

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Vihar, A., 2014. Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentor Brilly, M.): 61 str.

Datum arhiviranja: 05-11-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Vihar, A., 2014. Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Brilly, M.): 89 pp.

Archiving Date: 05-11-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidatka:

ANJA VIHAR

**KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA
VISOKOVODNIH VALOV NA SOTOČJU SOČE IN
VIPAVE**

Diplomska naloga št.: 245/VKI

**COINCIDENT FREQUENCY ANALYSIS OF FLOOD
WAVES AT THE CONFLUENCE OF THE SOČA AND
THE VIPAVA RIVER**

Graduation thesis No.: 245/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 24. 10. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVE

Podpisana Anja Vihar izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 15. 10. 2014

Anja Vihar

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	519.2:556.166(497.4)(043.2)
Avtor:	Anja Vihar
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Koincidenčna verjetnostna analiza visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	61 str., 12 pregl., 51 sl., 37 en., 4 pril.
Ključne besede:	pretok, gladina, verjetnostna analiza, koincidenčna verjetnostna analiza, HEC-SSP

Izvleček

Vse pogosteje smo priča izrednim hidrološkim dogodkom, ki so posledica različnih slučajnih naravnih pojavov. Na slučajne mehanizme narave, ki takšne dogodke sprožijo, ne moremo vplivati, lahko pa se nanje delno pripravimo z analiziranjem preteklih dogodkov. Takšen dogodek predstavljajo tudi poplave. Poznavanje pojava visokih voda nam omogoča učinkovitejše varstvo pred poplavami, ustrežnejše načrtovanje rabe prostora ter na splošno boljše gospodarjenje z vodami. Z verjetnostno analizo visokovodnih valov pridobimo informacijo o povezavi med vrednostjo pretoka in njegovo povratno dobo. Določeni poplavni dogodki pa so posledica več sočasnih slučajnih dogodkov. Poplavljanje pritoka pred sotočjem je lahko posledica povečanega pretoka samega pritoka ter sočasnega povečanega pretoka glavnega vodotoka na sotočju, ki povzroči zaježitev pritoka. V primeru, ko meritev pretoka pritoka pred sotočjem nimamo na voljo, lahko verjetnostno porazdelitev gladin pritoka pred sotočjem izračunamo na podlagi meritev pretoka pritoka gorvodno ter meritev pretoka glavnega vodotoka na sotočju z uporabo koincidenčne verjetnostne analize.

V diplomski nalogi smo za izračun koincidenčne verjetnostne analize uporabili program HEC-SSP. Izdelali smo koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju rek Soče in Vipave, pri čemer smo izračunali verjetnostno porazdelitev gladin Vipave v Sovodnjah na osnovi podatkov o pretoku Vipave v Mirmu ter podatkov o pretoku Soče na sotočju. Na gladino Vipave na odseku od sotočja do naselja Miren ob visokih vodah močno vpliva povečan pretok Soče na sotočju, ki povzroča zaježitev in s tem poplavljanje Vipave. Za zmanjšanje verjetnosti poplavljanja Vipave na tem odseku bi bilo zato najprej potrebno urediti strugo reke Soče, tako da ta ob visokih vodah ne bi povzročala zaježitve Vipave v tolikšnem obsegu.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	519.2:556.166(497.4)(043.2)
Author:	Anja Vihar
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
Cosupervisor:	Prof. Mitja Brilly, Ph.D.
Title:	Coincident frequency analysis of flood waves at the confluence of the Soča and the Vipava river
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	61 p., 12 tab., 51 fig., 37 eq., 4 ann.
Keywords:	discharge, water level, flood frequency analysis, coincident frequency analysis, HEC-SSP

Abstract

Increasingly, we are witnessing extreme hydrological events caused by various random natural phenomena. We cannot influence the random nature of the mechanisms, which trigger such events, but we can be partially prepared on them by analyzing past events. Floods represent such an event. Knowing the phenomena of high water allows a more efficient flood protection, appropriate land-use planning and an overall better water management. Frequency analysis of flood waves provides information on the relation between the value of the discharge and its return period. Some flood events are the result of multiple concurrent random events. Flooding on a river tributary, for example, can be influenced by both – discharge on that tributary and backwater effects due to discharge on the main stream. Coincident frequency analysis is used to develop a probability distribution for flood phenomena having no observed record when that phenomena is influenced by other random phenomena with available data.

In the thesis we implemented a coincidence frequency analysis using the HEC-SSP program. We made the coincident frequency analysis of flood waves at the confluence of the Soča and the Vipava river, whereby we assessed the probability distribution of water levels of the Vipava river in Sovodnje on the basis of discharge data of the Vipava river in Miren and discharge data of the Soča river at the confluence. 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, which causes the backwater of the Vipava river. In order to reduce the probability of flooding of the Vipava river in its lower reach near the confluence, the stream of the Soča river should be first regulated in such a way, that at high water it would not cause the backwater of the Vipava river in such an extent.

ZAHVALA

Mentorici, doc. dr. Mojci Šraj, ter somentorju, prof. dr. Mitji Brillyu, se iskreno zahvaljujem za potrpežljivost ter za vse napotke in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala tudi Agenciji Republike Slovenije za okolje ter Katedri za splošno hidrotehniko na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani za posredovane podatke.

Nazadnje pa gre zahvala še družini, prijateljem in sošolcem za podporo tekom celotnega obdobja mojega študija.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX
1 UVOD	1
1.1 Cilji diplomske naloge	2
2 TEORIJA VERJETNOSTI	3
2.1 Osnovni pojmi verjetnosti	3
2.2 Pogojna verjetnost	4
2.3 Zakon o popolni verjetnosti dogodka	4
2.4 Teoretične porazdelitve	5
3 VERJETNOSTNA ANALIZA	7
3.1 Metoda letnih maksimumov	7
3.1.1 Normalna porazdelitev	7
3.1.2 Logaritemsko normalna porazdelitev	8
3.1.3 Pearsonova porazdelitev tipa 3	9
3.1.4 Logaritemska Pearsonova porazdelitev tipa 3	10
3.2 Metoda POT	11
3.2.1 Izbira praga x_0	11
3.2.2 Pogoj neodvisnosti konic	12
3.2.3 Porazdelitev števila konic	12
3.2.4 Porazdelitev vrednosti konic nad izbranim pragom x_0	13
3.2.5 Verjetnostna porazdelitev konic in izračun n -letnega pretoka	14
3.3 Povratni dobi T_{POT} in T_{AM}	14
4 KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA	16
4.1 Uporaba koincidenčne verjetnostne analize	16
4.2 Teorija koincidenčne verjetnostne analize	17
4.2.1 Določitev spremenljivk	18
4.2.2 Verjetnostna analiza dominantne spremenljivke A – pretok glavnega vodotoka na sotočju	19
4.2.3 Analiza trajanja ne-dominantne spremenljivke B – pretok pritoka gorvodno	19
4.2.4 Simulacije v hidravličnem modelu in odzivne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem	20
4.2.5 Koincidenčna verjetnostna krivulja spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem	21
4.2.6 Neodvisnost spremenljivk A in B – visokovodne konice glavnega vodotoka na sotočju ter konice pretoka pritoka gorvodno	22

5	PROGRAM HEC-SSP.....	26
5.1	Opis in uporaba programa	26
5.2	Verjetnostna analiza v programu HEC-SSP.....	27
5.3	Analiza trajanja pretokov v programu HEC-SSP.....	28
5.4	Koincidenčna verjetnostna analiza v programu HEC-SSP	30
5.4.1	Spremenljivka A – pretok glavnega vodotoka na sotočju	30
5.4.2	Spremenljivka B – pretok pritoka gorvodno	30
5.4.3	Odzivne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem	31
5.4.4	Koincidenčna verjetnostna krivulja spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem	33
6	KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV NA SOTOČJU SOČE IN VIPAVE	34
6.1	Opis obravnavanih vodotokov	34
6.1.1	Reka Soča.....	34
6.1.2	Reka Vipava	34
6.1.3	Sotočje.....	35
6.2	Določitev spremenljivk za koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave	35
6.3	Podatki.....	36
6.3.1	Vodomerni postaji Solkan I in Miren I	37
6.4	Analiza merjenih podatkov	40
6.4.1	Časovna odvisnost konic.....	40
6.4.2	Analiza časov zamikov visokovodnih valov Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu.....	42
6.5	Korelacija visokovodnih valov na sotočju Soče z Vipavo ter na vodomerni postaji Miren I ...	45
6.6	Rezultati in analiza	46
6.6.1	Verjetnostna analiza visokovodnih valov Soče na sotočju z Vipavo (spremenljivka A)	46
6.6.2	Krivulja trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (spremenljivka B)	49
6.6.3	Diskretizacija krivulje trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I.....	51
6.6.4	Simulacije v hidravličnem modelu.....	52
6.6.5	Odzivne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C).....	53
6.6.6	Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah	55
7	ZAKLJUČKI.....	57
	VIRI.....	59

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjava povratnih dob T_{POT} in T_{AM} pri enaki vrednosti Q (Langbein, 1949).....	15
Preglednica 2: Lastnosti vodomernih postaj Solkan I in Miren I	39
Preglednica 3: Čas nastopa in vrednosti visokovodnih konic Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu	43
Preglednica 4: Parametra pogoja neodvisnosti konic	46
Preglednica 5: Vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3	47
Preglednica 6: Parametri POT3 metode	48
Preglednica 7: Ocenjene vrednosti n -letnih pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 3 (POT3) konicami nad vrednostjo praga.....	48
Preglednica 8: Ocenjene vrednosti n -letnih pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 1 (POT1) in 5 (POT5) konicami nad vrednostjo praga	48
Preglednica 9: Delež trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I	50
Preglednica 10: Indeksne vrednosti pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I	51
Preglednica 11: Gladina Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) pri različnih n -letnih vrednostih pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A) in indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B)	53
Preglednica 12: Ocene n -letnih gladin Vipave v Sovodnjah	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Vennov diagram za popolno verjetnost dogodka (Prirejeno po Turk, 2011: str. 23).....	5
Slika 2: Gostota verjetnosti normalne porazdelitve (Povzeto po Turk, 2011: str 102)	8
Slika 3: Gostota verjetnosti logaritemsko normalne porazdelitve (Povzeto po Turk, 2011: str 115)	9
Slika 4: Gostota verjetnosti Pearsonove porazdelitve tipa 3 (Povzeto po Maidment, 1993)	10
Slika 5: Parametri kriterija za neodvisnost konic (Prirejeno po Lang et al., 1999: str. 105).....	12
Slika 6: Poplavljanje pritoka pred sotočjem (Prirejeno po Faber in Gibson, 2005).....	16
Slika 7: Primeri situacij za uporabo koincidenčne verjetnostne analize (Prirejeno po Faber in Gibson, 2005)	17
Slika 8: Prikaz profila gladin pritoka in glavnega vodotoka na območju sotočja (Prirejeno po USACE, 1993)	18
Slika 9: Verjetnostna krivulja dominantne spremenljivke <i>A</i> – pretok glavnega vodotoka na sotočju (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003).....	19
Slika 10: Diskretizacija krivulje trajanja ne-dominantne spremenljivke <i>B</i> – pretok pritoka gorvodno (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003).....	20
Slika 11: Odzivne krivulje spremenljivke <i>C</i> – gladina pritoka pred sotočjem (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003).....	20
Slika 12: Pogojne verjetnostne krivulje spremenljivke <i>C</i> – gladina pritoka pred sotočjem pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003).....	21
Slika 13: Izračun koincidenčne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka <i>C</i>); predpostavljena je neodvisnost visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju in sočasnih visokovodnih konic pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki <i>A</i> in <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)	22
Slika 14: Pogojne verjetnostne krivulje pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka <i>A</i>) pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka <i>B</i>) in pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka <i>C</i>) pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)	23
Slika 15: Izračun koincidenčne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka <i>C</i>); med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju in konicami pritoka gorvodno (spremenljivki <i>A</i> in <i>B</i>) obstaja korelacija (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)	23
Slika 16: Skupna gostota verjetnosti pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki <i>A</i> in <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)	24
Slika 17: Skupna porazdelitvena funkcija pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki <i>A</i> in <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003).....	24

