

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/93



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	J2-4096	
<b>Naslov projekta</b>	Analiza poplav z uporabo Copula funkcij	
<b>Vodja projekta</b>	8379	Mitja Brilly
<b>Tip projekta</b>	J	Temeljni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	4818	
<b>Cenovni razred</b>	A	
<b>Trajanje projekta</b>	07.2011 - 06.2014	
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	792	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>		
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 2.20	TEHNIKA Vodarstvo
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	02.	Okolje
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2 2.07	Tehniške in tehnološke vede Okoljsko inženirstvo

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

#### 2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Upravljanje z vodami, določanje poplavnih območij, dimenzioniranje objektov na vodi ipd., vse to zahteva temeljito poznavanje značilnosti visokovodnih dogodkov. Trenutno se povratna doba ekstremnih dogodkov v Sloveniji in v svetu računa na podlagi verjetnostne analize maksimalnih visokovodnih konic, torej na podlagi le ene spremenljivke. To lahko pripelje do podcenjevanja ocene tveganja pojava določenega ekstremnega dogodka. Kompleksni hidrološki pojavi, kot so poplave se vedno pojavljajo kot posledica večih med seboj odvisnih slučajnih spremenljivk (npr.

konica, volumen, trajanje itd.), kar zahteva multivariatni statistični pristop. V zadnjih nekaj letih se je pojavilo nekaj multivariatnih pristopov v hidroloških in okoljskih študijah po svetu. Večina teh študij temelji na dveh predpostavkah, in sicer, da vse spremenljivke pripadajo istemu tipu porazdelitve ekstremnih vrednosti in da spremenljivke sledijo normalni porazdelitvi. V resnici so v naravi spremenljivke, ki opisujejo poplavni val, med seboj odvisne, v splošnem ne sledijo normalni porazdelitvi in ne pripadajo istemu tipu porazdelitve ekstremnih vrednosti. Glede na vsa ta spoznanja, so hidrologi po svetu v zadnjem času poskušali uporabiti kopula funkcijo, ki se je do sedaj uspešno uporabljala predvsem v ekonomiji. S kopula funkcijo lahko modeliramo odvisnost večih spremenljivk, neodvisno od tipa porazdelitve, ki mu sledijo posamezne spremenljivke.

V raziskovalnem projektu smo za vzorčno padavinsko območje Save do vodomerne postaje Litija iz izmerjenih visokovodnih valov določili njihove glavne značilnosti (konico, volumen in trajanje). Nato smo določili medsebojno odvisnost vseh treh spremenljivk. Pri tem smo uporabili Pearsonov in Spearmanov koeficient korelacije. Vsaki od treh spremenljivk smo nato poiskali najbolje prilegajočo se verjetnostno porazdelitveno funkcijo, ki ni bila nujno iz iste družine porazdelitev. Na koncu smo z uporabo različnih kopula funkcij generirali skupno porazdelitveno funkcijo vseh treh spremenljivk. Za statistične analize smo uporabili računalniški program R. Rezultat tako kompleksne verjetnostne analize je možnost določanja različnih kombinacij pojave konic, volumnov in trajanj za določeno povratno dobo ter obratno. Poleg tega smo cilje projektne naloge močno presegle še s podobnimi analizami na drugih izbranih vodomernih postajah v Sloveniji in ZDA. Poleg tega smo dodatno s pomočjo kopula funkcij izvedli tudi trivariatne verjetnostne analize konic, volumnov in suspendiranih snovi, kar je prvi tovrstni poskus v svetu.

Razvoj in uporaba kopula funkcij je v polnem zamahu. Cela vrsta vprašanj pri izbiri vzorcev, metodologiji in analizi rezultatov je bila odgovorjena tudi s pomočjo te projektne naloge (glej objave). S tem projektom smo se priključili vodilnim državam, ki razvijajo nov pristop in dodali edinstven prispevek pri razvoju in uporabi kopula funkcij v svetu in seveda tudi doma.

ANG

Water management, flood mapping, hydrologic design etc. all require a detailed knowledge of flood event characteristics. At the moment the return period of the extreme events is estimated upon frequency analyses of peak discharges as univariate statistical approach in Slovenia and in the world. That could lead to underestimation of the risk associated to a given event. Complex hydrological events such as floods always appear as the consequence of few correlated random variables (i.e. peak, volume, duration) which requires multivariate statistical approach. In the last years, some multivariate approaches were introduced in hydrological and environmental studies. In the majority of these studies, two fundamental assumptions have been made. First, the flood variables have the same type of the marginal probability distribution and second, the variables follow the normal distribution. In reality, however, flood variables are dependent; do not follow, in general, the normal distribution and do not have the same type of marginal distribution. Following this observation, the concept of copula has been used recently in flood frequency analysis which was successfully used in economy before. With copulas we can model the dependence among more variables independently of the type of marginal distributions they follow.

In the research project we estimated the main characteristics of the measured hydrographs (peak, volume, duration) for the exemplary catchment of the Sava River to the gauging station Litija. Then the dependence between all three flood characteristics variables (peak, volume, duration) was estimated. The dependence was estimated using Pearson's, Kendall's and Spearman coefficient of correlation. The best fitted marginal probability functions were applied to every single variable not necessary from the same family of distribution functions. At the end one of the Copula functions was used to generate joint distribution function of all three variables. R statistical software was used for statistical analysis. With such a complex analyses it is possible to obtain various occurrence combinations of flood peaks, volumes and durations for a given flood event return period. In addition, we greatly exceeded the goals of the research project with similar analyzes for other selected gauging stations in Slovenia and the USA. Furthermore, we performed also trivariate frequency analysis of peaks, volumes and suspended sediments using copulas, which is the first such attempt in the world.

Development and application of copula functions is in progress at that moment. A lot of open questions about the choice of samples, methodologies and result analyses were answered within this research project (see publications list). With this project we joined the leading countries developing the new approach and added unique contribution to development and application of copula approach in the world and of course also at home.

### 3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

Za upravljanje z vodami, načrtovanje, določanje poplavnih območij, dimenzioniranje objektov na vodi ipd. je merodajna predpisana povratna doba dogodka. Dejansko je povratna doba enostaven način določanja tveganja pojava nekega dogodka, saj je v eni sami številki skritih veliko informacij (Salvadori and De Michele, 2007). V hidrološki praksi se povratna doba največkrat določa le na podlagi ene spremenljivke. Na žalost lahko tak način določanja povratne dobe pripelje do podcenjevanja tveganja pojava nekega dogodka. Večina hidroloških pojavov je v resnici odvisna od hkratnega vpliva večih naključnih spremenljivk, ki so ponavadi medsebojno povezane in odvisne.

