

UDK/UDC: 556(282)(497.4)

Prejeto/Received: 21.05.2024

Izvirni znanstveni članek – *Original scientific paper*

Sprejeto/Accepted: 03.06.2024

DOI: [10.15292/acta.hydro.2024.04](https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2024.04)

Objavljeno na spletu/Published online: 08.01.2025

## ANALIZA REGIONALNE VODNATOSTI REK V SLOVENIJI

### ANALYSIS OF REGIONAL RIVER FLOWS IN SLOVENIA

Sašo Petan<sup>1,2</sup>, Maja Koprivšek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Jamova 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

#### Izvleček

Z namenom objektivne ocene regionalne vodnatosti rek smo opravili analizo, ki temelji na letnih, trimesečnih, sezonskih in mesečnih srednjih pretokih rek v Sloveniji v obdobju 1961–2023. Upoštevali smo podatke 87 vodomernih postaj in 15 regij, ki so razmejene in poimenovane v skladu s t. i. prognostično razdelitvijo Slovenije. Regionalno vodnatost rek smo ovrednotili za različne časovne intervale s površinsko obteženim standardiziranim indeksom pretoka rek oz. kazalnikom *RSI*. Ugotovitve analize nakazujejo izrazite spremembe medletne porazdelitve pretokov rek v Sloveniji in stopnjevanje neobičajnih razmer vodnatosti rek, zlasti sušnih. Kot ekstremno mokri sta bili izpostavljeni leti 1965 in 2014, kot ekstremno suhi pa 2003 in 2011. Med regijami izstopa Obala s štirimi ekstremno suhimi leti, ki so nastopila po letu 2010. Po letu 1992 se je skupno število sezon s sušnimi razmerami v Sloveniji več kot podvojilo, večina sušnih pomladi pa se je nadaljevala v sušna poletja. V istem obdobju se je povprečno število sušnih poletij na regijo najmanj početerilo, med najbolj izpostavljenimi regijami pa so Kočevska, Notranjska, Savinjska, Spodnjeposavska in Obala. Po letu 1992 se je število sušnih epizod v Sloveniji povečalo za več kot 50 %, njihovo trajanje pa se je skoraj podvojilo: delež časa s prisotnostjo sušnih ali mokrih epizod je tako postal prevladujoč.

**Ključne besede:** regionalna vodnatost rek, standardizirani indeks pretoka rek, kazalniki, sušne in mokre epizode, sezonskost, Slovenija.

#### Abstract

To comprehensively evaluate regional river flows in Slovenia over the period of 1961–2023, we conducted a detailed analysis encompassing average annual, trimonthly, seasonal, and monthly river discharge data from 87 hydrological stations across 15 regions. These regions are delineated and named according to the prognostic division of Slovenia. By employing the area-weighted standardized stream flow index (*RSI*), we assessed the regional river flows across various time intervals. Our findings show notable shifts in the interannual distribution of river flows, particularly an increase in anomalous conditions, notably dry ones. The years 1965 and 2014 were highlighted as extremely wet, and 2003 and 2011 as extremely dry. Among the regions, Obala stands out with four extremely dry years that occurred after 2010. We observed a doubling in the occurrence of dry seasons across Slovenia after 1992, with the majority of dry springs extending into dry summers.

---

<sup>1</sup> Stik / Correspondence: [saso.petan@gov.si](mailto:saso.petan@gov.si)

© Petan S., Koprivšek M.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0](#).

© Petan S., Koprivšek M.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 Licence](#).

Furthermore, the average number of dry summers per region quadrupled at least during this period, highlighting Kočevska, Notranjska, Savinjska, Spodnjeposavska, and Obala as particularly exposed regions. Additionally, the incidence of drought episodes after 1992 increased by over 50%, with their duration nearly doubling. Consequently, the proportion of time with the presence of drought or wet episodes became dominant.

**Keywords:** regional river flows, standardized streamflow index, indicators, drought and wet episodes, seasonality, Slovenia.

## 1. Uvod

Podnebna spremenljivost vpliva na različne vidike okolja, med drugim tudi na vodne vire. Pri ugotavljanju podnebnih razmer in sprememb se zato izvajajo tudi analize hidroloških spremenljivk. Osnova tovrstnih analiz so dolgoletni časovni nizi padavin, izhlapevanja in pretokov rek, ki so pridobljeni neposredno z meritvami ali posredno z bolj ali manj kompleksnimi izračuni, tudi modelskimi. Slednji so zlasti nepogrešljivi pri ocenah prihodnjih podnebnih razmer, ki temeljijo na različnih projekcijah toplogrednih izpustov. Tovrstni izračuni podnebnih modelov so na voljo na globalni in regionalni ravni (Diez-Sierra et al., 2022), z dodatnimi prilagoditvami pa tudi na ravni posameznih držav ali porečij, ki praviloma vsebujejo tudi rezultate za površinski odtok padavin kot elementa vodne bilance (C3S, 2019). Za nadaljnje ocene prihodnje vodnatosti rek pa so potrebni dodatni izračuni s hidrološkimi modeli, ki so najpogosteje zasnovani kot modeli porečij.

Izhodišče analize, ki je predstavljena v tem prispevku, je bila želja po objektivni oceni vodnatosti rek v Sloveniji na osnovi znanih pretokov v preteklosti. Pri tem smo želeli uporabiti takšno metodo, ki bi omogočala vrednotenje vodnatosti rek za poljubno regijo (npr. za celotno območje Slovenije ali posamezno regijo znotraj Slovenije) in poljuben časovni okvir (npr. leto, sezona ali mesec), obenem pa bi bila potencialno uporabna tudi pri oceni prihodnje vodnatosti rek. Sorodno, a v izhodišču metodološko drugačno analizo sezonske in prostorske spremenljivosti pretokov rek v Sloveniji so opravili Kostevc et al. (2022). V tem prispevku s pojmom vodnatost rek označujemo hidrološke razmere, o katerih lahko sklepamo na osnovi pretokov rek in se nanašajo na z vodo obilna (ali mokra) in na z vodo skromna (suha) obdobja daljšega trajanja. S takšno izbiro

želimo preseči vrednotenje izrednih hidroloških razmer nekajdnevnega trajanja, npr. ob posameznih poplavnih dogodkih.

Vrednotenje suhih obdobj z uporabo t. i. kazalnikov, ki temeljijo na rečnih pretokih, je ustaljena praksa (WMO in GWP, 2016). Petek (2014) in Petek et al. (2014) podajajo analizo kazalnikov nizkih pretokov rek za večji nabor vodomernih postaj v Sloveniji. Cunja (2019) in Cunja et al. (2020) podajajo časovno in prostorsko analizo največjih hidroloških suš v Sloveniji z metodo praga. Zalokar (2018) in Zalokar et al. (2021) na temelju podrobne analize predlagajo uporabo dveh kazalnikov za sprotno spremljanje hidrološke suše v Sloveniji. V okviru Kazalcev okolja v Sloveniji se hidrološka suša površinskih voda vrednoti na letni in polletni ravni (Petan in Koprivšek, 2022).

Primerov istosmiselnega vrednotenja mokrih obdobj je izrazito manj. To je razumljivo s stališča posledic ob mokrih obdobjih, ki ni nujno, da so negativne, kot tudi s stališča pogostosti in jakosti sušnih obdobj, ki se v preteklih desetletjih stopnjujejo zlasti v Sredozemlju in srednji Evropi (Ionita in Nagaciuc, 2021). Kot primer vrednotenja splošne vodnatosti rek lahko izpostavimo letno rečno bilanco (Ulaga, 2022), ki jo najdemo med Kazalci okolja v Sloveniji.