Slika 18: Skupne verjetnostne krivulje pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki <i>A</i> in <i>B</i>) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)	25
Slika 19: Glavno okno programa HEC-SSP	26
Slika 20: Okno verjetnostne analize v programu HEC-SSP (USACE, 2010)	27
Slika 21: Primer verjetnostne krivulje visokovodnih konic v programu HEC-SSP (USACE, 2010) ...	28
Slika 22: Okno analize trajanja v programu HEC-SSP (USACE, 2010).....	29
Slika 23: Primer krivulje trajanja pretokov v programu HEC-SSP (USACE, 2010)	29
Slika 24: Diskretizacija krivulje trajanja v programu HEC-SSP (USACE, 2010)	31
Slika 25: Privzeti verjetnostni razponi v programu HEC-SSP za izračun indeksnih vrednosti b_i spremenljivke <i>B</i> (USACE, 2010)	31
Slika 26: Vnos vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka <i>C</i>), pridobljenih s simulacijami v hidravličnem modelu, ko je predpostavljena neodvisnost visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka <i>A</i>) in konic pritoka gorvodno (spremenljivka <i>B</i>) (USACE, 2010).....	32
Slika 27: Vnos vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka <i>C</i>), pridobljenih s simulacijami v hidravličnem modelu, ko med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka <i>A</i>) in konicami pritoka gorvodno (spremenljivka <i>B</i>) obstaja korelacija (USACE, 2010)	32
Slika 28: Primer grafa odzivnih krivulj spremenljivke <i>C</i> v programu HEC-SSP – gladina pritoka pred sotočjem (USACE, 2010).....	33
Slika 29: Primer koincidenčne verjetnostne krivulje v programu HEC-SSP (USACE, 2010).....	33
Slika 30: Sotočje Soče in Vipave (foto: Vihar, 2014)	35
Slika 31: Prikaz situacije na sotočju Soče in Vipave.....	36
Slika 32: Vipava v Sovodnjah (foto: Vihar, 2014)	36
Slika 33: Vodomerna postaja Miren I (Vipava) (foto: Vihar, 2014)	37
Slika 34: Vodomerna postaja Solkan I (Soča) (foto: Vihar, 2014).....	38
Slika 35: Lokacija vodomernih postaj Solkan I (Soča) in Miren I (Vipava).....	38
Slika 36: Hidrogram Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu v obdobju od 1. 1. 2005 do 31. 12. 2012....	39
Slika 37: Lokacije merilnih mest s tlačnimi sondami na Soči v Solkanu in na Vipavi v Mirnu ter v Sovodnjah	40
Slika 38: Nivogram Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu in Sovodnjah v obdobju od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012	41
Slika 39: Časovna odvisnost konic Solkan–Sovodnje.....	42
Slika 40: Časovna odvisnost konic Miren–Sovodnje	42
Slika 41: Časovni zamik visokovodnih konic Soče v Solkanu in Vipave v Mirnu	44
Slika 42: Časovni zamik visokovodnih konic v odvisnosti od vrednosti konic Soče v Solkanu.....	44
Slika 43: Časovni zamik visokovodnih konic v odvisnosti od vrednosti konic Vipave v Mirnu.....	45
Slika 44: Vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3.....	47

Slika 45: Verjetnostna krivulja pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 3 (POT3) konicami nad izbranim pragom	49
Slika 46: Krivulja trajanja dnevnih povprečnih pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I.....	50
Slika 47: Diskretizirana krivulja trajanja pretokov Vipave (Miren I)	51
Slika 48: Hidravlični model sotočja Soče in Vipave in prikaz lokacije profila Vipave v Sovodnjah (KSH, 2014b)	52
Slika 49: Prečni profil Vipave v Sovodnjah.....	53
Slika 50: Odzivne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah (spremenljivka <i>C</i>) pri različnih indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka <i>B</i>) in <i>n</i> -letnega pretoka Soče na sotočju (spremenljivka <i>A</i>).....	54
Slika 51: Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah.....	55

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Vse pogosteje smo priča izrednim hidrološkim dogodkom, ki so posledica različnih slučajnih naravnih pojavov. Eden izmed takih dogodkov, mnogokrat tudi z obsežnimi socialno-ekonomskimi posledicami, so poplave. Na slučajne mehanizme narave, ki takšne dogodke sprožijo, ne moremo vplivati, lahko pa se nanje delno pripravimo s celovitim poznavanjem in preučevanjem preteklih dogodkov. Poznavanje pojava visokih voda nam omogoča učinkovitejše varstvo pred poplavami, načrtovanje protipoplavnih ukrepov in hidrotehničnih objektov, ustrežnejše načrtovanje rabe prostora ter na splošno boljše gospodarjenje z vodami.

Verjetnostna analiza predstavlja orodje za ugotavljanje verjetnosti določenega hidrološkega pojava na podlagi preteklih dogodkov. Z verjetnostno analizo visokovodnih valov torej pridobimo informacijo o povezavi med vrednostjo pretoka in njegovo povratno dobo. V ta namen pa najprej potrebujemo kvalitetne meritve, ki zagotavljajo homogen in neprekinjen niz podatkov. Ocena pretoka z določeno povratno dobo je odvisna od izbire metode verjetnostne analize in s tem izbire vzorca (metoda letnih maksimumov ali metoda vzorčenja nad izbranim pragom – POT metoda), izbire teoretične porazdelitve, s katero na podlagi vzorca sklepamo o lastnostih populacije, ter načina ocenjevanja parametrov izbrane porazdelitve.

V nekaterih primerih, ko je določen dogodek funkcija dveh drugih slučajnih hidroloških dogodkov, je smiselna uporaba koincidenčne verjetnostne analize. Pretekli podatki o dogodku, katerega verjetnost nas zanima, nam niso poznani, lahko pa njegovo verjetnost izračunamo na podlagi znanih podatkov o dogodkih, od katerih je le-ta odvisen. Tak primer je tudi poplavljanje pritoka pred sotočjem kot posledica povečanega pretoka pritoka ter zaježitve le-tega zaradi sočasnega povečanega pretoka glavnega vodotoka na sotočju. Hidrološki inženirski center ameriške vojske je koincidenčno verjetnostno analizo vgradil v program HEC-SSP, ki je v osnovi namenjen statistični analizi različnih hidroloških podatkov in poleg koincidenčne verjetnostne analize omogoča tudi splošno verjetnostno analizo, verjetnostno analizo volumnov, analizo trajanja ter kombinacijsko analizo krivulj (USACE, 2010).

Koincidenčna verjetnostna analiza se lahko aplicira na različne situacije, ko je določen slučajni dogodek funkcija dveh drugih slučajnih dogodkov. V dosedanjih študijah so koincidenčno verjetnostno analizo na primer uporabili pri ugotavljanju verjetnosti poplavljanja vodotoka pred izlivom v morje kot posledice zaježitve vodotoka zaradi povišane gladine morja zaradi plime in sočasnega povečanega pretoka vodotoka (Tingsanchali in Kitpaisalsaku, 1999), pri ugotavljanju verjetnosti zalednega poplavljanja za nasipom kot posledice zalednega odtoka in sočasno povišane gladine vodotoka nad nivojem cevne prepusta na protipoplavnem nasipu (USACE, 1995) in mnogih drugih.

V diplomski nalogi je predstavljena teorija verjetnosti in iz nje izhajajoča verjetnostna analiza ter koincidenčna verjetnostna analiza. Prikazana je uporaba programa HEC-SSP za izračun koincidenčne

verjetnostne analize. V praktičnem delu diplomske naloge smo izvedli koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave, pri čemer smo izračunali verjetnostno porazdelitev gladin Vipave v Sovodnjah na podlagi podatkov o pretoku Soče na sotočju ter pretokov Vipave v Mirnu.

1.1 Cilji diplomske naloge

Cilj diplomske naloge je (1) predstaviti teorijo koincidenčne verjetnostne analize, (2) prikazati potek izračuna koincidenčne verjetnostne analize s programom HEC-SSP, (3) preveriti uporabnost programa HEC-SSP, (4) izvesti primer koincidenčne verjetnostne analize visokovodnih valov na sotočju rek Soče in Vipave in (5) izračunati porazdelitev gladin reke Vipave v Sovodnjah, kjer ob visokih vodah prihaja do poplavljanja reke Vipave kot posledice (predvsem) zaježitvenega učinka povečanega pretoka reke Soče na sotočju ter sočasnega povečanega pretoka reke Vipave.

2 TEORIJA VERJETNOSTI

2.1 Osnovni pojmi verjetnosti

Statistika predstavlja orodje za obvladovanje množice podatkov, ki jih zberemo, razvrstimo, uredimo in na podlagi določenih pravil oblikujemo informacije (Turk, 2011). S pomočjo statistike oblikujemo tudi reprezentativen vzorec, ki še omogoča ocenjevanje lastnosti celotne populacije z želeno točnostjo. V inženirstvu je večina količin, ki jih obravnavamo, slučajne narave. Tudi padavine, pretoki, gladine vodotokov in številni drugi hidrološki pojavi so slučajni in enkratni pojavi, te pa lahko opišemo s slučajnimi spremenljivkami. Statistiko v hidrologiji uporabljamo z namenom, da bi na podlagi razpoložljivega vzorca pridobili čim več informacij o nekem pojavu, ki ga ta vzorec predstavlja (Brilly in Šraj, 2005).

Matematična osnova statistike je verjetnostni račun, pri tem pa naletimo na pojme poskus, dogodek in verjetnost dogodka. Poskus je splet pojavov, ki jih opazujemo, rezultat poskusa pa je dogodek. Različni dogodki so lahko rezultat enakih poskusov (Turk, 2011).

Verjetnostna teorija temelji na naslednjih treh aksiomih (povzeto po Brilly in Šraj, 2005):

1. verjetnost p_i vsakega elementarnega slučajnega dogodka x_i je nenegativna in manjša od 1:

$$0 < p_i < 1, \quad (1)$$

2. vsota verjetnosti vseh možnih slučajnih dogodkov x_i v enem poizkusu je enaka 1:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad \text{in} \quad (2)$$

3. če sta dogodka X_1 in X_2 nezdružljiva, je verjetnost njune vsote enaka vsoti posameznih dogodkov:

$$P(X_1 \cup X_2) = P(X_1) + P(X_2). \quad (3)$$

Verjetnostne spremenljivke so lahko diskretne, zvezne ali mešane. Slučajna spremenljivka X je diskretna, če lahko slučajno privzame eno od vrednosti x_1, x_2, \dots, x_n s pripadajočimi verjetnostmi p_1, p_2, \dots, p_n , pri čemer je:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (4)$$

V hidrologiji je primer diskretne spremenljivke na primer število dni s padavinami v določenem časovnem obdobju ali število poplav v določenem časovnem obdobju.

Zvezna slučajna spremenljivka je spremenljivka, ki lahko znotraj nekega končnega ali neskončnega intervala (a, b) zavzame vse vrednosti. Primer zvezne spremenljivke v hidrologiji so maksimalni pretoki reke na vodomerni postaji v nekem časovnem obdobju. Za vsak x iz intervala (a, b) velja (povzeto po Brilly in Šraj, 2005):

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f_X(x), \quad (5)$$

pri čemer je $f_X(x)$ gostota verjetnosti oziroma funkcija gostote verjetnosti (angl. *probability density function*).

Porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ (angl. *cumulative distribution function*) slučajne spremenljivke X je funkcija, ki ima pri vsakem realnem x vrednost, enako verjetnosti dogodka $P(X \leq x)$ (povzeto po Brilly in Šraj, 2005):

$$F_X(x) = P(X \leq x). \quad (6)$$

V hidrologiji se pogosto verjetnost nekega dogodka namesto s porazdelitveno funkcijo $F_X(x)$ izraža s povratno dobo T . Zveza med povratno dobo in porazdelitveno funkcijo pa je naslednja:

$$T(x) = \frac{1}{1 - F_X(x)} \quad (7)$$

oziroma

$$F_X(x) = 1 - \frac{1}{T} = T_1. \quad (8)$$

2.2 Pogojna verjetnost

Na podlagi aksiomov verjetnosti, ki so podani v prejšnjem poglavju z enačbami (1–3), lahko definiramo izrek o pogojni verjetnosti. Verjetnost, da se je zgodil dogodek X , pri pogoju, da se je zgodil dogodek Y , imenujemo pogojna verjetnost in je definirana kot razmerje med verjetnostjo produkta obeh dogodkov (verjetnost sočasnega pojava dogodkov) ter verjetnostjo dogodka Y (povzeto po Turk, 2011):

$$P[X|Y] = \frac{P[X \cap Y]}{P[Y]}. \quad (9)$$

V primeru, ko sta dogodka X ter Y neodvisna, pa je verjetnost, da se je zgodil dogodek X , pri pogoju, da se je zgodil dogodek Y , enaka kar verjetnosti dogodka X , saj je verjetnost produkta dveh neodvisnih dogodkov enaka produktu posameznih verjetnosti:

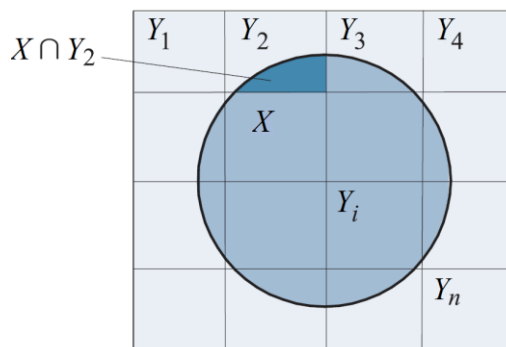
$$P[X|Y] = \frac{P[X \cap Y]}{P[Y]} = \frac{P[X]P[Y]}{P[Y]} = P[X]. \quad (10)$$

2.3 Zakon o popolni verjetnosti dogodka

Dogodki Y_i ($i=1, \dots, n$) predstavljajo popolni sistem dogodkov, če so vsi dogodki Y_i nezdružljivi, njihova vsota pa je gotov dogodek. Zakon o popolni verjetnosti (angl. *law of total probability*) pravi, da če se dogodek X nahaja v popolnem sistemu dogodkov Y_i , potem verjetnost dogodka X lahko zapišemo kot vsoto verjetnosti nezdružljivih dogodkov $X \cap Y_i$ (povzeto po Turk, 2011):

$$P[X] = P[X \cap Y_1] + P[X \cap Y_2] + \dots + P[X \cap Y_n] = \sum_{i=1}^n P[X \cap Y_i]. \quad (11)$$

Dogodek X lahko »sestavimo« iz posameznih dogodkov $X \cap Y_i$, kar je s pomočjo Vennovega diagrama grafično prikazano na sliki 1.



Slika 1: Vennov diagram za popolno verjetnost dogodka (Prirejeno po Turk, 2011: str. 23)

Če v prejšnji izraz vpeljemo enačbo (9), lahko verjetnost dogodka X zapišemo z enačbo:

$$P[X] = \sum_{i=1}^n P[X|Y_i] P[Y_i]. \quad (12)$$

2.4 Teoretične porazdelitve

Verjetnostni račun razpolaga s številnimi teoretičnimi porazdelitvami. Teoretične porazdelitve so opisane z matematičnimi enačbami, te pa vsebujejo parametre, ki jih opredeljujejo (Brilly in Šraj, 2005). Najpogosteje se uporabljajo dvo- ali tri-parametrne porazdelitve, ki še zagotavljajo zadovoljivo ujemanje s podatki. Parametrov določene porazdelitve običajno ne poznamo. Zato na osnovi statistik, ki jih izračunamo iz vzorca, ocenimo parametre populacije. Podamo lahko točkovno oceno, s katero ocenimo parameter z eno samo vrednostjo, ali pa intervalno oceno, ki definira interval, za katerega lahko z določeno verjetnostno trdimo, da vključuje parameter (Turk, 2011).

Za točkovno ocenjevanje parametrov se najpogosteje uporabljajo metoda momentov, metoda L momentov ali metoda največjega verjetja. Najenostavnejša je metoda momentov, pri kateri parametre porazdelitve ocenimo na podlagi ocen momentov oziroma karakterističnih števil. Pri tem predpostavimo, da so teoretični momenti porazdelitve enaki pripadajočim iz vzorca izračunanim ocenam momentov (Brilly in Šraj, 2005). Pri metodi momentov iz vzorca (X_1, \dots, X_n) izračunamo ocene parametrov (pričakovana vrednost, standardna deviacija in koeficient asimetrije) porazdelitve (povzeto po Maidment, 1993):

$$\hat{\mu}_X = \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

$$\hat{\sigma}_X = S = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right)} \quad (13)$$

$$\hat{\gamma}_X = C_S = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3},$$

kjer je:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_X &= \bar{X} && \text{ocena srednje vrednosti,} \\ \hat{\sigma}_X &= S && \text{ocena standardne deviacije,} \\ \hat{\gamma}_X &= C_S && \text{ocena koeficienta asimetrije.} \end{aligned}$$

Pri teoretičnih porazdelitvah se zaradi bolj praktične uporabe in za sprotne izračune pogosto uporabljajo enostavne linearne transformacije porazdelitev. Enačba linearne transformacije je:

$$X(T) = \mu_X + z(T)\sigma_X, \quad (14)$$

kjer je:

$$\begin{aligned} \mu_X & \text{ srednja vrednost,} \\ \sigma_X & \text{ standardna deviacija,} \\ z(T) & \text{ faktor frekvence (tabeliran),} \\ T & \text{ povratna doba.} \end{aligned}$$

Faktorji frekvenc različnih porazdelitev so podani v preglednicah v literaturi.

3 VERJETNOSTNA ANALIZA

Verjetnostna analiza je postopek, ki se pogosto uporablja pri preučevanju podatkov o preteklih hidroloških pojavih z namenom ugotavljanja verjetnosti njihovega pojavljanja v prihodnosti, kot so na primer pogostost poplav, suš, padavin ... Verjetnostna analiza nam da verjetnostno krivuljo, ki prikazuje možne vrednosti spremenljivke oziroma vrednosti določenega hidrološkega pojava, odvisne od pogostosti pojavljanja tega pojava (Mikoš et al., 2002).

Verjetnostno analizo visokovodnih valov lahko izvedemo z metodo letnih maksimumov ali z metodo vrednosti nad izbranim pragom. Obe metodi sta predstavljeni v nadaljevanju.

3.1 Metoda letnih maksimumov

Vzorčenje z metodo letnih maksimumov (angl. *annual maximum series method*) se za verjetnostno analizo visokih vod najpogosteje uporablja predvsem zaradi preprostosti. Pri tem se oblikuje vzorec na podlagi največjih letnih vrednosti, takšen vzorec pa vsebuje toliko elementov, kolikor imamo let podatkov. Slabost takšnega vzorčenja je neupoštevanje pomembnih dogodkov, ki so sicer manjši od največjega v posameznem letu, a so lahko precej večji od nekega letnega maksimuma, ki se je zgodil v nekem drugem letu (Brilly in Šraj, 2005). Ta slabost se še bolj izrazi v primeru, ko imamo za analizo na voljo le krajši niz podatkov.

Za verjetnostno analizo visokovodnih valov z metodo letnih maksimumov se v svetu najpogosteje uporabljajo logaritemsko normalna porazdelitev, Pearsonova porazdelitev tipa 3, logaritemsko Pearsonova porazdelitev tipa 3, Gumbelova porazdelitev, porazdelitev ekstremnih vrednosti, generalizirana logistična porazdelitev ter številne druge porazdelitve. Najustreznejšo porazdelitev za določen vzorec lahko izberemo na podlagi različnih statističnih testov. V nadaljevanju so na kratko opisane porazdelitve, ki so vgrajene tudi v program HEC-SSP, to so normalna porazdelitev, logaritemsko normalna porazdelitev, Pearsonova porazdelitev tipa 3 ter logaritemsko Pearsonova porazdelitev tipa 3.

3.1.1 Normalna porazdelitev

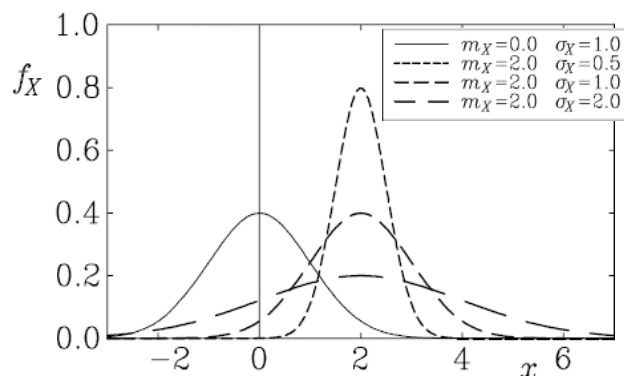
Normalna porazdelitev (ali Gaussova porazdelitev) je ena najpomembnejših in najbolj pogosto uporabljenih porazdelitev v statistiki za zvezno porazdeljene slučajne spremenljivke. Njena funkcija gostote ima obliko:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu_X)^2/2\sigma_X^2} \quad \text{za} \quad -\infty < x < \infty. \quad (15)$$

Je simetrična, dvo-parametrška funkcija, njena parametra sta srednja vrednost μ_X (matematično upanje, pričakovana vrednost) in standardna deviacija σ_X . Srednja vrednost vpliva na lego krivulje, standardna deviacija pa na obliko krivulje. Porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve ima obliko (povzeto po Brilly in Šraj, 2005):

$$F_X(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(x-\mu_X)^2/2\sigma_X^2} dx. \quad (16)$$

Na sliki 2 je prikazana gostota verjetnosti normalne porazdelitve pri različnih vrednostih parametrov μ_X in σ_X .



Slika 2: Gostota verjetnosti normalne porazdelitve (Povzeto po Turk, 2011: str 102)

Po metodi momentov lahko parametre (srednjo vrednost in standardno deviacijo) ocenimo po enačbah (13) ter uporabimo enačbo linearne transformacije (14), da dobimo zvezo med frekvenco in magnitudo določenega dogodka. Faktor frekvence pa odčitamo iz preglednic, kjer je podan v odvisnosti od povratne dobe T oziroma porazdelitvene funkcije $F_X(x)$ (Haan, 2002).

3.1.2 Logaritemsko normalna porazdelitev

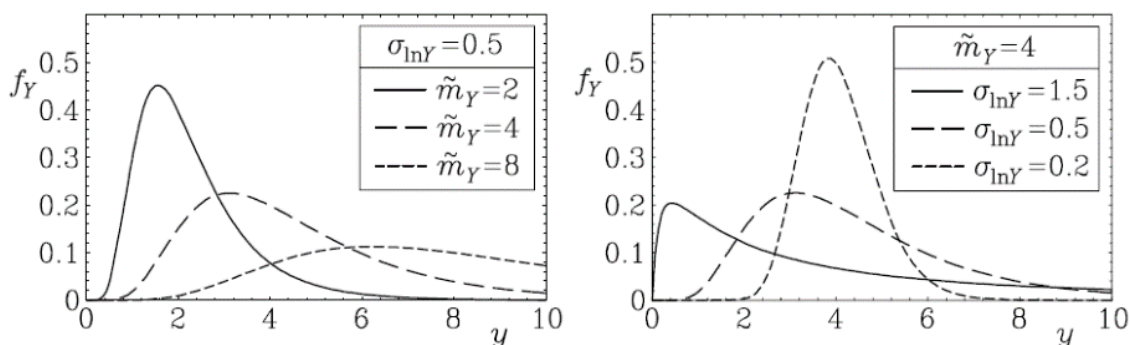
Logaritemsko normalna porazdelitev izhaja iz normalne porazdelitve in je prav tako dvo-parametrška porazdelitev, vendar asimetrična, določena samo za spremenljivke x , katerih vrednost je večja od 0 (Brilly in Šraj, 2005). Slučajna spremenljivka Y je porazdeljena logaritemsko normalno, če je slučajna spremenljivka X porazdeljena normalno in velja zveza $Y = \ln X$ (povzeto po Turk, 2011). Gostota verjetnosti in porazdelitvena funkcija sta podani z naslednjima enačbama:

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu_Y)^2/2\sigma_Y^2}, \quad x > 0, \quad (17)$$

$$F_X(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu_Y)^2/2\sigma_Y^2} dx, \quad 0 < x < \infty, \quad (18)$$

kjer sta srednja vrednost in standardna deviacija:

$$\mu_Y = \ln x - \frac{\sigma_Y^2}{2} \quad \text{in} \quad \sigma_Y = \left[\ln \left(1 + \frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} \right) \right]^{1/2}. \quad (19)$$



Slika 3: Gostota verjetnosti logaritemsko normalne porazdelitve (Povzeto po Turk, 2011: str 115)

Po metodi momentov izračunamo ocene parametrov porazdelitve (srednjo vrednost in standardno deviacijo) na osnovi logaritmiranih vrednosti podatkov in uporabimo enačbo linearne transformacije (14), da dobimo zvezo med frekvenco in magnitudo določenega dogodka. Faktor frekvence odčitamo iz preglednic v literaturi (Haan, 2002).