V splošnem je razvoj verjetnostnih modelov večih spremenljivk omejen iz matematičnega vidika (Salvadori and De Michele, 2007). Uporaba kopula funkcij lahko reši večino teh problemov. Za hidrologe je bistvena prednost takega pristopa ta, da je izbira primernega modela odvisnosti dveh spremenljivk  $X$  in  $Y$  neodvisna od izbire modelov porazdelitve ekstremnih vrednosti posamezne spremenljivke. V svetovni hidrološki literaturi je le omejeno število študij, ki obravnavajo določanje povratne dobe oz. analizo ekstremnih dogodkov z obravnavo večih spremenljivk hkrati. Kopula modeli se pravzaprav v svetovni hidrološki praksi šele uveljavljajo.

V raziskovalnem projektu smo za vzorčno vodomerno postajo Litija na Savi iz izmerjenih visokovodnih valov določili njihove glavne značilnosti (konico  $Q$ , volumen  $V$  in trajanje  $D$ ). Za analize smo uporabili 58 let (1953–2010) dnevni vrednosti pretokov. Statistične analize smo izvedli s pomočjo računalniškega programa R. Ker smo za analize potrebovali tudi volumne in trajanja visokovodnih valov, smo merjenim pretokom najprej izločili bazni odtok z uporabo različnih grafičnih metod in avtomatiziranih filtrov. Tako smo hkrati ugotavljali tudi vpliv metode izločanja baznega odtoka na rezultate verjetnostnih analiz (Šraj et al., 2012). Nato smo določili medsebojno odvisnost vseh treh spremenljivk (Šraj in Bezak, 2013). Pri tem smo uporabili Pearsonov Kendallov in Spearmanov koeficient korelacije.

Sledila je univariatna verjetnostna analiza. Vsaki od treh spremenljivk smo poiskali najboljše prilagajajočo se verjetnostno porazdelitveno funkcijo, ki ni bila nujno iz iste družine porazdelitev. Parametre porazdelitev smo določali po treh metodah: metodi momentov, metodi L-momentov in metodi največjega verjetja (Bezak et al, 2014b). Na ta način smo hkrati ugotavljali tudi vpliv izbire metode za oceno parametrov porazdelitev na rezultate verjetnostnih analiz (Bezak et al, 2014a; Šraj et al., 2012). Za določitev porazdelitvene funkcije, ki se najboljše prilaga posameznim spremenljivkam, smo uporabili različne grafične in statistične teste (Bezak et al, 2014b). Univariatna analiza je skupaj z različnimi testi pokazala, da je za visokovodne valove Save v Litiji log-Pearsonova 3 porazdelitev dala najboljše rezultate tako pri konicah kot pri časih trajanja valov. Medtem, ko je pri analizah volumnov najboljše rezultate izkazala Pearsonova porazdelitev tipa 3.

Naslednji korak je bila bivariatna analiza, kjer smo za različne pare spremenljivk ( $Q$ - $V$ ,  $V$ - $T$ ,  $Q$ - $T$ ) najprej ugotovili njihovo odvisnost ( $K$ -plot in  $\chi^2$ -plot), potem pa s pomočjo različnih kopula funkcij (Archimedove, eliptične, EV kopule) izvedli bivariatno verjetnostno analizo oz. sklopljeno verjetnostno analizo dveh spremenljivk (Šraj in Bezak, 2013; Šraj et al., 2015). Parametre posameznih kopula funkcij smo spet določali z različnimi metodami (metoda momentov, metoda največjega verjetja in pseudo metoda največjega verjetja). Z uporabo različnih statističnih testov, kriterijev ujemanja in grafičnih prikazov smo za vsak par spremenljivk izbrali najustreznejšo kopulo. Zadnji korak pri uporabi funkcij kopula je določitev povezave med ocenjenimi vrednostmi spremenljivk in različnimi skupnimi (ali pogojnimi) povratnimi dobami (Salvadori et al., 2007). Za visokovodne valove Save v Litiji se je za para spremenljivk ( $Q$ - $V$  in  $V$ - $D$ ) najboljše izkazala Gumbel-Hougaardova kopula, za par spremenljivk ( $Q$ - $D$ ) pa Student- $t$  kopula.

Na koncu smo po podobnem postopku z uporabo različnih kopula funkcij generirali še skupno

porazdelitveno funkcijo vseh treh spremenljivk. Rezultat tako kompleksne verjetnostne analize je možnost določanja različnih kombinacij pojava konic, volumnov in trajanj za določeno povratno dobo ter obratno.

Poleg tega smo cilje projektne naloge močno presegle še s podobnimi analizami na drugih izbranih vodomernih postajah v Sloveniji in ZDA (Bezak et al, 2014c; Bezak et al., 2015). Dodatno smo s pomočjo kopula funkcij izvedli tudi trivariatne verjetnostne analize konic, volumnov in suspendiranih snovi, kar je prvi tovrstnen poskus v svetu (Bezak et al, 2014c). Z raziskavami uporabnosti kopula funkcij bomo nadaljevali tudi v prihodnje, saj smo z njimi izvedli tudi že prvi poskus ocenjevanja manjkajočih meritev (npr. koncentracij suspendiranih snovi) in ga zelo uspešno predstavili na mednarodni konferenci v Nemčiji (Bezak et al., 2014d)

Rezultati projekta v hidrološko prakso v Sloveniji in v svetu prinašajo nov pristop določanja povratne dobe ekstremnih dogodkov. V prihodnje bo razvoj in uporaba verjetnostnih modelov večih spremenljivk nujna tudi v Sloveniji. Nenazadnje tudi zaradi vedno pogostejšega pojavljanja ekstremnih dogodkov (klimatske spremembe). Študija je pokazala, da je v primerjavi s klasičnimi univariatnimi analizami metodologija kopul precej bolj zapletena, končni rezultati pa so večinoma drugačni od tistih, ki jih dobimo s klasičnimi analizami le ene spremenljivke. Verjamemo, da bo nov pristop v veliki meri izboljšal določanje tveganja pojava ekstremnih dogodkov, ki predstavlja enega osnovnih hidroloških podatkov pri načrtovanju in upravljanju z vodami. Ker pa je postopek precej zapleten, ga je v praksi trenutno smiselno uporabljati predvsem za potrebe dimenzioniranja pomembnejših hidrotehničnih objektov.

Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., 2014a. Comparison between the peaks over threshold method and the annual maximum method for flood frequency analyses. *Hydrological sciences journal*, 59/5, 959-977.

Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., 2014b. Flood frequency analysis, statistical trends and seasonality analyses of discharge data : a case study of the Litija station on the Sava river. *Journal of flood risk management*, v tisku.

Bezak, N., Mikoš, M., Šraj, M., 2014c. Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas. *Water resources management*, 28/8, 2195-2212.

Bezak, N., Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M., 2014d. The use of copulas in hydrology: some useful case studies. V: XXVI Conference of the danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 22-24 September 2014, Deggendorf, Germany.

Bezak, N., Horvat, A., Šraj, M. 2015. Analysis of flood events in Slovenian streams. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, v tisku,

Salvadori, G., De Michele, C., 2007. On the use of Copulas in hydrology: Theory and practice, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE 12(4), 369–380.