V nadaljevanju prispevka predstavljamo analizo, ki temelji na srednjih mesečnih pretokih rek v Sloveniji v obdobju 1961–2023 in kazalniku regionalne vodnatosti rek. Interpretacija rezultatov analize je bila opravljena po klasifikaciji vrednosti kazalnika in opredelitvi sklenjenih obdobj oz. epizod s suhimi in mokrimi hidrološkimi razmerami.

## 2. Metode

### 2.1 Časovni nizi pretokov

Izhodišče za analizo so bili nizi dnevni pretokov z vodomernih postaj v Sloveniji, ki se hranijo v hidrološkem arhivu Agencije RS za okolje (ARSO, 2023). Za obdobje od leta 1961 do 2023 so bili izračunani srednji mesečni, srednji trimesečni, srednji sezonski in srednji letni pretoki. Razlika med obravnavanimi trimesečji in sezonami je le v izhodiščnem mesecu. Trimesečja povzemajo četrtine posameznega koledarskega leta in se začenjajo z meseci januar, april, julij in oktober. Po drugi strani pa se sezone začenjajo z meseci december, marec, junij in september in tako povzemajo meteorološki pogled na letne čase. Izračuni srednjih pretokov med letoma 1961 in 2021 so temeljili na verificiranih oz. končno kontroliranih in obdelanih podatkih, za leti 2022 in 2023 pa na surovih podatkih, ki so bili podvrženi zgolj prvi stopnji kontrole.

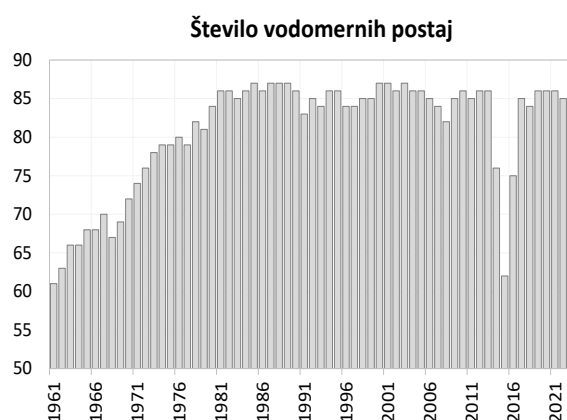
### 2.2 Izbor vodomernih postaj

Kriteriji za izbor vodomernih postaj so bili enaki kot pri izračunu že omenjenega kazalca hidroloških suš površinskih voda (Petan in Koprivšek, 2022). Z namenom zagotovitve čimbolj konsistentnega nabora vodomernih postaj so bili kriteriji naslednji:

- vodomerna postaja je praviloma delovala leta 1981,
- vodomerna postaja ima znano prispevno površino, večjo od 20 km<sup>2</sup>,
- podatkovni niz pretokov med letoma 1961 in 2019 je bil dolg vsaj 40 let.

Tako je pri izračunu kazalnika vodnatosti rek sodelovalo 87 različnih vodomernih postaj iz merilne mreže ARSO. V primeru izpada delovanja posamezne vodomerne postaje zgolj za en mesec je bila ta izključena iz izračuna pripadajočega letnega, trimesečnega ali sezonskega kazalnika. Slika 1 prikazuje število upoštevanih vodomernih postaj pri izračunu letnega kazalnika vodnatosti rek v obravnavanem obdobju. Razviden je bistven padec števila vodomernih postaj med letoma 2014 in 2016, ko je v okviru projekt BOBER potekala

nadgradnja in posodobitev merilne mreže ARSO (Sluga in Hočevar, 2013).

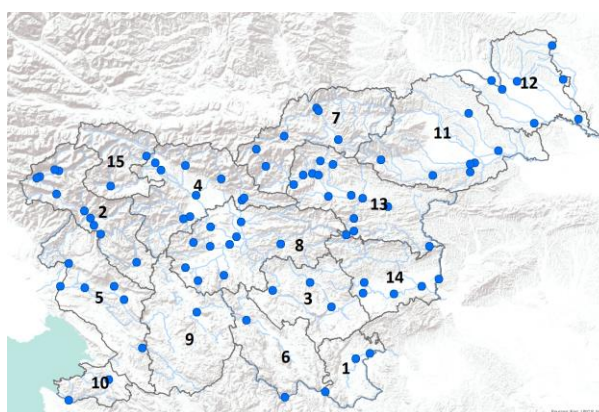


*Slika 1: Število vodomernih postaj, ki so bile v posameznem letu upoštevane pri izračunu letnega kazalnika vodnatosti rek.*

*Figure 1: The number of river gauging stations considered in the calculation of the annual streamflow index in a particular year.*

### 2.3 Regije

Kazalnik vodnatosti rek je bil izračunan za celotno območje Slovenije in tudi za 15 slovenskih regij (slika 2), ki so razmejene in poimenovane v skladu s t. i. prognostično razdelitvijo Slovenije. Regije so bile opredeljene ob snovanju orodja Sušomer (Dolinar et al., 2021).



*Slika 2: Obravnavane slovenske regije in izbor vodomernih postaj (vir podlage: Esri, USGS, NOAA).*

*Figure 2: Considered Slovenian regions and the selection of river gauging stations (Background source: Esri, USGS, NOAA).*

Vsaki regiji pripadajo najmanj dve in največ 13 vodomernih postaj (preglednica 1). Pri tem so bile posamezne vodomerne postaje (npr. Kraše Dreta, Vrhnika Ljubljana, Cerkevnikov mlin Reka, Gorenja Gomila Krka in Sodevci Kolpa) pripisane gorvodno ležeči regiji, saj večji del njihovega prispevnega območja leži zunaj regije, h kateri bi sicer pripadale glede na lokacijo posamezne vodomerne postaje.

**Preglednica 1:** Obravnavane regije in število pripadajočih vodomernih postaj.

**Table 1:** Considered regions and the number of associated river gauging stations.

n	ime regije	število vodomernih postaj
1	Belokranjska	2
2	Bovška	10
3	Dolenjska	4
4	Gorenjska	9
5	Goriška	5
6	Kočevska	3
7	Koroška	7
8	Ljubljana in okolica	8
9	Notranjska	3
10	Obala	2
11	Podravska	7
12	Pomurska	7
13	Savinjska	13
14	Spodnjeposavska	4
15	Zgornjesavska	3

## 2.4 Kazalnik vodnatosti rek

Izhodišče za izračun kazalnika regionalne vodnatosti rek je bil izračun kazalnikov vodnatosti rek na posameznih vodomernih postajah po metodi dveh uveljavljenih hidroloških kazalnikov, ki se povečini uporabljata za vrednotenje hidrološke suše (WMO in GWP, 2016). To sta standardizirani indeks pretoka (*angl. Standardized StreamFlow Index*) *SSFI* (ponekod tudi *SSI*) in sušni indeks pretoka (*angl. Streamflow Drought Index*) *SDI*, ki se med seboj metodološko oz. računsko ne razlikujeta. Po vzoru standardiziranega

padavinskega indeksa (*angl. Standardized Precipitation Index*) *SPI* je prvega vpeljal Modarres (2007), drugega pa Nalbantis in Tsakiris (2009). Tako so bili za vsako vodomerno postajo *i* in časovni interval *k* izračunani mesečni, trimesečni, sezonski in letni kazalniki vodnatosti rek *SSFI<sub>i,k</sub>*:

$$SSFI_{i,k} = \frac{Q_{i,k} - mQ_{i,k}}{sQ_{i,k}} \quad (1)$$

kjer je  $Q_{i,k}$  srednji pretok v intervalu *k*,  $mQ_{i,k}$  in  $sQ_{i,k}$  pa sta povprečna vrednost  $Q_{i,k}$  in pripadajoči standardni odklon v obravnavanem obdobju.