3.1.3 Pearsonova porazdelitev tipa 3

Pearsonova porazdelitev tipa 3 je ena od gama porazdelitev, ki izhajajo iz eksponentne porazdelitve in vsebujejo gama funkcijo, ki je vsebovana v funkciji gostote verjetnosti.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (20)$$

Pearsonova porazdelitev tipa 3 je tri-parametrška, asimetrična porazdelitev in se pogosto uporablja v hidrologiji pri analizi maksimalnih pretokov (povzeto po Brilly in Šraj, 2005). Funkcija gostote ter porazdelitvena funkcija Pearsonove porazdelitve tipa 3 sta:

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-c}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(x-c)/\beta}, \quad x \geq c \quad (21)$$

$$F_X(x) = \int_c^x \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-c}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(x-c)/\beta} dx. \quad (22)$$

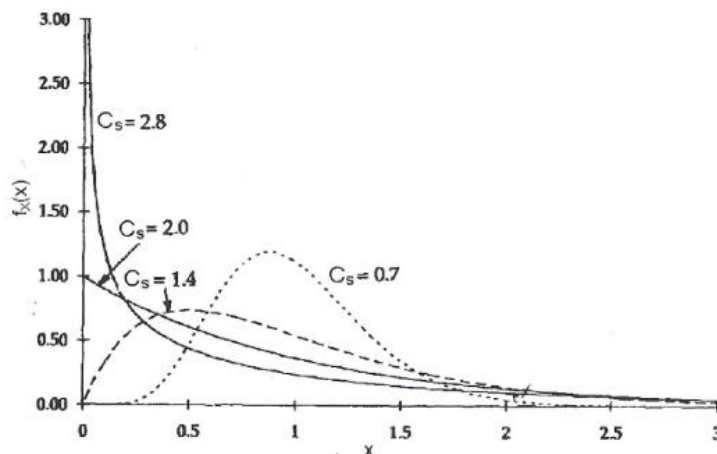
Porazdelitev določajo parametri α , β in c (povzeto po Maidment, 1993):

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{4}{c_{SX}^2}, \\ \beta &= \frac{\sigma_X c_{SX}}{2}, \\ c &= \mu_X - \alpha \beta, \end{aligned} \quad (23)$$

kjer je c_{SX} koeficient asimetrije:

$$c_{SX} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_X)^3}{(n-1)(n-2)\sigma_X^3}. \quad (24)$$

Na sliki 4 je prikazana funkcija gostote Pearsonove porazdelitve tipa 3 za različne koeficiente asimetrije C_S in srednjo vrednost μ_X enako 1 (povzeto po Maidment, 1993).



Slika 4: Gostota verjetnosti Pearsonove porazdelitve tipa 3 (Povzeto po Maidment, 1993)

Za hiter izračun zveze med magnitudo pojava in njegovo pogostostjo lahko uporabimo enačbo (14), kjer je faktor frekvence $z(T)$ odvisen od koeficienta asimetrije in je podan v preglednicah v literaturi (Haan, 2002). Parametre porazdelitve ocenimo po metodi momentov z enačbami (13). Za vrednosti koeficienta asimetrije $|C_S| \leq 2$ lahko dovolj natančno ocenimo faktor frekvence tudi z enačbo (povzeto po Maidment, 1993):

$$z(T) = \frac{2}{c_S} \left(1 + \frac{c_S K_n}{6} - \frac{c_S^2}{36} \right)^3 - \frac{2}{c_S}, \quad (25)$$

kjer je K_n standardizirana normalna spremenljivka.

3.1.4 Logaritemska Pearsonova porazdelitev tipa 3

Logaritemska Pearsonova porazdelitev tipa 3 izhaja iz Pearsonove porazdelitve tipa 3. Slučajna spremenljivka Y je porazdeljena po logaritemski Pearsonovi porazdelitvi tipa 3, če so logaritmi verjetnostne slučajne spremenljivke porazdeljeni po Pearsonovi porazdelitvi tipa 3. Pogosto se porazdelitev uporablja pri analizah poplav tako po svetu kot tudi v Sloveniji. V ZDA je to priporočena porazdelitev za verjetnostne analize visokovodnih konic. Gostota verjetnosti ter porazdelitvena funkcija logaritemske Pearsonove porazdelitve tipa 3 sta (povzeto po Brilly in Šraj, 2005):

$$f_Y(y) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{y-c}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(y-c)/\beta}, \quad y \geq c \quad (26)$$

$$F_Y(y) = \int_0^y \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{y-c}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(y-c)/\beta} dy, \quad (27)$$

kjer je:

$$Y = \log X.$$

Porazdelitev določajo parametri α , β in c (povzeto po Maidment, 1993):

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{4}{c_{SY}^2}, \\ \beta &= \frac{\sigma_Y c_{SY}}{2}, \\ c &= \mu_Y - \alpha\beta,\end{aligned}\tag{28}$$

kjer je c_{SY} koeficient asimetrije:

$$c_{SY} = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_Y)^3}{(n-1)(n-2)\sigma_Y^3}.\tag{29}$$

3.2 Metoda POT

Vzorec, pridobljen z metodo POT (angl. *peak over threshold method*) oziroma metodo vzorčenja konic nad izbranim pragom, je običajno večji kot vzorec, pridobljen z metodo letnih maksimumov, zajema več informacij o poplavnih dogodkih ter ima nekoliko večjo povprečno vrednost in manjšo disperzijo. Vzorec torej vsebuje vse visokovodne dogodke nad izbrano vrednostjo praga, ki pa morajo biti neodvisni. Težavnost te metode je prav v izbiri vrednosti praga ter upoštevanja pogojev neodvisnosti konic, obstajajo namreč različna priporočila za izbiro le-teh, izbira pa je zato subjektivna in zahteva strokovno oceno (Bezák, 2012). Poleg tega verjetnostna analiza z metodo POT zahteva uporabo dveh porazdelitev; prva opisuje število konic v posameznem letu, druga pa vrednosti konic nad izbrano vrednostjo praga (Lang et al., 1999). Ko imamo na voljo le kratek niz podatkov (nekaj let), je izbira metode POT še toliko bolj zaželena, saj s tem pridobimo večji vzorec za analizo, ki nam posledično da boljše rezultate.

3.2.1 Izbira praga x_0

Eden izmed težjih korakov POT metode je določitev vrednosti praga x_0 , saj različni avtorji priporočajo različne metode za določitev le-tega. Možna sta dva pristopa za določitev praga, in sicer »fizični« pristop, pri katerem kot prag na primer določimo vrednost pretoka, pri katerem vodotok na določenem odseku prične poplavlјati, ali pa pristop, ki temelji na matematičnem oziroma statističnem vidiku. Tako ja na primer Langbein (1949) predlagal, da se kot vrednost praga privzame najmanjši letni maksimum v obravnavanem nizu podatkov, spet drugi priporočajo določitev praga tako, da vzorec, ki ga dobimo, sestoji iz povprečno 1, 3 oziroma 5 konic letno itd.

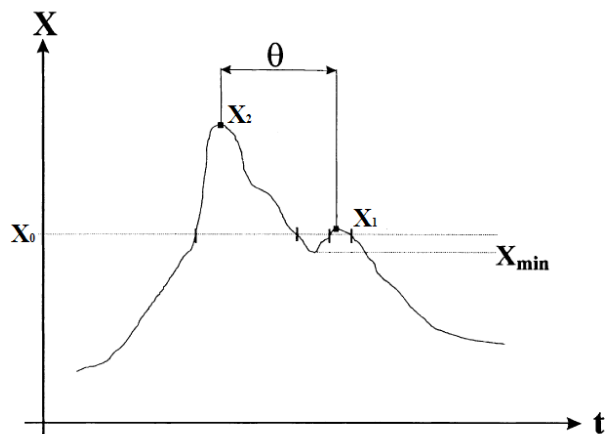
3.2.2 Pogoj neodvisnosti konic

Ko določimo vrednost praga x_0 , vzorec vsebuje vse konice, katerih vrednost je večja od izbranega praga x_0 . Preveriti moramo, ali so vse konice, ki so zajete v vzorcu, medsebojno neodvisne, to pomeni, da dve zaporedni konici ne smeta pripadati istemu visokovodnemu dogodku. Do tega običajno pride pri dolgotrajnih poplavih, pri katerih je pogosto druga konica posledica zasičenosti zemljine. Eden izmed kriterijev pravi, da mora pretok med dvema zaporednima konicama pasti pod $\frac{3}{4}$ vrednosti manjše od obeh konic, med konicama pa mora biti vsaj pet dni razlike plus naravni logaritem prispevnega območja v kvadratnih miljah A (USWRC, 1981):

$$x_{min} > (3/4)min[x_1, x_2], \quad (30)$$

$$\theta < 5dni + \log(A). \quad (31)$$

Če je izpolnjena ena izmed enačb (30) in (31), moramo manjšo konico izločiti iz vzorca. Parametri kriterija za neodvisnost konic so grafično prikazani na sliki 5.



Slika 5: Parametri kriterija za neodvisnost konic (Prirejeno po Lang et al., 1999: str. 105)

3.2.3 Porazdelitev števila konic

Za opis letnega števila konic se najpogosteje uporablja Poissonova porazdelitev. Značilnost Poissonove porazdelitve je, da sta njena srednja vrednost in varianca enaki, kar pomeni, da naj bi bil pojav visokih vod povsem slučajen. V določenih primerih pa se varianca letnega števila konic precej razlikuje od srednje vrednosti. Če je varianca znatno večja od srednje vrednosti (visokovodni dogodki se pojavljajo v skupinah), je priporočena uporaba negativne binomske porazdelitve, če pa je varianca znatno manjša od srednje vrednosti (visokovodni dogodki se pojavljajo približno enakomerno), pa je priporočena uporaba binomske porazdelitve. Vse tri omenjene porazdelitve opisujejo diskretne spremenljivke. Številni strokovnjaki (npr. Shane and Lynn, 1964; Kirby, 1969; Zelenhasic, 1970; Rosbjerg et al., 1992; Madsen et al., 1997) so za opis števila konic v letu uporabili Poissonovo porazdelitev, kljub temu da

predpostavka o enakosti variance in srednje vrednosti ni veljala (Taesombut and Yevjevich, 1987; Cunane, 1979 cit. po Önöz in Bayazit, 2001). Ugotovljeno je bilo, da so ocene n -letnega pretoka, pridobljene na podlagi binomske ali negativne binomske porazdelitve za opis števila konic v letu v kombinaciji z eksponentno porazdelitvijo za opis velikosti konic nad pragom, skoraj identične tistim, katerih število konic je bilo opisano s Poissonovo porazdelitvijo (povzeto po Önöz in Bayazit, 2001). V nadaljevanju je opisana Poissonova porazdelitev.

Poissonova porazdelitev se pogosto uporablja za analizo redkih pojavov, izhaja iz Bernoullijevega poizkusa ter opisuje diskretne spremenljivke in je pozitivno asimetrična. Predstavlja število uspehov v določenem časovnem obdobju. Verjetnostna funkcija Poissonove porazdelitve je (povzeto po Önöz in Bayazit, 2001):

$$P(m = k) = \frac{e^{-\mu} \mu^k}{k!}, \quad (32)$$

kjer je $k = 0, 1, 2, \dots$. Parametri, tj. srednja vrednost, varianca ter moment tretjega reda pa so enaki:

$$\begin{aligned} E(m) &= E = \mu, \\ \text{Var}(m) &= V = \mu, \\ \mu_3(m) &= \mu. \end{aligned} \quad (33)$$

3.2.4 Porazdelitev vrednosti konic nad izbranim pragom x_0

Velikost konice y nad izbranim pragom x_0 izračunamo z enačbo:

$$y = x - x_0. \quad (34)$$

Najpogosteje se za opis velikosti konic nad izbranim pragom uporablja eksponentna porazdelitev (Önöz in Bayazit, 2001). Po navadi je uporaba eksponentne porazdelitve zadovoljiva za opis velikosti konic nad pragom. Če je hipoteza o eksponentni porazdelitvi velikosti konic s statističnimi testi zavrnjena, se priporoča uporaba Pareto porazdelitve (Bezak, 2012).

Eksponentna porazdelitev je verjetnostna porazdelitev zveznih spremenljivk in opisuje Poissonov stohastični proces. Njena porazdelitvena funkcija je enaka (povzeto po Önöz in Bayazit, 2001):

$$G_Y(y) = 1 - e^{\left(-\frac{y}{\beta}\right)}, \quad (35)$$

srednja vrednost ter varianca pa sta:

$$\begin{aligned} E(y) &= E = \beta, \\ \text{Var}(y) &= V = \beta^2. \end{aligned} \quad (36)$$

3.2.5 Verjetnostna porazdelitev konic in izračun n -letnega pretoka

Če je $G_y(y)$ verjetnostna porazdelitev velikosti konic y nad izbranim pragom x_0 , potem lahko zapišemo (Shane in Lynn, 1964; cit. po Önöz in Bayazit, 2001):

$$F_X(x) = \sum_{k=0}^{\infty} P(m = k) [G_y(y)]^k. \quad (32)$$

Pri uporabi Poissonove porazdelitve za opis števila konic v letu in eksponentne porazdelitve za opis velikosti konic nad izbranim pragom lahko zapišemo kombinirano verjetnostno porazdelitev (povzeto po Önöz in Bayazit, 2001):

$$F_X(x) = \exp \left\{ -\mu \exp \left[-\frac{x-x_0}{\beta} \right] \right\}. \quad (33)$$

Parametre lahko ocenimo z metodo momentov, enačbe pa so podane v zgornjih poglavjih.