Salvadori, G., De Michele, C., Kottegoda, N. T., Rosso, R. (2007). *Extremes in nature an approach using Copulas*. Springer, Dordrecht, 292 p.

Šraj, M., Bezak, N., 2013. Analiza visokovodnih valov Save v Litiji, *Ujma*, 27, 228–235.

Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2012. Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji, *Acta hydrotechnica*, 25(42), 41–58.

Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2013. Primerjava med klasičnimi univariatnimi verjetnostnimi analizami in bivariatnimi z uporabo funkcije kopula. *Acta hydrotechnica*, 2013, 26(44), 37-48.

Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M., 2015. Bivariate flood frequency analysis using the copula function : a case study of the Litija station on the Sava River. *Hydrological processes*, ISSN 0885-6087, 2015, 29/2, 225-238.

#### 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

Program dela raziskovalnega projekta je bil v celoti izpolnjen oz. je bil celo presežen. Enako velja tudi za raziskovalne cilje. Narejen je detajlni vzorčni primer (za visokovodne valove Save v Litiji) izdelave verjetnostnih analiz s pomočjo kopula funkcij, in sicer za bivariatno in trivariatno verjetnostno analizo. Prikazan je celotni potek od zbiranja in kontrole podatkov, izločanja baznega odtoka z različnimi metodami, določanja glavnih značilnosti poplavnih valov (Q, V, D), izračuna medsebojne odvisnosti vseh treh spremenljivk s tremi različnimi koeficienti korelacije, univariatnih verjetnostnih analiz oz. iskanja robnih porazdelitev posameznih spremenljivk, določanja parametrov porazdelitev s tremi različnimi metodami, uporabe različnih grafičnih in statističnih testov za ugotavljanje najboljših rezultatov, pregleda različnih kopula funkcij in njihove uporabe za bivariatne in trivariatne analize, določanja parametrov kopula funkcij z različnimi metodami, primerjave rezultatov različnih kopul, testiranja ujemanja najbolj prilegajoče se funkcije ter računanja različnih tipov povratnih dob (skupnih in pogojnih). V sklopu projekta je bil uporabljen program R, ki se je izkazal kot zelo uporaben. Zbrana in pregledana je bila vsa razpoložljiva literatura o teoriji in uporabi kopul v svetu.

Program dela je bil presežen z dodatnimi analizami na izbranih vodomernih postajah v Sloveniji in ZDA. Dodatno smo s pomočjo kopula funkcij izvedli tudi trivariatne verjetnostne analize konic, volumnov in suspendiranih snovi visokovodnih valov, kar je prvi tovrstnen poskus v svetu. Izvedli smo tudi prvi poskus ocenjevanja manjkajočih meritev (koncentracij suspendiranih snovi) in ga zelo uspešno predstavili na mednarodni konferenci v Nemčiji. Rezultate projekta smo predstavili v domačih in tujih revijah in na konferencah. Skupaj smo objavili 9 izvirmih znanstvenih člankov (1.01), od tega pet SCI člankov v revijah kategorij A1 in A2 in štiri v slovenskih znanstvenih in strokovnih revijah. Poleg tega so bili rezultati projekta predstavljeni na osmih konferencah in objavljeni kot celotni članki ali kot povzetki, s čimer smo diseminirali na novo pridobljeno znanje v slovenskem in mednarodnem prostoru.

#### 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Sprememb programa raziskovalnega projekta ni bilo. Zaradi kadrovskih sprememb v raziskovalni skupini v času trajanja projekta smo imeli le manjše spremembe v sestavi projektne skupine, ki smo jih sproti javljali.

#### 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	6468961	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Bivariatne verjetnostne analize visokovodnih valov z uporabo funkcij kopula: primer vodomerne postaje Litija na reki Savi
		ANG	Bivariate flood frequency analysis using the copula function: a case study of the Litija station on the Sava River
	Opis	SLO	Multivariatne verjetnostne analize visokovodnih valov z uporabo funkcij kopula se lahko uporabijo kot alternativa običajnim univariatnim porazdelitvenim funkcijam visokovodnih konic, kjer upoštevamo zgolj eno spremenljivko, največkrat je to konica pretoka. Prispevek prikazuje uporabo funkcij kopula za izvedbo bivariatnih verjetnostnih analiz s hkratnim upoštevanjem naslednjih spremenljivk: konica pretoka, volumen visokovodnega vala ter prostornina visokovodnega vala, kjer je bilo analiziranih 58 visokovodnih valov z vodomerne postaje Litija na reki Savi.