Pred izračunom *SSFI<sub>i,k</sub>* je bila preverjena normalnost porazdelitve obravnavanih pretokov s testom Kolmogorov-Smirnov pri stopnji značilnosti 0,05. Pri posameznih vodomernih postaj normalna porazdelitve pretokov ni bila potrjena. Zato so bili nizi pretokov preoblikovani v logaritemske nize podatkov, ki so na vseh postajah izkazali normalno porazdelitev.

## 2.5 Kazalnik regionalne vodnatosti rek

Za prehod iz ocen kazalnikov na posameznih vodomernih postajah *SSFI<sub>i,k</sub>* na oceno kazalnika regionalne vodnatosti rek *RSI<sub>k</sub>* je bil uporabljen pristop površinskega obteževanja (Ozkaya in Zerberg, 2019):

$$RSI_k = \frac{\sum_i SSFI_{i,k} \times A_i}{\sum_i A_i} \quad (2)$$

kjer je  $A_i$  vmesna prispevna površina oz. hidrometrično zaledje vodomerne postaje *i*, ki pripada obravnavani regiji.

Klasifikacija vrednosti kazalnika regionalne vodnatosti rek *RSI* (preglednica 2) je bila izvedena na enak način, kot sta jo opravila Ceglar in Kajfež - Bogataj (2008) pri kazalniku *SPI*, saj je tudi izračun obeh kazalnikov v izhodišču opravljen na enak način. Interpretacija rezultatov oz. razredov kazalnika *RSI* je v razpravi opravljena za celotno obravnavano obdobje, z namenom ugotavljanja sprememb v času pa tudi za prvo (1961–1992) in drugo polovico (1993–2023) obravnavanega obdobja.

**Preglednica 2:** Klasifikacija vrednosti kazalnika regionalne vodnatosti rek *RSI*.

**Table 2:** Classification of the regional streamflow index (*RSI*) values.

RSI	razred kazalnika
2,00 ali več	ekstremno mokro
1,50 do 1,99	zelo mokro
1,00 do 1,49	zmerno mokro
0 do 0,99	običajno mokro
-0,99 do 0	običajno suho
-1,49 do -1,00	zmerno suho
-1,99 do -1,50	zelo suho
-2,00 ali manj	ekstremno suho

## 2.6 Sušne in mokre epizode

Na osnovi izračunanih mesečnih *RSI* ( $RSI_m$ ) so bila identificirana sklenjena obdobja s suhimi in mokrimi hidrološkimi razmerami oz. sušne in mokre epizode, kot so imenovana v nadaljevanju. Pri tem je bila opredelitev sušnih in mokrih epizod privzeta vzporedno z definicijo suše na osnovi kazalnika *SPI* (McKee et al., 1993). Sušna epizoda se prične, ko vrednost kazalnika *RSI* doseže vrednost -1 ali manj, konča pa se s pozitivno vrednostjo *RSI*. Podobno se mokra epizoda prične, ko vrednost kazalnika *RSI* doseže vrednost 1 ali več, konča pa se z negativno vrednostjo *RSI*. V nadaljevanju sta bila določena tudi trajanje in jakost obravnavanih epizod. Jakost oz. stopnja *EM* sušne oz. mokre epizode pa se določi kot vsota kazalnikov regionalne vodnatosti rek  $RSI_m$  v obdobju trajanja  $j$ :

$$EM = \sum_j RSI_m \quad (3)$$

Tako imajo sušne epizode negativno, mokre pa pozitivno vrednost *EM*.

## 3. Rezultati in razprava

### 3.1 Letni kazalnik regionalne vodnatosti rek

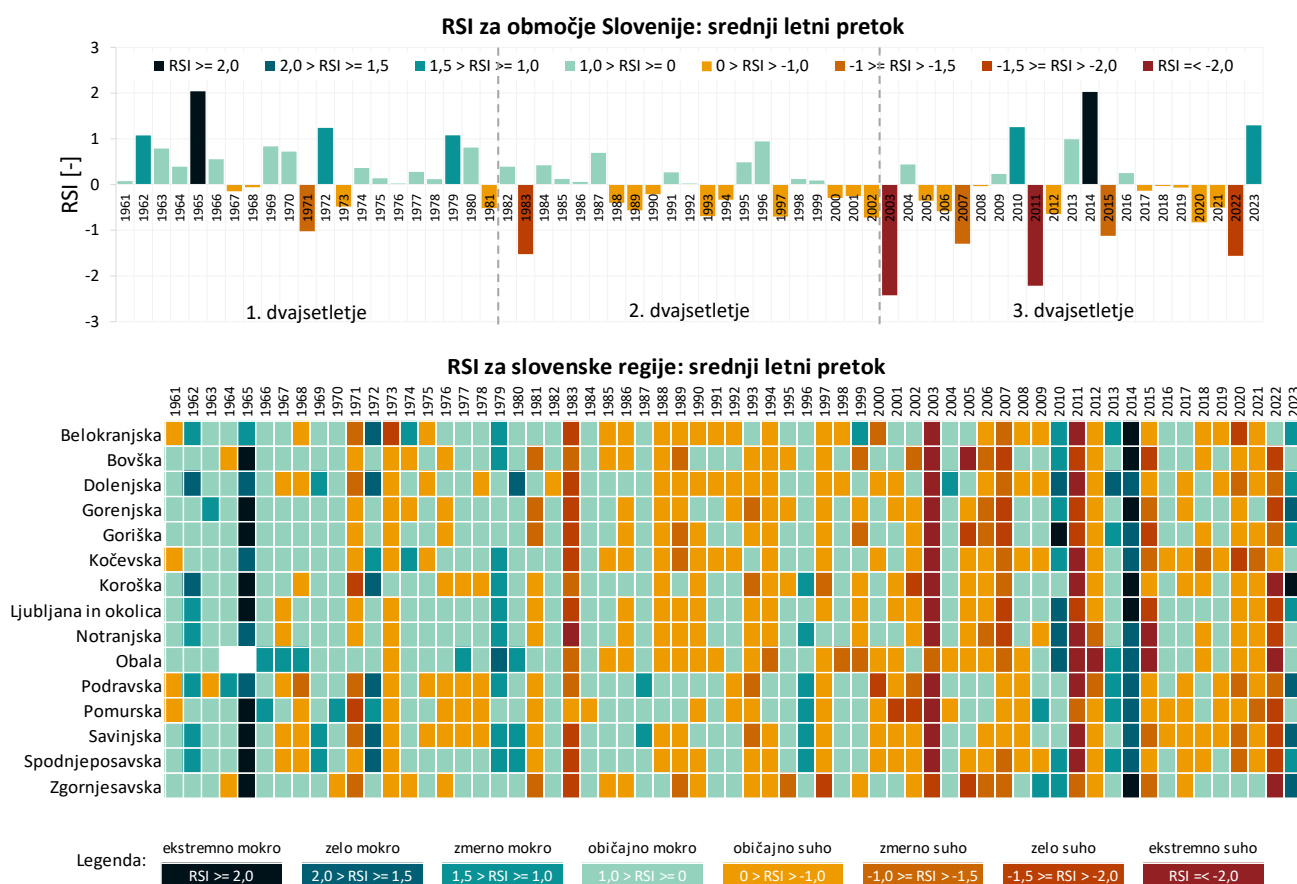
Vrednosti kazalnika regionalne vodnatosti rek (*RSI*) za območje Slovenije, ki so izračunani na osnovi srednjih letnih pretokov, so prikazane na sliki 3, zgoraj. Uvrstitev posameznih let glede na vrednosti letnega kazalnika *RSI* v razrede, skladno s klasifikacijo v preglednici 2, je prikazana v preglednici 3. Med neobičajna leta (vrednost *RSI* manjša od -1 ali večja od 1) se je uvrstilo 14 let oz. 22 % let v obdobju 1961–2023, sedem mokrih in sedem suhih. Kot ekstremno mokri izstopata 1965 in 2014, kot ekstremno suhi pa 2003 in 2011, kar sovпада z ugotovitvami Dornika (2016) na temelju izračunanih dvanajstmesečnih kazalnikov padavin (*SPI*) v obdobju (1950–2014).