Za oceno pretoka, ko je število konic v letu opredeljeno s Poissonovo porazdelitvijo ter velikost konic nad izbranim pragom z eksponentno porazdelitvijo, pa lahko uporabimo enačbo (povzeto po Önöz in Bayazit, 2001):

$$x_T = x_0 + \beta \ln \mu - \beta \ln(-\ln T_1). \quad (34)$$

Pri tem je ocena pretoka odvisna tudi od povratne dobe T_I , ki je definirana z enačbo (8). Parametra β in μ pripadata zgoraj opisanima porazdelitvama, kjer so podane tudi enačbe za izračun.

3.3 Povratni dobi T_{POT} in T_{AM}

Potrebno se je zavedati, da povratna doba T_{AM} nima enakega pomena kot povratna doba T_{POT} . Povratna doba T_{AM} predstavlja povprečni interval med leti, v katerih se pojavi določen pretok Q kot letni maksimum, medtem ko T_{POT} predstavlja povprečni interval med pojavljanjem visoke vode, ki presega vrednost Q nad izbranim pragom. V hidrologiji se po navadi uporablja povratna doba T_{AM} zaradi pogostejše uporabe metode letnih maksimumov, čeprav je v bistvu definicija povratne dobe T_{POT} bolj »pravilna«. Zveza med T_{AM} in T_{POT} je podana z enačbo (Langbein, 1949):

$$\frac{1}{T_{AM}} = 1 - \exp \left(-\frac{1}{T_{POT}} \right). \quad (35)$$

V preglednici 1 je predstavljena primerjava povratnih dob T_{AM} in T_{POT} pri enaki vrednosti Q . Vidimo, da so pri enakem pretoku Q povratne dobe T_{POT} manjše kot povratne dobe T_{AM} , ta razlika pa postane nepomembna pri pretokih s povratno dobo večjo od 5 let.

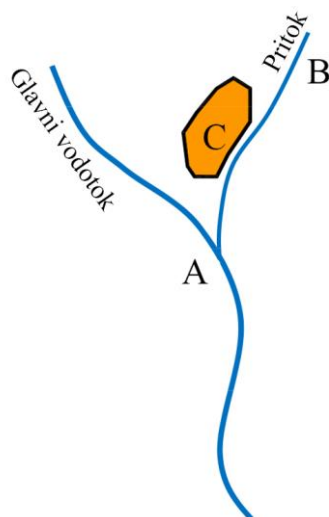
Preglednica 1: Primerjava povratnih dob T_{POT} in T_{AM} pri enaki vrednosti Q (Langbein, 1949)

T_{POT}	1	2	5	10	20	50	100
T_{AM}	1,58	2,54	5,52	10,51	20,5	50,5	100,5

4 KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA

4.1 Uporaba koincidenčne verjetnostne analize

Poplavni dogodki so pogosto posledica več sočasnih hidroloških pojavov. V določenih primerih nas zanima verjetnost dogodka, za katerega merjenih podatkov nimamo na voljo, lahko pa njegovo verjetnostno porazdelitev izračunamo na podlagi meritev dveh drugih naravnih slučajnih dogodkov, od katerih je le-ta odvisen. Na primer, poplavljanje pritoka pred sotočjem (spremenljivka *C*) je lahko posledica povečanega pretoka pritoka (spremenljivka *B*) ob sočasnem povečanem pretoku glavnega vodotoka (spremenljivka *A*) na sotočju, ki povzroči zaježitev pritoka (slika 6).

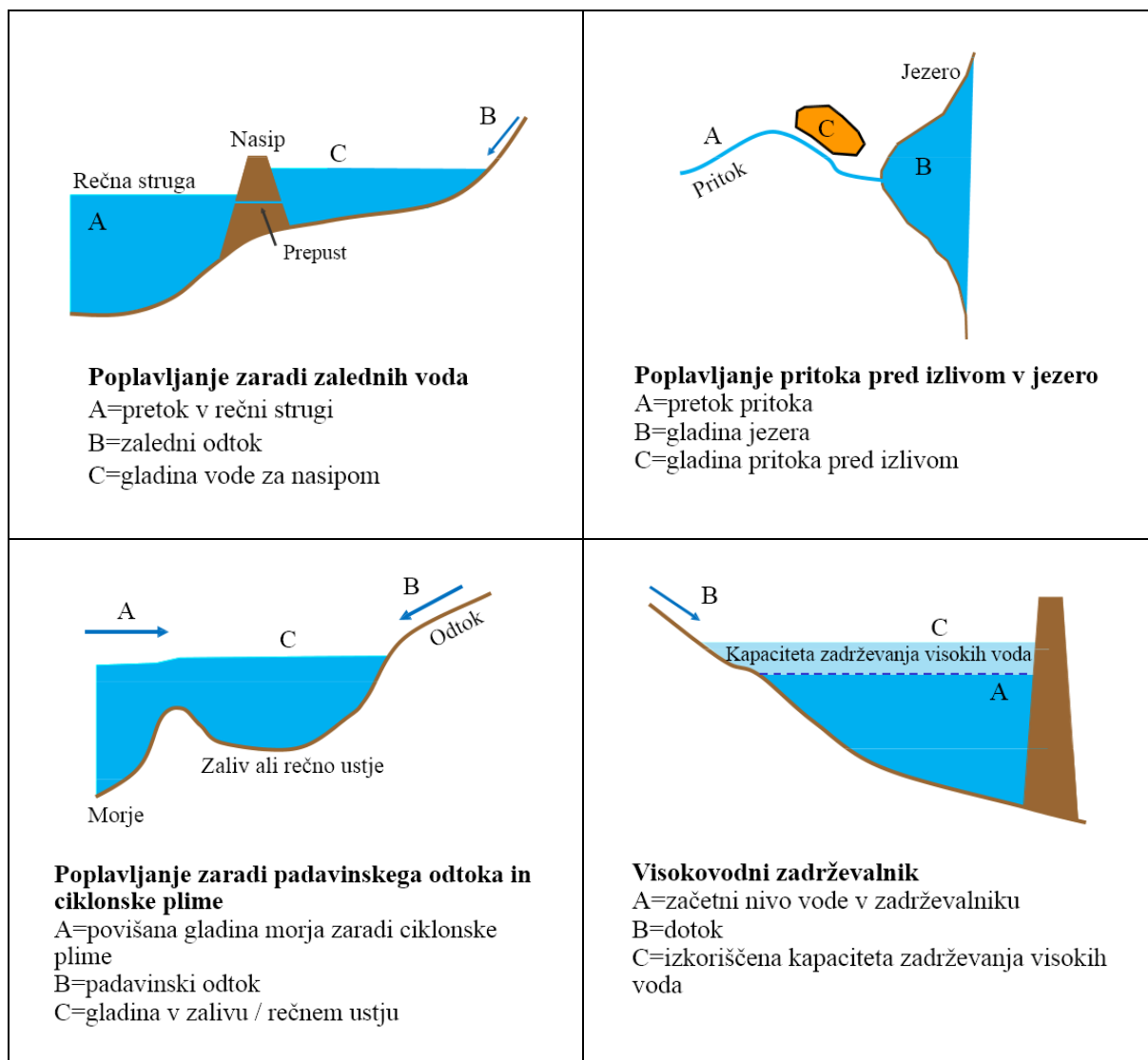


Slika 6: Poplavljanje pritoka pred sotočjem (Prirejeno po Faber in Gibson, 2005)

Hidrološki inženirski center ameriške vojske za ugotavljanje verjetnosti takšnih dogodkov uporablja metodologijo koincidenčne verjetnosti (angl. *coincident frequency methodology*), katere uporaba načeloma zahteva predpostavko, da so visokovodni dogodki na pritoku (spremenljivka *B*) in visokovodni dogodki na sotočju (spremenljivka *A*) ali popolnoma korelirani ali pa popolnoma neodvisni. Glede na dejansko korelacijo dogodkov je predpostavka o popolni korelaciji le-teh lahko pretirano konservativna, medtem ko predpostavljanje popolne neodvisnosti dogodkov kljub temu da med njima obstaja korelacija, lahko podcenjuje pogostost ekstremnih pojavov. Običajno med dvema 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 na voljo premajhen niz podatkov (Faber in Gibson, 2003).

Koincidenčna verjetnostna analiza se lahko uporablja, poleg že omenjenega primera poplavljanja pritoka pred sotočjem, na primer tudi za ugotavljanje verjetnosti zalednega poplavljanja za protipoplavnim nasipom (kot posledice zalednega odtoka in povišane gladine vodotoka nad nivojem

cevnega prepusta nasipa), poplavljanja vodotoka pred izlivom v jezero (kot posledice povečanega pretoka vodotoka in povišanega vodostaja jezera, ki povzroča zaježitev vodotoka), poplavljanja vodotoka na rečnem ustju (kot posledice povečanega pretoka vodotoka ob sočasnem pojavu plime, ki povzroči dodatno povišanje morske gladine in s tem zaježitev vodotoka) ... (Faber in Gibson, 2003) (slika 7).



Slika 7: Primeri situacij za uporabo koincidenčne verjetnostne analize (Prirejeno po Faber in Gibson, 2005)

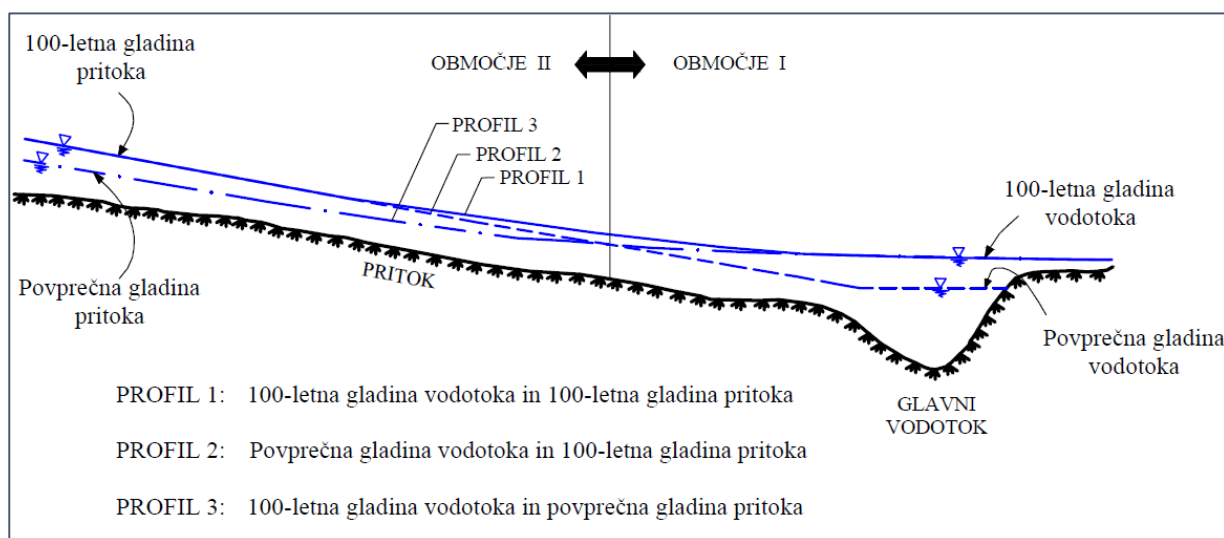
4.2 Teorija koincidenčne verjetnostne analize

Koincidenčna verjetnostna analiza je orodje za izračun verjetnostne porazdelitve spremenljivke, katere merjenih podatkov nimamo na voljo, je pa ta spremenljivka odvisna od dveh drugih slučajnih spremenljivk, katerih vrednosti so poznane oziroma izmerjene. Teorija koincidenčne verjetnostne analize je razložena s pomočjo primera na sliki 6, ki prikazuje poplavljanje pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) kot posledico povečanega pretoka samega pritoka (spremenljivka B) ter povečanega

pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka *A*), ki povzroča zaježitev pritoka pred sotočjem. Zanima nas torej verjetnostna porazdelitev gladine pritoka pred sotočjem pri tem, da ne razpolagamo z merjenimi podatki gladin na tem območju.