		Gumbel–Hougaard kopula iz Arhimedove družine je bila izbrana kot najprimernejša za modeliranje para konica pretoka–volumen visokovodnega vala ter volumen visokovodnega vala–trajanje visokovodnega vala, medtem ko je bila Student-t kopula najustreznejša za par konica pretoka–trajanje visokovodnega vala.
	ANG	As an alternative to the commonly used univariate flood frequency analysis, copula frequency analysis can be used. In latter case more than one variable can be considered in the analysis, while in the first case, in most cases, only peak discharge values are analysed. In this study, 58 flood events at the Litija gauging station on the Sava River in Slovenia were analysed, selected based on annual maximum discharge values. Corresponding hydrograph volumes and durations were considered. The Gumbel–Hougaard copula was selected as the most appropriate for the pair of peak discharge and hydrograph volume. The same copula was also selected for the pair hydrograph volume and duration, and the Student-t copula was selected as the most appropriate for the pair of peak discharge and duration of flood.
	Objavljeno v	Wiley; Hydrological processes; 2015; Letn. 29, št. 2; str. 225-238; Impact Factor: 2.696; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.497; A': 1; WoS: ZR; Avtorji / Authors: Šraj Mojca, Bezak Nejc, Brilly Mitja
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
2.	COBISS ID	6578273 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO Trivariatne verjetnostne analize konic pretokov, volumnov visokovodnih valov ter koncentracij suspendiranih snovi z uporabo funkcij kopula
	ANG	Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas
	Opis	SLO Funkcije kopula se relativno pogosto uporabljajo za izvedbo multivariatnih verjetnostnih analiz visokovodnih valov, vendar do sedaj še niso bile uporabljene za hkratne analize konic pretokov ter koncentracij suspendiranih snovi. Podatki s šestih vodomernih postaj (1–Slovenija ter 5–ZDA) so bili uporabljeni za izvedbo trivariatnih verjetnostnih analiz s hkratnih upoštevanjem konic pretokov, volumnov visokovodnih valov ter koncentracij suspendiranih snovi. Gumbel–Hougaard copula je bila v vseh šestih primerih izbrana kot najustreznejša za izvedbo analiz. Rezultati raziskave kažejo, da so funkcije kopula uporabno matematično orodje, ki jih lahko uporabimo tudi za modeliranje zgoraj omenjenih spremenljivk.
	ANG	Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas. Copula functions are often used for multivariate frequency analyses, but discharge and suspended sediment concentrations have not yet been modelled together with the use of 3-dimensional copula functions. One hydrological station from Slovenia and five stations from USA were used for trivariate frequency analyses of peak discharges, hydrograph volumes and suspended sediment concentrations. We selected Gumbel–Hougaard copula as the most appropriate model for all discussed stations. We can conclude that copula functions are useful mathematical tool, which can also be used for modelling variables that are presented in this paper.
	Objavljeno v	Reidel; Water resources management; 2014; Letn. 28, št. 8; str. 2195-2212; Impact Factor: 2.463; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.11; A': 1; WoS: IM, ZR; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Mikoš Matjaž, Šraj Mojca
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	6601313 Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Verjetnostne analize visokovodnih konic, statistični trendi ter analize sezonskosti pretokov: primer vodomerne postaje Litija na reki Savi
		ANG	Flood frequency analysis, statistical trends and seasonality analyses of discharge data: a case study of the Litija station on the Sava River
	Opis	SLO	Ustrezno ovrednotenje statističnih trendov ter sezonskosti je pomemben del razumevanja globalnih klimatskih sprememb. Prispevek prikazuje izvedbo verjetnostnih analiz, analiz sezonskosti ter analiz trendov z uporabo podatkov z vodomerne postaje Litija na reki Savi. Statistično značilen negativen trend je bil izračunan za vrednosti povprečnih mesečnih pretokov, vendar se je število ekstremnih dogodkov-konic v zadnjem obdobju povečalo. Rezultati analiz sezonskosti ter trendov so prav tako odvisni od izbrane metodologije za določitev vzorca.
		ANG	The identification of statistical trends and seasonality is significant for understanding current global climate change. In this study, discharge data from the Litija gauging station on the Sava River were used to perform flood frequency and seasonality analyses and identify trends. A statistically significant decreasing trend was detected in the mean monthly discharge values; however, the magnitudes of extreme events increased for the Litija station. The results of the study showed that the identified trends and their statistical significance depended on how the samples were defined.
	Objavljeno v		Wiley-Blackwell; Journal of flood risk management; 2014; Letn. XX, št. XX; str. XX; Impact Factor: 1.133;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.497; A': 1; WoS: JA, ZR; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Brilly Mitja, Šraj Mojca
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	6315617	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Primerjava med metodo vrednosti nad izbranim pragom ter metodo letnih maksimumov za izvedbo verjetnostnih analiz visokovodnih konic
		ANG	Comparison between the peaks over threshold method and the annual maximum method for flood frequency analyses
	Opis	SLO	Verjetnostne analize visokovodnih konic lahko izvedemo ali z uporabo metode letnih maksimumov ali metode vrednosti nad izbranim pragom. Prispevek prikazuje primerjavo obeh metod z uporabo podatkov z vodomerne postaje Litija na reki Savi. Rezultati so pokazali da je metoda momentov L primernejša za izvedbo verjetnostnih analiz (metoda letnih maksimumov) kot metoda momentov ali metoda največjega verjetja. Najboljši rezultati so bili dobljeni pri kombinaciji metode momentov L in log-Pearsonove porazdelitve tipa 3. Metoda vrednosti nad izbranim pragom pa je izkazala boljše rezultate kot metoda letnih maksimumov.
		ANG	Flood frequency analysis can be made by using two types of flood peak series, i.e. the annual maximum and peaks-over-threshold series. This study presents a comparison of the results of both methods for data from the Litija 1 gauging station on the Sava River in Slovenia. The results showed a better performance for the method of L-moments when compared with the conventional moments and maximum likelihood estimation. The combination of the method of L-moments and the log-Pearson type 3 distribution gave the best results of all the considered AM cases. The POT method gave better results than the AM method.
	Objavljeno v		Blackwell Scientific Publications; Hydrological sciences journal; 2014; Letn. 59, št. 5; str. 959-977; Impact Factor: 1.252;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.497; WoS: ZR; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Brilly Mitja, Šraj Mojca
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
5.			

COBISS ID		6617953	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Primerjava med klasičnimi univariatnimi verjetnostnimi analizami in bivariatnimi z uporabo funkcije kopula	
	ANG	Comparison between classical univariate frequency analysis and bivariate analysis with copula	
Opis	SLO	Verjetnostne analize so osnova za določanje projektnih pretokov. Običajno se pri analizah upošteva le ena spremenljivka, večinoma letna konica pretoka. Ker pa so hidrološki pojavi določeni z več medsebojno odvisnimi spremenljivkami, je pri analizah smiselno multivariatni pristop. Primer takega postopka je funkcija kopula. Klasične, univariatne verjetnostne analize so še vedno predpogoj za izvedbo analiz z uporabo funkcije kopula. Bivariatno verjetnostno analizo z uporabo funkcije kopula smo naredili za letne konice pretokov in pripadajoče volumne vodomerne postaje Litija na reki Savi. Uporabili smo tri funkcije kopula iz Arhimedove družine in parametre ocenili s pomočjo Kendallovega koeficienta korelacije (metoda momentov). Izračunali smo skupne povratne dobe in jih primerjali z univariatnimi povratnimi dobami. Ugotovili smo, da razlike med povratnimi dobami niso zanemarljivo majhne. Pri dogodku iz leta 1990, ki je bil največji v opazovanem obdobju, povratna doba TAND znaša 92 let, TOR pa 17 let. Univariatni povratni dobi konic in volumnov pa ležita v območju med omenjenima povratnima dobama. S pomočjo statističnih in grafičnih kriterijev ustreznosti smo ugotovili, da kopula Gumbel-Hougaard za obravnavani primer izkazuje boljše rezultate kot kopula Clayton ali kopula Frank.	
	ANG	Frequency analyses are a basis for designing discharge estimations. Univariate flood frequency analyses are usually applied in hydrological practice. Hydrological processes are multivariate, however multivariate analyses are needed. Copula function can be used for multivariate modelling. Classical univariate flood frequency analyses are a precondition for the copula analyses. Flood frequency analyses were made on the annual maximum series data from gauging station Litija on the Sava River. Three copulas from the Archimedean family were used; parameters were estimated with method of moments (based on the Kendall correlation coefficient). Some joint return periods were calculated and compared with the univariate return periods. Differences between return periods were not negligible. In the case of a flood event in 1990, which was the largest in the observed period, TAND was 92 years and TOR was 17 years. Univariate return periods lay between these two values. Statistical and graphical performance measures were used to choose the best fit copula function. Gumbel-Hougaard copula gave better results than Clayton and Frank copulas.	
Objavljeno v	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo; Acta hydrotechnica; 2013; Letn. 26, št. 44; str. 37-48; Avtorji / Authors: Šraj Mojca, Bezak Nejc, Brilly Mitja		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID		Vir: vpis v poročilo
	Naslov	SLO	Nacionalni koordinator in član mednarodnega odbora projekta COST ES0901: Evropski postopki določanja povratnih dob poplavnih vod (FloodFreq) - Šraj Mojca, Brilly Mitja
		ANG	National coordinator and member of MC committee of the project COST