**Preglednica 3:** Uvrstitev posameznih let med razrede kazalnika regionalne vodnatosti rek (*RSI*).

**Table 3:** Classification of individual years among the regional streamflow index (*RSI*) classes.

razred <i>RSI</i>	leta
ekstremno mokro	1965 in 2014
zelo mokro	-
zmerno mokro	1962, 1972, 1979, 2010, 2023
običajno mokro	27 posameznih let
običajno suho	22 posameznih let
zmerno suho	1971, 2007, 2015
zelo suho	1983 in 2022
ekstremno suho	2003 in 2011

Razredi letnega kazalnika *RSI* za 15 slovenskih regij so prikazani na sliki 3, spodaj. V vseh regijah so se pojavila ekstremno suha leta, ekstremno mokra leta pa le v 10 regijah. Izjeme pri razredu ekstremno mokro so štiri regije v južni polovici države (Dolenjska, Kočevska, Notranjska, Obala), ki vsebujejo porečja z izrazito kraškimi značajem, in tudi Podravje. Regija Koroška izstopa s po tremi ekstremno suhimi in mokrimi leti ter s parom nasprotujočih si ekstremov v letih 2022 in 2023. Izstopata tudi regiji Notranjska in Obala s po štirimi ekstremno suhimi leti, ki so v regiji Obala nastopili v letih 2011, 2012, 2015 in 2022.



**Slika 3:** Letne vrednosti kazalnika regionalne vodnatosti rek (RSI) za območje Slovenije (zgoraj) in letni razredi RSI za 15 slovenskih regij (spodaj).

**Figure 3:** Annual values of the regional streamflow index (RSI) for the total area of Slovenia (above) and annual RSI classes for 15 Slovenian regions (below).

Če obravnavamo obdobje 1961–2023 približno razdelimo na tri zaporedna dvajsetletja, lahko za območje Slovenije (slika 3, zgoraj) posplošimo, da so v prvem dvajsetletju prevladovala mokra leta, v drugem običajna, tako suha kot mokra leta, v tretjem pa suha leta. Posebnost zadnjega dvajsetletja je tudi ta, da so leta z neobičajnimi razredi RSI, tako mokrimi kot suhimi, nastopala pogosteje.

### 3.2 Mesečni, trimesečni in sezonski kazalniki regionalne vodnatosti rek

Razredi kazalnika RSI za območje Slovenije, ki so izračunani na osnovi srednjih mesečnih, trimesečnih in sezonskih pretokov, so prikazani za sliki 4. Mesečni kazalniki RSI (slika 4, zgoraj) kot ekstremno mokra meseca izpostavijo dva primera, februar 2014 in avgust 2023, kot ekstremno suhe mesece pa osem primerov: januar 1989, marec

1993, 2012 in 2022, april 2020, junij 2003, oktober 1985 in november 1978. Značilno je, da so izpostavljeni mokri ekstremi kot tudi suhi ekstremi v pomladno-poletnem času nastopili po letu 1992, suhi ekstremi v jesensko-zimskem času pa pred letom 1992.

Trimesečni kazalniki RSI (slika 4, na sredini) kot ekstremno suha trimesečja izpostavijo tri primere, prvo trimesečje (JFM) leta 2012 ter drugo (AMJ) in tretje (JAS) trimesečje leta 2003. Zelo suhih trimesečij je 10 in jih večina nastopi po letu 1993. Nasprotno so zelo mokra trimesečja le štiri, ekstremno mokrih trimesečij pa ni.

Nekoliko drugače zastavljeni trimesečni oz. sezonski kazalniki RSI (slika 4, spodaj) predhodno opisano sliko še dopolnijo oz. predrugačijo. Ekstremno suhih sezon je pet (dve več kot je ekstremno suhih trimesečij), ki so nastopile pozimi

(DJF) leta 1989, spomladi (MAM) leta 1993, poleti (JJA) 2003 in 2022 ter jeseni (SON) leta 1971. Zelo suhih sezon je 11 (ena več kot je zelo suhih trimesečij), ki prav tako povečini nastopijo po letu 1993. Zelo mokrih sezon je šest (dve več kot zelo mokrih trimesečij), ekstremno mokrih sezon pa ni (prav tako kot ni ekstremno mokrih trimesečij).

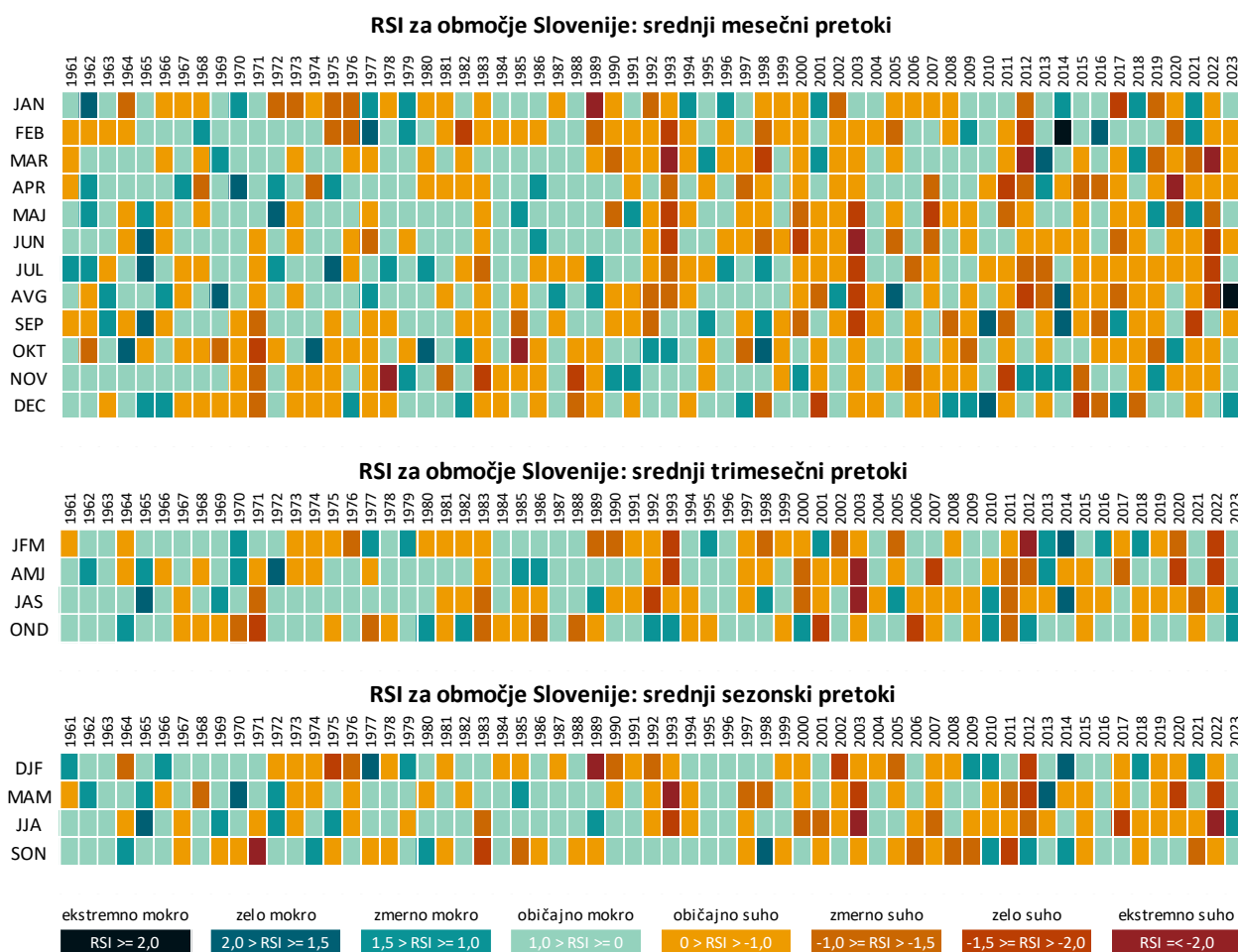
Primerjava sovpadajočih trimesečnih in sezonskih kazalnikov RSI na sliki 4 (npr. primerjava razredov kazalnika za drugo trimesečje s kazalnikom za drugo sezono v istem letu) razkrije, da se v veliki večini primerov pripadajoča razreda razlikujeta za eno stopnjo, v posameznih primerih pa tudi za dve stopnji. Tako sklepamo, da opredelitev trimesečij oz. sezon značilno vpliva na izračunane vrednosti kazalnika RSI in posledično na splošno vrednotenje večmesečne vodnatosti rek. Nazoren primer je primerjava števila poletnih trimesečij (JAS) in

