

# ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV SLOVENSКИH VODOTOKOV

## Analysis of Flood Waves in Slovenian Water Courses

Alja Horvat\*, Nejc Bezak\*\*, Mojca Šraj\*\*\* UDK 556.16.047(497.4)

Povzetek Abstract

Analiza posameznih elementov visokovodnih valov je le eden izmed korakov k nadgradnji razumevanja številnih medsebojno povezanih hidroloških procesov, kot so poplave, suše in ekstremni padavinski dogodki. V študiji smo z izbranimi geografskimi značilnostmi 50 hidrološko heterogenih porečij na območju Slovenije raziskovali povezanost posameznih elementov visokovodnih valov, kot so konice pretokov, prostornine ter časi trajanja visokovodnih valov, pri čemer smo v analizah upoštevali več kot za 2500 let dnevni vrednosti podatkov o pretokih. Ugotovili smo, da so posamezne spremenljivke, ki določajo visokovodni val, odvisne od nekaterih geografskih značilnosti vodomernih postaj.

Analysis of individual elements of flood waves is only one of the steps towards a better understanding of several dependent hydrological processes, such as floods, droughts or extreme rainfall events. The study examines a correlation between peak discharges, flood wave volumes and durations, and the data obtained from 50 hydrological heterogeneous watersheds in Slovenia. In total, more than 2,500 years of daily discharge data have been analyzed. The findings suggest that individual variables which define the flood wave depend on certain geographical characteristics of the selected gauging stations.

### Uvod

Količina vode v vodotoku je funkcija baznega odtoka, površinskega odtoka, medtoka in padavin, ki padejo neposredno v strugo vodotoka. Bazni odtok v sušnem obdobju je večinoma edini vir napajanja vodotoka, ob poplavah oziroma visokovodnih dogodkih pa je njegov delež pogosto precej manjši od površinskega odtoka. Delež baznega odtoka se v sušnem obdobju in ob visokovodnih konicah lahko določi z meritvami izotopov različnih kemijskih elementov (Kovačič, 2012). Take meritve so redke, niso zvezne, poleg tega je njihova cena razmeroma visoka. Zato se v praksi za izločanje baznega odtoka najpogosteje uporabljajo različni filtri ali grafične metode. A. Horvat (2014) je povzela nekatere metode za izločanje baznega odtoka, ki so v svetovni hidrološki praksi pogosto uporabljene. Če hočemo ustrezno ovrednotiti oziroma analizirati posamezne elemente visokovodnih dogodkov (konica pretoka, prostornina in čas trajanja vala), moramo najprej izločiti bazni odtok (Šraj

in Bezak, 2013). Šraj in Bezak (2013) sta predstavila postopek analiz visokovodnih valov, ki so pogoj za zanesljivo izvedbo verjetnostnih analiz, pri katerih kot rezultat dobimo povezavo med ocenjenimi vrednostmi spremenljivk oziroma projektnimi vrednostmi ter povratnimi dobami, kar je pogosto cilj številnih praktičnih študij in dimenzioniranja hidrotehničnih objektov (Karmakar in Simonovic, 2007).

Slovenija je hidrološko zelo raznolika, o čemer pričča pet pretočnih režimov (Frantar in Hrvatina, 2005), ki jih najdemo na nekaj več kot 20.000 km<sup>2</sup> oziroma na hidrološki mreži skupne dolžine 26.000 km (Mikoš, 2007). Ker poplave povzročijo več kot 10 odstotkov škode zaradi naravnih nesreč (Zorn in Komac, 2011), nas je v raziskavi zanimalo, kakšne so odvisnosti med posameznimi elementi visokovodnih valov in ali so te vrednosti v kakršni koli povezavi z izbranimi geografskimi značilnostmi obravnavanih porečij (nadmorska višina postaje, prispevna površina, lokacija postaje, letna količina padavin). Proučili pa smo tudi prostorske značilnosti teh povezav.

\* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, alja.horvat89@gmail.com

\*\* Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana, nejc.bezak@fgg.uni-lj.si