		ES0901: European procedures for flood frequency estimation (FloodFreq) - Šraj Mojca, Brilly Mitja
Opis	SLO	Zanesljivejše ocene pričakovanih ekstremnih poplavnih dogodkov so nujne za načrtovanje in delovanje infrastrukture, kot tudi za določanje splošne poplavne ogroženosti, izdelavo poplavnih kart itd. V praksi se pojavnost ekstremno visokih vod določa s pomočjo verjetnostnih analiz daljših časovnih serij meritev ekstremnih dogodkov. Take analize nam pomagajo oceniti najverjetnejšo pojavnost bodočih ekstremnih dogodkov. Cilj projekta je združiti raziskovalce s tega področja, sistematično oceniti metode določanja poplavnih vod v Evropi in po svetu, narediti korak naprej na znanstvenem in tehnološkem področju ter s tem neposredno vplivati na ekonomski in družbeni razvoj sodelujočih držav.
	ANG	Reliable estimates of expected extreme flood events are required for design and operation of vital infrastructure and also for more general flood risk management and planning, e.g. emergency planning, flood risk mapping. In practice, this information is obtained through the use of flood frequency estimation techniques based on the principle of analysing series of observed events to infer a probabilistic behaviour, which is then extrapolated to provide estimates of the likely magnitude of future extreme events. While the focus of the Project is to make scientific and technological advances, the systematic assessment of methods for flood frequency estimation will constitute a very important contribution to flood risk management in Europe, and thereby have a direct impact on economic and social development throughout large parts of Europe where flooding is a severe problem.
Šifra	D.01 Vodenje/koordiniranje (mednarodnih in domačih) projektov	
Objavljeno v	KJELDTSEN, Thomas Rodding, MACDONALD, Neil, LANG, Michael, MEDIERO, Luis, ALBUQUERQUE, Teresa, BOGDANOWICZ, Ewa, BRAŽDIL, R., CASTELLARIN, Attilio, DAVID, Vaclav, FLEIG, Anne, GÜL, G. O., KRIAUCIUNIENE, Jurate, KOHNOVÁ, Silvia, MERZ, Bruno, NICHOLSON, Oliver, ROALD, Lars, SALINAS, Jose Luis, SARAUSKIENE, Diana, ŠRAJ, Mojca, STRUPCZEWSKI, Witold, SZOLGAY, J., TOUMAZIS, Antonis, VANNEUVILLE, Wouter, VEIJALAINEN, Noora, WILSON, Donna. Documentary evidence of past floods in Europe and their utility in flood frequency estimation. Journal of Hydrology, ISSN 0022-1694. [Print ed.], sept. 2014, 517, 963-973, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.06.038. [COBISS.SI-ID 6628705]	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	6773857 Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Uporaba kopul v hidrologiji: nekaj praktičnih primerov
	ANG	The use of copulas in hydrology: some useful case studies
Opis	SLO	Kopule se uporabljajo na različnih znanstvenih področjih in njihova uporaba se v zadnjem desetletju povečuje. Kopule se uporabljajo za modeliranje večdimenzijskih pojavov. Tudi hidrološki pojavi, kot so poplave in suše, so večdimenzijski in zato bi lahko bile kopule uporabno orodje za izvedbo različnih večvariatnih analiz, bivariatnih ali trivariatnih verjetnostnih analiz, kar bi lahko bila dobra alternativa klasičnim univariatnim verjetnostnim analizam, kjer upoštevamo le eno spremenljivko. V prispevku smo izdelali bivariatne in trivariatne verjetnostne analize za vodomerni postaji Litija (Sava) in Gornja Radgona (Mura), ki sta obe del povodja Donave. Analizirane so različne spremenljivke kot npr. konica pretoka (Q), volumen hidrograma (V), trajanje hidrograma (D), razmerje časov hidrograma (T), koncentracija suspendiranih snovi (SSC), predstavljena pa je tudi metodologija določanja mesečnih vsot SSC.
		Copulas have been used in several scientific fields and also applications of

			<p>ANG</p> <p>copulas have increased in the last decade. Copulas can be used to model multidimensional processes, however many hydrological processes, like floods and droughts, are multidimensional and therefore copulas seem to be an interesting option to carry out different multivariate analysis or perform bivariate and trivariate frequency analysis using copulas, which can be done as alternative to still mostly used univariate frequency analysis, where just one variable is considered in analysis. Bivariate and trivariate analyses were carried out for the Litija and Gornja Radgona gauging stations, which are booth part of the Danube river basin (Sava and Mura rivers, respectively). Different variables, as e.g. peak discharge (Q), hydrograph volume (V), hydrograph duration (D), hydrograph time ratio (T) suspended sediment concentration (SSC) were analysed and a methodology to estimate monthly sums of SSC is presented.</p>
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	Deggendorf Institute of Technology; Bridging the sciences - crossing borders; 2014; Str. 33-36; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Brilly Mitja, Mikoš Matjaž, Šraj Mojca	
	Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
3.	COBISS ID	6234721	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Bivariatne verjetnostne analize z uporabo kopula funkcije
		ANG	Bivariate flood frequency analyses using Copula function
	Opis	SLO	Verjetnostne analize visokovodnih valov se ponavadi izvajajo s pomočjo univariatnih porazdelitvenih funkcij in v večini primerov se v anlizah upošteva le konica pretoka. Hidrološki pojavi pa so večdimenzijski, zato je smiselno upoštevati več spremenljivk. S kopula funkcijami se da uspešno modelirati odvisnost dveh ali več odvisnih spremenljivk, določitev robne porazdelitve in izbira kopule pa sta dva ločena procesa. Za analizo je bilo uporabljenih 58 let podatkov z vodomerne postaje Litija. Za izločanje baznega odtoka je bila izbrana tri-točkovna grafična metoda. Uporabili smo najpogosteje uporabljene kopula funkcije iz Arhimedove družine (Gumbel-Hougaard, Frank, Joe, Clayton, BB1 in Ali-Mikhail-Haq), eliptične družine (Student-t and Normal) in družine kopul ekstremnih vrednosti (Galambos, Hüsler-Reiss and Tawn). Kot rezultat študije so podane pogojne povratne dobe OR in AND primerov.
		ANG	Flood frequency analyses are usually made by univariate distribution functions and in most cases only peaks are considered in analyses. However, hydrological processes are multidimensional, so it is reasonable to consider more than one variable in analyses. Copula function successfully models dependence between two or more depended variables and determination of marginal distributions and Copula selection are two separate processes. 58 years of annual maximums on the Litija station were used for analyses and three-points graphical method was used for base flow separation. Some frequently used Copula functions from the Archimedean (Gumbel-Hougaard, Frank, Joe, Clayton, BB1 and Ali-Mikhail-Haq), Elliptical (Student-t and Normal) and Extreme value (Galambos, Hüsler-Reiss and Tawn) families were applied to the data. Conditional return periods, including OR and AND cases, were determined as results of the study.
	Šifra	B.03	Referat na mednarodni znanstveni konferenci
	Objavljeno v	European Geophysical Society; Geophysical research abstracts; 2013; Letn. 15; 1 str.; Avtorji / Authors: Šraj Mojca, Bezak Nejc, Brilly Mitja	
	Tipologija	1.12	Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci
4.	COBISS ID	6578273	Vir: COBISS.SI

