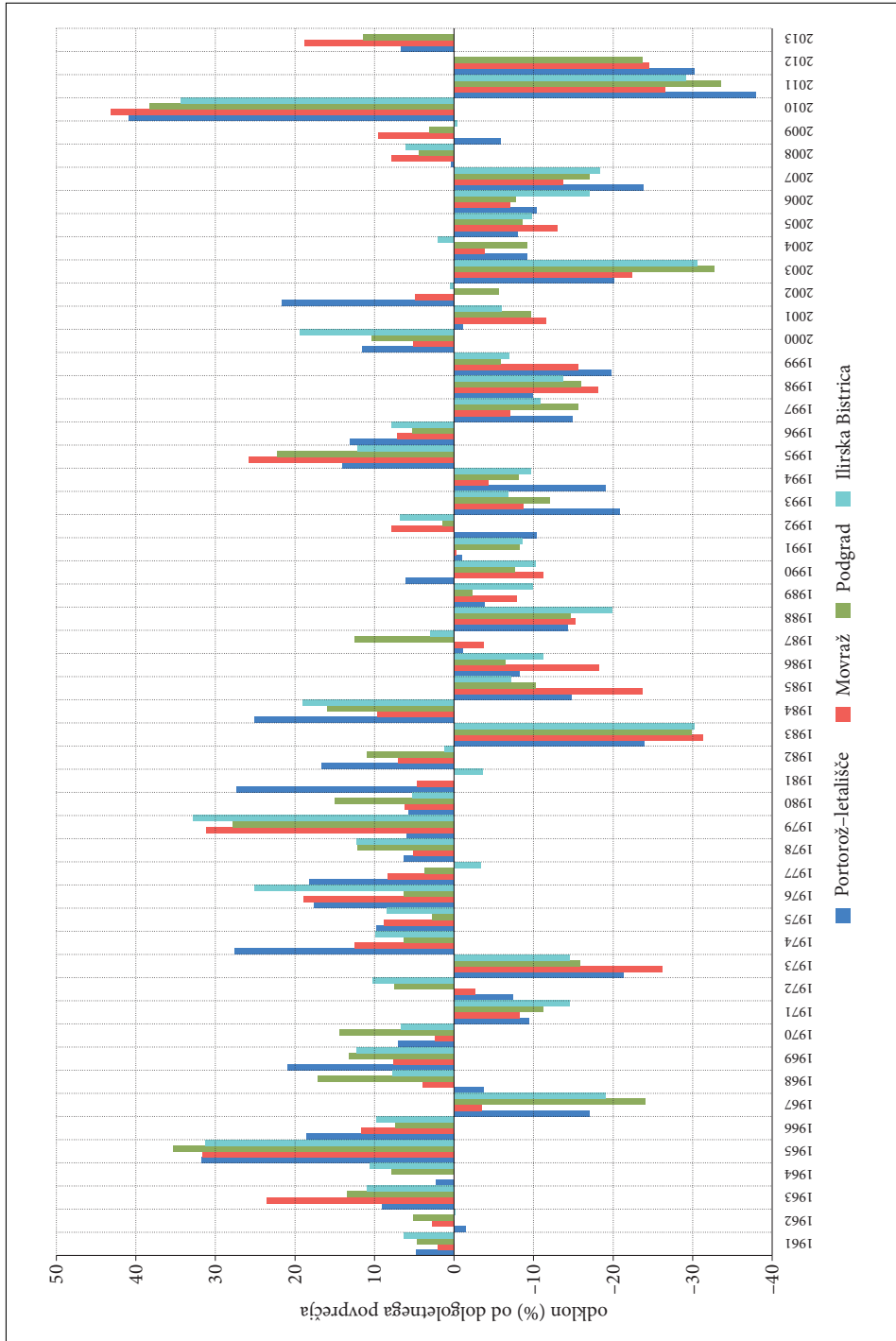
Vse obravnavane postaje kažejo znižanje letne višine padavin v opazovanem obdobju v razponu od 190 (Strunjan) do 319 mm (Rakitovec in Podgrad). Glede na premico linearnega trenda se je v opazovanem obdobju letna višina padavin na obravnavanem območju znižala od 15 % (Movraž) do 22 % (Seča) (preglednica 1). De Luis s sodelavci (2014) so za obdobje 1951–2007 izračunali 3–6 % zmanjševanje letne višine padavin na desetletje, Tošič s sodelavci (2016) pa 20 % zmanjšanje letne višine padavin v zahodnem delu Slovenije v obdobju 1961–2011. O splošnih padajočih trendih letnih višin padavin v Sredozemlju piše tudi Toreti s sodelavci (2009). Negativni odkloni povprečnih letnih višin padavin zadnjega dvajsetletnega obdobja od povprečja 1961–2013 so 2,3–5,9 %; v zadnjih dveh desetletjih je bilo v primerjavi z obdobjem 1961–2013 12 do 13 let podpovprečno namočenih (preglednica 1, slika 2). Na zmanjševanje skupne letne višine padavin na obravnavanem območju kažejo tudi izračunani trendi, ki so, z izjemo postaje Movraž (statistična značilnost je na meji), za vse obravnavane postaje statistično značilni (preglednica 1). Manjše zmanjševanje skupne letne višine padavin je značilno za postaje bližje morju (38–45 mm/desetletje) in večje za postaje v notranjosti (36–61 mm/desetletje). Izračuni za vse postaje kažejo zniževanje skupne višine padavin tudi v posameznih letnih časih, izjema je jesen na postajah Portorož–letališče in Strunjan, kjer se kaže povečevanje, toda trenda nista statistično značilna. Iz preglednice 1 je razvidno, da je najbolj izrazito zniževanje padavin značilno za poletje, pri štirih od šestih takih postaj je trend tudi statistično značilen (Portorož–letališče, Seča, Strunjan in Podgrad), najmanj pa se je v preučevanem obdobju zmanjšala skupna višina zimskih padavin.

V opazovanem obdobju je bilo na postaji Portorož–letališče izmerjeno povprečno izhlapevanje 980 mm, na postajah Kubed 762,5 mm in Ilirska Bistrica pa 746,9 mm (preglednica 2). Preglednica 2 in slika 3 kažeta, da povprečna letna temperatura zraka in višina izhlapevanja v opazovanem obdobju naraščata. Vse tri postaje v opazovanem obdobju kažejo povišanje letnega izhlapevanja v razponu od 112 mm (Ilirska Bistrica) do 196 mm (Portorož–letališče) oziroma od 16 do 22 %, kar je skladno s povišanjem povprečnih, najvišjih in najnižjih letnih temperatur na omenjenih postajah (Ilirska Bistrica 1,66 °C ali 18 % in Portorož–letališče 1,78 °C ali 15 %). Pozitivni odkloni povprečnih letnih višin izhlapevanja zadnjega dvajsetletnega obdobja od povprečja 1971–2011 so 3,9–5,5 %; v zadnjih dveh desetletjih je bilo v primerjavi s tridesetletnim obdobjem kar 16 let z nadpovprečno vrednostjo izhlapevanja (slika 3).

Tako pri povprečnih, najvišjih in najnižjih letnih ter sezonskih temperaturah beležimo pozitivni trend, ki je na letni ravni povsod statistično značilen, na ravni posameznih letnih časov pa skoraj povsod (preglednica 2). Povprečne letne temperature naraščajo 0,32 °C/desetletje (Ilirska Bistrica) in 0,34 °C/desetletje (Portorož–letališče), povprečne najvišje 0,37 °C/desetletje (Portorož–letališče) in 0,42 °C/desetletje (Ilirska Bistrica) ter povprečne najnižje 0,35 °C/desetletje (preglednica 2), kar sovpada z vrednostmi za širše obsredozemsko območje (Toreti in Desiato 2008a; 2008b), so pa nekoliko

Preglednica 1: Rezultati izračunanih kazalnikov za padavine (* trend ni statistično značilen, **pozitiven Senov naklon**).

