

UDK/UDC: 519.2:556.531(282)(497.4)

Prejeto/Received: 21.07.2015

Izvirni znanstveni članek – *Original scientific paper*

Sprejeto/Accepted: 28.01.2016

## KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV NA SOTOČJU REK SOČE IN VIPAVE

## COINCIDENT FREQUENCY ANALYSIS OF FLOOD WAVES AT THE CONFLUENCE OF THE SOČA AND THE VIPAVA RIVERS

Anja Vihar<sup>1</sup>, Mitja Brilly<sup>1</sup>, Mojca Šraj<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana

### Izvleček

V prispevku je predstavljena metodologija koincidenčne verjetnostne analize visokovodnih valov. S pomočjo programa HEC-SSP je izračunan primer koincidenčne verjetnostne analize visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave, pri čemer smo izračunali verjetnostno porazdelitev gladine Vipave v Sovodnjah na osnovi merjenih pretokov Vipave v Mirnu ter izračunanih pretokov Soče na sotočju z Vipavo. Za pridobitev odzivnih krivulj gladine Vipave v Sovodnjah smo izvedli simulacije s pomočjo enodimenzionalnega hidravličnega modela HEC-RAS. Na gladino Vipave na odseku od sotočja do naselja Miren ob visokih vodah močno vpliva povečan pretok Soče na sotočju, ki povzroča zaježitev Vipave in s tem njeno poplavljanje. Za zmanjšanje verjetnosti poplavljanja Vipave na tem odseku bi bilo zato najprej potrebno urediti strugo Soče, da ne bi povzročala zaježitve Vipave v tolikšnem obsegu.

**Ključne besede:** koincidenčna verjetnostna analiza, HEC-SSP, sotočje, visokovodni val, Vipava, Soča

### Abstract

In this paper the methodology of the coincident frequency analysis is presented. Using the HEC-SSP program the coincident frequency analysis of flood waves at the confluence of the Soča and Vipava rivers was performed. The probability distribution of water level of the Vipava River in Sovodnje was assessed on the basis of measured discharge data of the Vipava River in Miren and calculated discharge data of the Soča River at the confluence with the Vipava River. In order to obtain the response curves of the water level of the Vipava River at Sovodnje, simulations using a one-dimensional hydraulic model HEC-RAS were performed. The water level of the Vipava River in its lower reach near the confluence is highly influenced by increased discharge of the Soča River at the confluence with the Vipava River, which causes backwater of the Vipava River. In order to reduce the probability of flooding of the Vipava River at its lower reach near the confluence, the backwater effect should be reduced first.

**Keywords:** coincident frequency analysis, HEC-SSP, confluence, flood wave, Vipava River, Soča River

---

<sup>1</sup> Stik / Correspondence: [mojca.sraj@fgg.uni-lj.si](mailto:mojca.sraj@fgg.uni-lj.si)

© Vihar A. et al.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0](#).

© Vihar A. et al.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence](#).

## 1. Uvod

Vse pogosteje smo priča izrednim hidrološkim dogodkom, ki so posledica različnih naravnih pojavov. Na mehanizme narave, ki takšne dogodke sprožijo, ne moremo vplivati, lahko pa se nanje delno pripravimo tudi z analiziranjem preteklih dogodkov. Poznavanje pojava visokih voda nam omogoča učinkovitejše varstvo pred poplavami in načrtovanje hidrotehničnih objektov, ustrežnejše načrtovanje rabe prostora ter na splošno boljše gospodarjenje z vodami (Brilly in Polič, 2005; Kobold et al., 2005; Mikoš et al., 2004; Šraj et al., 2012; Bezak et al., 2014a).

Verjetnostna analiza predstavlja orodje za ocenjevanje verjetnosti določenega hidrološkega pojava na podlagi preteklih dogodkov. Rezultat verjetnostne analize je povezava med pretokom in povratno dobo pretoka. V primerih, ko je določen hidrološki dogodek funkcija dveh drugih slučajnih sočasnih hidroloških dogodkov, lahko uporabimo koincidenčno verjetnostno analizo. Pretekli podatki o pojavu, katerega verjetnost nas zanima, nam niso poznani, lahko pa njegovo verjetnost izračunamo na podlagi znanih podatkov o dogodkih, od katerih je le-ta odvisen (Faber in Gibson, 2003). Tak primer je tudi poplavljanje pritoka pred sotočjem kot posledica povečanega pretoka pritoka ter sočasnega povečanega pretoka glavnega vodotoka na sotočju, ki povzroči zaježitev pritoka. Koincidenčna verjetnostna analiza se lahko uporabi tudi v številnih drugih situacijah, ko je določen slučajni dogodek funkcija dveh drugih slučajnih dogodkov. V dosedanjih študijah so koincidenčno verjetnostno analizo na primer uporabili pri ugotavljanju verjetnosti poplavljanja reke pred izlivom v morje, kot posledice zaježitve reke zaradi povišanega plimovanja in sočasnega povečanega pretoka reke (Tingsanchali in Kitpaisalsaku, 1999), pri ugotavljanju verjetnosti zalednega poplavljanja kot posledice zalednega odtoka in povišane gladine reke nad nivojem cevne prepusta na protipoplavnem nasipu (USACE, 1995) ipd.

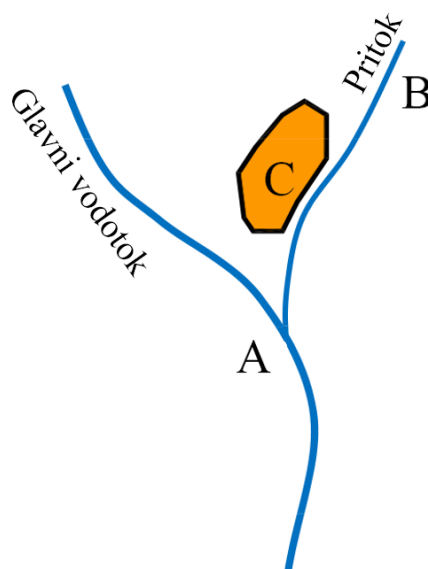
V prispevku je predstavljena metodologija koincidenčne verjetnostne analize s podrobnim prikazom poteka analize in predstavitvijo prosto

dostopnega programskega orodja HEC-SSP, ki omogoča tovrstne analize. Program je bil po nam znanih podatkih za koincidenčno verjetnostno analizo v Sloveniji uporabljen prvič, tako da smo hkrati preverili tudi njegovo uporabnost. V praktičnem delu prispevka je prikazan izračun in rezultati koincidenčne verjetnostne analize visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave. Ob visokih vodah reka Soča na sotočju z Vipavo le-to zaježi, kar še dodatno poveča možnost poplavljanja Vipave pred sotočjem.

## 2. Metode in podatki

### 2.1 Koincidenčna verjetnostna analiza

Poplavni dogodki so pogosto posledica več sočasnih slučajnih hidroloških dogodkov. V določenih primerih nas zanima verjetnost dogodka, za katerega nimamo na voljo merjenih podatkov, lahko pa njegovo verjetnostno porazdelitev izračunamo na podlagi meritev dveh drugih slučajnih dogodkov, od katerih je le-ta odvisen. Na primer, poplavljanje pritoka pred sotočjem (C) je lahko posledica povečanega pretoka pritoka (B) ob sočasnem povečanem pretoku glavnega vodotoka (A) na sotočju, ki povzroči zaježitev pritoka (slika 1).

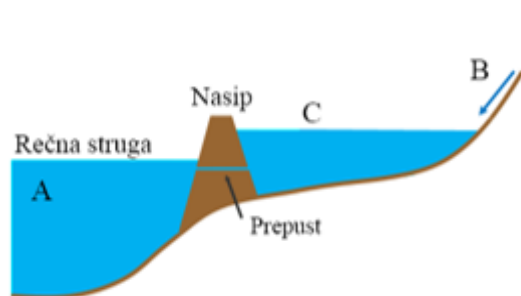


*Slika 1: Poplavljanje pritoka pred sotočjem (prirejeno po Faber and Gibson, 2005).*

*Figure 1: Flooding on a river tributary (adapted from Faber in Gibson, 2005).*

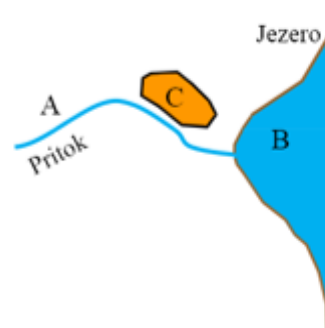
V nadaljevanju prispevka je povzeta metodologija koincidenčne verjetnostne analize po Faber in Gibson (2003). Najlažje je porazdelitev gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka *C*) izračunati ob predpostavki, da so visokovodne konice na pritoku (spremenljivka *B*) in visokovodne konice na sotočju (spremenljivka *A*) ali popolnoma medsebojno odvisne ali pa popolnoma neodvisne. Glede na dejansko korelacijo dogodkov je predpostavka o popolni korelaciji le-teh lahko pretirano konservativna, medtem ko lahko predpostavljjanje popolne neodvisnosti dogodkov kljub temu, da med njima obstaja korelacija, podcenjuje pogostost ekstremnih pojavov.

Običajno med dvema takšima sočasima hidrološkima dogodkoma (spremenljivkama *A* in *B*) obstaja določena linearna povezanost (koeficient korelacije  $\neq 0$ ), zato bi bilo potrebno izračunati pogojno (skupno) verjetnostno porazdelitev takšnih dogodkov. Za zanesljivo sklepanje o pogojni oziroma skupni verjetnosti pa imamo po navadi v hidrologiji na voljo premajhen niz podatkov. Koincidenčna verjetnostna analiza se lahko uporablja tudi v številnih drugih situacijah, prikazanih na sliki 2.