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

### Podatki

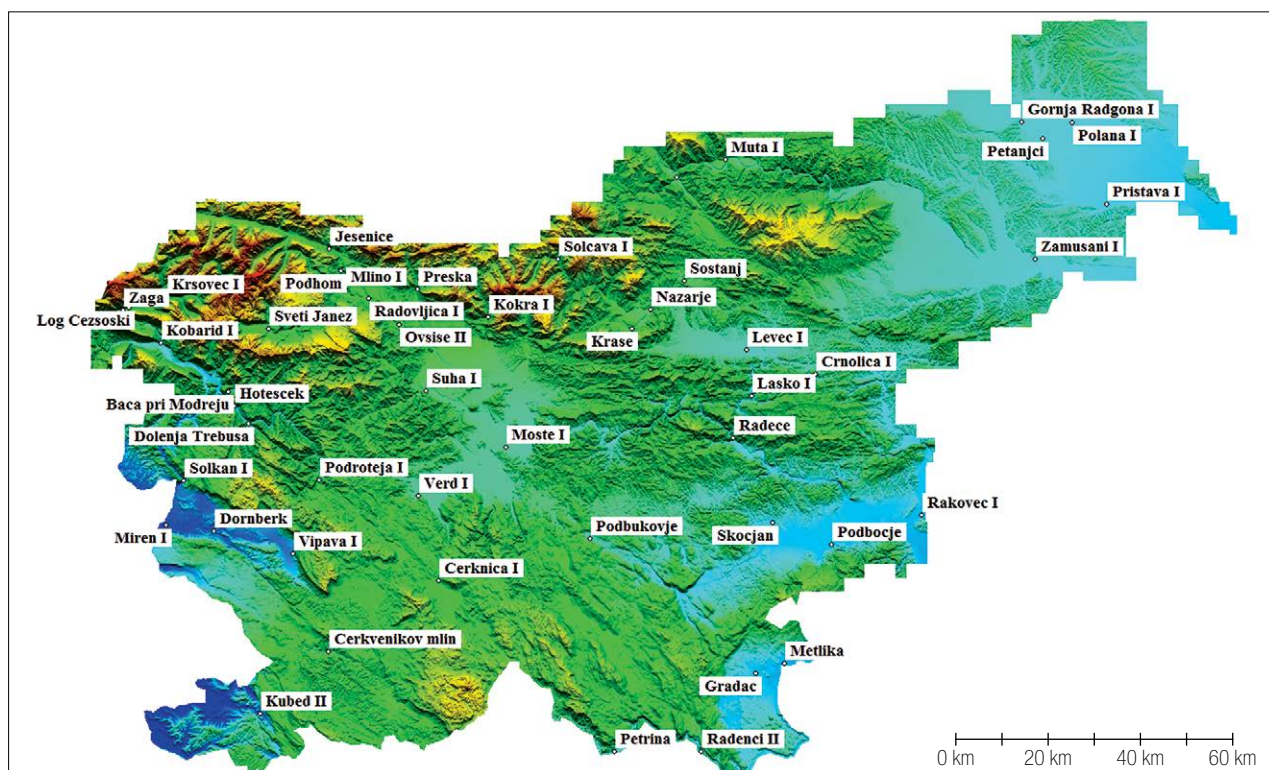
Za analize visokovodnih valov smo uporabili podatke, ki jih ima na voljo Agencija RS za okolje (ARSO, 2013). Uporabili smo dnevne vrednosti pretokov s 50 vodomernih

postaj s prispevno površino med 9 in 10.391 km<sup>2</sup>, na njih povprečno obdobje meritev za vseh pet porečij presega 55 let, kar pomeni, da je bilo v študiji obravnavanih več kot 2500 let dnevni vrednosti pretokov (preglednica 1). Slika 1 na karti Slovenije prikazuje izbrane vodomerne postaje, z nje je razvidno, da so izbrane postaje razporejene po vsej Sloveniji. Vemo, da v vzhodnem delu države lahko na leto pričakujemo tudi manj kot 900 mm padavin, v zahodnem delu Slovenije pa lahko letna količina preseže 3000 mm. Povprečna letna količina padavin torej pada od zahoda proti vzhodu Slovenije. Ker smo želeli v analizah čim bolj zanesljivo oceniti povezave med posameznimi elementi visokovodnih valov, smo se osredotočili predvsem na postaje, na katerih imamo na voljo sorazmerno dolge serije meritev in se meritve še vedno izvajajo oziroma so se še leta 2010, ki smo ga določili kot končno leto naših nizov podatkov. Po teh

merilih je bilo na koncu izbranih 45 postaj (pet je bilo takih, na katerih so se opazovanja končala pred letom 2010). Večina izbranih postaj je v porečju reke Save (28), sledijo postaje porečja Soče (18), precej manj pa jih je v porečju Drave (3), Mure (4) in v povodju jadranskih rek z morjem (2) (preglednica 1).

## Metode

Visokovodne valove smo izbrali po metodi letnih maksimumov (Šraj in sod., 2012), torej smo na podlagi največjih konic pretokov izbrali največje dogodke posameznega leta. Za začetek in konec dogodka smo določili točko, na kateri je bazni odtok enak površinskemu. Za izločanje baznega odtoka visokovodnih valov smo uporabili paket *lfstat* (Koffler in Laaha, 2014) v programu R, ki omogoča



Slika 1: Lega izbranih vodomernih postaj  
Figure 1: Location of the selected gauging stations.