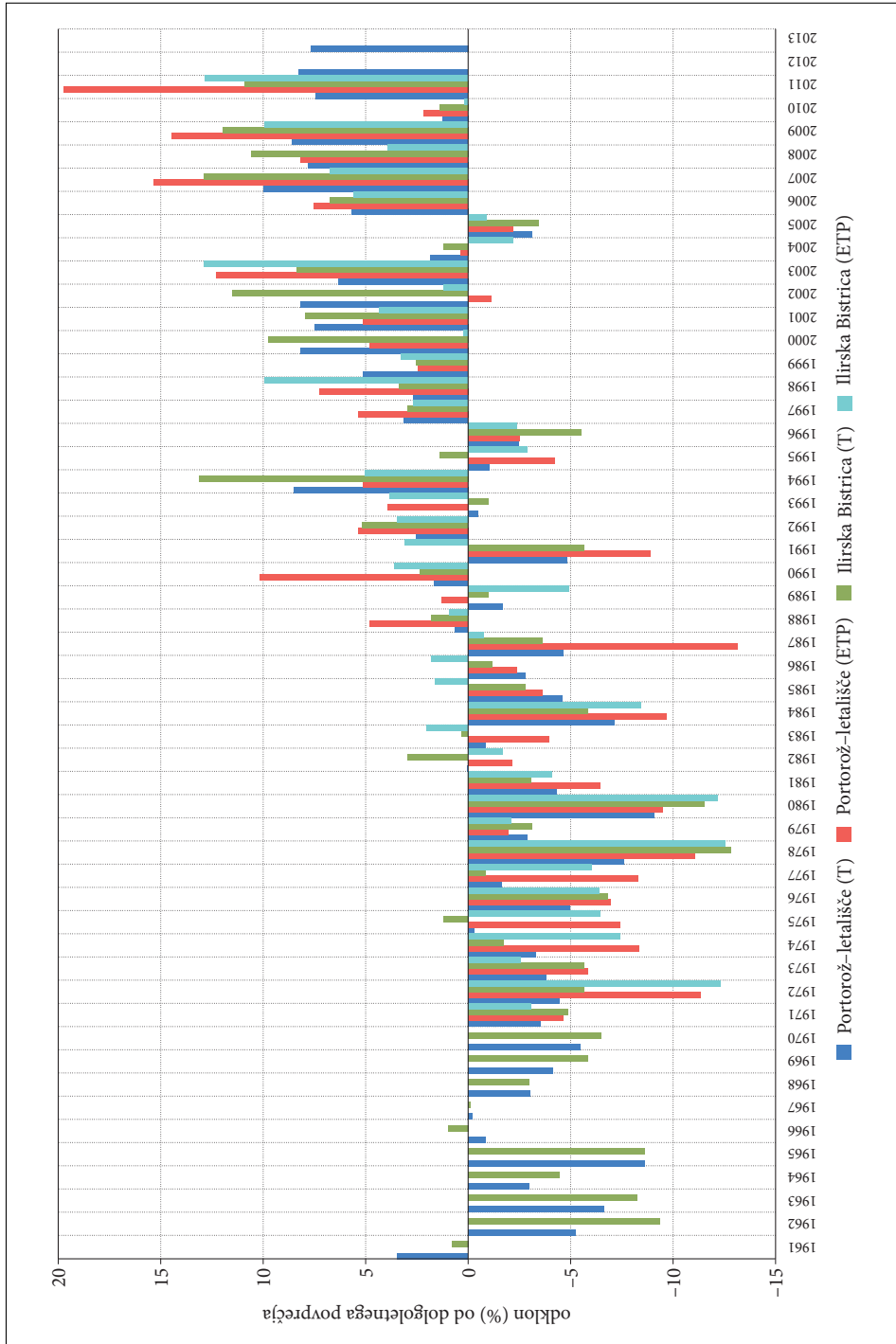
postaja kazalnik	Portorož- letališče	Movraž	Rakitovec	Seča	Strunjan	Podgorje	Podgrad	Kozina	Ilirska Bistrica
povprečna vrednost za obdobje 1961–2013 (mm)	989,4	1280,1	1501,2	983,2	963,5	1491,6	1532,3	1308,6	1359,5
število podpovprečno namočenih let v zadnjih dvajsetih letih	13	12	13	12	12	13	13	12	12
povprečni odklon obdobja 1994–2013 v primerjavi z 1961–2013 (v %)	-5,10	-2,27	-4,74	-5,09	-3,60	-4,36	-5,93	-1,94	-3,52
Senov naklon	-3,810	-3,818	-6,129	-4,512	-3,660	-5,763	-6,130	-4,127	-5,100
s <i>p</i> -vrednostjo – leto	$p = 0,0189$	$p = 0,0571^*$	$p = 0,0080$	$p = 0,0087$	$p = 0,0223$	$p = 0,0110$	$p = 0,0063$	$p = 0,0282$	$p = 0,0185$
letna vrednost: začetek obdobja / konec obdobja	1078,0/ 879,9	1357,6/ 1159,1	1633,7/ 1315,0	1086,8/ 852,2	1049,4/ 859,1	1603,5/ 1303,8	1675,6/ 1356,8	1403,7/ 1189,1	1482,8/ 1217,6
sprememba začetek/konec obdobja glede na napoved linearnega trenda (absolutno ozitoma %) – leto	-198,1 -18,38	-198,5 -14,62	-318,6 -19,51	-234,6 -21,59	-190,3 -18,14	-299,6 -18,69	-318,7 -19,02	-214,6 -15,29	-265,2 -17,89
Senov naklon	-0,479	-0,595	-0,945	-0,831	-0,431	-0,872	-0,554	-0,060	-0,600
s <i>p</i> -vrednostjo – zima	$p = 0,5699^*$	$p = 0,5915^*$	$p = 0,5176^*$	$p = 0,3854^*$	$p = 0,6816^*$	$p = 0,5414^*$	$p = 0,6415^*$	$p = 0,9622^*$	$p = 0,6697^*$
Senov naklon	-1,055	-0,632	-1,649	-1,013	-1,026	-1,950	-1,489	-0,827	-1,341
s <i>p</i> -vrednostjo – pomlad	$p = 0,0751^*$	$p = 0,3777^*$	$p = 0,0505^*$	$p = 0,1123^*$	$p = 0,0975^*$	$p = 0,0266$	$p = 0,1007^*$	$p = 0,2499^*$	$p = 0,1437^*$
Senov naklon	-1,935	-1,701	-1,633	-1,567	-1,856	-1,459	-2,484	-1,411	-1,314
s <i>p</i> -vrednostjo – poletje	$p = 0,0135$	$p = 0,1093^*$	$p = 0,1269^*$	$p = 0,0272$	$p = 0,0470$	$p = 0,1372^*$	$p = 0,0223$	$p = 0,1537^*$	$p = 0,1460^*$
Senov naklon	0,023	-0,703	-1,182	-0,056	0,354	-1,367	-1,682	-0,474	-2,300
s <i>p</i> -vrednostjo – jesen	$p = 0,9816^*$	$p = 0,4948^*$	$p = 0,4804^*$	$p = 0,9389^*$	$p = 0,7242^*$	$p = 0,3100^*$	$p = 0,3573^*$	$p = 0,7127^*$	$p = 0,2454^*$



Slika 2: Odkloni (v %) letnih višin padavin od povprečnih vrednosti za opazovana obdobja na padavinskih postajah Portorož–letališče, Movraž, Podgrad in Ilirska Bistrica.

Preglednica 2: Rezultati izračunanih kazalnikov za temperature in evapotranspiracijo (* trend ni statistično značilen, **negativen Senov naklon**).

postaja kazalnik	Portorož- letališče (povprečna T)	Portorož- letališče (najvišja T)	Portorož- letališče (najnižja T)	Portorož- letališče (E'TP)	Kubed (ETP)	Ilirska Bistrica (povprečna T)	Ilirska Bistrica (najvišja T)	Ilirska Bistrica (ETP)
povprečna vrednost za obdobje 1961–2013 (mm)	12,94	18,24	8,24	980,0	762,5	10,14	16,12	746,9
število let z nadpovprečnimi vrednostmi v zadnjih dvajsetih letih	16	16	19	16	16	17	15	16
povprečni odklon obdobja 1994–2013 v primerjavi z 1961–2013 (v %)	4,72	3,45	7,42	5,47	4,20	5,59	4,34	3,89
Senov naklon	0,034	0,037	0,035	4,892	3,183	0,032	0,042	2,811
s <i>p</i> -vrednostjo – leto	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$
letna vrednost: začetek obdobja / konec obdobja	12,15 / 13,93	17,36 / 19,30	7,40 / 9,24	883,5 / 1079,2	701,7 / 829,0	9,30 / 10,95	15,17 / 17,33	693,8 / 806,3
sprememba začetek/konec obdobja glede na napoved linearnega trenda (absolutno oziroma %) – leto	1,78	1,95	1,83	195,7	127,3	1,66	2,17	112,4
Senov naklon	14,65	11,22	24,72	22,15	18,14	17,82	14,29	16,21
s <i>p</i> -vrednostjo – zima	0,027	0,026	0,030	0,625	-0,058	0,026	0,038	0,107
s <i>p</i> -vrednostjo – pomlad	$p = 0,0056$	$p = 0,0062$	$p = 0,0065$	$p = 0,0001$	$p = 0,2125^*$	$p = 0,0181$	$p = 0,0108$	$p = 0,1814^*$
Senov naklon	0,031	0,038	0,030	1,080	1,120	0,034	0,054	1,067
s <i>p</i> -vrednostjo – poletje	$p = 0,0009$	$p = 0,0000$	$p = 0,0018$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0002$	$p = 0,0001$	$p = 0,0001$
Senov naklon	0,039	0,047	0,042	2,308	1,653	0,042	0,053	1,721
s <i>p</i> -vrednostjo – jesen	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$	$p = 0,0000$
Senov naklon	0,022	0,023	0,028	0,875	0,429	0,011	0,010	0,080
s <i>p</i> -vrednostjo – leto	$p = 0,0154$	$p = 0,0124$	$p = 0,0023$	$p = 0,0004$	$p = 0,0044$	$p = 0,2454^*$	$p = 0,3760^*$	$p = 0,4546^*$



Slika 3: Odkloni (v %) povprečnih letnih temperatur (T) ter letnih višin izhlapevanja (ETP) od povprečnih vrednosti za opazovana obdobja na postajah Portorož-letališče in Ilirska Bistrica.

višje od izračunanih vrednosti za Slovenijo za obdobje 1951–2007 (de Luis s sodelavci 2014), ki kažejo povišanje v razponu 0,15–0,36 °C/desetletje. Najbolj naraščajo povprečne poletne in pomladanske, najmanj pa jesenske temperature zraka.