Naslov	SLO	Trivariatne verjetnostne analize konic pretokov, volumnov visokovodnih valov ter koncentracij suspendiranih snovi z uporabo funkcij kopula	
	ANG	Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas	
Opis	SLO	Funkcije kopula se relativno pogosto uporabljajo za izvedbo multivariatnih verjetnostnih analiz visokovodnih valov, vendar do sedaj še niso bile uporabljene za hkratne analize konic pretokov ter koncentracij suspendiranih snovi. Podatki s šestih vodomernih postaj (1–Slovenija ter 5–ZDA) so bili uporabljeni za izvedbo trivariatnih verjetnostnih analiz s hkratnim upoštevanjem konic pretokov, volumnov visokovodnih valov ter koncentracij suspendiranih snovi. Gumbel–Hougaard copula je bila v vseh šestih primerih izbrana kot najustreznejša za izvedbo analiz. Rezultati raziskave kažejo, da so funkcije kopula uporabno matematično orodje, ki jih lahko uporabimo tudi za modeliranje zgoraj omenjenih spremenljivk.	
	ANG	Trivariate Frequency Analyses of Peak Discharge, Hydrograph Volume and Suspended Sediment Concentration Data Using Copulas. Copula functions are often used for multivariate frequency analyses, but discharge and suspended sediment concentrations have not yet been modelled together with the use of 3-dimensional copula functions. One hydrological station from Slovenia and five stations from USA were used for trivariate frequency analyses of peak discharges, hydrograph volumes and suspended sediment concentrations. We selected Gumbel–Hougaard copula as the most appropriate model for all discussed stations. We can conclude that copula functions are useful mathematical tool, which can also be used for modelling variables that are presented in this paper.	
Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj		
Objavljeno v	Reidel; Water resources management; 2014; Letn. 28, št. 8; str. 2195-2212; Impact Factor: 2.463; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.11; A': 1; WoS: IM, ZR; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Mikoš Matjaž, Šraj Mojca		
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
5. COBISS ID	6474849		Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Uporaba kopul v hidrologiji	
	ANG	The use of copulas in hydrology	
Opis	SLO	Funkcije kopula se v svetu vse pogosteje uporabljajo na različnih znanstvenih področjih, v hidrologiji pa se njihova uporaba v večji meri pojavlja šele v zadnjem desetletju. V prispevku so prikazani rezultati nekaterih praktičnih možnosti uporabe kopul v hidrologiji. Naredili smo bivariatne ter trivariatne verjetnostne analize elementov visokovodnih valov (konice pretokov, volumni ter časi trajanja), analizirali smo povezanost pretokov, volumnov valov ter vrednosti koncentracij suspendiranih snovi ter definirali model, s katerim lahko na podlagi znanih vrednosti pretokov in padavin ocenimo vrednosti koncentracij suspendiranih snovi. Z uporabo statističnih testov smo pokazali, da je kopula model dal boljše rezultate kot nekateri pogosto uporabljeni regresijski modeli.	
	ANG	Copula functions have been used increasingly in several scientific fields, but applications of copulas in hydrology have increased in the last decade. In the paper the results of some useful case studies of copula application are presented Bivariate and trivariate analyses of flood variables (peak, volume, duration) were carried out. We analysed also the dependance of peak discharge, hydrograph volume and suspended sediment concentration and define the model for estimation of suspended sediment concentration values with the use of measured discharge and precipitation. Statistical	

		tests show that copula model gave better results comparing to the often used regression models.
Šifra	F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)
Objavljeno v	Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo; Raziskave s področja geodezije in geofizike 2013; 2014; Str. 7-22; Avtorji / Authors: Bezak Nejc, Brilly Mitja, Mikoš Matjaž, Šraj Mojca	
Tipologija	1.08	Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>2</sup>

Skupina je v sklopu projekta objavila 9 izvirnih znanstvenih člankov (1.01), od tega 5 SCI člankov v revijah A1 in A2 in 4 v slovenskih revijah. Poleg tega so bili rezultati projekta predstavljeni na 8 konferencah in objavljeni kot celotni članki (3) ali kot povzetki (5).

BEZAK, Nejc, HORVAT, Alja, ŠRAJ, Mojca. Analysis of flood events in Slovenian streams. Journal of Hydrology and Hydromechanics, v tisku 2015, 1-11, doi: 10.1515/johh-2015-0014.

HORVAT, Alja, BEZAK, Nejc, ŠRAJ, Mojca. Analiza visokovodnih valov slovenskih vodotokov = Analysis of flood waves in Slovenian water courses. Ujma, 28, 229-235. [COBISS.SI-ID 6852449]

ŠRAJ, Mojca, BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja. Copula approach for flood frequency analysis. Floodfreq: booklet of abstracts. GFZ, Potsdam, 2014, 13. [COBISS.SI-ID 6531169]

BEZAK, Nejc, MIKOŠ, Matjaž, BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca. Copula frequency analyses of peak discharge, hydrograph volume and suspended sediment concentration. Geophysical research abs., 2014, 16 [COBISS.SI-ID 6582369]

ŠRAJ, Mojca, BEZAK, Nejc. Analiza visokovodnih valov Save v Litiji = The analysis of flood waves on the Sava River in Litija. Ujma, 2013, 27, 228-235. [COBISS.SI-ID 6419041]

BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca. Izbira metode pri verjetnostnih analizah visokovodnih konic. V: 18. strokovno srečanje ZZGG, zbornik predavanj. Ljubljana: FGG, 2013, 45-55. [COBISS.SI-ID 6157665]

BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca. Decadal flood frequency analyses - Case study of station Litija on the Sava river. Geophysical research abs., 2013, 15 [COBISS.SI-ID 6234977]

BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja, ŠRAJ, Mojca. Flood frequency analyses with annual and partial flood series. Geophysical research abs., 2012, 14 [COBISS.SI-ID 5822817]

ŠRAJ, Mojca, BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja. Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji, Acta hydrotechnica, 2012, 5/42, 41-59. [COBISS.SI-ID 6467937]

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

Področje voda ima zagotovo velik javni pomen. Projekt sledi Evropski poplavni direktivi (Directive 2007/60/EC), katere cilj je zmanjšati in obvladati nevarnosti poplav za človeka, okolje, kulturno dediščino in ekonomske aktivnosti. Kljub pomembnemu napredku hidrologije in tudi verjetnostne analize poplav v zadnjih desetletjih pa se metodologija določanja tveganja pojavljanja poplav v večini držav že dolgo ni posodobila.