poletnih sezon (JJA) z zmerno, zelo ali ekstremno suhim razredom kazalnika RSI od leta 1993 naprej: trimesečja so štiri, sezon pa je osem.

**Preglednica 4:** Število sezon z razredom kazalnika RSI zmerno, zelo ali ekstremno suho za območje Slovenije.

**Table 4:** Number of seasons with RSI index of moderate, severe, or extreme dry class for the area of Slovenia.

sezona	1961–2023	1961–1992	1993–2023
zima (DJF)	9	6	3
pomlad (MAM)	9	1	8
poletje (JJA)	9	1	8
jesen (SON)	8	3	5



**Slika 4:** Mesečni (zgoraj), trimesečni (na sredini) in sezonski (spodaj) razredi kazalnika regionalne vodnatosti rek (RSI) za območje Slovenije (zgoraj).

**Figure 4:** Monthly (top), three-month (middle), and seasonal (bottom) classes of the regional streamflow index (RSI) for the total area of Slovenia.

V nadaljevanju smo se osredotočili na sezonski pojav sušnih razmer. Pri tem smo izhajali iz izračunanih sezonskih kazalnikov *RSI* (slika 4, spodaj). Povzetek rezultatov je prikazan v preglednici 4. V celotnem obravnavanem obdobju (1961–2023) so sezone s sušnimi razmerami, oz. z razredom kazalnika *RSI* zmerno, zelo ali ekstremno suho, praktično enakomerno porazdeljene med letnimi časi (zima, pomlad, poletje, jesen). Če obravnavamo obdobje razdelimo na dve polovici (1961–1992 in 1993–2023), pa je porazdelitev sezon s sušnimi razmerami zelo pestra. Do leta 1992 so se sušne razmere najpogosteje pojavljale pozimi, v povprečju približno enkrat v petih letih, in jeseni, enkrat v desetih letih. Pomladne in poletne sezone s sušnimi razmerami so bile redke, le enkrat v 30 letih. Po letu 1992 se je skupno število sezon s sušnimi razmerami več kot podvojilo. Število zim s sušnimi razmerami se je prepolovilo (ena v desetih letih), število sušnih jeseni se je skoraj podvojilo (ena v šestih letih), največja sprememba pa je v številu sušnih pomladi in poletij, ki se je povečalo za faktor osem (ena v štirih letih).

V obdobju do leta 1992 so se posamezne sezone s sušnimi razmerami praviloma nadaljevale s sezono z običajnimi (suhimi ali mokrimi) razmerami, le v enem primeru od 11, leta 1983 (slika 4, spodaj), pa se je sušno poletje stopnjevalo v sušno jesen. Po letu 1992 je bilo takšnih primerov šest (od skupno 24 sušnih sezon), in sicer v letih 1993, 2003, 2011, 2012 (dvakrat) in 2022. Pri tem je večina, štirje od šestih, primerov takšnih, da se je sušna pomlad nadaljevala v sušno poletje. Značilno je tudi dejstvo, da je v vseh primerih z mesečnim kazalnikom *RSI* za mesec marec v razredu ekstremno suho (slika 4, zgoraj) nastopila sušna pomlad, ki se je nadaljevala v sušno poletje.

V enem od primerov se je celo vzpostavila veriga štirih zaporednih sušnih sezon, od jeseni 2011 do vključno poletja 2012, ki se je zaključila s prehodom v zmerno mokro jesen 2012. To je tudi edini primer neposrednega prehoda iz sušnih v mokre razmere, mimo običajnih razmer, v celotnem obravnavanem obdobju. Tudi obraten prehod se je zgodil zgolj enkrat: iz zmerno mokrih razmer jeseni 1974 v zelo suhe razmere pozimi 1975.

**Preglednica 5:** Število poletnih sezon z razredom kazalnika *RSI* zmerno, zelo ali ekstremno suho za 15 slovenskih regij.

**Table 5:** Number of summer seasons with *RSI* index of moderate, severe, or extreme dry class for 15 Slovenian regions.

regija	1961–1992	1993–2023
Belokranjska	1	9
Bovška	1	9
Dolenjska	2	7
Gorenjska	2	5
Goriška	2	8
Kočevska	1	10
Koroška	2	7
Ljubljana in okolica	2	7
Notranjska	2	9
Obala	0	9
Podravska	1	6
Pomurska	1	8
Savinjska	2	9
Spodnjeposavska	2	9
Zgornjesavska	4	6

Na osnovi izračunanih razredov kazalnika *RSI* v poletni sezoni (slika 5) smo analizirali tudi pojav poletne suše v 15 slovenskih regijah (preglednica 5). V celotnem obravnavanem obdobju (1961–2023) beležimo od sedem do enajst poletnih sezon s sušnimi razmerami, najmanj v regijah Gorenjska in Podravska, največ pa v regijah Kočevska, Notranjska, Savinjska in Spodnjeposavska. V prvi polovici obravnavanega obdobja (1961–1992) v povprečju beležimo eno do dve, v drugi polovici (1993–2023) pa osem sušnih poletnih sezon na regijo. Po letu 2010 izstopajo tri prej že omenjene regije, Kočevska, Notranjska in Savinjska, s petimi do šestimi sušnimi poletnimi sezonami. Izstopa tudi regija Obala, zlasti ker ima štiri (2012, 2015, 2017 in 2022) od šestih sušnih poletnih sezon po letu 2010 pripadajoči razred kazalnika *RSI* ekstremno suho. Po tem kriteriju regiji Obala sledi Dolenjska z dvema ekstremno sušnima poletnima sezonama, v ostalih 13 regijah pa je bila po letu 2010 takšna kvečjemu ena poletna sezona.



O stopnjevanju poletnih sušnih razmer v Sloveniji poročajo tudi Cvelfer Domadenik et al. (2023). Na temelju analize srednjih dnevni pretokov so avtorji ugotovili, da se po letu 1980 povečuje število dni s suhimi strugami rek, ki praviloma nastopijo med junijem in oktobrom.

### 3.3 Trajanje in jakost sušnih in mokrih epizod

Na osnovi mesečnih razredov kazalnika *RSI* je bilo v celotnem obravnavanem obdobju (1961–2023) identificiranih 51 sušnih in 57 mokrih epizod na območju Slovenije (slika 6). Skupno trajanje sušnih epizod znaša 163 mesecev, mokrih epizod pa 180 mesecev. Če obravnavano obdobje razdelimo na dve polovici (1961–1992 in 1993–2023), pa dobimo podrobnejšo sliko o nastopu sušnih in mokrih epizod (preglednica 6).