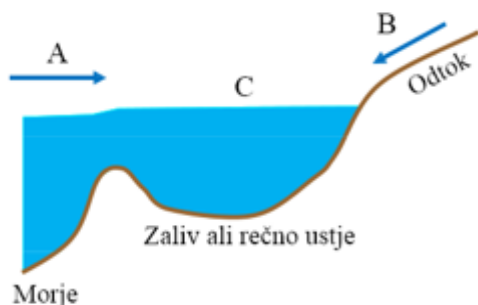
**Poplavljanje zaradi zalednih voda**

- A=pretok v rečni strugi
- B=zaledni odtok
- C=gladina vode za nasipom



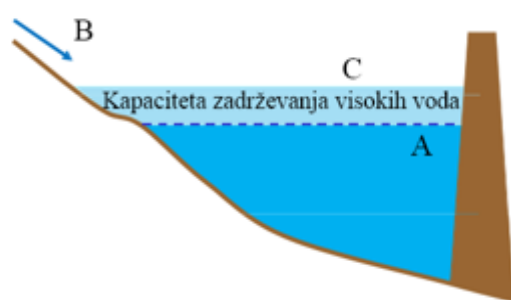
**Poplavljanje pritoka pred izlivom v jezero**

- A=pretok pritoka
- B=gladina jezera
- C=gladina pritoka pred izlivom



**Poplavljanje zaradi padavinskega odtoka in ciklonske plime**

- A=povišana gladina morja zaradi ciklonske plime
- B=padavinski odtok
- C=gladina v zalivu / rečnem ustju



**Visokovodni zadrževalnik**

- A=začetni nivo vode v zadrževalniku
- B=dotok
- C=izkoriščena kapaciteta zadrževanja visokih voda

*Slika 2: Primeri uporabe koincidenčne verjetnostne analize (prirejeno po Faber in Gibson, 2005).*

*Figure 2: Examples requiring coincident frequency analysis (adapted from Faber and Gibson, 2005).*

### 2.1.1 Določitev spremenljivk

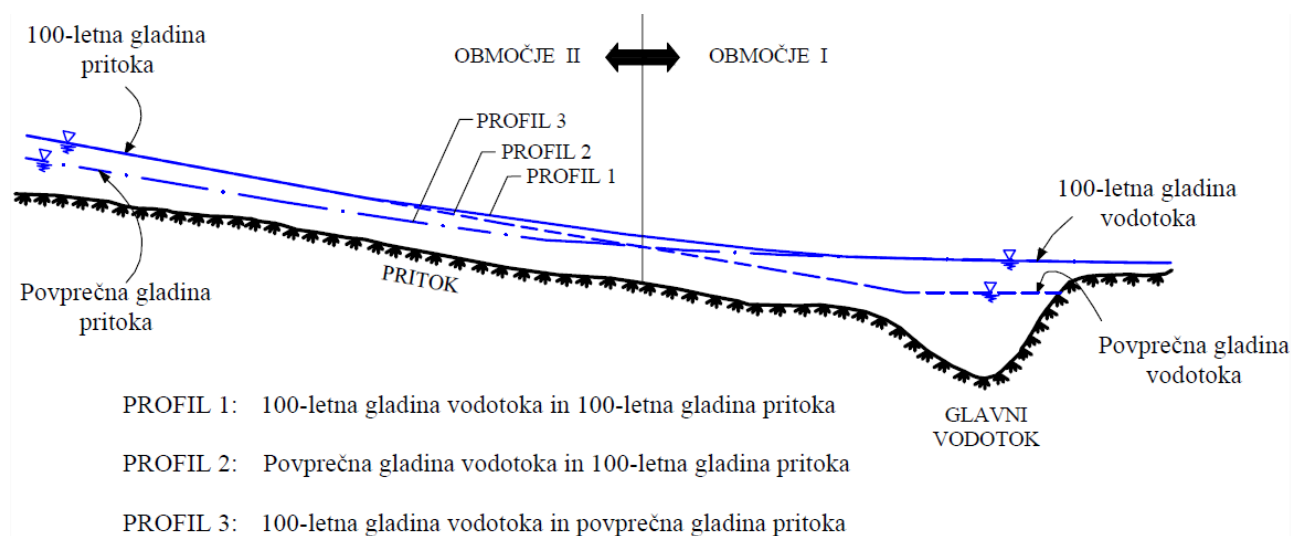
Iskano spremenljivko označimo s  $C$ , spremenljivki, od katerih je le-ta odvisna, pa označimo z  $A$  (dominantna spremenljivka) in  $B$  (ne-dominantna spremenljivka). Če ima na gladino pritoka pred sotočjem (na mestu, kjer nas zanima verjetnostna porazdelitev gladine) ob visokih vodah večji vpliv pretok glavnega vodotoka na sotočju (povzroča zaježitev pritoka), potem slednji predstavlja dominantno spremenljivko  $A$ , pretok pritoka gorvodno pa ne-dominantno spremenljivko  $B$  in obratno (USACE, 1993). Slika 3 prikazuje različne profile gladin pritoka pred sotočjem z glavnim vodotokom. V območju I ima gladina glavnega vodotoka prevladujoč vpliv na gladino pritoka pred sotočjem, medtem ko v območju II prevladuje vpliv pretoka pritoka. Meja med območjema I in II ni natančno določljiva in se spreminja s stopnjo verjetnosti dogodka. Določanje verjetnosti gladine bo najmanj natančno v bližini meje med območjema I in II, kjer imata obe spremenljivki (pretok pritoka in pretok glavnega vodotoka na sotočju) znaten vpliv na gladino pritoka pred sotočjem (USACE, 1993). V nadaljevanju razlage koincidenčne verjetnostne teorije na podlagi primera na sliki 2 smo za dominantno spremenljivko  $A$  določili pretok glavnega vodotoka na sotočju, za ne-dominantno spremenljivko  $B$  pretok pritoka gorvodno, spremenljivka  $C$  pa predstavlja iskano gladino pritoka pred sotočjem.

### 2.1.2 Verjetnostna analiza dominantne spremenljivke

Izračunati je potrebno verjetnostno krivuljo dominantne spremenljivke  $A$  (slika 4). S tem pridobimo oceno  $n$ -letnih vrednosti dominantne spremenljivke  $A$  (pretok glavnega vodotoka na sotočju).

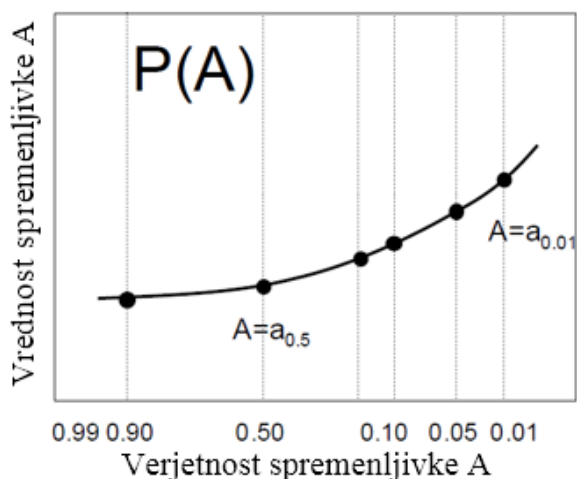
### 2.1.3 Analiza trajanja ne-dominantne spremenljivke

Za ne-dominantno spremenljivko  $B$  (pretok pritoka gorvodno) potrebujemo krivuljo trajanja, ki jo nato diskretiziramo oziroma določimo število diskretnih delov (slika 5). Za vsak diskretni del krivulje je določena indeksna vrednost  $b_i$  spremenljivke  $B$  (pretok pritoka gorvodno), ki predstavlja delež časa na krivulji trajanja. Indeksna vrednost je določena tako, da sta površini grafov pod diskretizirano in prvotno krivuljo trajanja čim bolj enakovredni. Vsaka tako določena indeksna vrednost zastopa delež časa na krivulji trajanja, ko je pričakovana takšna vrednost pretoka. V programu HEC-SSP so glede na izbiro števila indeksnih točk določeni razponi deleža časa (preglednica 1). S pomočjo tako diskretizirane krivulje trajanja so izračunane pogojne verjetnostne krivulje iskane spremenljivke  $C$  (gladina pritoka pred sotočjem) (USACE, 2010b).



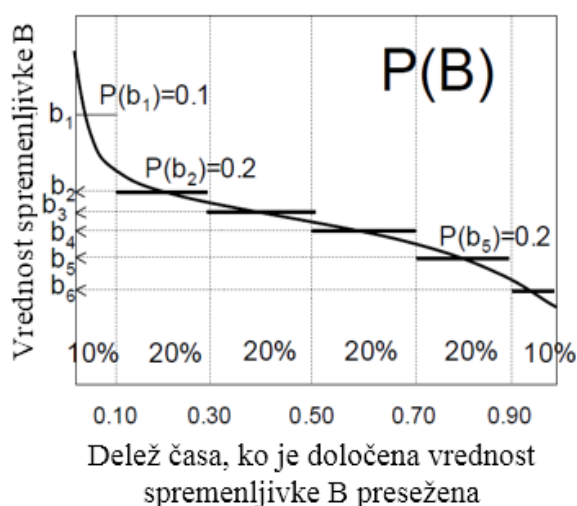
**Slika 3:** Prikaz profila gladine pritoka in glavnega vodotoka (prirejeno po USACE, 1993).

**Figure 3:** Illustration of water surface profiles in coincident frequency analysis (adapted from USACE, 1993).



**Slika 4:** Verjetnostna krivulja dominantne spremenljivke A (prirejeno po Faber in Gibson, 2003).

**Figure 4:** Frequency curve of dominant variable A (adapted from Faber and Gibson, 2003).



**Slika 5:** Diskretizirana krivulja trajanja ne-dominantne spremenljivke B (prirejeno po Faber in Gibson, 2003).

**Figure 5:** Discretized duration curve of non-dominant variable B (adapted from Faber and Gibson, 2003).

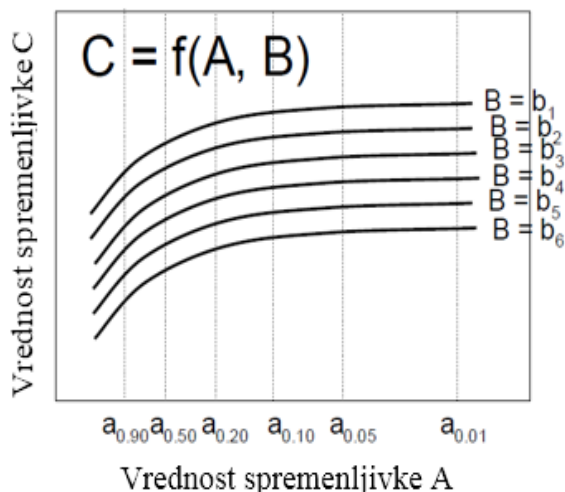
**Preglednica 1:** V programu HEC-SSP privzeti razponi deleža časa na krivulji trajanja glede na število indeksnih točk (USACE, 2010b).