Skladno z naraščanjem povprečnih temperatur se spreminja tudi letna višina izhlapevanja, ki izkazuje povečevanje od 28 mm/desetletje (Ilirska Bistrica) do 49 mm/desetletje (Portorož–letališče). Odvisnost izhlapevanja od temperatur dokazujejo statistično značilni Pearsonovi koeficienti korelacije med omenjenima spremenljivkama, ki se gibljejo v razponu od 0,61 mm/desetletje (Ilirska Bistrica) do 0,71 mm/desetletje (Portorož–letališče). Najbolj so se v opazovanem obdobju povečale vrednosti poletnega izhlapevanja, sledi pomlad, najmanjše spremembe v izhlapevanju pa so bile zabeležene jeseni.

3.2 Trendi pretokov

Vsi obravnavani vodotoki imajo dežni pretočni režim z nizkom julija (Rižana, Badaševica in Reka na vodomerni postaji Trnovo) oziroma avgusta (Drnica, Dragonja, Bistrica in Reka na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin) in viškom novembra (Dragonja, Reka na obeh vodomernih postajah in Bistrica) oziroma decembra (Rižana, Badaševica in Drnica) ter hudourniški značaj. Če ga ocenjujemo na temelju razmerja med povprečnim in največjim letnim pretokom je ta najbolj izrazit pri Dragonji in najmanj pri Bistrici, kar je pri slednji pogojeno s kraškostjo njenega napajalnega zaledja, saj je Bistrica kraški izvir (preglednica 3). Med vsemi vodotoki ima v opazovanem obdobju največji pretok Reka na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin (8,04 m³/s), nato Reka na vodomerni postaji Trnovo (4,25 m³/s), ki leži gorvodno od prve, sledi Rižana s pretokom 3,83 m³/s. Med ostalimi obravnavanimi vodotoki le še pretoka Bistrice in Dragonje presejata 1 m³/s.

Z izjemo vodomernih postaj Trnovo (Reka), ki leži dolvodno od njenega sotočja z Bistrico, ter Ilirska Bistrica (Bistrica), ki izkazuje v opazovanem obdobju povečanje srednjega letnega pretoka (Reka za dober 1 m³/s oziroma 28 % in Bistrica za 134 l/s oziroma 11 %), vse ostale postaje kažejo zmanjševanje pretoka. Razlika med pretoki na začetku in ob zaključku opazovanih obdobj se giblje v razponu od 117 l/s (Drnica) do 2,2 m³/s (Rižana) (preglednica 3). Premica Senovega naklona pokaže, da se je srednji letni pretok obravnavanih vodotokov zmanjšal od 20 (Reka na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin) do 48 % (Badaševica), le nekoliko manjši je bil upad pri Dragonji in Rižani (46 %). Na 40 % zmanjšanje srednjega letnega pretoka Rižane v obdobju 1955–2008, in sicer s 5 na 3 m³/s, opozarja tudi Trobec (2012), pri čemer lahko približno 7,5 % pripišemo odvzemu vode za vodooskrbo. Trobec (2012) navaja, da je srednji letni pretok Dragonje v obdobju 1979–2008 glede na enačbo linearnega trenda upadel za 56 %, upad pa je značilen tudi za male letne pretoke. V zadnjem dvajsetletnem obdobju smo zabeležili 12 do 15 let s podpovprečnimi pretoki glede na celotno opazovano obdobje (preglednica 3, sliki 4 in 5).

Na zmanjševanje povprečnih letnih pretokov rek kažejo tudi izračunani trendi, ki so statistično značilni le za Rižano, Badaševico in Dragonjo (preglednica 3). Padajoči trendi srednjih letnih pretokov in povprečnih malih pretokov so značilni za večino vodotokov v Sloveniji. Ulaga (2002) je za 45-letni niz 1955–1999 za večino opazovanih vodomernih postaj ugotovila padajoč linearni trend srednjih letnih pretokov in povprečnih malih pretokov ter na približno polovici postaj tudi padajoči trend visokih konic. Kot že omenjeno, izkazuje v obravnavanem obdobju Reka na vodomerni postaji Trnovo in Bistrica trend povečevanje srednjega letnega pretoka, ki je pri prvi 360 l/s na desetletje in pri drugi 60 l/s na desetletje. Trenda nista statistično značilna.

3.2.1 Rižana

Srednji letni pretok Rižane se zmanjšuje za 480 l/s na desetletje (slika 4). Statistično značilni so tudi padajoči trendi letnih nizkih konic (40 l/s na desetletje), povprečnih malih pretokov (110 l/s na desetletje) in povprečnih velikih pretokov (1,92 m³/s na desetletje), medtem ko padajoči trend letnih visokih

Preglednica 3: Rezultati izračunanih kazalnikov za pretoke rek (* trend ni statistično značilen, **pozitiven Senov naklon**).

postaja kazalnik	Rižana- Kubed II	Badaševica- Šalara	Drnica- Pišine I	Dragonja- Podkaštel I	Reka- Trnovo	Reka- Cerkvenikov mlin	Bistrica- Ilirska Bistrica
sQs za obdobje (m ³ /s)	3,830	0,239	0,265	1,007	4,254	8,042	1,325
nQnk za obdobje (m ² /s)	0,010	0,000	0,000	0,000	0,090	0,160	0,044
vQvk za obdobje (m ³ /s)	153,387	10,251	21,401	124,476	204,917	305,000	24,901
razmerje sQs : vQvk	1 : 40	1 : 43	1 : 81	1 : 124	1 : 48	1 : 38	1 : 19
število let s podpoprečno vrednostjo kazalnika v zadnjih dvajsetih letih	15			13		12	
povprečni odklon obdobja 1994–2013 v primerjavi s povprečjem celotnega niza (v %)	-11,60			-7,89		-7,61	
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – leto	-0,048 <i>p</i> = 0,0003	-0,008 <i>p</i> = 0,0789*	-0,007 <i>p</i> = 0,3449*	-0,016 <i>p</i> = 0,0408	0,036 <i>p</i> = 0,1651*	-0,030 <i>p</i> = 0,0622*	0,006 <i>p</i> = 0,4137*
letna vrednost: začetek obdobja / konec obdobja	4,802 / 2,560	0,305 / 0,157	0,305 / 0,188	1,168 / 0,613	3,651 / 4,669	9,165 / 7,313	1,209 / 1,344
sprememba začetek/konec obdobja glede na napoved linearnega trenda (m ³ /s oziroma %) – leto	-2,242 -46,69	-0,148 -48,45	-0,117 -38,42	-0,554 -47,46	1,017 27,86	-1,852 -20,20	0,134 11,10
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – januar	-0,029 <i>p</i> = 0,3741*	-0,008 <i>p</i> = 0,2700*	-0,007 <i>p</i> = 0,3449*	-0,016 <i>p</i> = 0,3427*	0,084 <i>p</i> = 0,1540*	-0,059 <i>p</i> = 0,2000*	0,054 <i>p</i> = 0,0882*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – februar	-0,055 <i>p</i> = 0,1449*	0,004 <i>p</i> = 0,3989*	0,004 <i>p</i> = 0,8065*	0,005 <i>p</i> = 0,7220*	0,013 <i>p</i> = 0,8512*	-0,064 <i>p</i> = 0,1698*	0,054 <i>p</i> = 0,0208
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – marec	-0,036 <i>p</i> = 0,3789*	0,006 <i>p</i> = 0,5592*	0,015 <i>p</i> = 0,2079*	-0,011 <i>p</i> = 0,5335*	0,018 <i>p</i> = 0,8219*	-0,037 <i>p</i> = 0,3654*	0,054 <i>p</i> = 0,0882*

Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – april	-0,060 <i>p</i> = 0,0213	-0,007 <i>p</i> = 0,4754*	0,001 <i>p</i> = 0,7529*	-0,003 <i>p</i> = 0,8705*	-0,076 <i>p</i> = 0,1651*	-0,023 <i>p</i> = 0,4963*	0,009 <i>p</i> = 0,6074*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – maj	-0,046 <i>p</i> = 0,0294	-0,005 <i>p</i> = 0,1944*	-0,005 <i>p</i> = 0,3818*	-0,016 <i>p</i> = 0,1030*	-0,019 <i>p</i> = 0,5736*	-0,031 <i>p</i> = 0,2064*	0,006 <i>p</i> = 0,7437*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – junij	-0,033 <i>p</i> = 0,0367	-0,001 <i>p</i> = 0,6265*	-0,001 <i>p</i> = 0,8065*	-0,001 <i>p</i> = 0,7782*	-0,039 <i>p</i> = 0,0988*	-0,025 <i>p</i> = 0,1320*	-0,054 <i>p</i> = 0,4691*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – julij	-0,012 <i>p</i> = 0,0059	-0,002 <i>p</i> = 0,2058*	-0,001 <i>p</i> = 0,2781*	-0,004 <i>p</i> = 0,0022	-0,002 <i>p</i> = 0,0325	-0,014 <i>p</i> = 0,0356	-0,004 <i>p</i> = 0,4835*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – avgust	-0,013 <i>p</i> = 0,0004	0,000 <i>p</i> = 0,9225*	0,000 <i>p</i> = 0,4011*	-0,002 <i>p</i> = 0,0282	-0,013 <i>p</i> = 0,3580*	-0,001 <i>p</i> = 0,8222*	0,002 <i>p</i> = 0,6913*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – september	-0,031 <i>p</i> = 0,0257	-0,002 <i>p</i> = 0,2992*	-0,001 <i>p</i> = 0,5756*	-0,003 <i>p</i> = 0,1726*	0,009 <i>p</i> = 0,7075*	0,000 <i>p</i> = 0,9952*	-0,001 <i>p</i> = 0,9441*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – oktober	-0,012 <i>p</i> = 0,4881*	-0,007 <i>p</i> = 0,0644*	0,000 <i>p</i> = 0,9721*	-0,014 <i>p</i> = 0,0272	-0,003 <i>p</i> = 0,9402*	-0,016 <i>p</i> = 0,5930*	-0,026 <i>p</i> = 0,4005*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – november	-0,046 <i>p</i> = 0,2984*	-0,018 <i>p</i> = 0,0516*	-0,003 <i>p</i> = 0,7004*	-0,011 <i>p</i> = 0,3064*	0,016 <i>p</i> = 0,8807*	-0,070 <i>p</i> = 0,2851*	-0,019 <i>p</i> = 0,4005*
Senov naklon za sQs s <i>p</i> -vrednostjo – december	-0,014 <i>p</i> = 0,6568*	-0,020 <i>p</i> = 0,1194*	-0,002 <i>p</i> = 0,8065*	-0,000 <i>p</i> = 0,9882*	0,189 <i>p</i> = 0,0779*	-0,003 <i>p</i> = 0,9467*	0,028 <i>p</i> = 0,4548*

konic ni statistično značilen (3,29 m³/s na desetletje). Povsem primerljivi so izračuni Ulagove (2002), ki je za srednji letni pretok ugotovila negativni linearni trend -0,04, za povprečni mali pretok pa -0,01. Tudi Jurko (2009) je za Rižano ugotovil statistično značilen padajoči trend za srednji letni pretok, visoko konico ter najnižji srednji dnevni pretok s trajanjem 7 in 30 dni. Trobec (2012) ugotavlja, da Rižana izkazuje zmanjšanje povprečnih malih pretokov za 76 %, po naših izračunih pa 77 %. Analiza trenda pokaže upadanje vseh mesečnih značilnih pretokov Rižane, niso pa vsi trendi statistično značilni. Statistično značilni so padajoči trendi srednjih aprilskih, majskih, junijskih, julijskih, avgustovskih in septembrskih pretokov (600, 460, 330, 120, 130 in 310 l/s na desetletje) (preglednica 3), nizkih konic februarskih, majskih, junijskih, julijskih, avgustovskih in septembrskih pretokov (190, 200, 130, 60, 40 in 60 l/s na desetletje) ter povprečnih malih februarskih, aprilskih, majskih, junijskih, julijskih, avgustovskih in septembrskih pretokov (200, 150, 180, 130, 60, 50 in 60 l/s na desetletje). Statistično značilni so tudi padajoči trendi povprečnih velikih pretokov in visokih konic aprilskih (2,29 in 3,86 m³/s na desetletje) in avgustovskih pretokov (380 in 520 l/s na desetletje).

3.2.2 Badaševica

Srednji letni pretok Badaševice se v dvajsetletnem opazovanem obdobju zmanjšuje za 80 l/s na desetletje (slika 5), vendar trend ni statistično značilen. Enako velja za padajoči trend povprečnih letnih velikih pretokov (10 l/s na desetletje) in naraščajoči trend letnih visokih konic (690 l/s na desetletje). Letne nizke konice Badaševice ne kažejo dolgoročnih sprememb. Statistično značilen je padajoči trend povprečnih letnih malih pretokov (40 l/s na desetletje). Februarski in marčevski Senov naklon kažeta naraščajoči trend srednjih mesečnih pretokov, medtem ko so za ostale mesece značilni padajoči trendi srednjih pretokov; oboji so statistično neznačilni (preglednica 3). Med vsemi izračunanimi trendi značilnih mesečnih pretokov sta statistično značilna zgolj padajoča trenda decembrskih nizkih konic (60 l/s na desetletje) in povprečnih malih pretokov (70 l/s na desetletje). Z izjemo februarskih, marčevskih in junijskih povprečnih velikih pretokov in visokih konic ter marčevskih nizkih konic, pokaže analiza trenda za vse ostale značilne mesečne pretoke upadanje.

3.2.3 Drnica

Srednji letni pretok Drnice se v devetnajstletnem opazovanem obdobju zmanjšuje z intenziteto 70 l/s na desetletje (slika 5), vendar trend ni statistično značilen, kar velja za vse izračunane trende značilnih letnih in mesečnih pretokov v opazovanem obdobju. Z izjemo povprečnih letnih, februarskih, marčevskih in junijskih velikih pretokov ter visokih konic, povprečnih marčevskih, majskih, septembrskih, oktobrskih in novembrskih malih pretokov ter nizkih konic, povprečnih februarskih, marčevskih in aprilskih pretokov ter majskih, septembrskih in novembrskih visokih konic, ki izkazujejo naraščajoči trend, so trendi ostalih letnih in mesečnih značilnih pretokov padajoči.

3.2.4 Dragonja

Srednji letni pretok Dragonje se statistično značilno zmanjšuje za 160 l/s na desetletje (slika 4). Statistično značilni so tudi padajoči trendi letnih nizkih konic (20 l/s na desetletje), povprečnih malih pretokov (40 l/s na desetletje) in povprečnih velikih pretokov (1,65 m³/s na desetletje), medtem ko naraščajoči trend letnih visokih konic ni statistično značilen (150 l/s na desetletje). Povprečni mali pretok Dragonje je upadel za 57 %. Za večino značilnih mesečnih pretokov pokaže analiza trenda upadanje, niso pa vsi trendi statistično značilni. Statistično značilni so padajoči trendi srednjih julijskih, avgustovskih in oktobrskih pretokov (40, 20 in 140 l/s na desetletje) (preglednica 3), nizkih konic majskih, junijskih, julijskih, avgustovskih, septembrskih, oktobrskih, novembrskih in decembrskih pretokov (30, 20, 20, 20, 20, 20, 40 in 50 l/s na desetletje), povprečnih malih majskih, junijskih, julijskih, avgustovskih, sep-

tembrskih, oktobrskih in novembrskih pretokov (30, 20, 20, 20, 20, 20 in 40 l/s na desetletje) ter povprečnih velikih julijskih (80 l/s na desetletje) in avgustovskih (30 l/s na desetletje) pretokov. Dragonja izkazuje statistično neznačilen naraščajoči trend srednjega, povprečno velikega in visoke konice februar-skega pretoka, aprilske, junijske, novembrske in decembrske visoke konice ter povprečnega junijskega velikega pretoka.