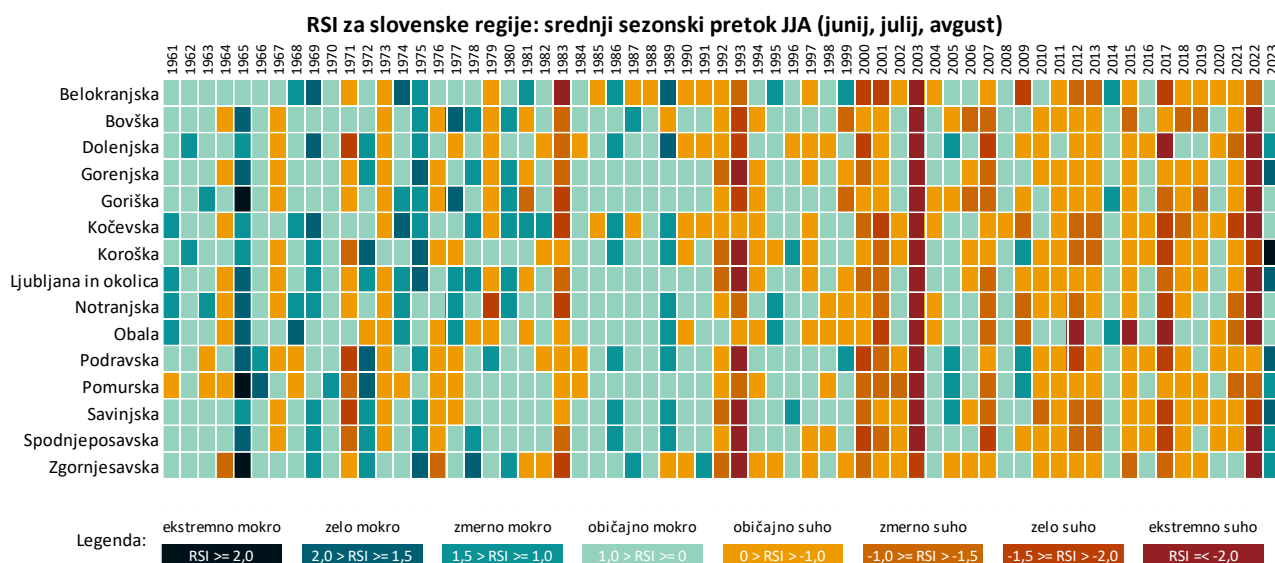
Po letu 1992 se je število sušnih epizod povečalo za več kot 50 %, povprečno trajanje posamezne sušne epizode pa se je skoraj podvojilo, z dobrih dveh na slabe štiri mesece. V istem obdobju se je število mokrih epizod zmanjšalo za 10 %, njihovo povprečno trajanje pa se je ohranilo na okoli tri mesece. Tako se je po letu 1992 delež časa s prisotnostjo sušnih ali mokrih epizod povečal za približno 40 %. Podobno ugotavlja tudi Dornik (2016), ki na temelju 9-mesečnega in 12-mesečnega padavinskega kazalnika *SPI* poroča o pogostejših sušah in sušah z večjo jakostjo po letu 1988.

**Preglednica 6:** Število sušnih (DE) in mokrih (WE) epizod, njihovo skupno trajanje v mesecih in delež časa v obravnavanem obdobju s sušnimi ali mokrimi epizodami za območje Slovenije

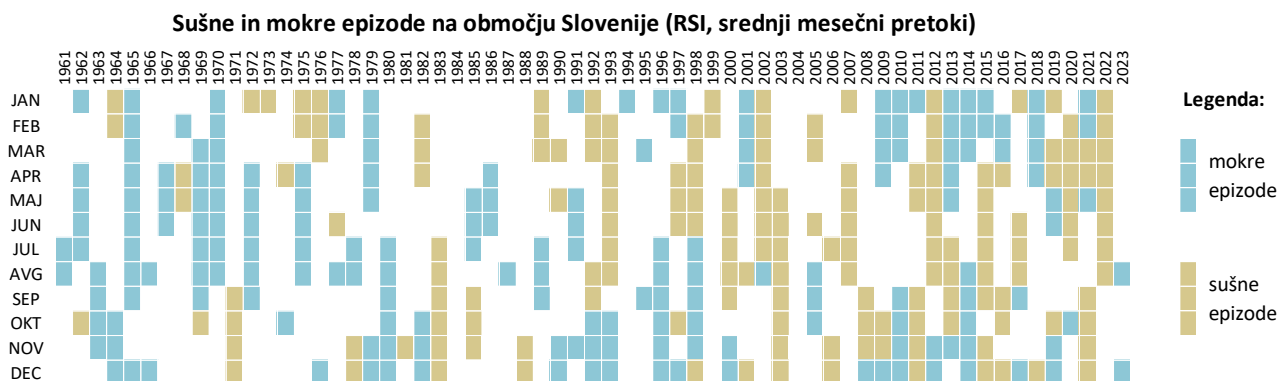
**Table 6:** The number of dry (DE) and wet (WE) episodes, their total duration in months, and the proportion of time in the considered period with dry or wet episodes for the total area of Slovenia

značilnosti	1961–1992	1993–2023
število DE	20	31
skupno trajanje DE	46	117
število WE	30	27
skupno trajanje WE	99	81
delež časa z DE ali WE	38 %	53 %

Jakost in trajanje posameznih epizod sta prikazana na sliki 7, pogostost epizod glede na njihovo trajanje in jakost pa na sliki 8. Najdaljša sušna epizoda v obdobju 1961–1992 je trajala šest mesecev, delež sušnih epizod s trajanjem več kot tri mesece pa je bil 15 %. V obdobju 1993–2023 se je trajanje sušnih epizod stopnjevalo: najdaljša sušna epizoda je trajala 12 mesecev, delež sušnih epizod s trajanjem več kot šest mesecev je bil 16 %, s trajanjem več kot tri mesece pa 35 % (slika 8, zgoraj levo).

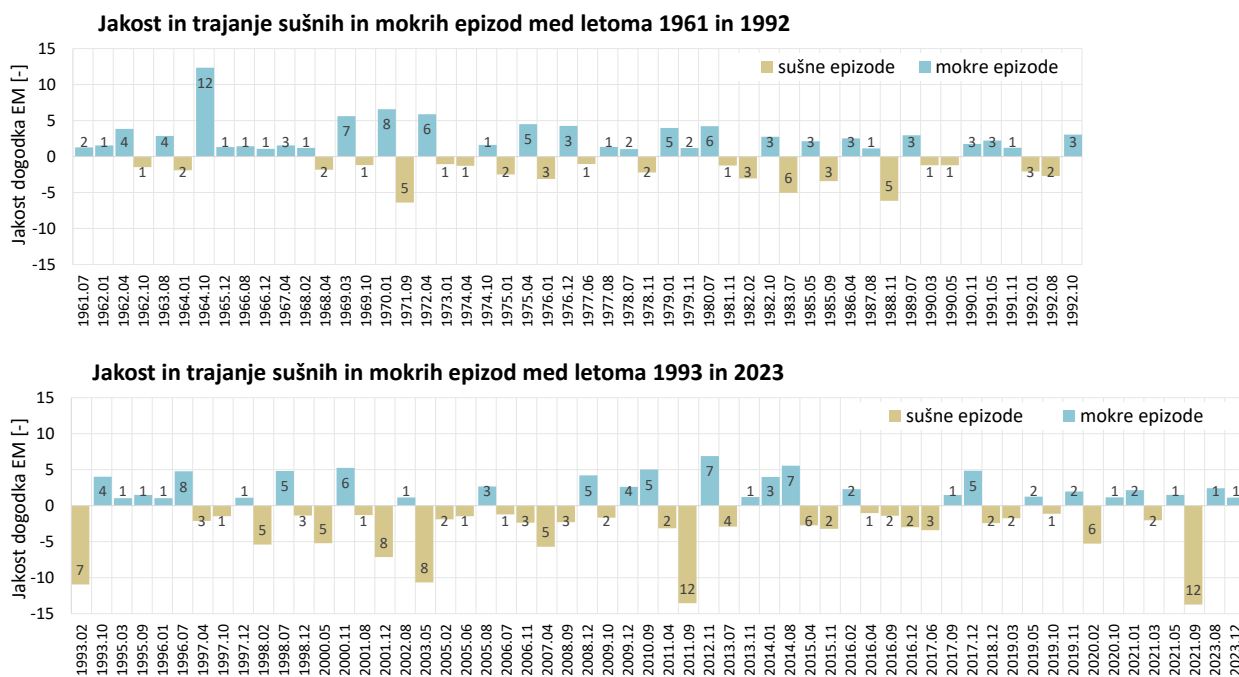


**Slika 5:** Poletni (JJA) razredi kazalnika regionalne vodnatosti rek (*RSI*) za 15 slovenskih regij.  
**Figure 5:** Summer (JJA) classes of the regional streamflow index (*RSI*) for 15 Slovenian regions.