**Table 1:** HEC-SSP default ranges of time proportion on the duration curve based on the number of index points (USACE, 2010b).

indeks	Število indeksnih točk						
	3	4	5	6	7	8	9
1	20	15	45	35	35	35	40
2	60	35	40	30	25	20	20
3	20	35	10	20	20	15	15
4		15	4	10	10	10	10
5			1	4	6	10	5
6				1	3	6	4
7					1	3	3
8						1	3
9							1

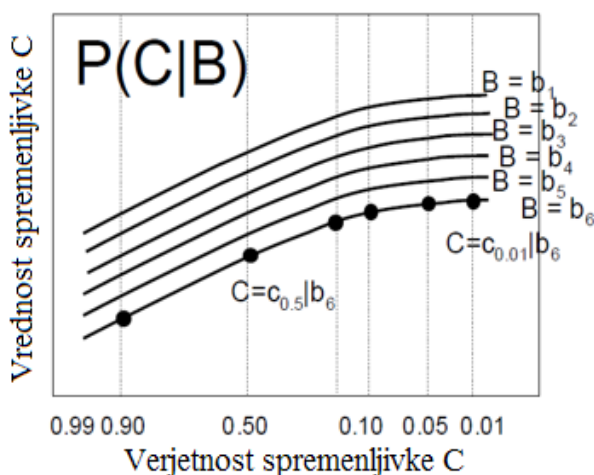
#### 2.1.4 Simulacije v hidravličnem modelu in odzivne krivulje iskane spremenljivke

Vrednosti iskane spremenljivke C (gladina pritoka pred sotočjem) pridobimo s pomočjo simulacij različnih kombinacij ocenjenih  $n$ -letnih vrednosti dominantne spremenljivke A (pretok glavnega vodotoka na sotočju) in indeksnih vrednosti  $b_i$  ne-dominantne spremenljivke B (pretok pritoka gorvodno) v hidravličnem modelu, katerega rezultat so odzivne krivulje spremenljivke C (gladina pritoka pred sotočjem), prikazane na sliki 6. Odzivne krivulje iskane spremenljivke C se nato pretvorijo v pogojne verjetnostne krivulje pri določenih indeksnih vrednostih  $b_i$  spremenljivke B, pri tem pa se vrednostim iskane spremenljivke C pripišejo verjetnosti pripadajočih vrednosti dominantne spremenljivke A (slika 7). Tako je na primer vrednost spremenljivke C pridobljena pri vrednosti spremenljivke  $A=a_{0.01}$  in indeksni vrednosti  $B=b_1$  označena kot  $C=c_{0.01/b_1}$ .



**Slika 6:** Odzivne krivulje spremenljivke  $C$  (prirejeno po Faber in Gibson, 2003).

**Figure 6:** Response curves of variable  $C$  (adapted from Faber and Gibson, 2003).



**Slika 7:** Pogojne verjetnostne krivulje spremenljivke  $C$  (prirejeno po Faber in Gibson, 2003).

**Figure 7:** Conditional frequency curves of variable  $C$  (adapted from Faber and Gibson, 2003).

### 2.1.5 Koincidenčna verjetnostna krivulja iskane spremenljivke

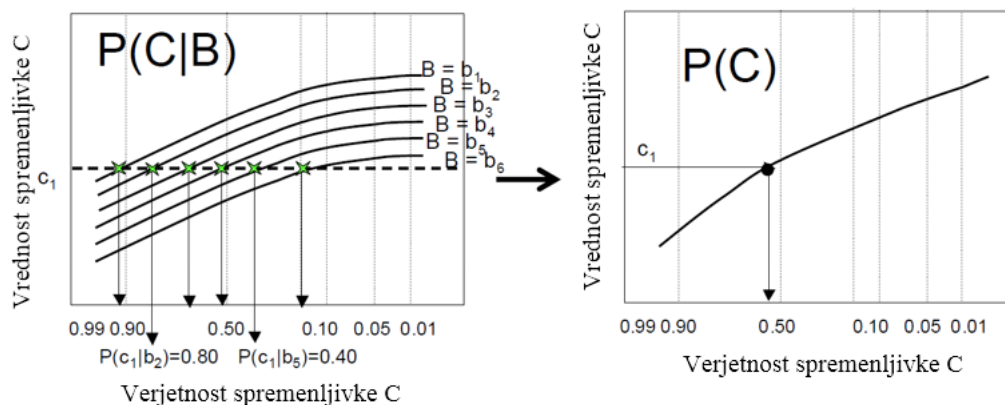
Cilj koincidenčne verjetnostne analize je verjetnostna porazdelitev iskane spremenljivke  $C$  (gladina pritoka pred sotočjem), zato je potrebno pogojne verjetnostne krivulje spremenljivke  $C$  (slika 7) pretvoriti v enovariatno (robno) verjetnostno krivuljo spremenljivke  $C$ . To izračunamo z uporabo zakona o popolni verjetnosti (angl. *law of total probability*) (USACE, 2010b):

$$P(C) = \sum_B P(C|B) * P(B), \quad (1)$$

katerega lahko uporabimo, če odseki krivulje trajanja spremenljivke  $B$  (pretok pritoka gorvodno), ki jih predstavljajo indeksne vrednosti  $b_i$ , sestavljajo popoln sistem dogodkov (vsi dogodki v popolnem sistemu so nezdružljivi, njihova vsota pa je gotov dogodek). Nato za določeno vrednost spremenljivke  $C$  z grafa pogojnih verjetnostnih krivulj odčitamo njene verjetnosti pri različnih indeksnih vrednostih  $b_i$  spremenljivke  $B$  in pomnožimo s pripadajočimi deleži časa (verjetnostmi) teh vrednosti (slika 8, levo). Te vrednosti nato seštejemo, s tem pa dobimo verjetnost določene vrednosti spremenljivke  $C$  (gladine pritoka pred sotočjem). Na primer za vrednost spremenljivke  $C=c_i$  je enačba sledeča (USACE, 2010b):

$$P(c_1) = [P(c_1|b_1) * P(b_1)] + [P(c_1|b_2) * P(b_2)] + [P(c_1|b_3) * P(b_3)] + [P(c_1|b_4) * P(b_4)] + [P(c_1|b_5) * P(b_5)] + [P(c_1|b_6) * P(b_6)]. \quad (2)$$

Postopek ponovimo za različne vrednosti spremenljivke  $C$ , da dobimo enovariatno (robno) verjetnostno krivuljo iskane spremenljivke (slika 8, desno).



**Slika 8:** Izračun koincidenčne verjetnostne krivulje spremenljivke C; predpostavljena je neodvisnost spremenljivk A in B (prirejeno po Faber in Gibson, 2003).

**Figure 8:** Calculation of the coincident frequency curve of variable C; independence of variables A and B is assumed (adapted from Faber and Gibson, 2003).

## 2.2 Programsko orodje HEC-SSP

Koincidenčna verjetnostna analiza je vgrajena v prosto dostopni in brezplačni program HEC-SSP (USACE, 2010a), ki je v osnovi namenjen statistični in verjetnostni analizi različnih hidroloških podatkov (USACE, 2010b).

Verjetnostna analiza se v programu HEC-SSP lahko izračuna le z metodo letnih maksimumov, pri čemer so parametri ocenjeni z metodo momentov, na izbiro pa so štiri porazdelitve (normalna, logaritmsko normalna, Pearsonova 3 ter logaritmsko Pearsonova 3 porazdelitev).

Koincidenčna verjetnostna analiza zahteva izračun verjetnostne krivulje in krivulje trajanja. Obe krivulji lahko izračunamo v okviru obstoječih analiz v programu, ali pa ju izračunamo izven programa ter nato ročno vnesemo v program. Podrobnejša navodila so na voljo v priročniku za uporabo programskega orodja (USACE, 2010b).

## 2.3 Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave

### 2.3.1 Opis obravnavanega območja

Reka Soča izvira iz kraškega izvira v dolini Trente na nadmorski višini okoli 1050 m. Predvsem v svojem zgornjem delu je izrazito hudourniška reka, zato pretok Soče hitro naraste in tudi hitro upade

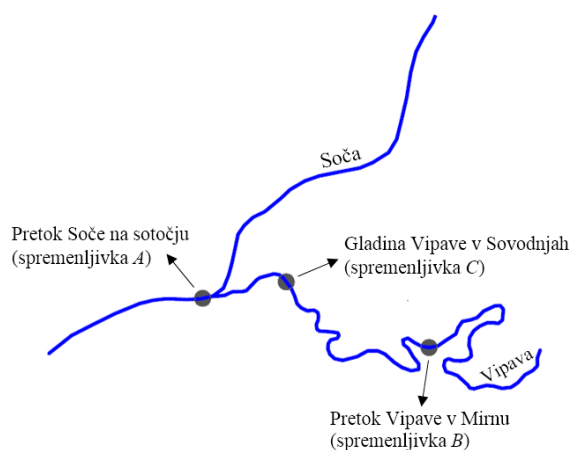
(Komac et al., 2008). Porečje Soče obsega 3400 km<sup>2</sup>, od tega 2250 km<sup>2</sup> v Sloveniji (Šraj, 2000). Soča ima pri Solkanu alpski dežno-snežni režim. Nadpovprečna količina vode je v Soči običajno prisotna od aprila do junija ter od oktobra do decembra, podpovprečna pa od julija do septembra ter od januarja do marca (Frantar in Hrvatina, 2008). Soča pri Solkanu vstopi na Goriško polje, vršaj, ki je skozi čas nastal z močnim nasipavanjem proda. S tem je Soča svoj levi pritok Vipavo odrinila pod severno vznožje Krasa, ta pa je v svojem spodnjem toku počasna in močno meandrirajoča. Močnejša akumulacija Soče (Radinja, 1969) pa predvsem ob visokih vodah povzroča zajezeitev Vipave, kar še dodatno povzroča poplavljanje Vipave pred sotočjem (Brilly et al., 2014). Podobnih primerov odrinjenih in zajezenih pritokov je v Sloveniji veliko, predvsem na prehodu iz alpskega v predalpski svet in na robovih kotlin (Radinja, 1969). Njihova značilnost je predvsem ta, da se pojavljajo na robu prodnih nanosov, kar je značilno tudi za stik Soče in Vipave.