3.2.5 Reka (vodomerna postaja Trnovo)

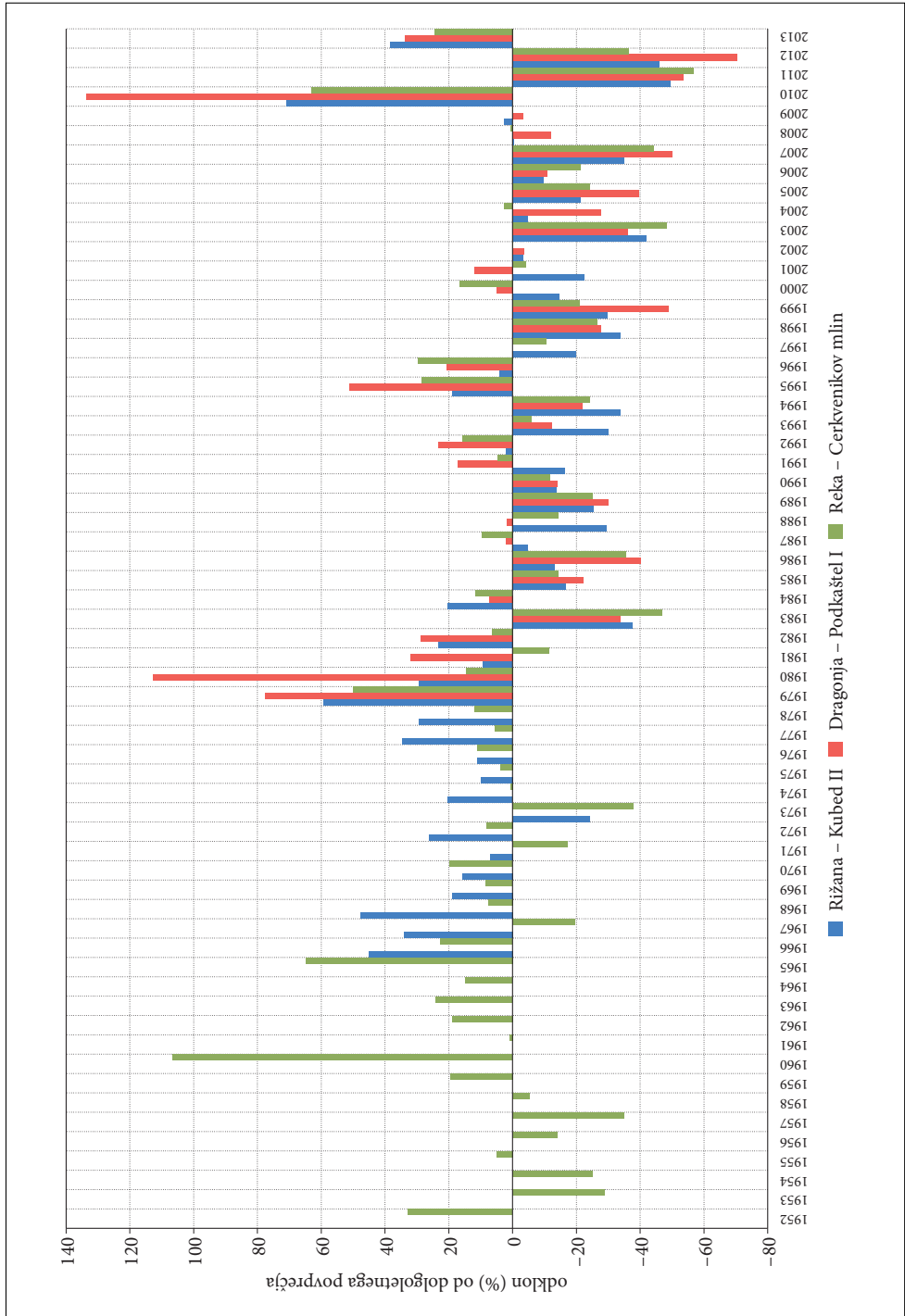
Srednji letni pretok Reke na vodometri postaji Trnovo se povečuje za 360 l/s na desetletje (slika 5), vendar trend ni statistično značilen. Enako velja za naraščajoči trend povprečnih letnih malih pretokov (30 l/s na desetletje) in nizkih konic (20 l/s na desetletje) ter povprečnih velikih pretokov (940 l/s na desetletje), medtem ko je naraščajoči trend letnih visokih konic statistično značilen (22 m³/s na desetletje). Povprečni mali pretok Reke se je v opazovanem obdobju povečal za 6%. Približno polovica značilnih mesečnih pretokov izkazuje padajoči in polovica naraščajoči trend, zelo malo pa jih je statistično značilnih. Naraščajoči trend kažejo srednji januarski, februarški, marčevski, septembrski, novembrski in decembrski pretoki, vendar trend ni statistično značilen (preglednica 3). Naraščajoči trendi značilnih mesečnih pretokov so bolj značilni za hladno polovico leta (januar, februar, marec, november, december). Statistično značilni so padajoči trendi srednjega julijskega pretoka (210 l/s na desetletje), aprilske in junijske nizke konice (290 in 130 l/s na desetletje), povprečnih velikih julijskih in avgustovskih pretokov (1,13 m³/s na desetletje in 620 l/s na desetletje) ter visoke decembrske konice (20,6 m³/s na desetletje).

3.2.6 Bistrica

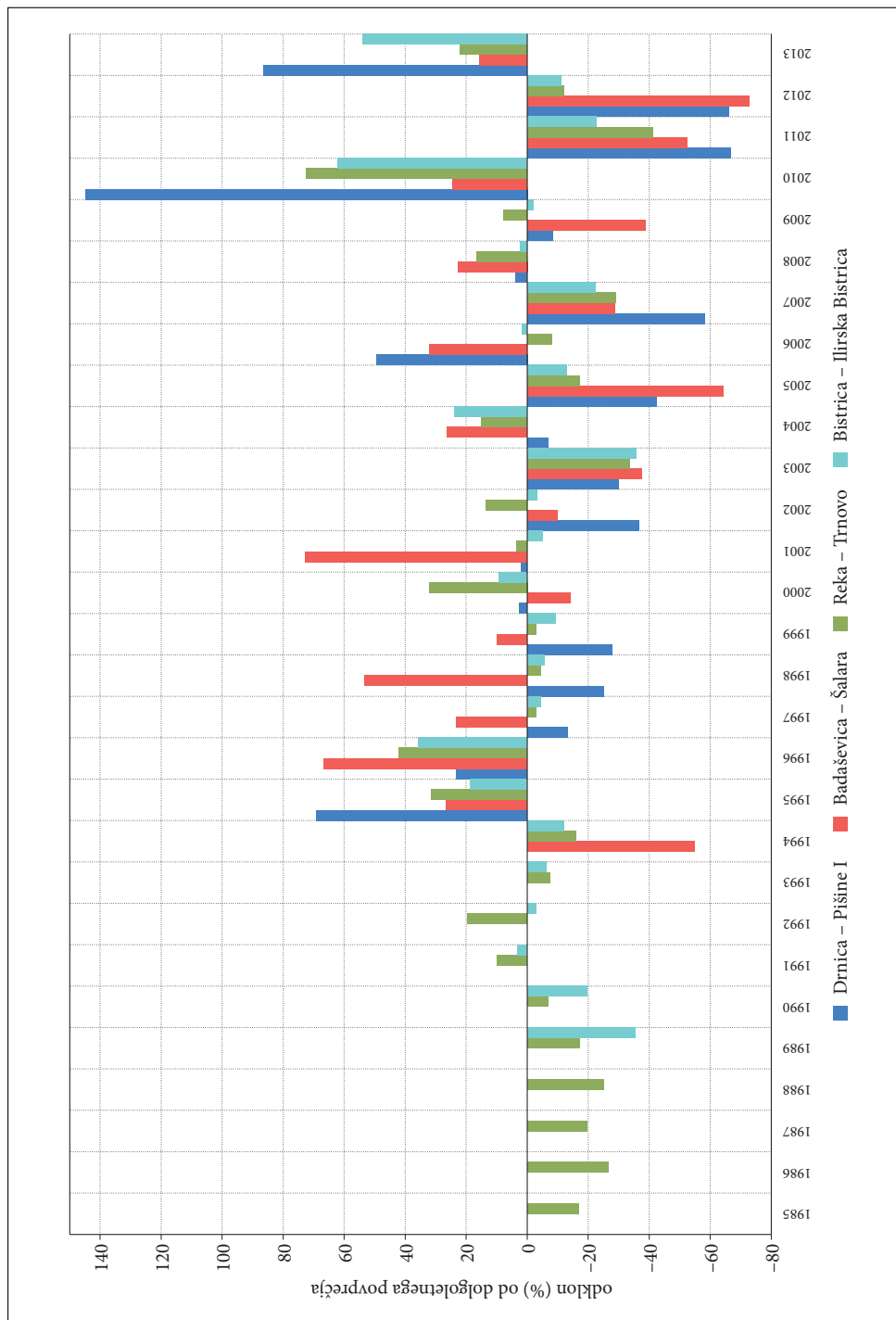
Srednji letni pretok Bistrice se povečuje za 60 l/s na desetletje (slika 5), vendar trend ni statistično značilen. Statistično neznačilni so tudi naraščajoči trendi povprečnih letnih malih pretokov (120 l/s na desetletje) ter padajoča trenda povprečnih letnih malih pretokov (110 l/s na desetletje) in nizkih konic (190 l/s na desetletje). Letna nizka konica v preučevanem obdobju ne kaže dolgoročnih sprememb. Povprečni mali pretok Bistrice se je povečal za 80%. Za večino značilnih mesečnih pretokov Bistrice je značilno povečanje, tudi za srednje mesečne pretoke, ki pa ni statistično značilno (preglednica 3). Statistično značilni naraščajoči trendi so zgolj januarski povprečni visoki pretok (910 l/s na desetletje) in visoka konica (1,04 m³/s na desetletje), marčevski srednji pretok (540 l/s na desetletje) ter julijska (550 l/s na desetletje) in avgustovska (450 l/s na desetletje) visoka konica. Bistrica izkazuje statistično neznačilen padajoči trend srednjih junijskih, julijskih, septembrskih, oktobrskih in novembrskih pretokov, povprečnih velikih junijskih, julijskih, septembrskih, oktobrskih in novembrskih pretokov, nizkih konic julijskih, septembrskih in novembrskih pretokov, povprečnega nizkega julijskega pretoka in visoke konice novembrskega pretoka.