4.2.1 Določitev spremenljivk

Iskano spremenljivko označimo kot spremenljivko *C*, spremenljivki, od katerih je le-ta odvisna, pa označimo kot spremenljivki *A* in *B*. Torej je slučajna spremenljivka *C* funkcija slučajnih spremenljivk *A* in *B* (Faber in Gibson, 2003). Spremenljivko, ki ima večji vpliv na spremenljivko *C*, tj. dominantno spremenljivko, označimo kot spremenljivko *A*, spremenljivko z manjšim vplivom (ne-dominantno spremenljivko) pa kot spremenljivko *B*. V primeru na sliki 6 gladina pritoka pred sotočjem predstavlja spremenljivko *C*. Če ima na gladino pritoka pred sotočjem ob visokih vodah (na mestu, kjer nas zanima verjetnostna porazdelitev) večji vpliv pretok glavnega vodotoka na sotočju (povzroča zaježitev pritoka), potem slednji predstavlja dominantno spremenljivko *A*, pretok samega pritoka pa ne-dominantno spremenljivko *B* in obratno. Slika 8 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 samega pritoka. Meja med območji I in II ni natančno določljiva in se spreminja s stopnjo verjetnosti samega dogodka. Določanje verjetnosti gladin bo najmanj natančno v bližini meje med območjema I in II, kjer imata obe spremenljivki (pretok pritoka in pretok glavnega vodotoka) znaten vpliv na gladino pritoka pred sotočjem (USACE, 1993).



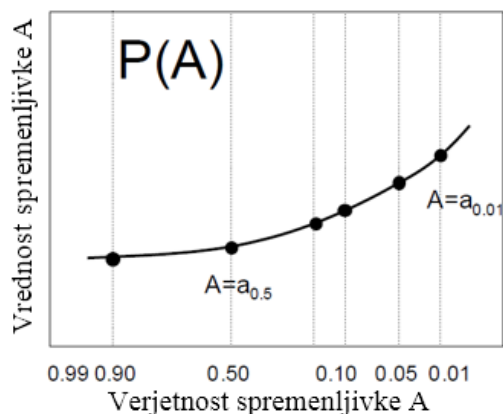
Slika 8: Prikaz profila gladin pritoka in glavnega vodotoka na območju sotočja (Prirejeno po USACE, 1993)

V nadaljevanju razlage koincidenčne verjetnostne teorije na podlagi primera na sliki 6 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.

4.2.2 Verjetnostna analiza dominantne spremenljivke A – pretok glavnega vodotoka na sotočju

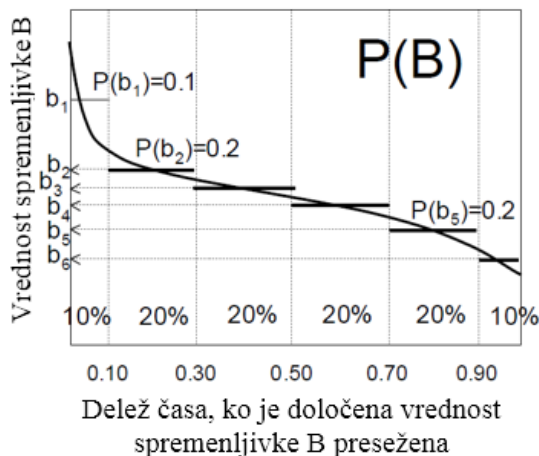
Izračunati moramo verjetnostno krivuljo dominantne spremenljivke; za primer na sliki 6 je to verjetnostna krivulja visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A), prikazana na sliki 9. S tem pridobimo oceno n -letnih pretokov glavnega vodotoka na sotočju. Pri tem je ocenjena vrednost pretoka glavnega vodotoka na sotočju z določeno povratno dobo odvisna od izbire metode verjetnostne analize in s tem izbire vzorca (metoda letnih maksimumov ali metoda vzorčenja nad izbranim pragom – POT metoda), izbire teoretične porazdelitve, s katero na podlagi vzorca sklepamo o lastnostih populacije ter načina ocenjevanja parametrov izbrane porazdelitve (poglavje 3).



Slika 9: Verjetnostna krivulja dominantne spremenljivke A – pretok glavnega vodotoka na sotočju (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

4.2.3 Analiza trajanja ne-dominantne spremenljivke B – pretok pritoka gorvodno

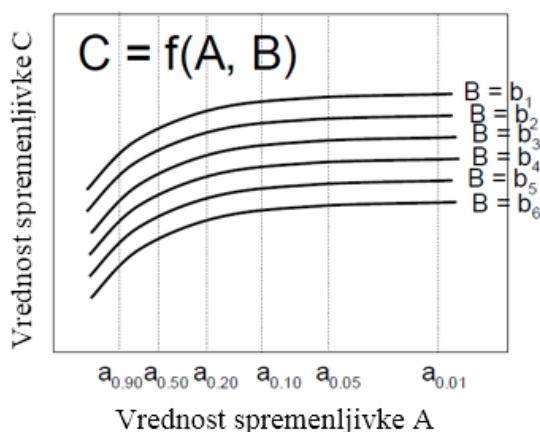
Za ne-dominantno spremenljivko B , v primeru na sliki 6 je to pretok pritoka gorvodno, ustvarimo krivuljo trajanja ter jo diskretiziramo, tj. določimo število diskretnih delov krivulje trajanja (slika 10). Za vsak tak diskretni del krivulje je določena indeksna vrednost pretoka pritoka (indeksna vrednost b_i) tako, da sta površini grafov pod diskretizirano in prvotno krivuljo trajanja čim bolj enakovredni. Vsaka indeksna vrednost pretoka pritoka (indeksna vrednost b_i) zastopa delež časa na krivulji trajanja, s pomočjo katerega so v nadaljevanju izračunane pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) (USACE, 2010).



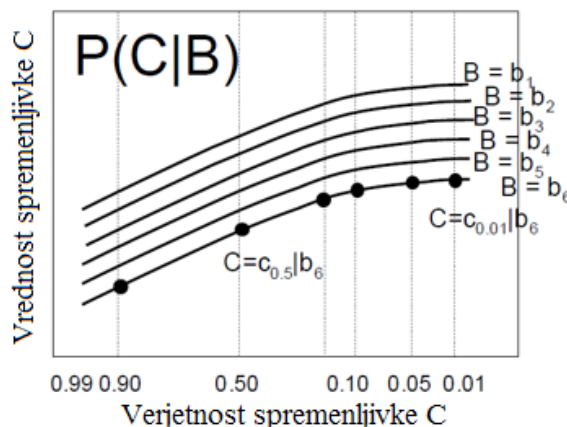
Slika 10: Diskretizacija krivulje trajanja ne-dominantne spremenljivke B – pretok pritoka gorvodno (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

4.2.4 Simulacije v hidravličnem modelu in odzivne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem

Višino gladine pritoka pred sotočjem pridobimo s pomočjo simulacij različnih kombinacij ocenjenih vrednosti n -letnega pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in indeksnih vrednostnih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) v hidravličnem modelu, katerega rezultat so odzivne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), prikazane na sliki 11. Odzivne krivulje gladin pritoka pred sotočjem se nato pretvorijo v pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem pri določenih indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno, pri tem pa se vrednostim gladin pritoka pred sotočjem pripišejo verjetnosti pripadajočih vrednosti pretoka glavnega vodotoka na sotočju oziroma dominantne spremenljivke (slika 12). Tako je na primer vrednost gladine pritoka pred sotočjem (vrednost spremenljivke C) pridobljena pri vrednosti pretoka glavnega vodotoka na sotočju $A=a_{0.01}$ in indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno $B=b_1$ označena kot $C=c_{0.01}/b_1$ (tj. 1 % verjetnost, da se pojavi gladina pritoka pred sotočjem $c_{0.01}$ pri indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno b_1).



Slika 11: Odzivne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)



Slika 12: Pogojne verjetnostne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

4.2.5 Koincidenčna verjetnostna krivulja spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem

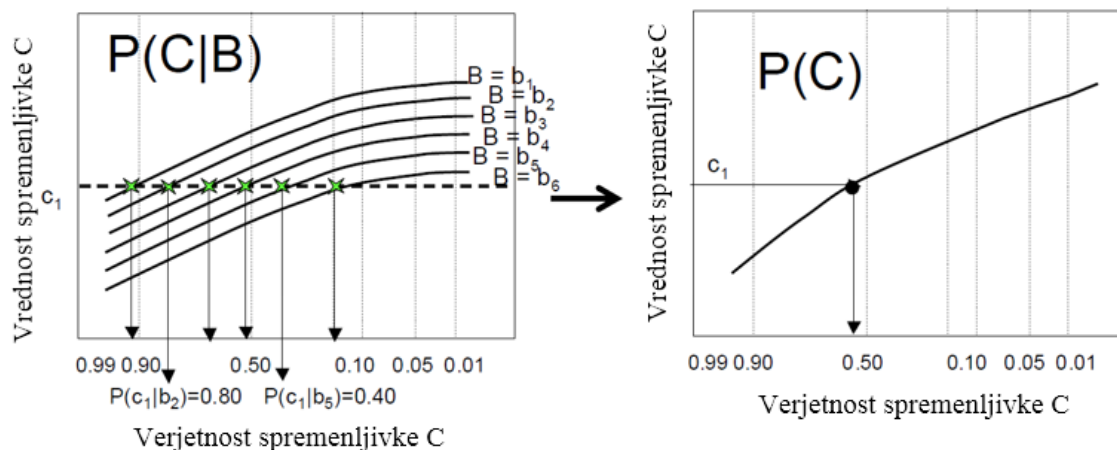
Cilj koincidenčne verjetnostne analize je pridobitev verjetnostne porazdelitve gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), zato morajo biti pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) pri določenih indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) (slika 13) pretvorjene v enovariatno (robno) porazdelitev gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C). Ta je izračunana z uporabo zakona o popolni verjetnosti (angl. *law of total probability*), ki je podrobneje predstavljen v poglavju 2.3 (USACE, 2010):

$$P(C) = \sum_B P(C|B) * P(B) \quad (36)$$

in ga lahko uporabimo, če odseki krivulje trajanja pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B), ki jih predstavljajo indeksne vrednosti pretoka pritoka gorvodno (b_i), sestavljajo popolni sistem dogodkov (vsi dogodki v popolnem sistemu so nezdružljivi, njihova vsota pa je gotov dogodek). Nato so za določeno vrednost gladine pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) z grafa pogojnih verjetnostnih krivulj odčitane njene verjetnosti pri različnih indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) in pomnožene s pripadajočimi deleži časa (verjetnostmi) indeksnih vrednosti pretoka pritoka gorvodno. Te vrednosti so nato seštete, s tem pa dobimo verjetnost določene vrednosti gladine pritoka pred sotočjem (spremenljivka C). Na primer za vrednost gladine pritoka pred sotočjem $C=c_1$ je enačba sledeča (USACE, 2010):

$$P(c_1) = [P(c_1|b_1) * P(b_1)] + [P(c_1|b_2) * P(b_2)] + [P(c_1|b_3) * P(b_3)] + [P(c_1|b_4) * P(b_4)] + [P(c_1|b_5) * P(b_5)] + [P(c_1|b_6) * P(b_6)]. \quad (37)$$

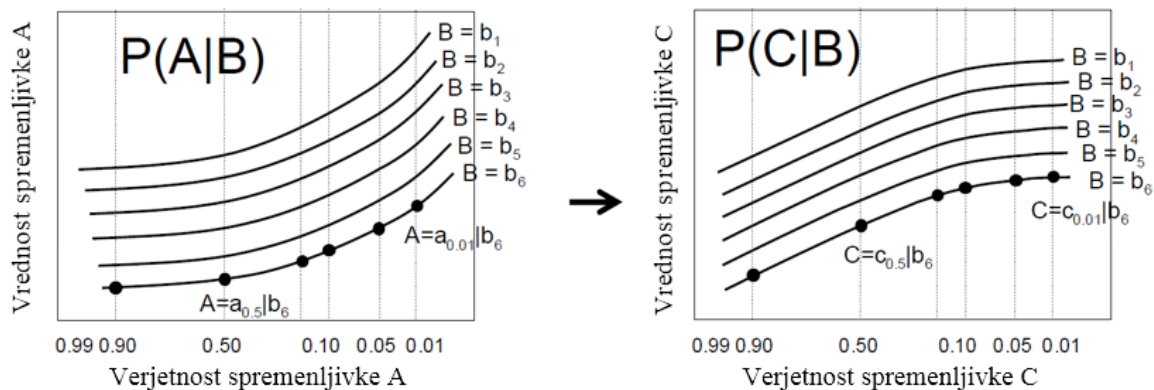
Postopek se ponovi za različne vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), da dobimo enovariatno (robno) verjetnostno krivuljo gladin pritoka pred sotočjem (slika 13, desno).