Reka Vipava izvira v istoimenskem kraju na nadmorski višini okoli 110 m., njeno prispevno območje znaša nekaj več kot 600 km<sup>2</sup> in predstavlja del porečja reke Soče (Šraj, 2000). Za reko Vipavo je značilen dinarski dežno-snežni režim. Tako spomladanski kot jesenski viški so precej izenačeni, razlike med poletnimi in zimskimi nižki pa izrazite. Najbolj vodnata je reka običajno med oktobrom in decembrom ter marcem

in aprilom (Frantar in Hrvatin, 2008). Vipava z dolžino 49 km, se kot levi pritok izliva v Sočo nedaleč od kraja Sovodnje v Italiji na nadmorski višini približno 33 m.

### 2.3.2 Določitev spremenljivk za koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave

V neposredni bližini sotočja Soče in Vipave (slika 10) nas je zanimalo, kakšna je verjetnostna porazdelitev gladine Vipave v kraju Sovodnje, kljub temu da nimamo na voljo merjenih podatkov o preteklih visokovodnih dogodkih na samem mestu. Verjetnost gladine Vipave v Sovodnjah smo zato izračunali s pomočjo podatkov o pretoku Vipave v Mirnu ter izračunanih podatkov o pretoku Soče na sotočju. Gladina Vipave v Sovodnjah je namreč odvisna od obeh omenjenih spremenljivk, saj Soča ob visokih pretokih na sotočju povzroča zajezev Vipave ter s tem vpliva na njeno gladino gorvodno (Brilly et al., 2014). Za potrebe koincidenčne verjetnostne analize smo pretok Soče na sotočju določili kot dominantno spremenljivko *A*, pretok Vipave v Mirnu kot ne-dominantno spremenljivko *B*, gladina Vipave v Sovodnjah pa predstavlja iskano spremenljivko *C* (slika 9).



**Slika 9:** Situacija na sotočju Soče in Vipave.

**Figure 9:** Situation at the confluence of the Soča and Vipava rivers.

### 2.3.3 Podatki

Za analizo smo potrebovali podatke o pretoku Soče na sotočju ter podatke o pretoku Vipave na prvi vodomerni postaji gorvodno od sotočja. Ker na samem sotočju ni vodomerne postaje – najbližji postaji državnega hidrološkega monitoringa sta namreč na Soči pri Solkanu ter na Vipavi v Mirnu (slika 10), smo podatke o pretoku Soče na sotočju izračunali s pomočjo urnih podatkov o pretoku Soče in Vipave na vodomernih postajah Solkan I in Miren I za obdobje od leta 2005 do 2012 (slika 11) (ARSO, 2014b). Ker za leto 2007 in konec leta 2008 nismo uspeli pridobiti urnih vrednosti pretokov za postajo Solkan I, smo za potrebe verjetnostne analize za to obdobje pretoke na sotočju dobili tako, da smo absolutnim mesečnim maksimalnim vrednostim pretokov na vodomerni postaji Solkan I (ARSO, 2014b) prišteli sočasni pretok na vodomerni postaji Miren I.

Tik pod hidroelektrarno na Soči v Solkanu potekajo meritve hidroloških parametrov že od leta 1923 (pod Italijo), leta 1948 pa je vodomerno postajo Solkan prevzela Slovenija in takratni HMZ (ARSO, 2014b). Vodomerna postaja Solkan je bila leta 1980 prestavljena nekoliko nižje in preimenovana v Solkan I. Na Vipavi so podatki za vodomerno postajo Miren na voljo od leta 1950, tudi tu je bila leta 2003 vodomerna postaja Miren prestavljena malce nižje ter preimenovana v Miren I (ARSO, 2014a). Lokaciji obeh vodomernih postaj sta prikazani na sliki 10, osnovni geografski parametri obeh postaj pa so predstavljeni v preglednici 2.

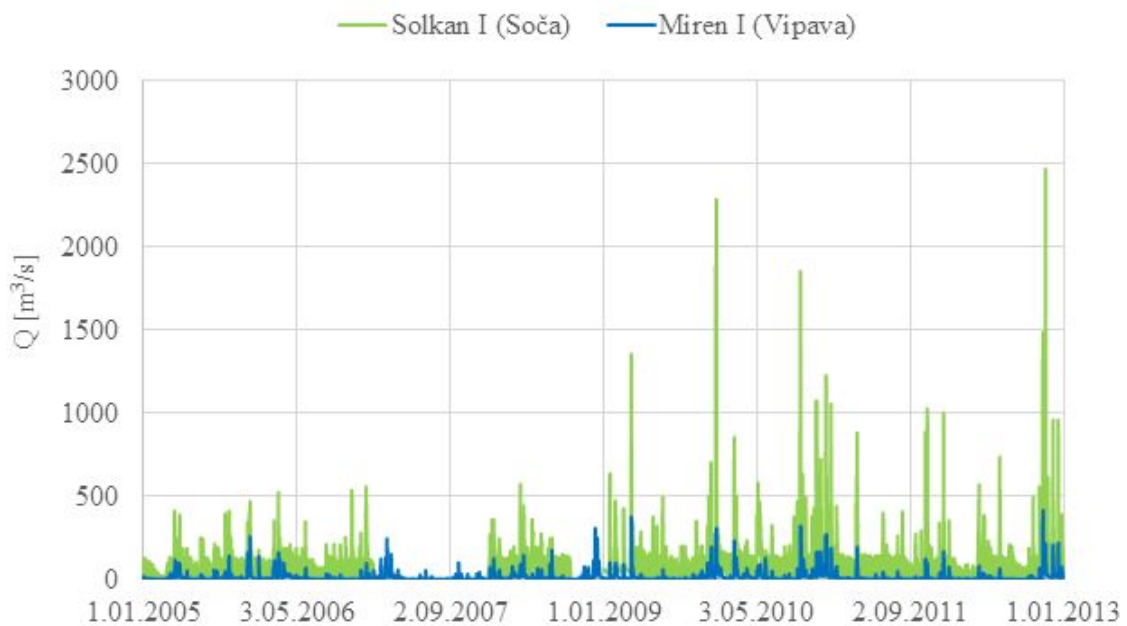
Za analizo časovne odvisnosti konic na sotočju Soče in Vipave smo uporabili 5-minutne podatke Katedre za splošno hidrotehniko (KSH, 2014a) o vodostaju Soče pri Solkanu ter Vipave pri Sovodnjah in pri Mirnu, izmerjene s tlačnimi sondami. Meritve so potekale pol leta, od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012.





*Slika 10: Sotočje Soče in Vipave, Sovodnje ter vodomerni postaji v Solkanu in Mirnu.*

*Figure 10: Confluence of the Soča and Vipava rivers, Sovodnje and gauging stations in Solkan and Miren.*



*Slika 11: Hidrograma Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu od 1. 1. 2005 do 31. 12. 2012.*

*Figure 11: Hydrographs of the Soča River in Solkan and the Vipava River in Miren from 1. 1. 2005 to 31. 12. 2012.*

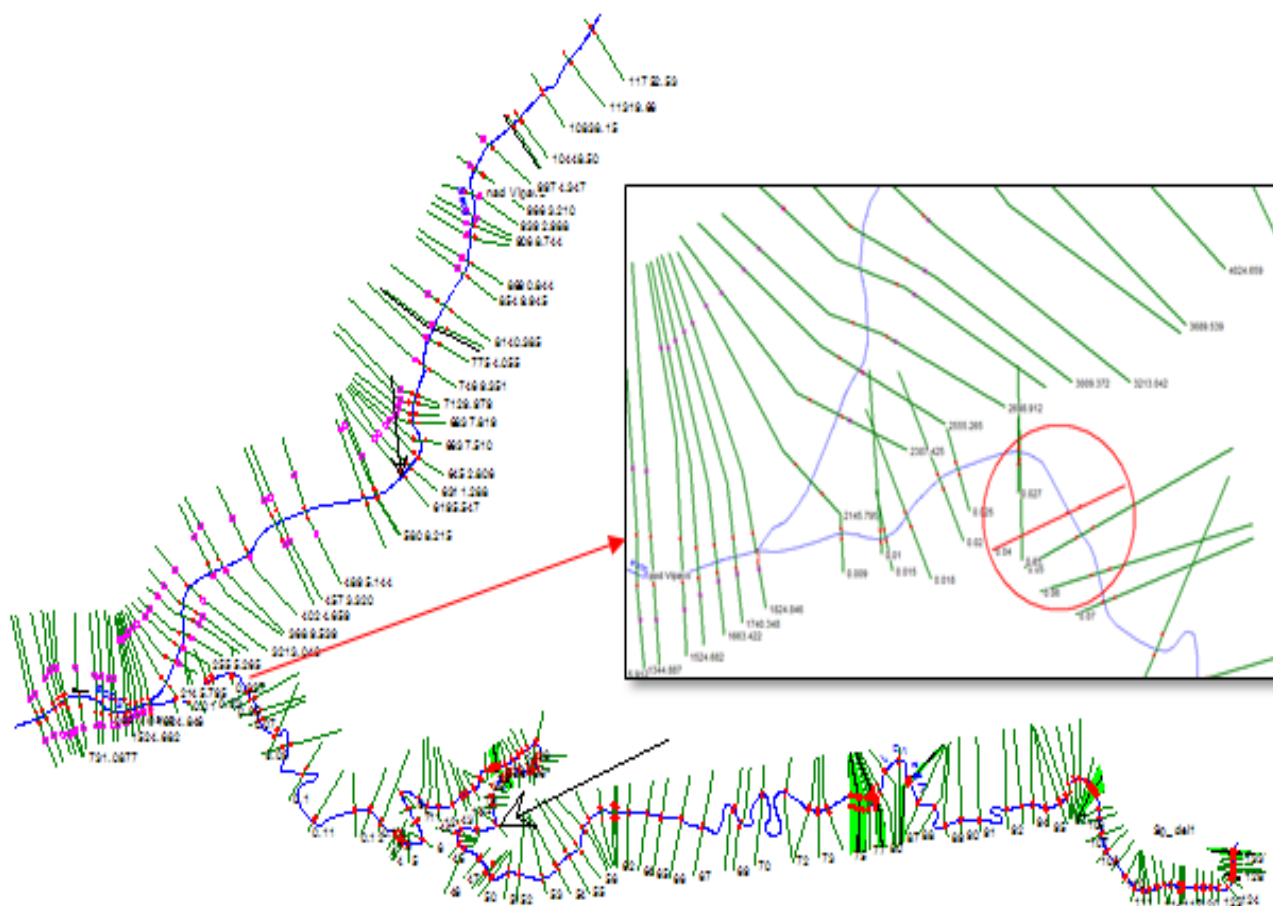
**Preglednica 2:** Osnovni geografski parametri vodomernih postaj Solkan I in Miren I (ARSO, 2014a).