V svetovni hidrološki literaturi je le omejeno število študij, ki obravnavajo določanje povratne dobe oz. analizo ekstremnih dogodkov z obravnavo večih spremenljivk hkrati. Kopula modeli se pravzaprav v svetovni hidrološki praksi šele uveljavljajo. Do sedaj narejene študije v svetu kažejo, da je nov pristop k določanju povratnih dob ekstremnih poplavnih dogodkov zelo uspešen in nujen za sodobno in uspešno načrtovanje in upravljanje z vodami.

Raziskovalni projekt ima velik pomen za razvoj hidrologije in tudi drugih okoljskih znanosti v

mednarodnem prostoru, na kar kažejo tudi objave rezultatov projekta v uglednih svetovnih revijah (5 SCI člankov) in predstavitve na velikih mednarodnih konferencah (6), zanimanje zanje, odzivi in tudi že prvi citati. Raziskava predstavlja in uvaja nov pristop določanja povratne dobe ekstremnih dogodkov. V prihodnje bo razvoj in uporaba verjetnostnih modelov večih spremenljivk verjetno nujna. Poleg zastavljenih ciljev projekta pa smo s pomočjo kopula funkcij izvedli tudi trivariatne verjetnostne analize konic, volumnov in suspendiranih snovi visokovodnih valov, kar je prvi tovrstnen primer v svetu. Izvedli smo tudi prvi poskus ocenjevanja manjkajočih meritev (koncentracij suspendiranih snovi) in ga zelo uspešno predstavili na mednarodni znanstveni konferenci v Deggendorfu, v Nemčiji.

Razvoj in uporaba kopula funkcij je v polnem zamahu. Cela vrsta vprašanj pri izbiri vzorcev, metodologiji in analizi rezultatov je bila odgovorjena tudi s pomočjo te projektne naloge (glej objave). S tem projektom smo se priključili vodilnim državam, ki razvijajo nov pristop in dodali edinstven prispevek pri razvoju in uporabi kopula funkcij v znanosti in praksi.

ANG

Field of waters undoubtedly belongs among one of the main public interests. Project follows EU Flood Directive (Directive 2007/60/EC), which aims to reduce and manage flood risk for human, the environment, cultural heritage and economic activity. Despite the significant progress of hydrology and also flood frequency analysis in recent decades, the methodology of the estimation of the risk of floods in the most of the countries has not been updated for a long time.

Only a limited number of studies dealing with the estimation of the return period and analysis of extreme events with the multivariate approach have been reported in the hydrologic literature. Copula models are just beginning to make their way into the hydrological literature. Recently published studies show that the new approach of multivariate flood frequency analyses is very successful and necessary for contemporary and successful planning and water management.

The research project is of great importance for the development of hydrology and other environmental sciences in the world, which is indicated by the publication of the project results in reputable international journals (5 SCI papers) and presentation of the project results at important international conferences (6), interest for them, responses, and already first citations. The research presents and introduces a new approach for determination of the return period of extreme events. Development and use of multivariate flood frequency models will be probably necessary in the future. In addition to the goals of the project, we performed trivariate frequency analyses with copulas also for flood peaks, volumes and suspended sediment concentrations, which is the first such attempt in the world. We also carried out the first attempt of assessing of the missing measurements (concentrations of suspended sediment concentrations) and presented results very successfully at an international scientific conference in Deggendorf, Germany.

Development and application of copula functions is in full progress. A great range of issues about the selection of samples, methodology and analysis of the results was answered within this project (see publications). With this project we joined the leading countries in developing of the new approach and add a unique contribution to the development and use of copula functions in the science and practice.

## 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Področje voda zagotovo spada med najpomembnejše javne interese, zato so tovrstne raziskave zelo pomembne za razvoj družbe. Poplave so ena od najpogostejših in v ekonomskem smislu tudi najdražjih naravnih nesreč. Ne majhen delež slovenske populacije, infrastrukture, industrije in celo kulturne dediščine je lociran na poplavno ogroženih območjih. Posledično poplave na teh območjih vedno pogosteje povzročajo veliko škodo, stroške in včasih terjajo celo življenje. Inženirji poplav ne moremo ustaviti, moramo pa iskati konstrukcijske in nekonstrukcijske rešitve za zmanjšanje tveganja družbene ogroženosti, velikih ekonomskih stroškov, okoljske škode in izgube življenj. Razvoj ekonomsko učinkovitih in racionalnih načrtov pa zahteva dobro oceno tveganja poplavljanja in upoštevanje Evropske poplavne direktive (Directive

2007/60/EC). Čim bolj točna ocena obsega in pogostosti pojavljanja poplav je nujna za pravilno načrtovanje in delovanje vodooskrbnih sistemov, objektov za kontrolo vode, določanje poplavnih območij in gospodarjenje, dimenzioniranje transportne infrastrukture (mostovi, ceste) ipd.

Rezultati projekta v hidrološko prakso v Sloveniji in v svetu prinašajo nov pristop določanja povratne dobe ekstremnih dogodkov. V prihodnje bo razvoj in uporaba verjetnostnih modelov večih spremenljivk nujna tudi v Sloveniji. Nenazadnje tudi zaradi vedno pogostejšega pojavljanja ekstremnih dogodkov (podnebne spremembe). Študija je pokazala, da je v primerjavi s klasičnimi univariatnimi analizami metodologija kopul nekoliko bolj zapletena, končni rezultati pa so večinoma drugačni od tistih, ki jih dobimo s klasičnimi analizami le ene spremenljivke. Verjamemo, da bo nov pristop v veliki meri izboljšal določanje tveganja pojava ekstremnih dogodkov, predvsem za potrebe dimenzioniranja pomembnejših hidrotehničnih objektov in tako zmanjšal škodo in stroške ob poplavih, zmanjšal ogroženost ljudi, lastnine, naravne in kulturne dediščine in verjetno rešil kakšno življenje.

ANG

Field of waters undoubtedly belongs among one of the main public interests, therefore such a research is very important for the society. Floods are one of the most frequent and costly natural disasters. Not a small portion of Slovenian population, infrastructure, industry and even cultural heritage is located in flood risk areas. As a result, floods cause large damage, costs and sometimes also lives. Engineers cannot stop floods from occurring, but we should seek structural and nonstructural strategies to reduce the risk of social vulnerability, large economic losses, environmental damage and loss of life. Development of economically efficient and rational plans requires good estimation of the risk of the flooding and considering of EU Flood Directive (Directive 2007/60/EC). Accurate estimates of the magnitude and frequency of flood flows are needed for the design and operation of water-use and water control projects, for floodplain definition and management, for the design of transportation infrastructure such as bridges and roads etc.