Porečje	Drava	Mura	Sava	Soča	Povodje jadranskih rek
število postaj	3	4	28	13	2
najnižja nadmorska višina [m. n. m.]	201	170	127	37	58
povprečna nadmorska višina [m. n. m.]	287	189	333	213	200
najvišja nadmorska višina [m. n. m.]	334	202	636	405	342
povprečna dolžina niza [leta]	60	58	66	61	62
najmanjša prispevna površina [km <sup>2</sup> ]	147	208	9	50	205
povprečna prispevna površina [km <sup>2</sup> ]	392	5267	773	352	291
največja prispevna površina [km <sup>2</sup> ]	551	10.391	7084	1573	378

Preglednica 1: Prikaz nekaterih temeljnih geografskih značilnosti izbranih vodomernih postaj

Table 1: Some basic geographical characteristics of the selected gauging stations.

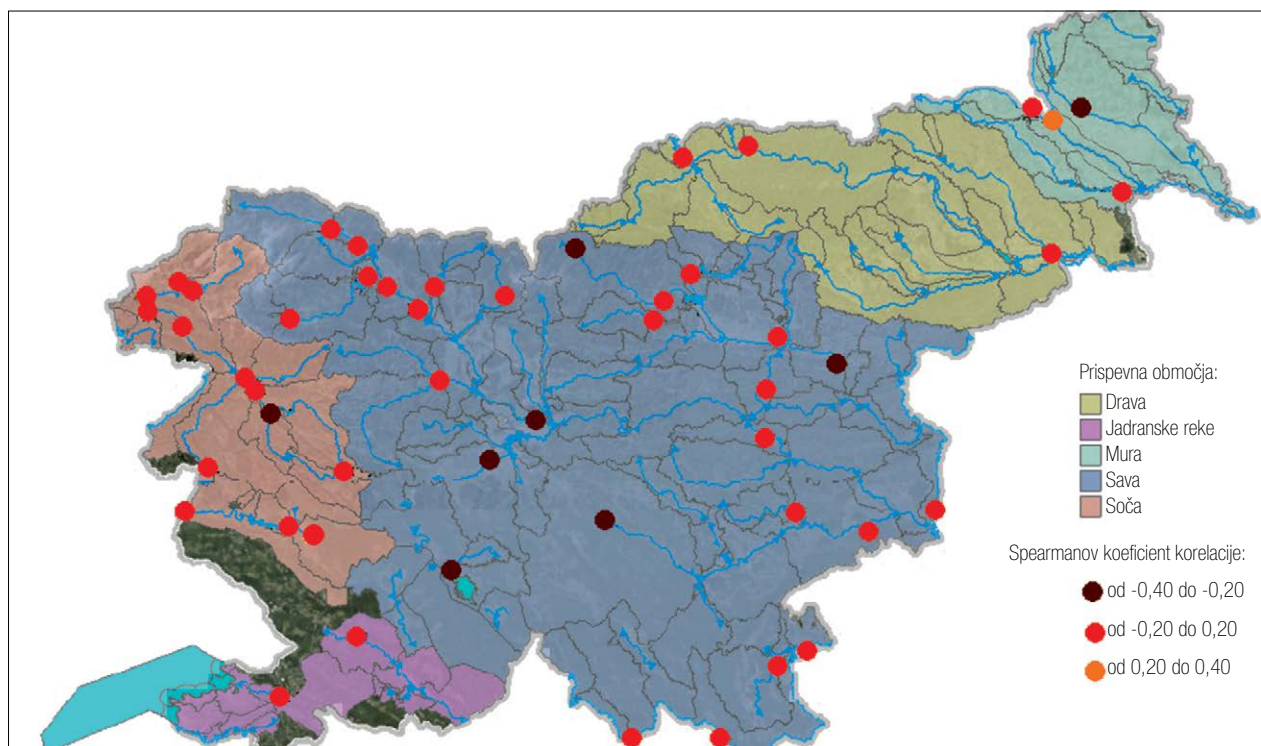
samodejno izločanje baznega odtoka po metodi BFI. V nadaljevanju smo izračunali prostornine in trajanje visokovodnih valov (Horvat, 2014). Pri računu prostornine visokovodnih valov smo uporabili le površinski del odtoka (Šraj in Bezak, 2013; Horvat, 2014). Za izločanje baznega odtoka smo uporabili metodo filtriranja, zato nismo imeli težav z zagotavljanjem neodvisnosti dogodkov, ki se večinoma pojavi pri grafičnih metodah izločanja baznega odtoka (Šraj in Bezak, 2013).