3.2.7 Reka (vodomerna postaja Cerkevnikov mlin)

Srednji letni pretok Reke na vodometri postaji Cerkevnikov mlin, ki leži približno 23 km dolvodno od postaje Trnovo, se zmanjšuje za 300 l/s na desetletje (slika 4), vendar trend ni statistično značilen. Enako velja za naraščajoči trend letnih nizkih (30 l/s na desetletje) in visokih konic (3,5 m³/s na desetletje) ter padajoči trend povprečnih letnih malih pretokov (20 l/s na desetletje), medtem ko je padajoči trend povprečnih letnih velikih pretokov (1,78 m³/s na desetletje) statistično značilen. Tudi Frantar (2008) in Jurko (2009) sta za Reko na vodometri postaji Cerkevnikov mlin ugotovila statistično neznačilni padajoči trend letnih pretokov in naraščajoči trend srednjih velikih pretokov ter statistično značilne naraščajoče trende letnih najmanjših, najmanjših sedem- in tridesetdnevni pretokov. Povprečni mali pretok Reke se je v opazovanem obdobju zmanjšal za 6%. Analiza trenda je pokazala statistično neznačilno upadanje večine značilnih mesečnih pretokov Reke (preglednica 3). Statistično značilni so padajoči



Slika 4: Odkloni (v %) povprečnih letnih pretokov Rižane, Dragonje in Reke (Cerkvenikov mlin) od povprečnih pretokov za opazovana obdobja.



Slika 5: Odkloni (v %) povprečnih letnih pretokov Drnice, Badšaševice, Reke (Trnovo) in Bistrice od povprečnih pretokov za opazovana obdobja.

trendi nizkih januarskih konic (170 l/s na desetletje), srednjega (140 l/s na desetletje) in povprečnega velikega julijskega (680 l/s na desetletje) pretoka ter naraščajoča trenda povprečnih nizkih julijskih (60 l/s na desetletje) in avgustovskih pretokov (80 l/s na desetletje). Reka izkazuje statistično neznačilen naraščajoči trend povprečnih nizkih ter nizkih konic avgustovskih, septembrskih in oktobrskih pretokov, povprečnih nizkih julijskih in novembrskih pretokov ter povprečnih velikih in visokih decembrskih pretokov.

4 Razprava in sklepi

Upadanje značilnih letnih pretokov obravnavanih rek v opazovanem obdobju je očitna posledica zniževanja letne višine padavin (slika 6) in porasta povprečnih letnih temperatur zraka, ki povečuje izhlapevanje, kar oboje vpliva na zmanjšanje vodnega odtoka. Zviševanje značilnih temperatur zraka se odraža tudi pri zviševanju značilnih temperatur vode rek v Sloveniji (Frantar 2012). Na medsebojno povezanost povprečnih letnih višin padavin, izhlapevanja in temperatur zraka s pretoki obravnavanih rek kažejo visoke vrednosti korelacijskih koeficientov parov omenjenih spremenljivk (preglednica 4). Z izjemo povprečnega letnega pretoka Badaševice, ki ne kaže statistično značilnih povezav s povprečno letno temperaturo zraka, povprečno letno višino izhlapevanja in padavin, kar je verjetno posledica spremenjenega odtoka v njenem porečju zaradi zadrževanja vode v povirju (Vanganelso jezero), kažejo povprečni letni pretoki preostalih obravnavanih rek visoke do zelo visoke statistično značilne pozitivne povezanosti s povprečnimi letnimi višinami padavin (0,75 do 0,97) ter srednje do visoke statistično značilne negativne povezanosti s povprečnimi letnimi višinami izhlapevanja (−0,52 do −0,70). Približno enako močna povezanost se kaže med povprečno letno višino padavin in izhlapevanja (−0,55 do −0,73). Vpliv temperature na izhlapevanje ja razviden iz srednje do visoke pozitivne statistične povezanosti med spremenljivkama (0,61 do 0,71).

Preglednica 4: Razpon vrednosti Pearsonovih korelacijskih koeficientov med pari letnih povprečij preučevanih meteoroloških in hidroloških spremenljivk. Upoštewane so zgolj statistično značilne povezave med vodomernimi postajami in referenčnimi vremenskimi postajami za posamezne vodotoke.

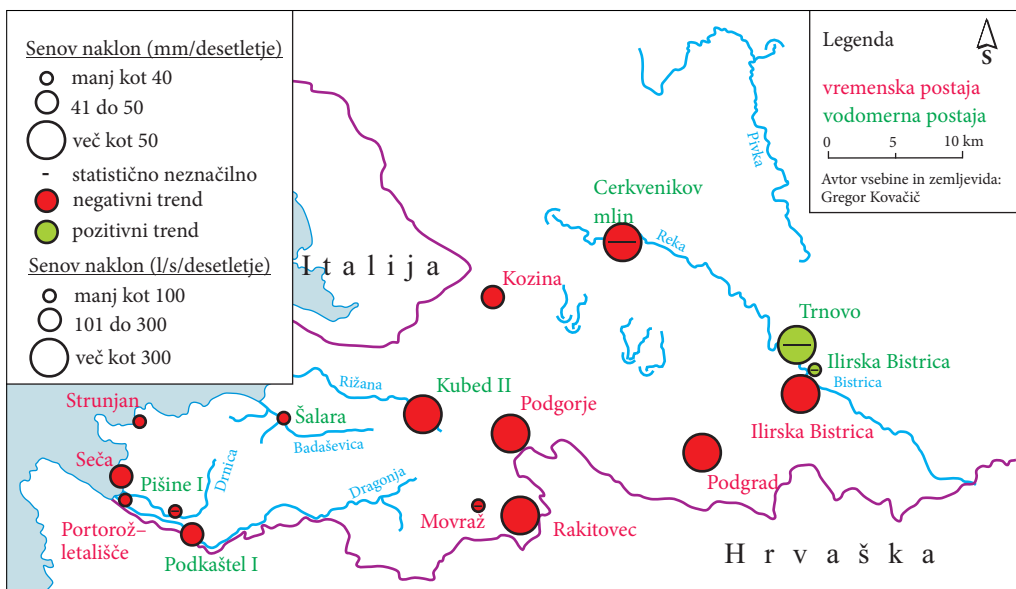
spremenljivka	povprečni letni pretok	višina padavin	višina izhlapevanja	povprečna letna temperatura zraka
povprečni letni pretok		0,75 do 0,97	−0,52 do −0,70	−0,52
višina padavin			−0,55 do −0,73	povezave niso statistično značilne
višina izhlapevanja				0,61 do 0,71

Najbolj upadajo trendi skupne višine poletnih padavin, pri katerih beležimo tudi največje zviševanje (statistično značilno) izhlapevanja, kar bistveno vpliva na zmanjšan odtok in pretočne vrednosti obravnavanih rek v poletnih mesecih. Torej takrat, ko so potrebe, zaradi viška obdobja rasti ter v slovenski Istri tudi zaradi povečane porabe v turistični sezoni, največje. Zmanjšan odtok v topli polovici leta dokazujejo tudi statistično značilni padajoči trendi srednjih pretokov Rižane (maj do september), Dragonje (julij in avgust) in Reke na obeh vodomernih postajah (julij) (preglednica 3). Z vidika oskrbe s pitno vode so v slovenski Istri zaskrbljujoči tudi statistično značilni padajoči trendi nizkih konic in povprečnih malih pretokov Rižane od aprila do septembra. Poleg že omenjenih podnebnih dejavnikov lahko k vzroku za upadanje vodnatosti Dragonje prištejemo morda še vedno prisotno zaraščanje v njenem povirnem in zgornjem delu (povečevanje izhlapevanja) ter odvzemanje vode za kmetijske dejavnosti v njenem spodnjem toku, ki je najbolj intenzivno ravno v poletnih mesecih.