Slika 13: Izračun koincidenčne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C); predpostavljena je neodvisnost visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju in sočasnih visokovodnih konic pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

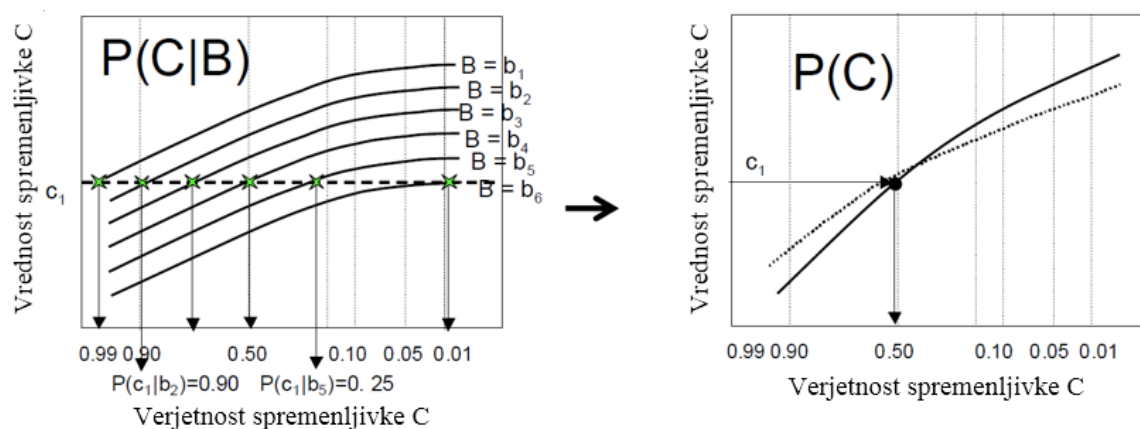
4.2.6 Neodvisnost spremenljivk A in B – visokovodne konice glavnega vodotoka na sotočju ter konice pretoka pritoka gorvodno

V zgornjem opisu postopka koincidenčne verjetnostne analize so visokovodne konice pretoka glavnega vodotoka na sotočju ter visokovodne konice pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) predpostavljene kot neodvisne (korelacija je enaka 0 oziroma znaša koeficient korelacije manj kot 0,3). Ta predpostavka pa ni upravičena v vseh primerih. V primeru na sliki 6 visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju ter visokovodnih konic pritoka gorvodno (spremenljivk A in B) naj ne bi privzeli kot neodvisnih, če pričakujemo visok pretok pritoka gorvodno ob sočasnem visokem pretoku glavnega vodotoka na sotočju. V kolikšni meri so te visokovodne konice medsebojno povezane, ugotovimo s korelacijsko analizo. Pri majhni korelaciji (koeficient korelacije manjši od 0,3) lahko predpostavimo, da so visokovodne konice neodvisne, če pa se vrednost koeficienta korelacije nahaja med 0,3 in 0,7, potem ne moremo predpostaviti, da so visokovodne konice neodvisne (USACE, 2010). V slednjem primeru se pojavi potreba po pogojni verjetnosti pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) pri določeni indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B), tj. $P(A|B)$. Pri tem moramo robno verjetnostno porazdelitev pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) (slika 9) nadomestiti s pogojno porazdelitvijo pretoka glavnega vodotoka na sotočju pri določeni indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) (slika 14). (Faber in Gibson, 2003).



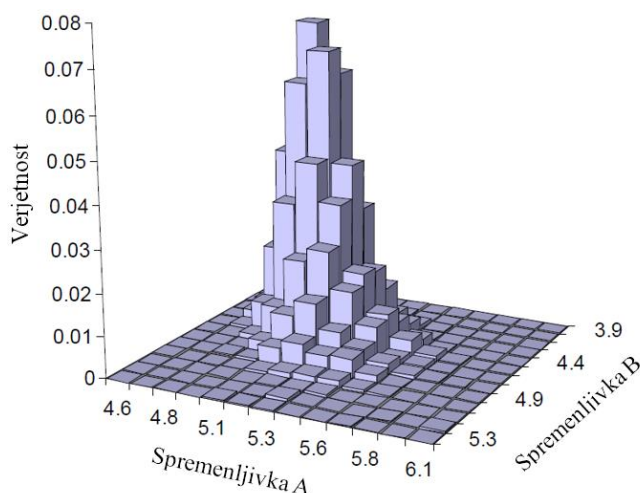
Slika 14: Pogojne verjetnostne krivulje pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) in pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

Če med seboj primerjamo pogojne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem pri indeksnih vrednostih pretoka pritoka gorvodno $P(C|B)$ na sliki 14 in sliki 12, vidimo, da večja korelacija visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju ter konic pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) pomeni večjo varianco gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C). Slika 15 prikazuje izračunano univariatno (robno) porazdelitev gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivke C) iz pogojnih krivulj $P(C|B)$ v primeru, ko med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju in konicami pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) obstaja korelacija (poleg je prikazana še robna verjetnostna porazdelitev gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivke C), ko so visokovodne konice glavnega vodotoka na sotočju in konice pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) predpostavljene kot neodvisne), kjer je prav tako opazna večja varianca spremenljivke C, kar pomeni, da imajo dogodki z manjšo verjetnostjo večjo vrednost. Torej večja kot je korelacija, bolj so dogodki z manjšo verjetnostjo ekstremni. Predpostavljanje neodvisnosti dveh spremenljivk kljub temu da korelacija obstaja, pomeni podcenjujočo končno oceno ekstremnih vrednosti dogodkov (Faber in Gibson, 2003).

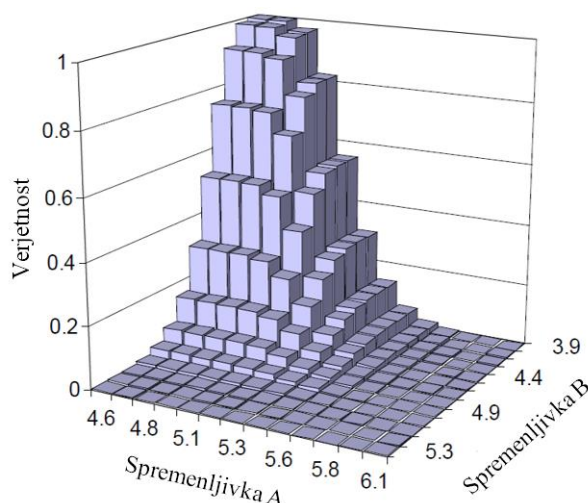


Slika 15: Izračun koincidenčne verjetnostne krivulje gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C); med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju in konicami pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) obstaja korelacija (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

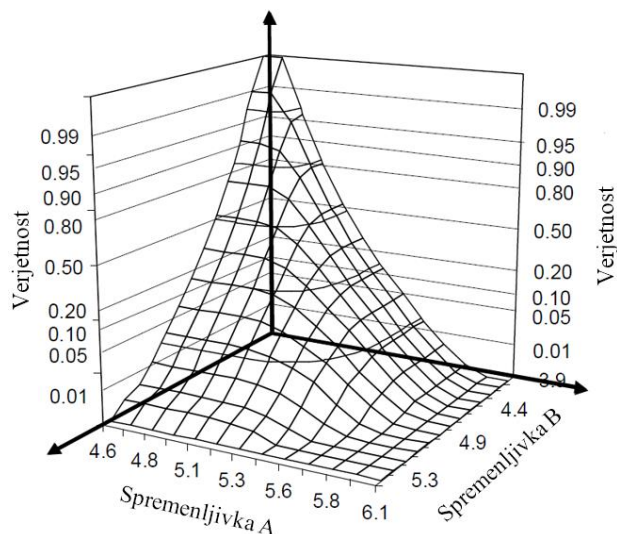
Težava pri upoštevanju korelacije med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju ter konicami pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) nastopi pri razvoju pogojne verjetnostne porazdelitve pretokov glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) pri določeni indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B). Običajno imamo na razpolago nekje od 30- do 100-letne vzorce, ki zadostujejo za razvoj univariatne (robne) porazdelitve. Za razvoj pogojne oziroma multivariatne (skupne) porazdelitve pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) pa bi potrebovali 10- do 100-krat tolikšno količino podatkov. Ena izmed možnosti je, da generiramo zadostno število podatkov. S pomočjo generatorja slučajnih števil lahko na podlagi statistik vzorcev obeh spremenljivk (podatki za isti dan) ter korelacije med obema vzorcema ustvarimo dovolj velik niz podatkov za izračun pogojnih (skupnih) verjetnostnih krivulj pretoka glavnega vodotoka na sotočju ter pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B). Pogojna (skupna) verjetnost (spremenljivki A in B) je ponazorjena s tridimenzionalnimi histogrami verjetnosti na slikah 16, 17 in 18.



Slika 16: Skupna gostota verjetnosti pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)



Slika 17: Skupna porazdelitvena funkcija pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki A in B) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)



Slika 18: Skupne verjetnostne krivulje pretoka glavnega vodotoka na sotočju in pretoka pritoka gorvodno (spremenljivki *A* in *B*) (Prirejeno po Faber in Gibson, 2003)

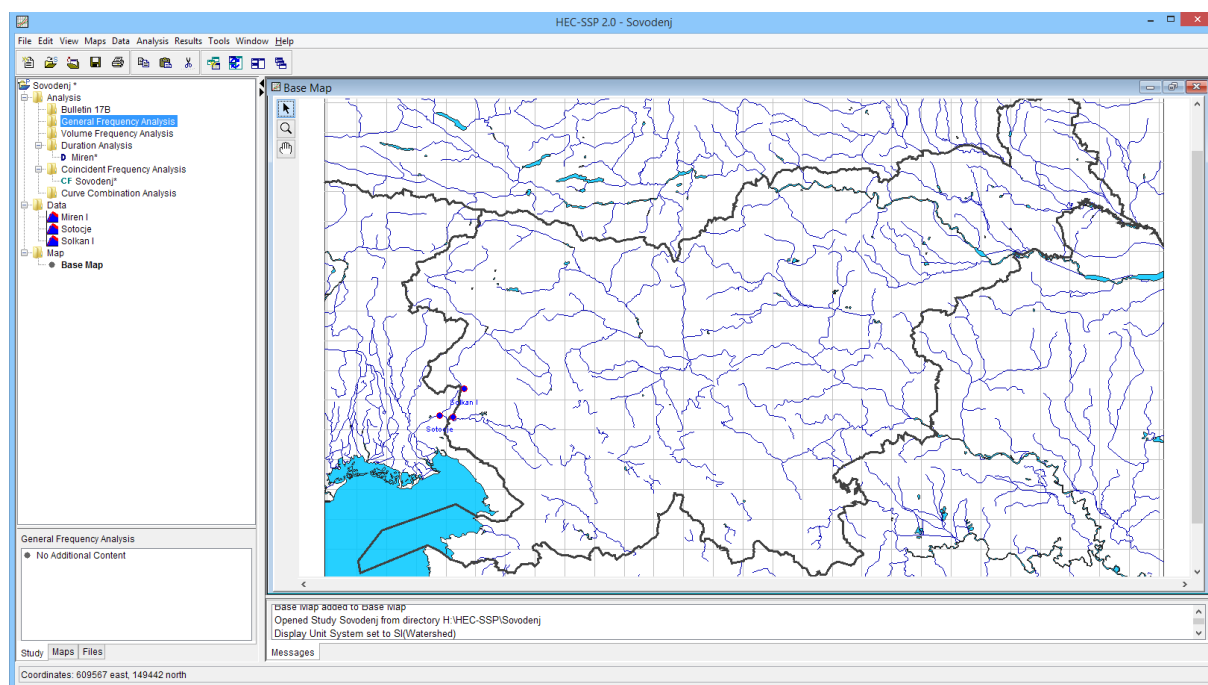
Ker je računanje skupne porazdelitve precej zamudno in zahtevno, se v praksi pogosto uporablja predpostavka o neodvisnosti spremenljivk *A* in *B*, kljub temu da med spremenljivkama obstaja določena mera korelacije. Tudi v številnih študijah izven Hidrološkega inženirskega centra ameriške vojske so bile uporabljene predpostavke o popolni neodvisnosti oziroma popolni korelaciji spremenljivk (MacArthur and Li, 1986; Van Mullem, 1998; Tingsanchali and Kitpisalsaku, 1999, cit. po Faber in Gibson, 2003).