Za vsako postajo smo nato za celotno obdobje meritev izračunali odvisnost med posameznimi spremenljivkami, ki določajo visokovodni val. Tako smo izračunali Spearmanov koeficient korelacije, ki opisuje povezanost dveh ali več spremenljivk (Brilly in Šraj, 2005) za te pare podatkov, in sicer konice pretokov in prostornine valov, konice pretokov in trajanje valov ter prostornine valov in trajanje valov. Za vsak koeficient korelacije smo izračunali tudi p-vrednost, ki nam pove, ali je korelacija statistično značilna z izbrano stopnjo značilnosti. Na izračunano p-vrednost pa vpliva tudi velikost obravnavanega vzorca, torej dolžina niza. Za vsako postajo smo tako določili tri vrednosti koeficienta korelacije, za vsak par podatkov eno. Nato pa smo ugotavljali, ali obstaja odvisnost med izračunanimi Spearmanovimi koeficienti korelacije in izbranimi geografskimi značilnostmi vodomernih postaj oziroma prispevnih površin. Osredotočili smo se na nadmorsko višino postaje, prispevno površino vodomerne postaje, lokacijo postaje (koordinate) ter letno količino padavin. Za analizo teh odvisnosti smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije, ki opisuje linearno povezanost dveh ali več spremenljivk (Brilly in Šraj, 2005).

## Rezultati in analiza

### Odvisnost med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov

Slika 2 prikazuje razrede izračunanih Spearmanovih koeficientov korelacije med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov. Korelacija le pri dveh postajah (Verd na reki Ljubiji ter Cerknica na reki Cerkniščici) ni bila statistično značilna z izbrano stopnjo značilnosti (0,05). Preglednica 2 prikazuje nekatere opisne statistike izračunanih Spearmanovih koeficientov korelacije, pri katerih je treba poudariti, da ima na izračune opisnih statistik vpliv tudi število postaj, ki smo jih obravnavali v nekem porečju. Kljub temu je na podlagi rezultatov mogoče narediti nekaj sklepov. Za vodomerne postaje z alpskim snežno-dežnim režimom (Frantar in Hrvatina, 2005), med katere lahko štejemo večino postaj v porečju Drave, Mure, zgornje Save, Savinje in Soče v zgornjem toku, je značilna razmeroma velika povezanost med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov. Za vse te vodotoke je značilno, da je velik del njihovega porečja v visokogorju, kjer je taljenje snega pomemben hidrološki proces. Prav tako ima veliko teh vodotokov precej hudourniški značaj, to pomeni, da je za veliko visokovodnih dogodkov značilno, da pretok razmeroma hitro narašča in pada. Te značilnosti se očitno kažejo tudi v povezanosti konic pretokov s prostorninami visokovodnih valov, ki smo jih izbrali na podlagi metode letnih maksimumov. Manjšo povezanost med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov smo opazili pri bolj ravninskih tipih vodotokov, kot so npr. Kolpa, Vipava, Krka, za katere je značilen dinarski



Slika 2: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov

Figure 2: Spatial presentation of Spearman's correlation coefficients between peak discharges and flood wave volumes



Porečje	Drava	Mura	Sava	Soča	Povodje jadranskih rek
najmanjši koeficient korelacije	0,63	0,49	-0,07	0,39	0,56
povprečni koeficient korelacije	0,69	0,67	0,58	0,57	0,58
največji koeficient korelacije	0,74	0,83	0,81	0,76	0,61

Preglednica 2: Prikaz izračunanih Spearmanovih koeficientov korelacije za par spremenljivk konice pretokov in prostornine valov

Table 2: Presentation of the calculated Spearman's correlation coefficients for the pair of the peak discharges and flood wave volumes.

Porečje	Drava	Mura	Sava	Soča	Povodje jadranskih rek
najmanjši koeficient korelacije	0,24	0,22	0,30	0,34	0,42
povprečni koeficient korelacije	0,44	0,49	0,50	0,47	0,50
največji koeficient korelacije	0,54	0,66	0,73	0,63	0,58

Preglednica 3: Prikaz izračunanih Spearmanovih koeficientov korelacije za par spremenljivk prostornine valov in trajanje valov