Rezultati analize trenda značilnih pretokov Badaševica in Drnice so za ugotavljanje dolgoročnih sprememb zgolj pogojno uporabni, saj so časovni nizi meritev razmeroma kratki. Pri Badaševici je treba upoštevati tudi vpliv zadrževalnika v povirju, na vodomerni postaji Šalara se tudi večkrat zgodi tako nizko stanje, da pretoka ni možno oceniti. Vpliv zadrževalnika se mogoče kaže tudi v sicer statistično neznačilnem naraščajočem trendu srednjega februarskega in marčevskega pretoka.

V dolgoročnih spremembah značilnih letnih in mesečnih pretokov Reke na vodomerni postaji Trnovo, ki na letni ravni in v nekaterih mesecih tako kot Bistrica kažejo naraščajoči trend, se kaže vpliv omenjenega pritoka, ki je kraški izvir. Vpliv Bistrice ter zadrževalnikov Molja in Klivnik na pretoke Reke na vodomerni postaji Cerkevnikov mlin je omiljen, saj se v Reko do omenjene postaje izliva več pritokov, kot so Posrtvica, Padež in Mrzlek. Kraški izvir Bistrica izkazuje na letni ravni in v več kot polovici mesecev naraščajoči trend srednjega pretoka (ni statistično značilen), kar se odraža tudi v naraščajočem trendu povprečnih pretokov Reke na postaji Trnovo v hladni polovici leta. Eno od vprašanj, na katerega ni jasnega odgovora, je, zakaj Bistrica in Reka na vodomerni postaji Trnovo kažeta naraščajoči trend srednjih mesečnih pretokov v hladni polovici leta, ko pa v njunih porečjih tako na letni kot sezonski ravni beležimo zniževanje višine padavin ter zviševanje izhlapevanja. Dopuščamo možnost, da je to lahko posledica napak merjenj na vodomernih postajah (sprememba oblike profila strug), kar pa je malo verjetno.

Eden od možnih vzrokov za povečevanje srednjih mesečnih pretokov Reke in Bistrice v hladni polovici leta je dvig povprečne temperature zraka, kar zaradi zmanjševanja padavin v obliki snega ter krajšega trajanja snežne odeje v povirju vpliva na zmanjšan učinek snežnega zadržka in večji odtok vode v hladni polovici leta. Toda primerjava hidrogramov Bistrice med obdobji 1989–2013 in 1958–1989 (Kovačič 2003) ne pokaže bistvene razlike v letnem pretočnem režimu med obdobjema; poleg prvega novembrskega se kot posledica taljenja snega pri obeh kaže tudi drugotni aprilski višek. Obenem kažejo zimski in zgodnje spomladanski meseci nadpovprečne srednje pretoke ter na referenčni vremenski postaji Ilirska Bistrica podpovprečne višine padavin. Na padajoči trend nekaterih značilnih mesečnih pretokov Bistrice v topli polovici leta vpliva tudi odvzem vode za oskrbo prebivalstva s pitno vodo, ki znaša približno 100 l/s (Kovačič in Ravbar 2016).



Slika 6: Prikaz trendov letnih višin padavin (mm/desetletje) na obravnavanih vremenskih postajah in povprečnih letnih pretokov (l/s na desetletje) obravnavanih vodotokov.

Statistično značilen naraščajoči trend povprečnih letnih visokih konic Reke na vodomerni postaji Trnovo priča o povečevanju pogostosti ekstremno visokih voda (sovpadanje taljenja snega v zaledju in obilnih padavin v obliki dežja), ki povzročajo poplave, medtem ko se na vodomerni postaji Cerkvenikov mlin povečevanje trenda visokih konic ne odraža tako izrazito. Vpliv zadrževalnikov Molja in Klivnik se kaže v naraščajočem trendu (ni statistično značilen) povprečnih letnih malih pretokov in nizkih konic Reke na vodomerni postaji Trnovo.

Analiza trenda značilnih pretokov rek jadranskega povodja v Sloveniji brez Posočja je pokazala prevladujoči statistično značilen padajoči trend srednjih letnih pretokov (slika 6) ter ponekod srednjih mesečnih pretokov. Zmanjševanje pretokov je posledica hkratnega zniževanja višin padavin ter zviševanja izhlapevanja. Prevladujoči padajoči trendi značilnih pretokov so dejstvo, ki ga moramo upoštevati pri trajnostnem upravljanju z vodnimi viri na območju.

5 Viri in literatura

- Arhiv meteoroloških podatkov, 2016. Medmrežje: <http://www.meteo.si/met/sl/> (1. 3. 2016).
- Cesar, P., Šraj, M. 2012: Evapotranspiracija: pregled vplivnih dejavnikov in metod izračuna. *Geografski vestnik* 84-2.
- De Luis, M., Čufar, K., Angel Saz, M., Alberto Longares, L., Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L. 2014: Trends in seasonal precipitation and temperature in Slovenia during 1951–2007. *Regional Environmental Change* 14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-012-0365-7>
- Frantar, P. (ur.) 2008: Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Ljubljana.
- Frantar, P. 2012: Temperaturni režimi rek v Sloveniji v obdobju 1976–1990 in spremembe režimov v obdobju 1991–2005. *Geografski vestnik* 84-2.
- GraphPad Software, 2016. Medmrežje: <http://graphpad.com/quickcalcs/statratio1/> (10. 1. 2016).
- Janža, M. 2010: Hydrological modelling in the karst area, Rižana spring catchment, Slovenia. *Environmental Earth Sciences* 61-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-009-0406-9>
- Jurko, M. 2009: Statistična analiza trendov značilnih pretokov slovenskih rek. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Kobold, M., Ulaga, F. 2010: Hidrološko stanje voda in podnebna spremenljivost. *Okolje se spreminja*. Ljubljana.
- Kovačič, G. 2003: Kraški izviri Bistrice (JZ Slovenija). *Annales, Series historia naturalis* 13-1.
- Kovačič, G., Brečko Grubar, V., Kolega, N. 2016: Vpliv podnebnih sprememb na količine vode in poplave morja v slovenski Istri. *Geografski vestnik* 88-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/GV88102>
- Kovačič, G., Ravbar, N. 2016: Characterisation of selected karst springs in Slovenia. *Karst Without Boundaries*. London.
- Kraner Šumenjak, T., Šuštar, V. 2011: Parametrični in neparametrični pristopi za odkrivanje trenda v časovnih vrstah. *Acta agriculturae Slovenica* 97-3.
- Krivic, P., Bricelj, M., Trišič, N., Zupan, M. 1987: Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane. *Acta carsologica* 16.
- Krivic, P., Bricelj, M., Zupan, M. 1989: Podzemne vodne zveze na področju Čičarije in osrednjega dela Istre (Slovenija, Hrvatska, NW Jugoslavija). *Acta carsologica* 18.
- Pavlič, U., Brenčič, M. 2011: Application of sequential trend analysis for discharge characterisation of Vipava karstic springs, Slovenia. *Acta carsologica* 40-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.3986/ac.v40i2.13>
- Podatki o karakterističnih mesečnih in letnih pretokih Rižane na vodomerni postaji Kubed II (obdobje 1966–2013), Badaševce na vodomerni postaji Šalara (obdobje 1994–2013), Dragonje na vodomerni postaji Podkaštel I (obdobje 1979–2013), Drnice na vodomerni postaji Pišine I (obdobje 1995–2013), Reke na vodomernih postajah Trnovo (obdobje 1985–2013) in Cerkvenikov mlin (obdobje 1952–2013) ter Bistrice na vodomerni postaji Ilirska Bistrica (obdobje 1989–2013). Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2015.