The results of the project bring a new approach of determining of the return period of extreme events in hydrological practice in Slovenia and abroad. In the future, the development and use of the multivariate probabilistic models would be necessary also in Slovenia. Furthermore, that would be necessary also due to the more frequent occurrence of extreme events (climate change). The study showed that, compared with conventional univariate frequency analyses, the copula approach is a bit more complicated, but final results are different from those obtained by univariate analyses. We believe that the new approach will largely improve the determination of the risk of extreme events, mainly for the needs of construction of the important water structures and reduce flood damage and economic costs, social vulnerability, natural and cultural heritage vulnerability and probably save also lives.

#### 10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>



<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanju naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

**Komentar**

--

**11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>					
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>					
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>					
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>					

**Komentar**

--

**12.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR

Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
Komentar		
Ocena		

### 13. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

ŠRAJ, Mojca, BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja. Bivariate flood frequency analysis using the copula function : a case study of the Litija station on the Sava River. *Hydrological processes*, 29/2, 2015, 225-238, doi: 10.1002/hyp.10145. [COBISS.SI-ID 6468961], kategorija: 1A1 (Z, A', A1/2).

Verjetnostne analize so osnova za določanje projektnih pretokov. Ker so hidrološki pojavi določeni z več odvisnimi spremenljivkami, je pri analizah smiselna multivariatna pristop z uporabo kopula funkcij. Bivariatno verjetnostno analizo smo naredili za letne konice pretokov in pripadajoče volumne vodomerne postaje Litija na reki Savi. Uporabili smo tri različne funkcije kopula. Izračunali smo skupne povratne dobe in jih primerjali z univariatnimi. Ugotovili smo, da razlike med povratnimi dobami niso zanemarljivo majhne, zato je uporaba takega postopka smiselna in nujna predvsem pri dimenzioniranju pomembnejših hidrotehničnih objektov.

#### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

--

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

#### Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
gradbeništvo in geodezijo

Mitja Brilly

ŽIG

Kraj in datum: 

Ljubljana,	27.2.2015
------------	-----------

**Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/93**

---

- <sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)
  - <sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
  - <sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)
  - <sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)
  - <sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)
  - <sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.
- Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.
- Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)
- <sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)
  - <sup>8</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)
  - <sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
  - <sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)
  - <sup>11</sup> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)
  - <sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a  
0A-4A-6F-BC-DD-5F-53-B3-AC-63-19-69-BD-B3-BB-29-38-CA-6B-24

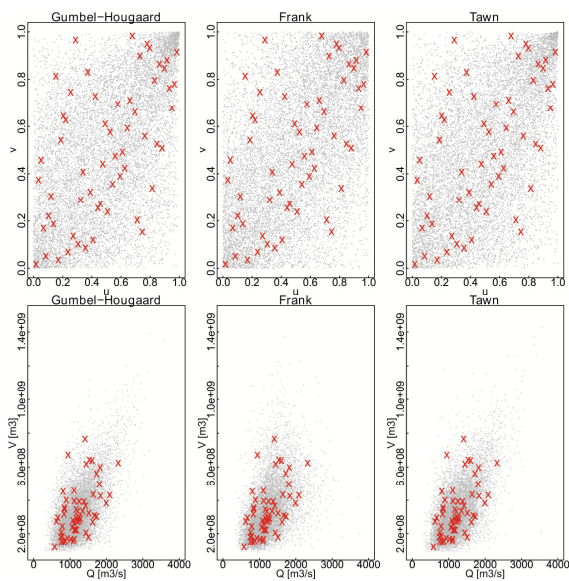
## **Priloga 1**

# TEHNIKA

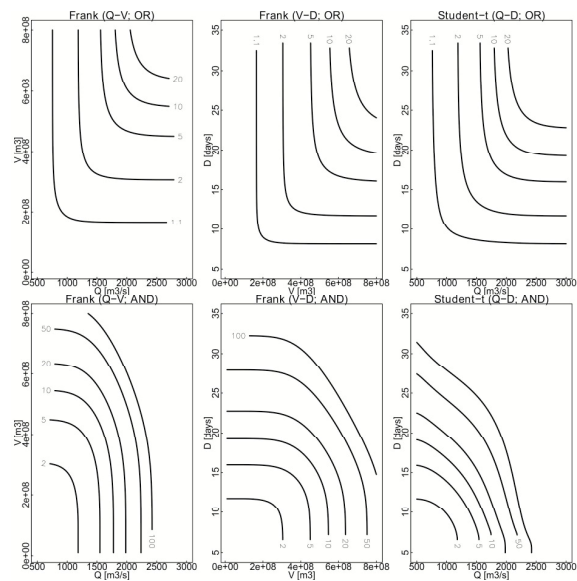
## Področje: 2.20 – Vodarstvo

### Uporaba funkcij kopula v hidrologiji

Vir: ŠRAJ, Mojca, BEZAK, Nejc, BRILLY, Mitja. Bivariate flood frequency analysis using the copula function : a case study of the Litija station on the Sava River. Hydrological processes, 29, 225-238, 2015, doi: 10.1002/hyp.10145.



**Grafično preverjanje ustreznosti različnih funkcij kopula (Gumbel-Hougaard, Frank, Tawn)**



**Rezultati bivariatnih verjetnostnih analiz z uporabo najustrežnejših funkcij kopula**

Opis dosežka oz. učinka:

Uporaba funkcij kopula v svetovni hidrološki praksi se v zadnjem desetletju vseskozi povečuje. Izvedba multivariatnih verjetnostnih analiz s kopulami je le ena izmed možnih aplikacij teh funkcij. V Sloveniji se za izvedbo verjetnostnih analiz večinoma uporabljajo običajne univariatne verjetnostne analize, kjer v analizah upoštevamo le eno spremenljivko, večinoma so to konice pretokov. Funkcije kopula pa omogočajo, da poleg podatkov o pretokih v analizah zajamemo dodatne informacije, kot so npr. podatki o volumnih visokovodnih valov in časih trajanja visokovodnih valov. Te dve spremenljivki sta večinoma odvisni od konic pretokov, kar pomeni da je hkratno upoštevanje le-teh smiselno in posledično so tudi verjetnostne analize izvedene bolj zanesljivo. Ker vemo, da lahko poplave povzročijo veliko gmotno škodo in celo ogrozijo človeška življenja, je za določitev povezave med povratnimi dobami in ocenjenimi vrednostmi spremenljivk potrebno uporabiti sodobne in zanesljive metodologije. S funkcijami kopula v postopku izvedbe verjetnostnih analiz upoštevamo dodatne informacije-podatke, kar pomeni da so tudi končni rezultati zanesljivejši. Bivariatne verjetnostne analize parov podatkov o konicah pretokov, volumnih visokovodnih valov ter časih trajanja visokovodnih valov so bile narejene za podatke z vodomerne postaje Litija na reki Savi. Izveden in opisan je bil celoten postopek izvedbe bivariatnih verjetnostnih analiz s kopulami, ki se lahko uporabi tudi za podatke z drugih vodomernih postaj v Sloveniji.