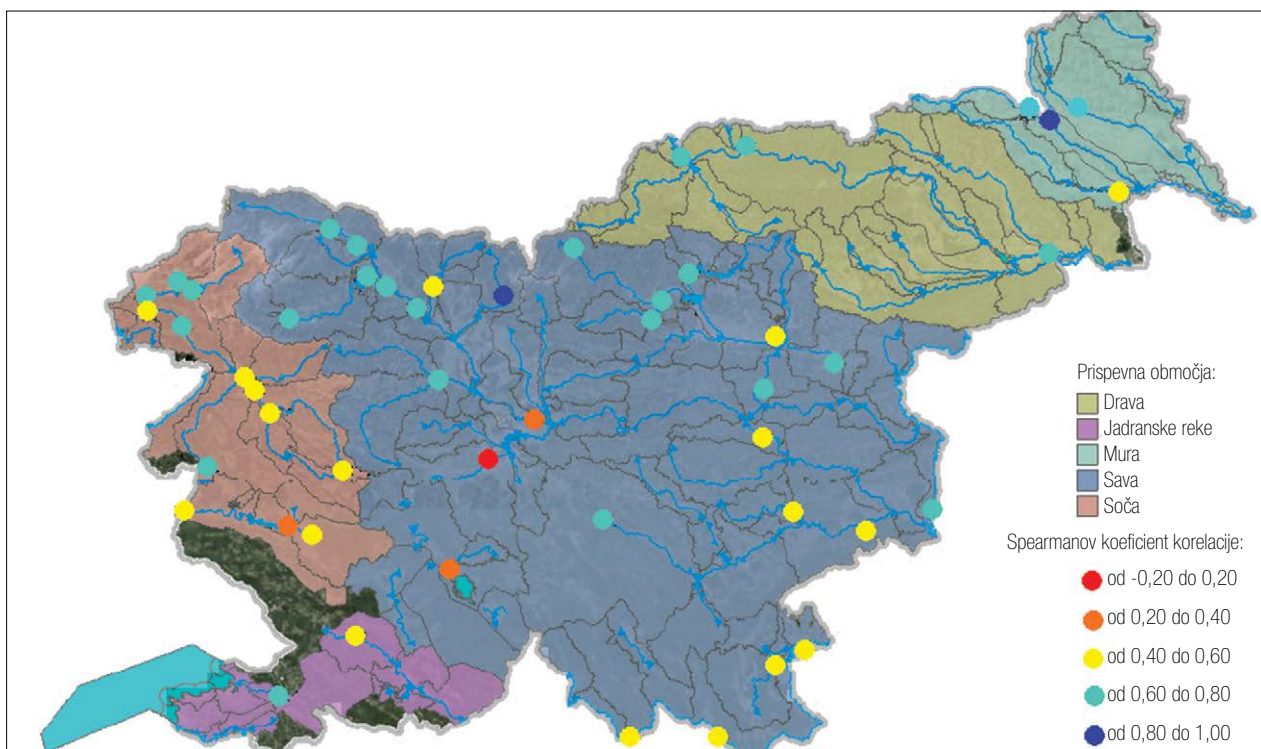
Table 3: Presentation of the calculated Spearman's correlation coefficients for the pair of flood wave volumes and durations.

dežno-snežni režim (Frantar in Hrvatin, 2005), v katerem so jesenski in spomladanski viški pretokov razmeroma izenačeni. Pri teh vodotokih torej nadpovprečno velika konica pretoka ne pomeni nadpovprečno velike prostornine visokovodnega vala, kar pomeni, da se v vzorcu letnih maksimumov pojavi več sestavljenih hidrogramov kot pri prvi skupini vodotokov. Najmanjša povezanost med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov pa je značilna za nekatere vodotoke, ki imajo kraško zaledje, kot so na primer Ljubljana, Ljubija in Cerkniščica, čeprav je za njene prav tako značilen dinarski dežno-snežni režim (Frantar in Hrvatin, 2005). Pri teh vodomernih postajah pa sestavljeni hidrogrami očitno prevla-

dujejo nad nesestavljenimi (Šraj in Bezak, 2013). S slike 2 lahko vidimo, da se odvisnost med konicami pretokov ter volumni visokovodnih valov zmanjšuje od severnega proti južnemu delu države.

### Odvisnost med prostorninami in trajanjem visokovodnih valov

Opazimo lahko, da so korelacije med prostorninami ter trajanjem valov v povprečju manjše kot odvisnosti med konicami pretokov in prostorninami visokovodnih valov (slika 3 in preglednica 3). To ni skladno z ugotovitvami,



Slika 3: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med prostorninami in trajanjem visokovodnih valov

Figure 3: Spatial presentation of Spearman's correlation coefficients between flood wave volumes and durations.

do katerih sta prišla Šraj in Bezak (2013), ki pa sta v svojih analizah upoštevala zgolj vodomerno postajo Litija, ki v predstavljeni študiji ni bila obravnavana. Poleg tega sta Šraj in Bezak (2013) za izločanje baznega odtoka uporabila grafično metodo. Tudi v naših analizah smo imeli 12 takih postaj, na katerih je bil Spearmanov koeficient korelacije za par spremenljivk konice pretokov in prostornine valov manjši kot za par prostornine valov in trajanje valov. S slike 3 lahko vidimo, da je za prikazane odvisnosti med prostorninami ter trajanjem visokovodnih valov, v primerjavi z odvisnostmi, prikazanimi na sliki 2, težko najti kakršne koli prostorske zakonitosti pojavljanja. To pomeni, da je razporeditev prikazanih Spearmanovih koeficientov korelacije precej nehomogena. Prav tako ni mogoče najti kakršne koli povezave med izračunanimi koeficienti korelacije ter pretočnimi režimi, ki sta jih definirala Frantar in Hrvatini (2005). V povprečju prav tako ni velike razlike v prikazanih odvisnostih med posameznimi porečji. Za vse postaje, razen treh (Polana na reki Ledavi, Zamušani na reki Pesnici ter Kokra na reki Kokri), je korelacija med prostorninami ter trajanjem visokovodnih valov statistično značilna z izbrano stopnjo značilnosti (0,05).