- Pregled homogeniziranih klimatoloških nizov, 2015. Medmrežje: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/time-series/> (25. 12. 2015).
- Sen, P. K. 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Tilgenkamp, A. 2011: Theil-Sen estimator. Medmrežje: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34308-theil-sen-estimator> (22. 12. 2015).
- Theil, H. 1950: A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences* 53.
- Toreti, A., Desiato, F. 2008a: Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology* 91, 1-4. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-006-0289-6>
- Toreti, A., Desiato, F. 2008b: Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years. *International Journal of Climatology* 28-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1576>
- Toreti, A., Fioravanti, G., Perconti, W., Desiato, F. 2009: Annual and seasonal precipitation over Italy from 1961 to 2006. *International Journal of Climatology* 29-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1840>
- Tošič, I., Zorn, M., Ortar, J., Unkašević, M., Gavrilov, M. B., Marković, S. B. 2016: Annual and seasonal variability of precipitation and temperatures in Slovenia from 1961 to 2011. *Atmospheric Research* 168. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.09.014>
- Trendi podnebnih spremenljivk in kazalcev, 2015. Medmrežje: <http://www.meteo.si/met/sl/climate/trends/> (25. 12. 2015).
- Trobec, T. 2012: Hidrogeografske značilnosti obalnega pasu in zaledja. *Geografija stika Slovenske Istre in Tržaškega zaliva*. Ljubljana.
- Uлага, F. 2002: Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek. Dela 18.
- Uлага, F., Kobold, M., Frantar, P. 2008: Analiza časovnih sprememb vodnih količin slovenskih rek. 19. Mišičev vodarski dan. Maribor.
- Vannest, K. J., Parker, R. I., Gonen, O. 2011: Single Case Research: web based calculators for SCR analysis. (Version 1.0). Medmrežje: <http://www.singlecaseresearch.org/calculators/theil-sen> (10. 1. 2016).

6 Summary: Discharge trends of the Adriatic Sea basin rivers in Slovenia, excluding the Soča river basin

(translated by Primož Kovačič)

Studies of long-term trends in different hydro-meteorological variables have been of high scientific interest for a long time. Various meteorological variables show obvious increasing and decreasing trends, which are reflected in changes in the characteristic discharges of rivers. In Slovenia, several studies concerning the statistical trend analysis of river discharges have already been performed, e.g. Uлага (2002), Frantar (2008), Uлага, Kobold and Frantar (2008), Jurko (2009), Kobold and Uлага (2010), Pavlič and Brenčič (2011), Trobec (2012), Kovačič, Brečko Grubar and Kolega (2016). In this study, we focused on the Adriatic Sea basin rivers in Slovenia, excluding the Soča river basin. In the paper, we study long-term variations in the Rižana, Dragonja, Badaševica, Drnica, Reka (two gauging stations) and Bistrica discharges, in relation to long-term variations in meteorological variables (precipitation, air temperature, evapotranspiration).

Based on analysed data recorded at meteorological stations in the study area over the past decades, we have confirmed the statistically significant trends of decreasing annual precipitation (36–61 mm per decade), increasing mean annual air temperature (0.32–0.34°C per decade) and increasing annual potential evapotranspiration (29–49 mm per decade). Changes in the values of the abovementioned climate elements are reflected in reduced runoff in the region, which is also confirmed by decreasing trends in the mean annual discharge of the Rižana, the Dragonja, the Badaševica, the Drnica and the Reka (the Cerkevnikov mlin gauging station) rivers. The decreasing trend is statistically significant only

for the Rižana (480 l/s per decade) and the Dragonja (160 l/s per decade). Increasing trends in the mean annual discharge of the Reka at the Trnovo gauging station (360 l/s per decade) and of the Bistrica (60 l/s per decade) are not statistically significant.

In the study, the significant trends of change in climate and hydrological variables were determined using the non-parametric Sen's slope test (the Theil-Sen estimator), which is the most commonly used non-parametric test for estimating linear time trends (Theil 1950; Sen 1968; Kraner Šumenjak and Šuštar 2011; Tilgenkamp 2011; Vannest, Parker and Gonen 2011; GraphPad Software 2016). The statistical significance of the trends was verified at a confidence interval of 95% ($\alpha=0.05$). The trend analysis was conducted for the longest available data series. We also calculated several other parameters, e.g. variation between the initial and final values of variables during the study period, differences between the mean values recorded in the latest 20-year period and those recorded over the entire study period. Seasonal precipitation, evapotranspiration and temperature figures were calculated for each station using the standard season definition, namely winter (DJF), spring (MAM), summer (JJA) and autumn (SON).

Data on total monthly and annual precipitation were used: for the period 1961–2013 (53 years) at the precipitation stations Portorož–Airport, Movraž, Rakitovec, Seča, Strunjan, Podgrad and Kozina, and for the period 1961–2011 (51 years) at the precipitation stations Podgorje pod Slavnikom and Ilirska Bistrica. Data on total monthly and annual potential evapotranspiration were used: for the period 1971–2010 (41 years) at the meteorological stations Kubed and Ilirska Bistrica, and for the period 1971–2013 (43 years) at the meteorological station Portorož–Airport. Data on average, maximum and minimum monthly and annual air temperatures for the meteorological stations Portorož–Airport (1961–2013, 53 years) and Ilirska Bistrica (1961–2011, 51 years) had been taken from the homogenised climatological time series and the archive of meteorological data, both available on the Slovenian Environment Agency's website (Arhiv ... 2015; Pregled ... 2015). The Podgrad and Kozina precipitation stations were included in the study, since they are referential for the Rižana river karstic catchment. Data on characteristic monthly and annual discharges recorded at the gauging stations Rižana–Kubed II (1966–2013, 48 years), Badaševica–Šalara (1994–2013, 20 years), Dragonja–Podkaštel I (1979–2013, 34 years), Drnica–Pišine I (1995–2013, 19 years), Reka–Trnovo (1985–2013, 29 years), Reka–Cerkvenikov mlin (1952–2013, 62 years) and Bistrica–Ilirska Bistrica (1989–2013, 25 years) had been obtained on the Slovenian Environment Agency's website (Podatki ... 2015). The discharge data sets of the Drnica and Badaševica rivers are rather too short to allow for the reliable detection of a long-term trend. Furthermore, the Badaševica river regime is influenced by the Vanganelško jezero water reservoir, situated in its headwaters. Similarly, the discharge regime of the Reka is influenced by the Klivnik and Molja reservoirs, situated in its upper course.

The decreasing trends in characteristic annual river discharges observed during the study period are the result of both a decrease in annual precipitation and an increase in annual air temperatures leading to an increase in annual evapotranspiration. The high values of linear correlation coefficients between different pairs of the studied meteorological and hydrological variables confirm mutual relationship. A high to very high statistically significant positive correlation was calculated between mean annual precipitation and discharges in the studied area. Slightly lower values of statistically significant negative correlation were calculated between mean annual evapotranspiration and discharges, and between mean annual temperature and discharges. High positive correlation values between mean annual air temperature and evapotranspiration confirm an important role of increased air temperatures in evapotranspiration.

The most noticeable is a decreasing trend in precipitation during the summer months, when also the most evident and statistically significant increase in evapotranspiration is recorded, both resulting in lower runoff values and consequently lower mean monthly discharges in the summer period when the need for water increases significantly (vegetation period, tourist season in Slovene Istria). In terms of drinking water supply, the statistically significant negative trends in the absolute minimum and mean

minimum discharges (from April to September) of the Rižana (spring), which is captured for the water supply of Slovene Istria, are of great concern.

The long-term changes in the annual and monthly characteristics of the Reka discharges (the Trnovo gauging station), whose mean annual values show an increasing trend, can be attributed to the influence of the Bistrica karst spring (river). At the Cerkevnikov mlin gauging station, which is situated in the lower course of the Reka, the influence of the Bistrica river and the Molja and Klivnik water reservoirs is less evident since the Reka has several tributaries (the Posrtvica, the Padež, the Mrzlek) up to this point. For the Bistrica, positive, but statistically insignificant trends were calculated for more than a half of the months, and these values are also reflected in increasing trends in several monthly discharges at the Trnovo gauging station at the Reka river. One of the possible causes of the increasing trend in the mean monthly discharges of both rivers in the colder period of the year might be an increase in air temperatures in the region. Higher temperatures mean less snow precipitation and a shorter snow residence time, which is reflected in increased runoff during the cold period of the year. The decreasing trend in the several characteristic monthly discharges of the Bistrica might be influenced also by the amounts of water captured for drinking water supply (around 100l/s).

The statistically significant increasing trend in the Reka (the Trnovo gauging station) absolute maximum discharges indicates an increasing trend in extreme high waters which cause flooding in the area (the coincidence of intense snow melting with high precipitation). The impact of the Molja and Klivnik water reservoirs is reflected in a statistically insignificant increasing trend in the absolute and mean minimum discharges of the Reka at the Trnovo gauging station.

The trend analysis of the characteristic discharges of the Adriatic Sea basin rivers, excluding the Soča river basin, showed prevailing statistically significant decreasing trends in the mean annual discharges, but also in the several mean monthly discharges of those rivers. The decrease in discharge values is primarily a consequence of the joint effect of decreasing precipitation and increasing evapotranspiration. Decreasing trends in characteristic river discharges are an important factor that must be considered very seriously in order to ensure the sustainable management of water resources in the region.