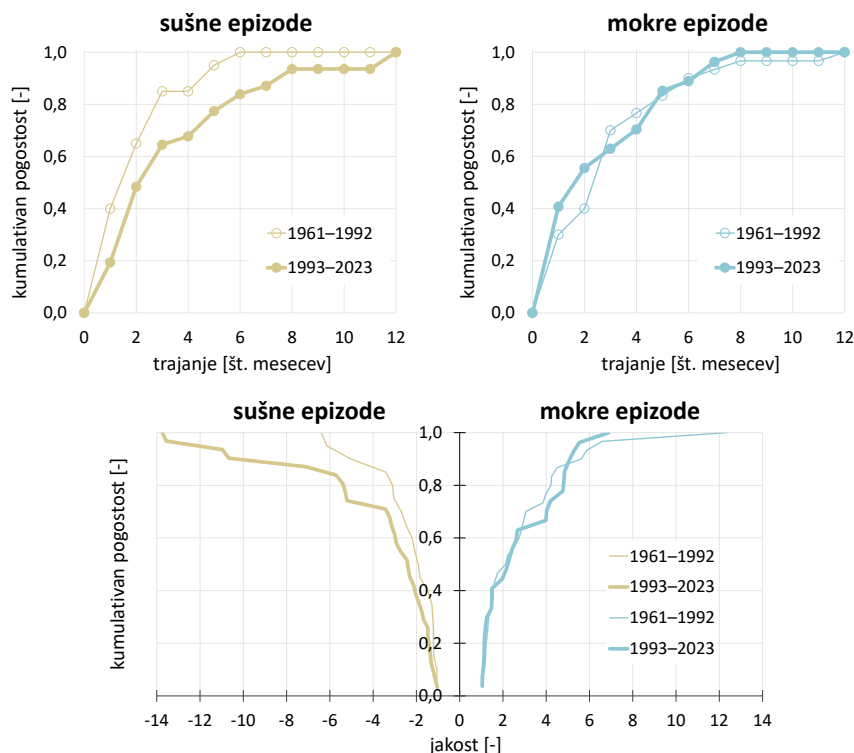
**Slika 6:** Identifikacija sušnih in mokrih epizod na osnovi mesečnih razredov kazalnika regionalne vodnatosti rek (RSI) za območje Slovenije.

**Figure 6:** Identification of drought and wet episodes based on the monthly regional streamflow index (RSI) classes for the total area of Slovenia.



**Slika 7:** Jakost in trajanje sušnih in mokrih epizod med letoma 1961 in 1992 (zgoraj) in med letoma 1993 in 2023 (spodaj). Na x-osi sta označena leto in mesec začetka epizod, ob zgornjem robu stolpcev pa trajanje posamezne epizode v mesecih.

**Figure 7:** Magnitude and duration of drought and wet episodes between 1961 and 1992 (top) and between 1993 and 2023 (bottom); The year and the month of episodes onset are marked on the x-axis and the duration of each episode in months is indicated at the upper edge of the columns.



**Slika 8:** Pogostost sušnih in mokrih epizod glede na njihovo trajanje (zgoraj) in jakost (spodaj).

**Figure 8:** Frequency of drought and wet episodes according to their duration (top) and magnitude (bottom).

Spremembe pri trajanju mokrih epizod med prvim (1961–1992) in drugim (1993–2023) tridesetletjem so manj izrazite. Najdaljša mokra epizoda je prvem tridesetletju trajala 12 mesecev, v drugem osem mesecev. Pri tem se je delež mokrih epizod s trajanjem več kot tri mesece povečal s 30 % na 35 %, s trajanjem več kot šest mesecev pa s 10 % na 11 % (slika 8, zgoraj desno).

Jakost tako mokrih kot suhih epizod je močno korelirana s trajanjem epizod. Delež sušnih epizod z absolutno jakostjo večjo od pet (oz. deset) je bil v prvem tridesetletju 15 % (oz. 0 %), v drugem pa 29 % (oz. 13 %). Delež mokrih epizod z jakostjo večjo od pet (oz. deset) je bil v prvem tridesetletju 13 % (oz. 3 %), v drugem pa 15 % (oz. 0 %).

#### 4. Zaključki

Z uvedbo kazalnika regionalne vodnatosti rek *RSI* in njegovo klasifikacijo smo opravili objektivno analizo vodnatosti rek v Sloveniji in v 15 slovenskih regijah na osnovi letnih, trimesečnih, sezonskih in mesečnih srednjih pretokov rek v obdobju 1961–2023. Analiza letnih kazalnikov *RSI* za

območje Slovenije je v skrajnih razredih izpostavila štiri leta: 1965 in 2014 kot ekstremno mokri, 2003 in 2011 pa kot ekstremno suhi leti. Razredi letnih kazalnikov *RSI* za 15 slovenskih regij s stališča ekstremov v mokrem spektru precej sovpadajo z razredi letnih kazalnikov za območje Slovenije, v suhem spektru pa izstopa zlasti regija Obala s štirimi ekstremno suhimi leti, ki so nastopili po letu 2010. V splošnem so v prvem dvajsetletju obravnavanega obdobja prevladovala mokra leta, v drugem običajna, v tretjem pa suha leta. Posebnost zadnjega dvajsetletja je tudi ta, da so leta z neobičajnimi mokrimi in suhimi razredi kazalnika *RSI* nastopala pogosteje.

Analiza sezonskih kazalnikov *RSI* za območje Slovenije je pokazala, da so se sušne razmere v prvi polovici obravnavanega obdobja (1961–1992) oz. do leta 1992 najpogosteje pojavljale pozimi, po letu 1992 pa spomladi in poleti. Za drugo polovico obravnavanega obdobja (1993–2023) je značilno, da se je skupno število sezon s sušnimi razmerami več kot podvojilo, kot tudi to, da se je večina sušnih pomladi nadaljevala v sušna poletja. Sezonska analiza za 15 slovenskih regij je pokazala, da sta

poletni suši najmanj izpostavljeni Gorenjska in Podravska regija, največ pa Kočevska, Notranjska, Savinjska, Spodnjeposavska in v zadnjem času tudi Obala. Pri tem se je število sušnih poletnih sezon na regijo v povprečju povečalo z ene do dveh v prvi polovici obravnavanega obdobja na osem v drugi polovici obravnavanega obdobja.

Z analizo mesečnih razredov kazalnika *RSI* je bilo za območje Slovenije v obravnavanem obdobju identificiranih 108 sušnih ali mokrih epizod s trajanjem od enega do 12 mesecev. Za drugo polovico obravnavanega obdobja so značilne zlasti izrazite spremembe pri sušnih epizodah: njihovo število se je povečalo za več kot 50 %, trajanje pa se je skoraj podvojilo. Delež časa s prisotnostjo sušnih ali mokrih epizod se je po letu 1992 povečal za približno 40 % in tako postal prevladujoč.