**Table 2:** Basic geographical parameters of gauging stations Solkan I and Miren I (ARSO, 2014a).

Postaja	Solkan I	Miren I
Šifra postaje	8180	8601
Prispevna površina [km <sup>2</sup> ]	1572,80	589,97
Gauss-Krügerjeva koordinata X	396180	392345
Gauss-Krügerjeva koordinata Y	93920	84260
Kota "0" [m. n. m.]	51,84	35,93
Obdobje opazovanja	1980– danes	2003– danes

### 2.3.4 Simulacije v hidravličnem modelu

Za pridobitev odzivnih krivulj gladine Vipave v Sovodnjah smo izvedli simulacije v hidravličnem modelu HEC-RAS. Enodimenzionalni hidravlični model sotočja rek Soče in Vipave je bil izdelan na Katedri za splošno hidrotehniko UL FGG (slika 12). Za različne kombinacije  $n$ -letnih vrednosti pretoka Soče na sotočju (spremenljivka  $A$ ), ocenjenih z verjetnostno analizo, in različnih indeksnih vrednosti pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka  $B$ ), pridobljenih z analizo trajanja in diskretizacijo krivulje trajanja, smo s simulacijami v hidravličnem modelu pridobili gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka  $C$ ).



**Slika 12:** Situacija rečne mreže in prečnih profilov hidravličnega modela Soče in Vipave na sotočju (KSH, 2014b).

**Figure 12:** Situation of the river network and cross sections of the hydraulic model of the Soča and Vipava rivers at the confluence (KSH, 2014b).

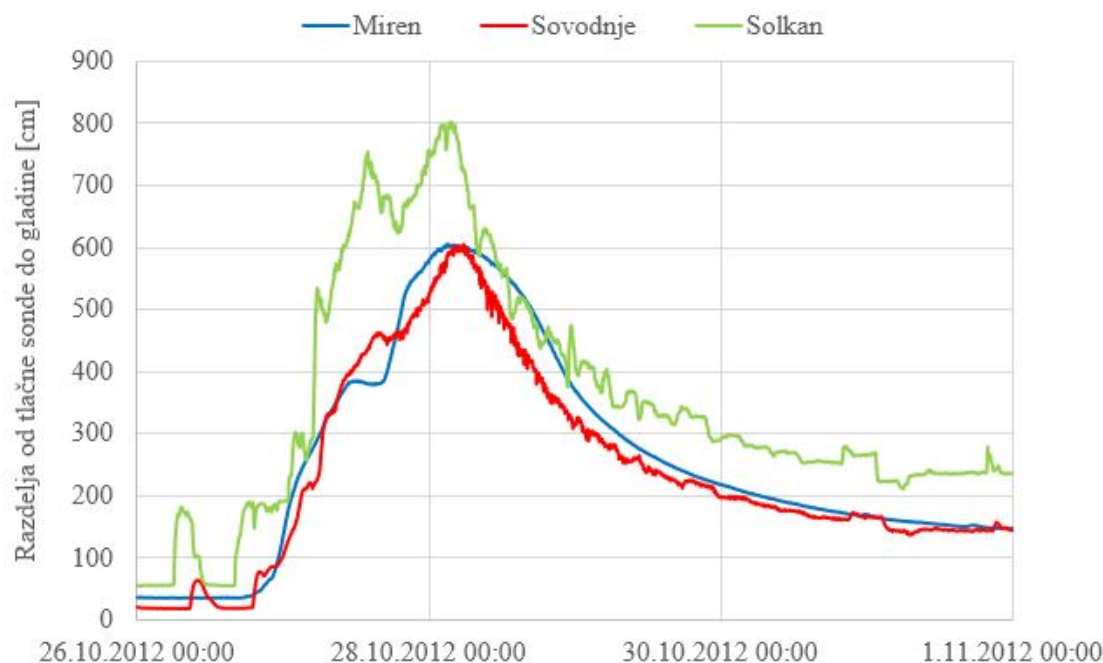
### 3. Analiza in rezultati

#### 3.1 Analiza meritev – časovna odvisnost konic

Pri analizi časovne odvisnosti konic smo primerjali čas potovanja visokovodnih valov na Vipavi od Mirna do Sovodenj ter na Soči od Solkana do Sovodenj (vpliv Soče na gladino Vipave v Sovodnjah zaradi zaježitve). Z analizo 5-minutnih podatkov smo ugotovili, da visokovodni val od Mirna do Sovodenj potuje 50 do 60 minut, prav toliko tudi od Solkana do Sovodenj (slika 13) (Vihar, 2014). Na podlagi te ugotovitve smo predpostavili, da visokovodni valovi Soče in Vipave, merjeni na vodomernih postajah Solkan I in Miren I, do sotočja prispejo istočasno, zato smo za potrebe koincidenčne verjetnostne analize sešteli urne pretoke Soče in Vipave ter tako ocenili podatke o pretoku na sotočju obeh rek.

#### 3.2 Korelacija visokovodnih valov Soče na sotočju z Vipavo ter Vipave v Mirnu

Izračunali smo korelacijo med visokovodnimi konicami Soče na sotočju (Vihar, 2014) ter sočasnimi konicami Vipave na vodomerni postaji Miren I, pri čemer je koeficient korelacije znašal 0,61. Ker program HEC-SSP ne omogoča bivariatne verjetnostne analize koreliranih spremenljivk, smo predpostavili neodvisnost visokovodnih konic Soče na sotočju in konic Vipave v Mirnu, kar pa je potrebno upoštevati pri končni interpretaciji rezultatov. Take predpostavke so pogosta praksa tudi v številnih tujih študijah (Van Mullem, 1998; Tingsanchali and Kitpisalsaku, 1999; Faber in Gibson, 2003). Pri tem je potrebno upoštevati, da bodo ocenjeni ekstremni dogodki z daljšo povratno dobo (v tem primeru gladina Vipave v Sovodnjah) nekoliko podcenjeni, dogodki s krajšo povratno dobo pa nekoliko precenjeni (Faber in Gibson, 2003).



**Slika 13:** Primer hidrogramov Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu in Sovodnjah od 26. 10. 2012 do 1. 11. 2012.

**Figure 13:** An example of hydrographs of the Soča River in Solkan and the Vipava River in Miren and Sovodnje from 26. 10. 2012 to 1. 11. 2012.

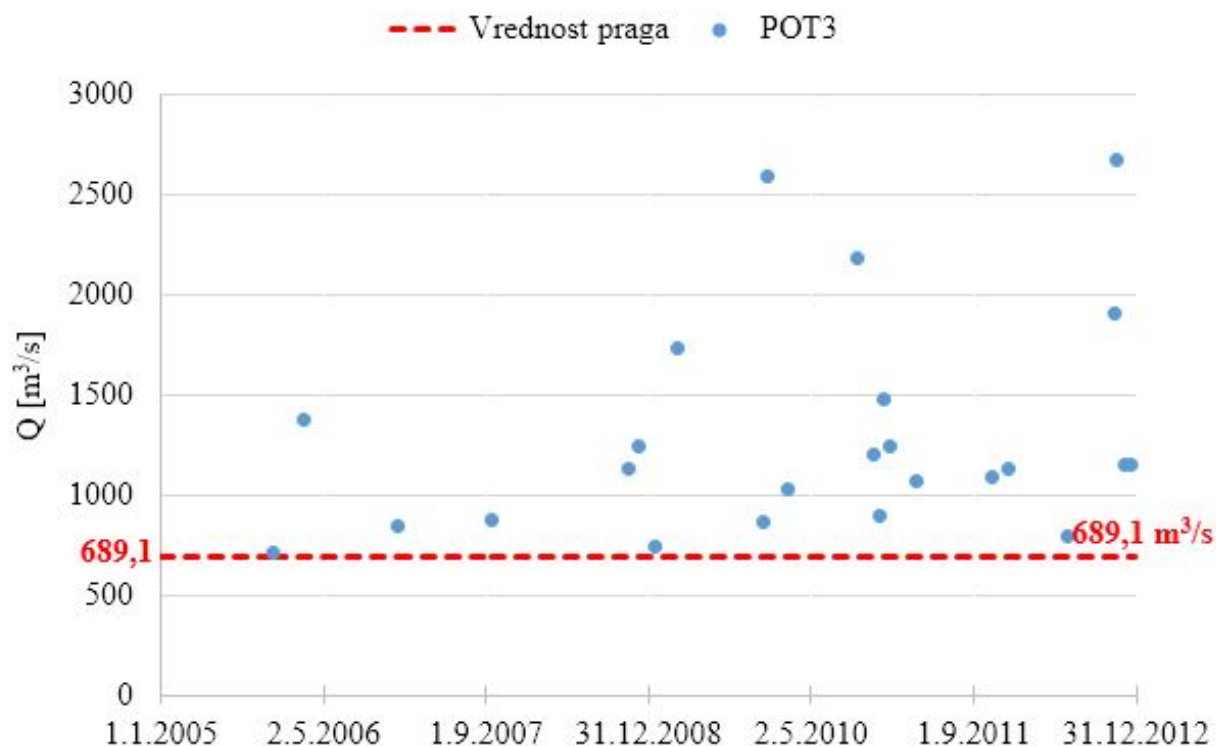
### 3.3 Verjetnostna analiza visokovodnih valov Soče na sotočju z Vipavo

Za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju smo uporabili podatke o izračunanem pretoku Soče na sotočju. Na voljo smo imeli le 8 let podatkov, kar pa pri verjetnostni analizi z metodo letnih maksimumov pomeni vzorec z zgolj osmimi elementi. Tak vzorec ne zadostuje za zadovoljivo oceno niti 10-letne vode, še toliko manj 100-letne vode, zato smo verjetnostno analizo naredili z metodo vzorčenja nad izbranim pragom oziroma POT metodo (Lang et al., 1999; Bezak et al., 2014b). Vzorec smo določili s pomočjo programa Hydrospect (Radziejewski, 2011), v katerem smo podali pogoj, naj vzorec sestavljajo povprečno tri konice letno (POT3), med dvema zaporednima konicama pa mora biti vsaj 8

dni, če upoštevamo pogoj neodvisnosti konic (USWRC, 1982).

Vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3 vsebuje 24 visokovodnih dogodkov nad pragom  $689,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (slika 14).

Za opis števila konic v letu smo uporabili Poissonovo porazdelitev, za opis vrednosti konic nad izbranim pragom pa eksponentno porazdelitev. Obe porazdelitvi sta eni izmed najpogosteje uporabljenih porazdelitev pri verjetnostnih analizah visokovodnih konic z uporabo metode POT (Bezak et al., 2014b). Izračunane ocene  $n$ -letnega pretoka so prikazane v preglednici 3, slika 15 pa prikazuje verjetnostno krivuljo visokovodnih konic Soče na sotočju za vzorec s povprečno tremi konicami nad izbranim pragom (POT3).



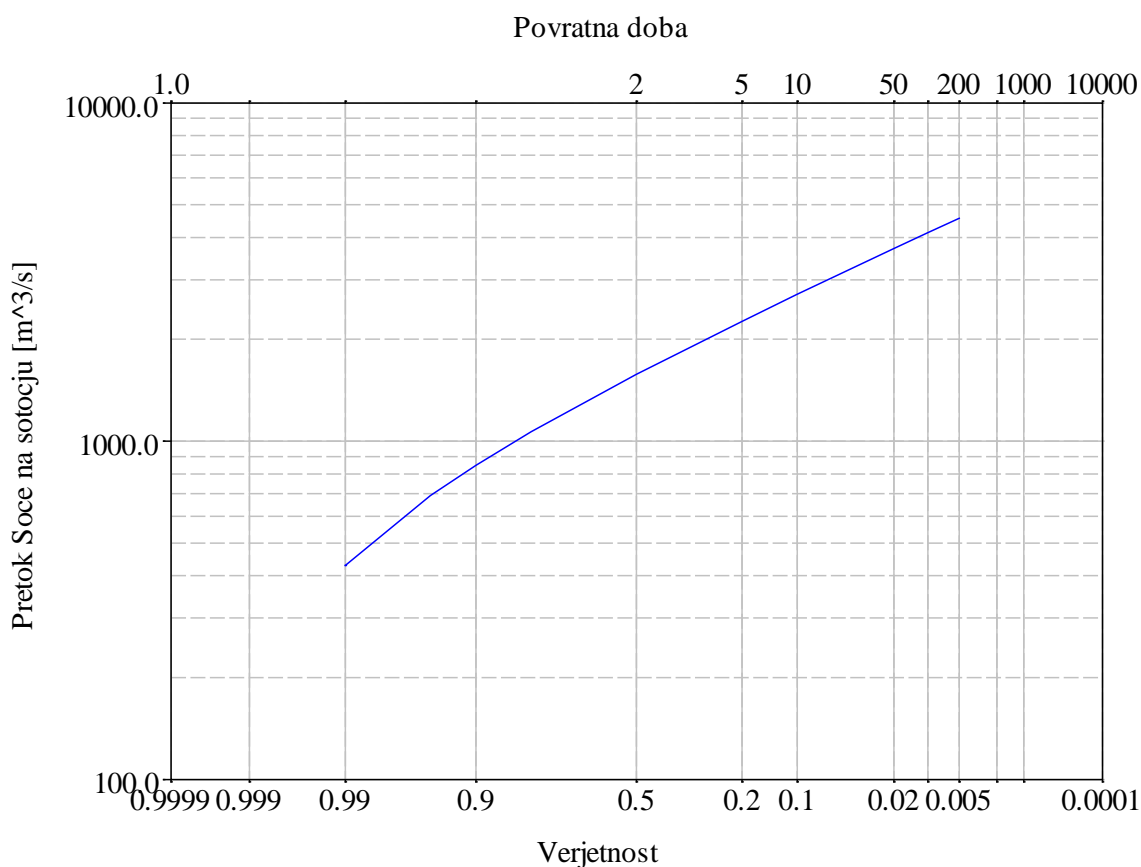
Slika 14: POT3 vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju.

Figure 14: POT3 sample for frequency analysis of flood waves of the Soča River at the confluence.

**Preglednica 3:** Ocenjene vrednosti  $n$ -letnih pretokov Soče in Vipave na vodomernih postajah Solkan I, Miren I in na sotočju (POT3).

**Table 3:** Estimated  $n$ -year values of discharges of the Soča and Vipava rivers at gauging stations Solkan I, Miren I and at the confluence (POT3).

Vodomerna postaja	Vrednost praga [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>20</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]
Miren I	141,4	265,0	360,06	423,9	484,7	563,3	622,2
Solkan I	579,8	1366,1	1974,4	2377,2	2763,5	3263,6	3636,3
sotočje	689,1	1575,5	2261,9	2716,1	3151,8	3715,7	4138,3



**Slika 15:** Verjetnostna krivulja pretokov Soče na sotočju.

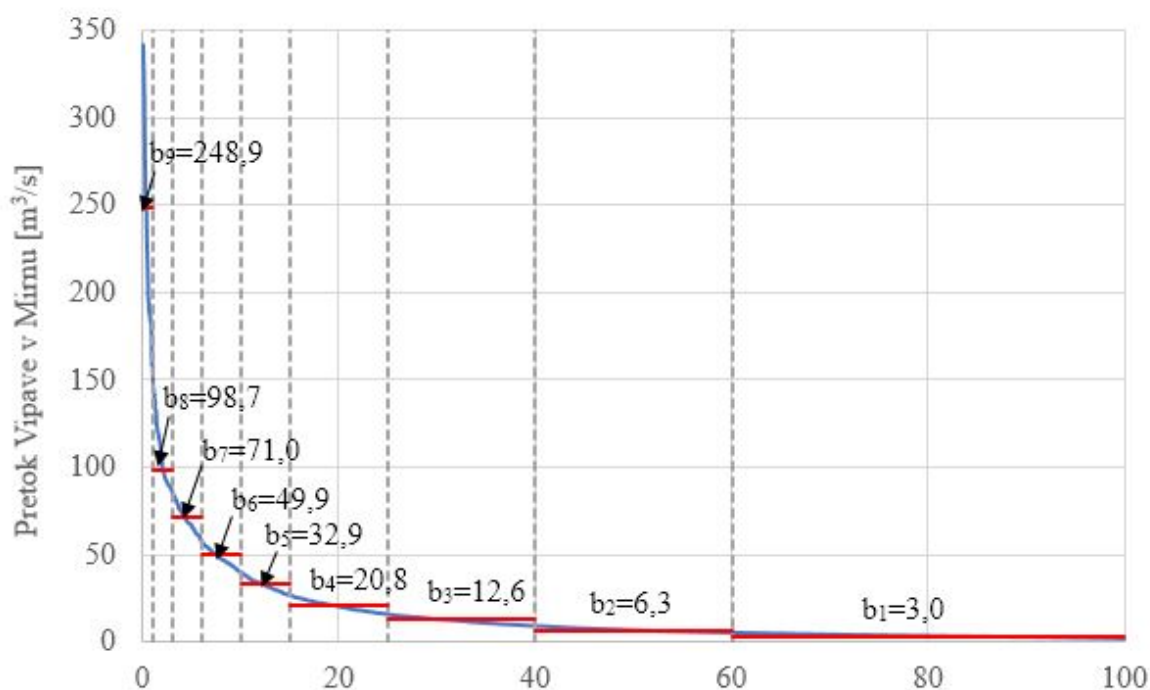
**Figure 15:** Frequency curve of discharges of the Soča River at the confluence.

### 3.4 Krivulja trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I

Za pretoke Vipave na vodomerni postaji Miren I smo izvedli analizo trajanja pretokov na osnovi podatkov o dnevni povprečnih pretokih od leta 2005 do 2012. Analizo smo izvedli v programu HEC-SSP.

Za potrebe koincidenčne verjetnostne analize smo krivuljo trajanja pretokov Vipave na vodomerni

postaji Miren I (spremenljivka  $B$ ) diskretizirali na devet neenakih delov (slika 16). Ti so bili določeni glede na privzete verjetnostne razpore v programu HEC-SSP. Največji delež časa, 40 %, predstavlja indeksna vrednost  $b_1$ , ki znaša 3,0 m<sup>3</sup>/s, najmanjši delež časa, 1 %, pa indeksna vrednost  $b_9$ , 248,9 m<sup>3</sup>/s (preglednica 4). Na ta način v zgornjem delu krivulje trajanja dobimo bolj ekstremne indeksne vrednosti pretokov.



**Slika 16:** Diskretizirana krivulja trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I za obdobje 2005-2012.

**Figure 16:** Discretized duration curve of discharges of the Vipava River at the gauging station Miren I for the period 2005-2012.

### 3.5 Odzivne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C)

V koincidenčno verjetnostno analizo v programu HEC-SSP smo vnesli izračunano verjetnostno krivuljo pretokov Soče na sotočju (spremenljivka A) ter uvozili izračunano krivuljo trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (spremenljivka B). Za različne kombinacije  $n$ -letnih pretokov Soče na sotočju in indeksnih vrednosti pretokov Vipave v Mirnu smo v program HEC-SSP vnesli s hidravličnim modelom pridobljene gladine Vipave v Sovodnjah, prikazane v preglednici 4. Na podlagi pridobljenih vrednosti gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) program HEC-SSP izriše odzivne krivulje (slika 17). Te prikazujejo gladino Vipave v Sovodnjah v odvisnosti od pretoka Soče na sotočju in pretoka Vipave v Mirnu. Tako na primer pri izbranih indeksnih vrednostih  $b_i$ , pri pretoku Vipave v Mirnu 249 m<sup>3</sup>/s in pretoku Soče na sotočju 2716 m<sup>3</sup>/s (10-letni pretok Soče na sotočju) gladina Vipave v Sovodnjah znaša 37,3 m, pri enakem

pretoku Vipave in pretoku Soče na sotočju 1575 m<sup>3</sup>/s (2-letni pretok Soče na sotočju) pa 36,1 m (preglednica 5).