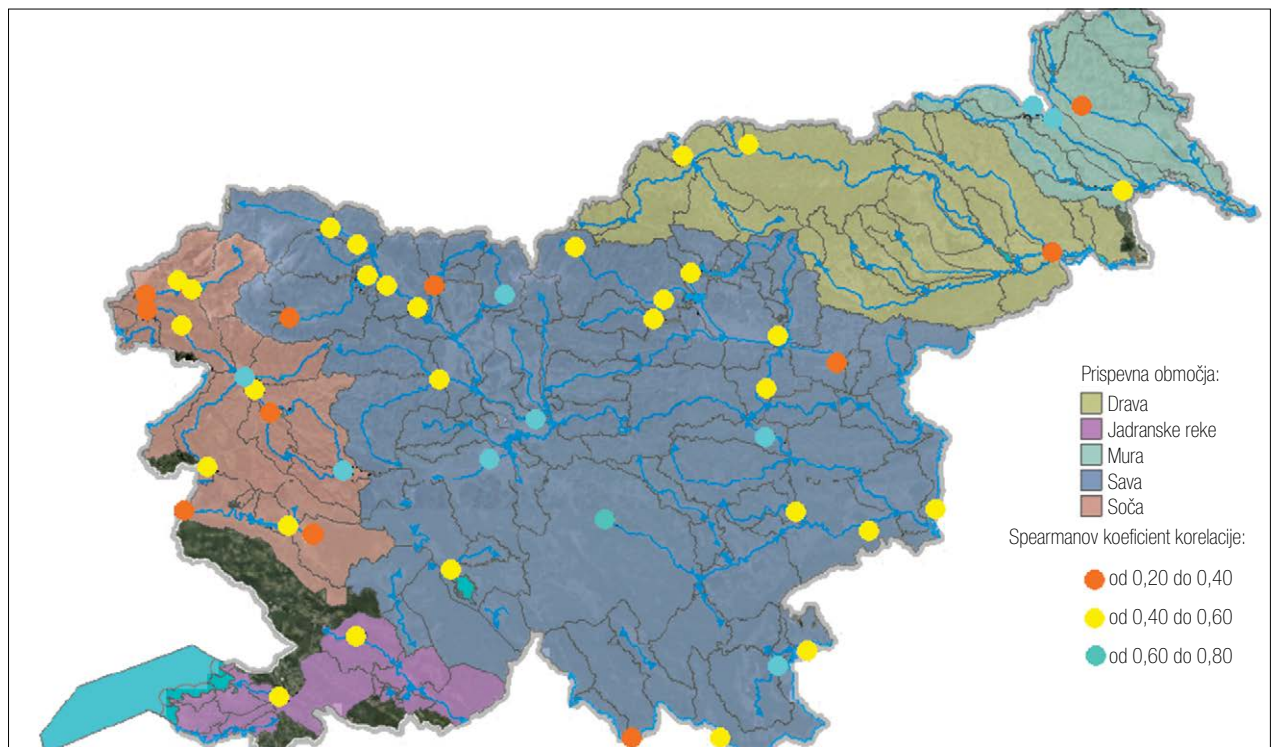
### Odvisnost med konicami pretokov in trajanjem visokovodnih valov

Izračunani Spearmanovi koeficienti korelacije med konicami pretokov in trajanjem visokovodnih valov so v povprečju precej manjši kot pri parih konice pretokov in prostornine valov ter prostornine valov in trajanje

Porečje	Drava	Mura	Sava	Soča	Povodje jadranskih rek
najmanjši koeficient korelacije	-0,04	-0,22	-0,40	-0,27	-0,01
povprečni koeficient korelacije	-0,01	0,07	-0,02	-0,05	0,01
največji koeficient korelacije	0,02	0,30	0,22	0,14	0,03

Preglednica 4: Prikaz izračunanih Spearmanovih koeficientov korelacije za par spremenljivk konice pretokov in trajanje valov  
 Table 4: Presentation of the calculated Spearman's correlation coefficients for the pair of peak discharges and flood wave durations.

valov (slika 4 in preglednica 4). Do podobnih ugotovitev so v svojih analizah prišli tudi Šraj in Bezak (2013) ter Karmakar in Simonovic (2007). Tudi pri odvisnosti med konicami pretokov in trajanjem valov med posameznimi porečji ni izrazitih razlik (preglednica 4), kar je posledica tega, da v prikazanih koeficientih korelacije ni mogoče najti nobenih prostorskih zakonitosti pojavljanja. Korelacija med konicami pretokov in trajanjem valov je bila le na štirih postajah (Petanjci na Muri, Verd na Ljubiji, Cerknica na Cerkniščici in Dolenja Trebuša na Trebuši) statistično značilna z izbrano stopnjo značilnosti (0,05). Je pa za vse postaje značilna negativna odvisnost med konicami pretokov in trajanjem visokovodnih valov, kar



Slika 4: Prostorski prikaz rezultatov Spearmanovega koeficienta korelacije med konicami pretokov in trajanjem visokovodnih valov

Figure 4: Spatial presentation of Spearman's correlation coefficients between peak discharges and flood wave durations.

pomeni, da lahko pri večji vrednosti pretoka prej pričakujemo krajše trajanje vala kot pa daljše.