Vse omenjene ugotovitve nakazujejo na izrazite spremembe medletne porazdelitve pretokov rek v Sloveniji in stopnjevanje neobičajnih razmer vodnatosti rek, zlasti sušnih. S tega stališča so prilagoditve na spremenjene razmere nujne, zlasti s sistemskimi ukrepi na področju upravljanja voda v Sloveniji, ki bi blažili obe plati ekstremnih hidroloških razmer (Humar in Šimic, 2015).

Na koncu velja izpostaviti, da vrednosti kazalnika *RSI* za posamezno leto, sezono ali mesec niso neodvisne od obravnavanega obdobja analize. S ponovitvijo analize vodnatosti rek v prihodnje, ob upoštevanju časovnih nizov pretokov za dodatna leta ali desetletja, se lahko interpretacija regionalne vodnatosti rek glede na razrede kazalnika *RSI* za posamezna obdobja spremeni. Ob metodoloških omejitvah samega kazalnika *RSI* velja poudariti, da je bila pričujoča analiza osredotočena predvsem na izstopajoče časovne vzorce in tako izvedena le v omejenem obsegu. Tako se analiza vodnatosti rek v posameznih slovenskih regijah ni dotaknila vseh podrobnosti, ki jih omogoča zastavljeni koncept regij in intervalov časovne analize. Obenem so se med izvedbo analizo porodile tudi ideje za drugačne regionalne pristope, na primer na osnovi topografskih in geoloških značilnosti (npr. alpski svet, kraško-dinarski svet), ki bi bili primerni tudi za dopolnitev ocene prihodnje vodnatosti rek na osnovi podnebnih projekcij do konca 21. stoletja (Bertalanich et al., 2018).

## Viri

ARSO (2023). Arhiv hidroloških podatkov Agencije RS za okolje.

Bertalanich, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., Lokošek, N., Medved, A., Vertačnik, G., Vlahović, Ž., Žust, A. (2018). Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja sintezno poročilo – prvi del. [WWW Document]. URL [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 8. 4. 2024).

Ceglar, A., Kajfež-Bogataj, L. (2008). Obravnava meteorološke suše z različnimi indikatorji. *Acta Agriculturae Slovenica*, **91-2**, 407–425.

Copernicus Climate Change Service (C3S). (2019). CORDEX regional climate model data on single levels. <https://doi.org/10.24381/CDS.BC91EDC3>.

Cunja, J. (2019). Časovna in prostorska analiza največjih hidroloških suš v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana. UL FGG, 53 str.

Cunja, J., Kobold, M., Šraj, M. (2020). Analiza primanjkljaja odtoka po metodi praga na primeru treh vodomernih postaj v Sloveniji. *Acta hydrotechnica* **33** (59), 113–127. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2020.08>.

Cvelfer Domadenik, J., Šraj, M., Kobold, M. (2023). Analiza presušitve rek v Sloveniji. *Acta hydrotechnica*. **36** (65), 123–137. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2023.08>.

Diez-Sierra, J., Iturbide, M., Gutiérrez, J. M., Fernández, J., Milovac, J., Cofiño, A. S., Cimadevilla, E., Nikulin, G., Levavasseur, G., Kjellström, E., Bülow, K., Horányi, A., Brookshaw, A., García-Díez, M., Pérez, A., Baño-Medina, J., Ahrens, B., Alias, A., Ashfaq, M., Bukovsky, M., Buonomo, E., Caluwaerts, S., Chou, S. C., Christensen, O. B., Ciarlò, J. M., Coppola, E., Corre, L., Demory, M.-E., Djurdjevic, V., Evans, J. P., Fealy, R., Feldmann, H., Jacob, D., Jayanarayanan, S., Katzfey, J., Keuler, K., Kittel, C., Kurnaz, M. L., Laprise, R., Lionello, P., McGinnis, S., Mercogliano, P., Nabat, P., Önl, B., Öztürk, T., Panitz, H.-J., Paquin, D., Pieczka, I., Raffaele, F., Remedio, A. R., Scinocca, J., Sevault, F., Somot, S., Steger, C., Tangang, F., Teichmann, C., Termonia, P., Thatcher, M., Torma, C., van Meijgaard, E., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., Winger, K., Zittis, G. (2022). The Worldwide C3S CORDEX Grand Ensemble: A Major Contribution to Assess Regional Climate Change in the IPCC AR6 Atlas. *Bulletin of the American Meteorological Society* **103**(12), E2804–E2826. <https://doi.org/10.1175/bams-d-22-0111.1>.

- Dolarin, M., Golob, A., Gregorič, G., Habič, B., Hladnik Zakotnik, V., Klančar, M., Medved, A., Moderc, A., Pavlič, U., Petan, S., Puškarič, M., Souvent, P., Sušnik, A., Vlahović, Ž., Žun, M., Žust, A. (2021). Sušomer. 32. Mišičev vodarski dan, 2021. Vodnogospodarski biro Maribor. Zbornik referatov, 216–223.
- Dornik, M. (2016). Standardizirani padavinski indeks – izračun in analiza za Slovenijo. Diplomsko delo. Ljubljana, UL FGG, 155 str.
- Humar, N., Šimic, J. (2015). Zadrževalniki, pregrade in okoljski vidiki: možno sožitje ali izključujoče dejstvo. Mišičev vodarski dan, 2015. Vodnogospodarski biro Maribor. Zbornik referatov, 303–312.
- Ionita, M., Nagavciuc, V. (2021). Changes in drought features at the European level over the last 120 years. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **21**(5), 1685–1701. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1685-2021>.
- Kostevc, L., Kobold, M., Šraj, M. (2022). Analiza sezonske in prostorske spremenljivosti značilnih pretokov rek v Sloveniji. *Acta hydrotechnica*. **35** (62), 57–74. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2022.05>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179–184.
- Modarres, R. (2007). Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **21**, 223–233. <https://doi.org/10.1007/s00477-006-0058-1>.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, **23**(5), 881–897. <https://doi.org/10.1007/s11269-008-9305-1>.
- Ozkaya, A., Zerberg, Y. (2019). A 40-Year Analysis of the Hydrological Drought Index for the Tigris Basin, Turkey. *Water* **11**(4), 657. <https://doi.org/10.3390/w11040657>.
- Petan, S., Koprivšek, M. (2022). Kazalci okolja: Hidrološka suša površinskih vod. Agencija RS za okolje. [WWW Document]. URL <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/hidroloska-susa-povrsinskih-vod> (Pridobljeno 8. 4. 2024).
- Petek, M. (2014). Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, UL FGG, 68 str.
- Petek, M., Kobold, M., Šraj, M. (2014). Analiza nizkih pretokov vodotokov v Sloveniji z uporabo programa R in paketa lfstat. *Acta hydrotechnica* **27**(46), 13–28.
- Sluga, G., Kočevar, H. (2013). Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji – projekt BOBER. 24. Mišičev vodarski dan, 2013. Vodnogospodarski biro Maribor. Zbornik referatov, 188–192.
- Uлага, F. (2022). Kazalci okolja: Letna rečna bilanca. Agencija RS za okolje. [WWW Document]. URL <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/letna-recna-bilanca-8?tid=16> (Pridobljeno 8. 4. 2024).
- World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP) (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices. Ženeva: 45 str.
- Zalokar, L. (2018). Izbira sušnega indeksa za razglasitev hidrološke suše površinskih voda v Sloveniji. Magistrsko delo. Ljubljana, UL FGG, 66 str.
- Zalokar, L., Kobold, M., Šraj, M. (2021). Investigation of Spatial and Temporal Variability of Hydrological Drought in Slovenia Using the Standardised Streamflow Index (SSI). *Water*, **13**(22), 3197. <https://doi.org/10.3390/w13223197>.