**Preglednica 4:** Indeksne vrednosti pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I.

**Table 4:** Index values of discharges of the Vipava River at the gauging station Miren I.

$b_i$	Delež časa [%]	Vrednost [m <sup>3</sup> /s]
$b_1$	40	3,0
$b_2$	20	6,3
$b_3$	15	12,6
$b_4$	10	20,8
$b_5$	5	32,9
$b_6$	4	49,9
$b_7$	3	71,0
$b_8$	2	98,7
$b_9$	1	248,9

Vidimo, da ima ob visokih vodah na gladino Vipave v Sovodnjah velik vpliv zajezev Vipave zaradi povečanega pretoka Soče na sotočju. Pretok Vipave na povišano gladino v Sovodnjah ob sočasno visokem pretoku Soče v obravnavanem primeru in pri izbranih indeksnih vrednostih  $b_i$  vpliva šele, ko doseže vrednost okoli 250 m<sup>3</sup>/s in več (zgornja rdeča krivulja na sliki 17). Dogodek, ko se pojavi visok pretok Vipave v Mirnu (npr. indeksna vrednost  $b_9$ ) ob sočasnem nizkem pretoku Soče na sotočju, je malo verjeten, saj med visokovodnimi konicami Soče na sotočju in visokovodnimi konicami Vipave v Mirnu obstaja srednje močna korelacija (0,61), kar pomeni, da se običajno ob visokih vodah Soče na sotočju sočasno pojavijo tudi visoke vode na Vipavi v Mirnu. Tak malo verjeten dogodek pa je kljub vsemu zajet v

analizi, saj smo za potrebe raziskave predpostavili neodvisnost visokovodnih konic.

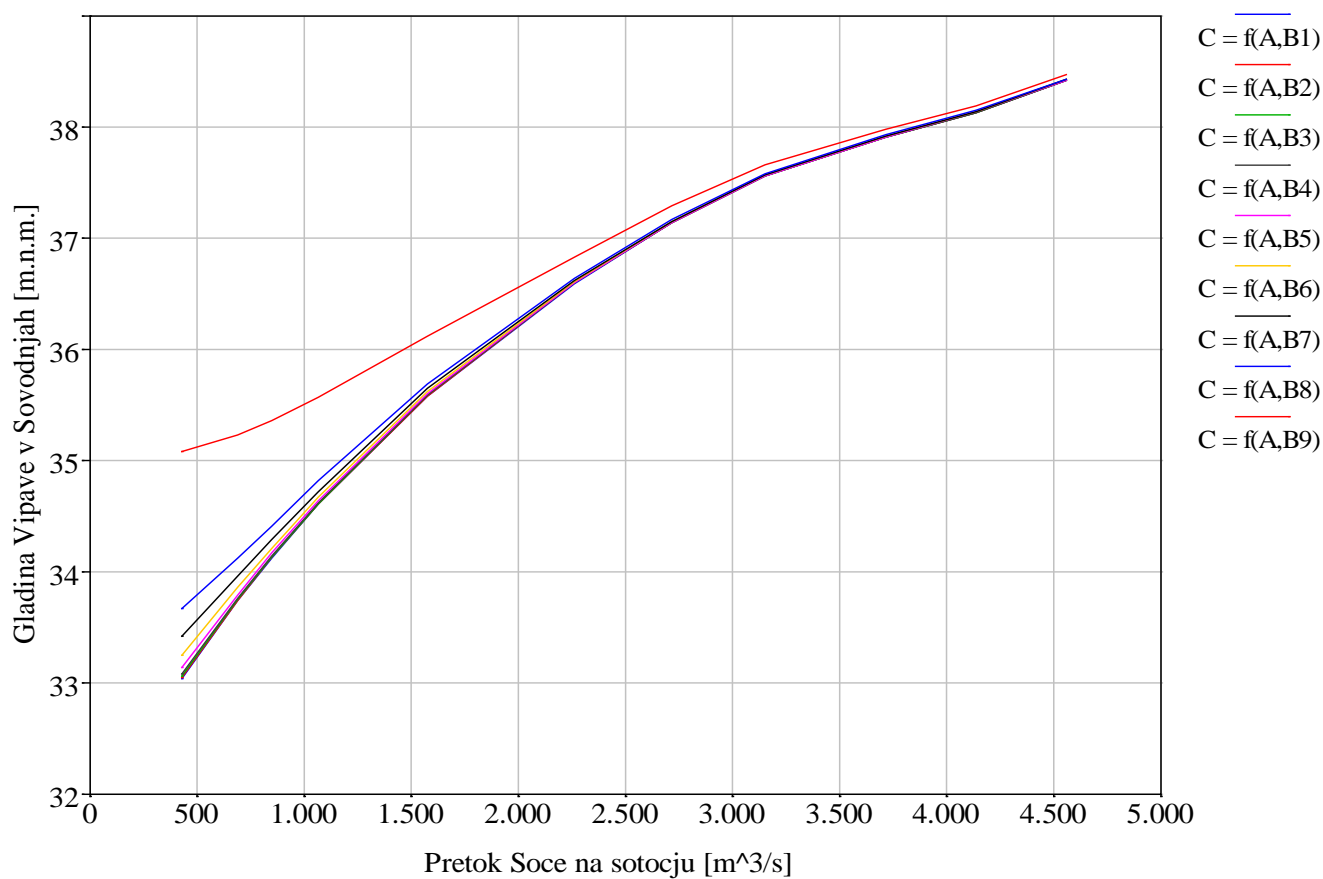
### 3.6 Koincidenčna verjetnostna krivulja gladine Vipave v Sovodnjah

Koincidenčna verjetnostna krivulja gladine Vipave v Sovodnjah je izračunana na podlagi zakona o popolni verjetnosti (enačba 1). Program odzivne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah pretvori v pogojne verjetnostne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah pri določenih indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu. Koincidenčna verjetnostna krivulja gladine Vipave v Sovodnjah je prikazana na sliki 18, kjer je gladina podana s koto v metrih nad morjem. V preglednici 6 so podane ocene  $n$ -letne gladine Vipave v Sovodnjah. 10-letna gladina Vipave v Sovodnjah tako znaša 37,1 m, 20-letna gladina 37,6 m in 100-letna gladina 38,2 m.

**Preglednica 5:** Gladina Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C).

**Table 5:** Water level of the Vipava River in Sovodnje (variable C).

A [m <sup>3</sup> /s]	B1=3,0 [m <sup>3</sup> /s]	B2=6,3 [m <sup>3</sup> /s]	B3=12,6 [m <sup>3</sup> /s]	B4=20,8 [m <sup>3</sup> /s]	B5=32,9 [m <sup>3</sup> /s]	B6=49,9 [m <sup>3</sup> /s]	B7=71,0 [m <sup>3</sup> /s]	B8=98,7 [m <sup>3</sup> /s]	B9=248,9 [m <sup>3</sup> /s]
	C=f(A,B <sub>1</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>2</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>3</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>4</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>5</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>6</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>7</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>8</sub> ) [m]	C=f(A,B <sub>9</sub> ) [m]
<b>4559,4</b>	38,42	38,42	38,42	38,42	38,42	38,43	38,43	38,43	38,47
<b>4138,3</b>	38,13	38,13	38,13	38,13	38,14	38,14	38,14	38,15	38,19
<b>3715,7</b>	37,91	37,91	37,91	37,91	37,91	37,92	37,92	37,93	37,98
<b>3151,8</b>	37,56	37,56	37,56	37,56	37,56	37,57	37,57	37,58	37,66
<b>2716,1</b>	37,14	37,14	37,14	37,14	37,14	37,15	37,15	37,17	37,29
<b>2261,9</b>	36,59	36,60	36,60	36,60	36,60	36,61	36,62	36,64	36,83
<b>1575,5</b>	35,58	35,58	35,59	35,59	35,60	35,62	35,65	35,69	36,12
<b>1066,0</b>	34,61	34,61	34,61	34,62	34,64	34,67	34,72	34,82	35,57
<b>849,2</b>	34,12	34,13	34,13	34,14	34,17	34,21	34,29	34,41	35,36
<b>690,0</b>	33,74	33,74	33,75	33,76	33,79	33,86	33,96	34,12	35,23
<b>429,7</b>	33,04	33,05	33,06	33,08	33,14	33,25	33,42	33,67	35,08



**Slika 17:** Odzivne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C).

**Figure 17:** Response curves of water levels of the Vipava River in Sovodnje (variable C).

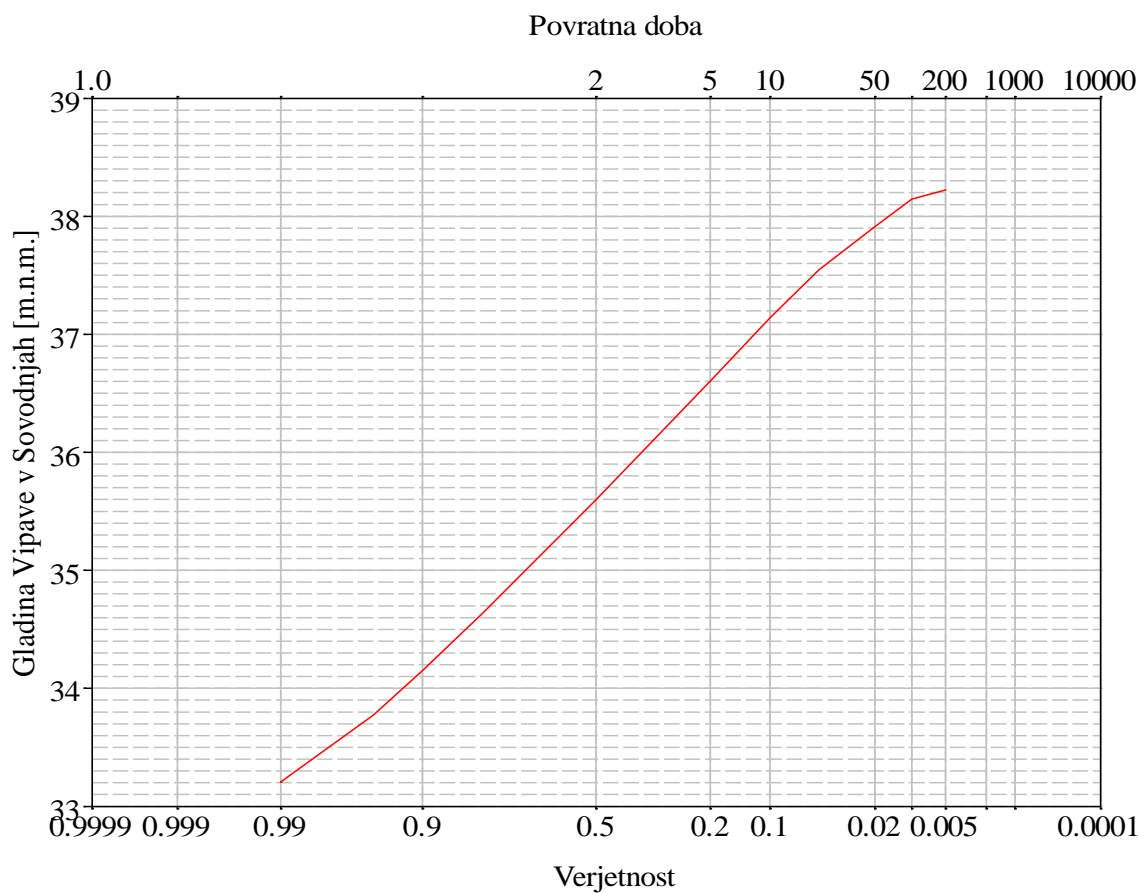
**Preglednica 6:** Ocene n-letnih gladin Vipave v Sovodnjah.