## Povezave med odvisnostmi posameznih parov spremenljivk visokovodnih valov ter izbranimi geografskimi značilnostmi vodomernih postaj

V nadaljevanju smo poskušali ugotoviti, ali so izračunani Spearmanovi koeficienti korelacije med posameznimi pari spremenljivk visokovodnih valov morda odvisni od katere izmed geografskih značilnosti izbranih vodomernih postaj. Za te analize je bil uporabljen Pearsonov koeficient korelacije, ki opiše linearno odvisnost med izbranimi spremenljivkama. Preglednica 5 prikazuje izračunane Pearsonove koeficiente korelacije za pet različnih geografskih značilnosti obravnavanih porečij. S polkrepkim tiskom so označene vrednosti, ki so statistično značilne z izbrano stopnjo značilnosti 0,05. V analizah smo upoštevali lokacijo postaje (Gauss-Krügerjeve koordinate) in njeno nadmorsko višino, prispevno površino ter povprečno letno količino padavin prispevnega območja. Poleg tega je v preglednici 5 označeno tudi, ali je odvisnost pozitivna (pozitivna vrednost koeficienta korelacije) ali negativna (negativna vrednost koeficienta korelacije). V prvem primeru to pomeni, da se izračunan Spearmanov koeficient korelacije povečuje z večanjem izbrane geografske značilnosti, v drugem pa se zmanjšuje.

Odvisnost med Spearmanovimi koeficienti korelacije za par spremenljivk konice pretokov in prostornine ter Gauss-Krügerjevimi Y-koordinatami je statistično značilna z izbrano stopnjo značilnosti 0,05 (preglednica 5), kar pomeni, da je za severni del države odvisnost med konicami pretokov ter prostorninami valov v povprečju večja kot za južni del. Nobena izmed preostalih geografskih značilnosti nima statistično značilnega vpliva na izračunane Spearmanove koeficiente korelacije med konicami pretokov in prostorninami valov.

Za par spremenljivk prostornine valov in trajanje valov ter konice pretokov in trajanje valov pa lahko vidimo, da so izračunani Spearmanovi koeficienti korelacije statistično značilno (stopnja značilnosti 0,05) odvisni od velikosti prispevne površine (preglednica 5). V obeh

primerih se odvisnost povečuje z večanjem površine porečja. Odvisnost od preostalih prikazanih geografskih značilnosti ni statistično značilna.

## Sklepne misli

Poglobljene analize podatkov so v svetovni hidrološki praksi vedno dobrodošle, saj je njihov cilj izboljšanje razumevanja sicer zapletenih hidroloških in meteoroloških pojavov, iz česar izvira želja, da bi v analizah zajeli čim več spremenljivk. Tako smo tudi v predstavljeni študiji upoštevali tri v naravi bolj ali manj odvisne spremenljivke, in sicer konice pretokov, prostornine valov ter trajanje visokovodnih valov. Prav tako so analize visokovodnih valov vedno dobrodošle, saj gre za skrajne hidrološke pojave, ki lahko povzročijo veliko gmotno škodo ali celo ogrozijo človeška življenja.

Analizirali smo več kot za 2500 let dnevnih vrednosti podatkov s 50 vodomernih postaj, ki so razporejene po vsej Sloveniji. Povprečna dolžina niza je bila daljša od 50 let, kar pomeni da smo v raziskavo vključili predvsem postaje, na katerih se meritve izvajajo dalj časa. Zanimalo nas je, kakšna je odvisnost med konicami pretokov, prostorninami valov ter trajanjem visokovodnih valov. Najprej smo s samodejnim filtrom (BFI) izločili bazni odtok, nato pa smo na podlagi metode letnih maksimumov (Bezak in sod., 2014) določili končne vzorce podatkov. Izračunali smo Spearmanove koeficiente korelacije med tremi različnimi pari spremenljivk ter ugotavljali odvisnost izračunanih koeficientov korelacije od petih geografskih značilnosti izbranih postaj. Ugotovili smo, da je korelacija med konicami pretokov ter prostorninami visokovodnih valov v povprečju večja, kot sta korelaciji med prostorninami valov in trajanjem valov ter konicami pretokov in trajanjem valov. Poleg tega so bili v povprečju izračunani Spearmanovi koeficienti korelacije za par konice pretokov in trajanje visokovodnih valov manjši kot koeficienti, ki smo jih dobili pri drugih dveh parih. Ta ugotovitev je skladna z ugotovitvami, do katerih so prišli tudi Šraj in Bezak (2013) ter Karmakar in Simonovic (2007). Prav tako smo ugotovili, da se odvisnost med konicami pretokov ter prostorninami valov povečuje od juga proti severu Slovenije. Izračunani Spearmanovi koeficienti korelacije za para prostornine valov in trajanje valov ter konice pretokov