**Table 6:** Estimated values of n-year water levels of the Vipava River in Sovodnje .

Povratna doba [leta]	Gladina [m]
100	38,2
50	37,9
20	37,6
10	37,1
5	36,6
2	35,6

Glede na začetno predpostavko o neodvisnosti visokovodnih konic Soče na sotočju in visokovodnih konic Vipave v Mirnu so ocenjene gladine Vipave v Sovodnjah z daljšo povratno dobo (manjšo verjetnostjo) v tem primeru nekoliko podcenjene, ocenjene gladine Vipave v Sovodnjah s krajšo povratno dobo (večjo verjetnostjo) pa precenjene. To pomeni, da za na primer 100-letno gladino Vipave v Sovodnjah pričakujemo še nekoliko višjo koto od 38,2 m in za 5-letno gladino Vipave v Sovodnjah nekoliko nižjo koto od 36,6 m.





*Slika 18: Koincidenčna verjetnostna krivulja gladine Vipave v Sovodnjah.*

*Figure 18: Coincidence frequency curve of water levels of the Vipava River in Sovodnje.*

#### 4. Zaključki

Prosto dostopno programsko orodje HEC-SSP se je v primeru izračuna koincidenčne verjetnostne analize izkazalo za uporabno, če predpostavimo neodvisnost dveh vzročnih spremenljivk. V nasprotnem primeru je potrebna bivariatna verjetnostna analiza omenjenih spremenljivk, ki je program ne podpira.

S koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave smo ugotovili, da ima visok pretok Soče na sotočju izrazit vpliv na gladino Vipave v njenem spodnjem toku (nekje do naselja Miren, ki se nahaja tik ob državni meji z Italijo). Gladina Vipave se na tem delu toliko bolj poviša ob sočasnem pojavu visokega pretoka Soče na sotočju z Vipavo in visokega pretoka Vipave. Na odseku od sotočja do naselja Miren tako ob visokih vodah prihaja do poplavljanja Vipave

predvsem zaradi zaježitvenega učinka reke Soče, ko se Vipava ne more prosto izlivati v reko Sočo.

Iz koincidenčne verjetnostne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah, ki je rezultat analiz po predstavljeni metodologiji in izbranih indeksnih vrednostih pretokov Vipave, lahko razberemo, da znaša 10-letna gladina Vipave v Sovodnjah 37,1 m, 20-letna gladina 37,6 m in 100-letna gladina 38,2 m. Zaradi predpostavke o neodvisnosti visokovodnih konic Soče na sotočju z Vipavo ter konic Vipave v Mirnu, so ocenjene  $n$ -letne vrednosti gladin Vipave v Sovodnjah z daljšo povratno dobo (manjšo verjetnostjo) nekoliko podcenjene, gladine s krajšo povratno dobo (večjo verjetnostjo) pa nekoliko precenjene. Zato je pričakovati, da bo v študiji ocenjena 5-letna gladina Vipave v Sovodnjah nekoliko nižja, ocenjena 100-letna gladina pa še nekoliko višja.

Za zmanjšanje verjetnosti poplavljanja Vipave v bližini sotočja bi bilo smiselno najprej zmanjšati zaježitev Vipave na sotočju s Sočo. To bi lahko dosegli z ureditvijo struge reke Soče, tako da ta ob visokih vodah ne bi povzročala zaježitve Vipave v tolikšnem obsegu. Zgolj protipoplavni ukrepi na omenjenem odseku Vipave od sotočja do naselja Miren, brez rešitve problema zaježitve Vipave, verjetno ne bodo dovolj za učinkovito rešitev problema.

## Viri

- ARSO (2014a). Arhivski hidrološki podatki, mesečne statistike. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje.  
[http://www.arslo.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski\\_arhiv.html](http://www.arslo.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html) (Pridobljeno 15. 6. 2014.)
- ARSO (2014b). Podatki za Sočo in Vipavo. Message to: Kobold, M. 6. 5. 2014. Osebna komunikacija.
- Bezak, N., Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. (2014a). Uporaba kopul v hidrologiji. V: 19. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko: zbornik predavanj, Ljubljana, 30. januar, 2014. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 7–12.
- Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M., (2014b). Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis, *Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques* 59(5), 959–977.
- Brilly, M., Kavčič, K., Šraj, M., Rusjan, S., Vidmar, A. (2014). Climate change impact on flood hazard. Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water–Society Interactions. IAHS Publ.364, 164–170.
- Brilly, M., Polič, M. (2005). Public perception of flood risks, flood forecasting and mitigation, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5(3), 345–355.
- Faber, B., Gibson, S. (2003). Coincident Frequency Analysis for Planning and Design in Urban Areas. Davis, CA: US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: 14 p.
- Faber, B., Gibson, F. (2005). Coincident Frequency Analysis. Hydrologic Engineering Center Statistical Methods in Hydrology Class Notes: 24 p.
- Frantar, P., Hrvatinić, M. (2008). Pretočni režimi. V: Frantar, P. (ur.). Vodna bilanca Slovenije 1971–2000 = *Water balance of Slovenia 1971–2000*. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 43–50.
- Kobold, M., Zgonc, A., Sušnik, M. (2005). Nezanesljivost padavinskih meritev in napovedi pri modeliranju hudourniških poplav = Uncertainty of precipitation measurements and predictions in flash flood modelling, *Acta hydrotechnica* 23(39), 79–98 (In Slovenian).
- Komac, B., Natek, K., Zorn, M. (2008). Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Geografija Slovenije 20, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, 180 p. (in Slovenian).
- KSH (2014a). Podatki za Sočo (Solkan) in Vipavo (Miren in Sovodnje). Osebna komunikacija. (26. 3. 2014.)
- KSH (2014b). Hidravlični model sotočja Soče in Vipave. Osebna komunikacija. (1. 7. 2014.)
- Lang, M., et al., 1999. Towards operational guidelines for over-threshold modeling, *Journal of Hydrology* 225(3–4), 103–117.
- Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M. (2004). Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji = Floods and landslides in Slovenia, *Acta hydrotechnica* 22(37), 113–133 (In Slovenian).
- Radinja, D. (1969). Renške Dobrave – Pokrajinski stik med fluvialno akumulacijo Soče in periglacialno akumulacijo Vipave, *Geografski vestnik* 41, 62–74 (In Slovenian).
- Radziejewski, M. (2011). Hydrospect.  
<http://www.staff.amu.edu.pl/~maciejr/hydrospect/> (Pridobljeno 20. 12. 2011.)
- Šraj, M. (2000). Uporaba šifrantna padavinskih območij vodotokov Republike Slovenije za pripravo hidroloških modelov = Application of watershed coding system of the Republic of Slovenia for preparation of hydrological models). Unpublished Master's Thesis, University of Ljubljana, FGG, 109 p. (In Slovenian).
- Šraj, M., Bezak, N., Brilly, M. (2012). Vpliv izbire metode na rezultate verjetnostnih analiz konic, volumnov in trajanj visokovodnih valov Save v Litiji = The influence of the choice of method on the results of frequency analysis of peaks, volumes and durations of flood waves of the Sava River in Litija, *Acta hydrotechnica* 25(42), 41–58 (In Slovenian).
- Tingsanchali, T., Kitpaisalsaku, T. (1999). Coincident flood frequency analysis for design of Chao Phraya river flood control system for Bangkok, *Lowland Technology International Journal* 1(1), 35–46.

[http://portal.dl.saga-u.ac.jp/bitstream/123456789/13888/1/tingsanchali\\_199906.pdf](http://portal.dl.saga-u.ac.jp/bitstream/123456789/13888/1/tingsanchali_199906.pdf) (Pridobljeno 6. 6. 2014.)

USACE (1993). Hydrologic Frequency Analysis, EM 1110-2-1415. Washington, DC: 142 p.

[http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM\\_1110-2-1415.pdf](http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1415.pdf) (Pridobljeno 20. 9. 2013.)

USACE (1995). Interior Flood Hydrology, ETL 1110-2-367. Washington, DC: 53 p.

<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a403055.pdf> (Pridobljeno 6. 6. 2014.)

USACE (2010a). HEC-SSP 2.0 Software (Programska oprema). Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Davis, CA.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hecssp/download.aspx> (Pridobljeno 13. 8. 2013.)

USACE (2010b). HEC-SSP User's Manual. Version 2.0. Washington, DC: 312 p.

[http://www.hec.usace.army.mil/software/hecssp/documentation/HEC-SSP\\_20\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hecssp/documentation/HEC-SSP_20_Users_Manual.pdf) (Pridobljeno 13. 8. 2013.)

USWRC (United States. Interagency Advisory Committee on Water Data. Hydrology Subcommittee), (1982). Guidelines for determining flood flow frequency. Reston, VA: US Department of the Interior, Geological Survey, Office of Water Data Coordination: 185 p.

Van Mullem, J. (1998). Coincident Frequency in Snowmelt Runoff Modeling, *Water Resources Engineering* 98, 1303–1308.

Vihar, A. (2014). Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave = coincident frequency analysis of flood waves at the confluence of the Soča and the Vipava River. Thesis, Univerza v Ljubljani, FG, 61 p. (In Slovenian)