Geografska značilnost porečja	Konica pretoka in prostornina vala	Prostornina vala in trajanje vala	Konica pretoka in trajanje vala
Gauss-Krügerjeva X-koordinata	0,13	-0,02	0,19
Gauss-Krügerjeva Y-koordinata	<b>0,39</b>	0,08	0,11
nadmorska višina	0,20	-0,01	-0,11
prispevna površina	0,17	<b>0,43</b>	<b>0,46</b>
povprečna letna količina padavin	0,05	-0,10	-0,07

Preglednica 5: Izračunane vrednosti Pearsonovega koeficienta korelacije med odvisnostmi posameznih parov spremenljivk visokovodnih valov ter geografskimi značilnostmi vodomernih postaj

Table 5: Pearson's correlation coefficients between dependences of individual pairs of flood waves and some geographical characteristics of the selected gauging stations.

in trajanje valov pa so statistično značilno odvisni od velikosti prispevne površine.

Predstavljene analize so predpogoj za verodostojne verjetnostne analize, pri katerih upoštevamo več bolj ali manj odvisnih spremenljivk [angl. *multivariate frequency analysis*], ki se v zadnjem desetletju v svetovni hidrološki praksi vse pogosteje uporabljajo (Grimaldi in Serinaldi, 2006; Renard in Lang, 2007), v zadnjih letih pa so bile prve take analize narejene tudi za nekatere postaje na območju Slovenije (Šraj in sod., 2013, Šraj in sod., 2014). Predstavljena študija bi lahko bila podlaga za izvedbo takšnih večvariatnih analiz za celotno območje Slovenije, morda celo za izvedbo regionalnih verjetnostnih analiz, ki so bile do zdaj narejene le z upoštevanjem ene spremenljivke (Kavčič in sod., 2014).

## Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji RS za okolje za posredovane podatke. Rezultati raziskave so delno nastali znotraj temeljnega raziskovalnega projekta J2-4096, ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

## Viri in literatura

1. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), 2013. Hidrološki podatki. [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) [25. 11. 2013].
2. Brilly, M., Šraj, M., 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani-Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 309.
3. Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., 2014. Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 59(5), 959–977.
4. Frantar, P., Hrvatin, M., 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. *Geografski vestnik*, 77(2), 115–127.
5. Grimaldi, S., Serinaldi, F., 2006. Asymmetric copula in multivariate flood frequency analysis. *Advances in Water Resources*, 29(8), 1155–1167.
6. Karmakar, S., Simonovic, S., 2007. Flood frequency analysis using copula with mixed marginal distributions, *Water Resources Research report* 5. Ontario, Canada.
7. Kavčič, K., Brilly, M., Šraj, M., 2014. Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic. *Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko*, 23–34.
8. Koffler, D., Laaha, G., 2014. Package 'lfstat'. Calculation of Low Flow Statistics for daily stream flow data. <http://cran.r-project.org/web/packages/lfstat/lfstat.pdf> [28. 3. 2014].
9. Kovačič, T., 2012. Analiza vpliva lastnosti porečja na indeks baznega odtoka. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
10. Mikoš, M., 2007. Problemi in perspektive upravljanja z vodami v Sloveniji z vidika varstva pred poplavami in plazovi. [http://www.mko.gov.si/file-admin/mko.gov.si/pageuploads/svo/2seja\\_Mikos.pdf](http://www.mko.gov.si/file-admin/mko.gov.si/pageuploads/svo/2seja_Mikos.pdf) [11. 6. 2014].
11. Horvat, A., 2014. Primerjava metod izločanja baznega odtoka in analiza visokovodnih valov v Sloveniji. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani. Ljubljana.
12. Renard, B., Lang, M., 2007. Use of a Gaussian copula for multivariate extreme value analysis: Some case studies in hydrology. *Advances in Water Resources*, 30(4), 897–912.
13. Šraj, M., Bezak, N., 2013. Analiza visokovodnih valov Save v Litiji, *Ujma*, 27, 228–235.
14. Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2012. Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji, *Acta hydro-tehnica*, 25(42), 41–58.
15. Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2013. Primerjava med klasičnimi univariatnimi verjetnostnimi analizami in bivariatnimi z uporabo funkcije copula, *Acta hydro-tehnica*, 26(44), 37–48.
16. Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2014. Bivariate flood frequency analysis using the copula function: a case study of the Litija station on the Sava River, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.10145.
17. Zorn, M., Komac, B., 2011. Škoda zaradi naravnih nesreč v Sloveniji in svetu med letoma 1995 in 2010. *Acta geographica Slovenica*, 51(1), 7–41.