5 PROGRAM HEC-SSP

5.1 Opis in uporaba programa

Program HEC-SSP je razvil Hidrološki inženirski center ameriške vojske (Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers) in je prosto dostopen program (USACE, 2010). Uporablja se za statistične analize različnih hidroloških podatkov (pretokov, gladin, padavin ...). Program je bil razvit z namenom združitve zmogljivosti različnih programov, ki so se pred tem uporabljali za posamezne statistične analize. Prva uradna verzija programa (1.0) je izšla leta 2008, zadnja verzija programa (2.0) pa je bila izdana oktobra 2010 in omogoča:

- verjetnostno analizo visokovodnih konic z metodo *Bulletin 17B* (angl. *flow frequency analysis (Bulletin 17B)*),
- splošno verjetnostno analizo hidroloških podatkov (angl. *general frequency analysis*),
- verjetnostno analizo volumnov (angl. *volume frequency analysis*),
- analizo trajanja (angl. *duration analysis*),
- koincidenčno verjetnostno analizo (angl. *coincident frequency analysis*) in
- kombinacijsko analizo verjetnostnih krivulj (angl. *curve combination analysis*).



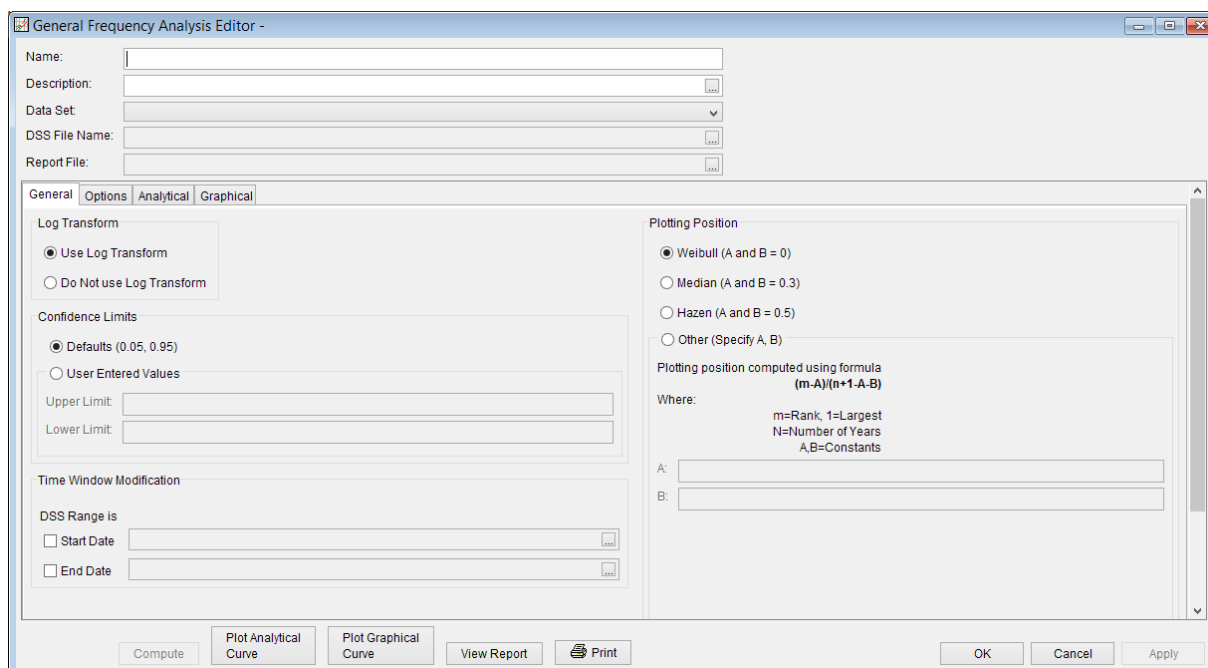
Slika 19: Glavno okno programa HEC-SSP

Glavno okno programa sestavljajo menijska vrstica, orodna vrstica ter štiri podokna. Večji del glavnega okna zavzema namizje, ki omogoča prikazovanje kart, urejevalnike podatkov in okna posameznih analiz. Upravljalca datotek se nahaja levo v glavnem oknu in strukturirano prikazuje analize, podatke

ter karte, ki jih ustvarimo v okviru projekta. Okno levo spodaj prikazuje dodatne informacije o izbranih elementih (študijah, kartah, datotekah). Desno spodaj je opozorilno okno, ki izdaja opozorila oziroma obvestila o poteku analize.

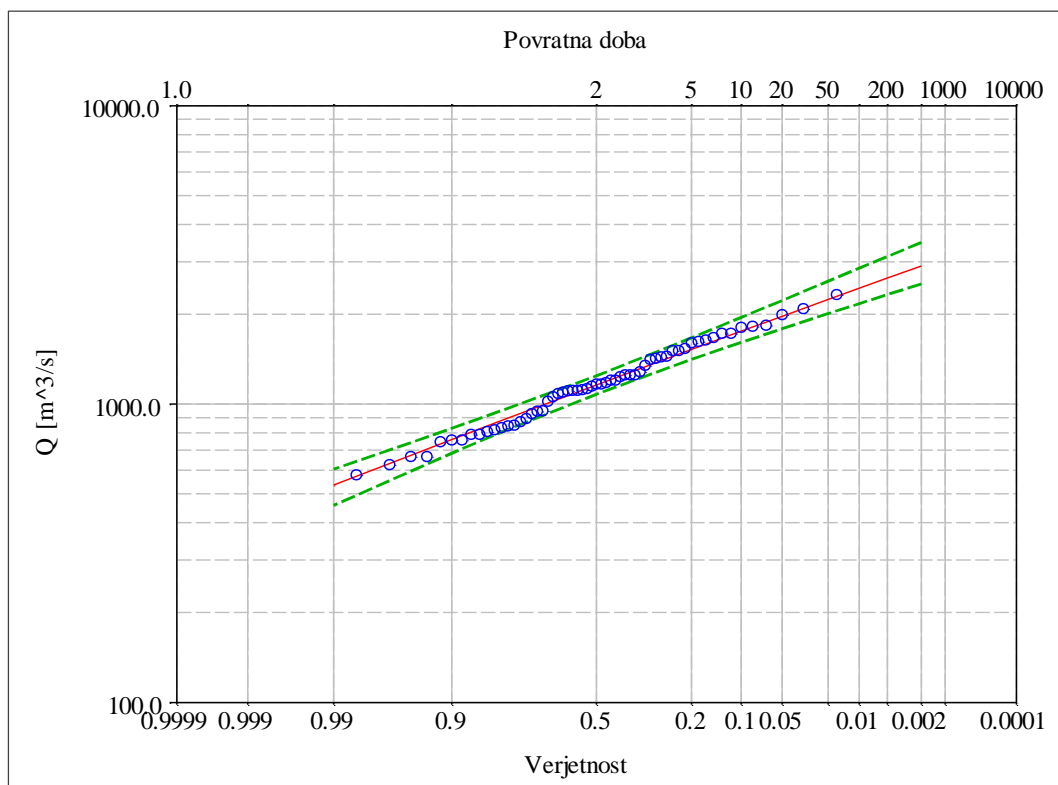
5.2 Verjetnostna analiza v programu HEC-SSP

Program HEC-SSP omogoča verjetnostno analizo le z metodo letnih maksimumov. Porazdelitve, s katerimi lahko ocenimo vrednosti pretoka z določenimi povratnimi dobami, so normalna porazdelitev, logaritemsko normalna porazdelitev, Pearsonova porazdelitev tipa 3 ter logaritemsko Pearsonova porazdelitev tipa 3 (opisane v poglavju 3.1), parametri porazdelitev pa so ocenjeni z metodo momentov (enačbe 13). Poleg izbora ustrezne porazdelitve lahko v oknu verjetnostne analize (slika 20) določimo tudi meje zaupanja, enačbo za grafični prikaz verjetnosti posameznih merjenih podatkov, spreminjamo časovni okvir analize, določimo prag nizkih osamelcev, vključimo zgodovinske podatke v analizo in izberemo verjetnostne ordinate (USACE, 2010).



Slika 20: Okno verjetnostne analize v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

Rezultat verjetnostne analize je verjetnostna krivulja, ki prikazuje povezavo med vrednostjo pretoka in njegovo povratno dobo (slika 21).



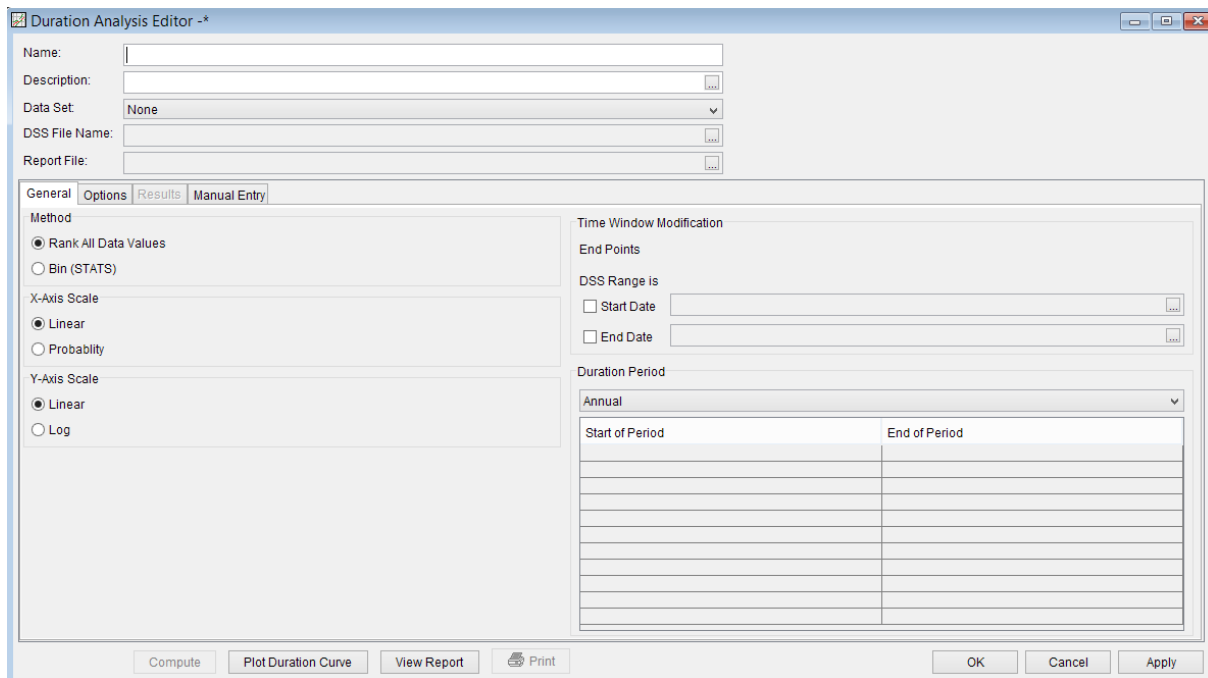
Slika 21: Primer verjetnostne krivulje visokovodnih konic v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

5.3 Analiza trajanja pretokov v programu HEC-SSP

Analiza trajanja pretokov nam da krivuljo trajanja pretokov, ki prikazuje odstotek časa, v katerem je pretok v strugi enak ali večji od določene vrednosti ne glede na časovno zaporedje opazovanj (Mikoš et al., 2002). Glede na obliko krivulje trajanja pretokov v območju visokih in nizkih pretokov lahko sklepamo o lastnostih vodotoka oziroma prispevnega območja. Oblika krivulje v območju visokih pretokov ponazarja, kakšen tip poplavnega režima najverjetneje ima določen vodotok, medtem ko oblika krivulje v območju nizkih pretokov ponazarja sposobnost vodotoka, da zagotavlja določene nizke pretoke v sušnem obdobju. Na primer, zelo strma krivulja v območju visokih pretokov je značilna za padavinski poplavni režim, ki je posledica intenzivnih padavin v relativno kratkem času na majhnih prispevnih območjih. Nasprotno pa se poplave zaradi taljenja snega, ki običajno trajajo več dni, ali z zadrževalniki regulirane poplave odražajo v precej položnejšem delu krivulje v območju visokih pretokov. V območju krivulje z nizkimi pretoki relativen odstotek časa brez pretoka predstavlja presihajoč vodotok, zelo položna krivulja pa nakazuje, da je v strugi ves čas prisoten določen pretok kot posledica regulacije vodotoka ali pa velike kapacitete podtalnice, ki zagotavlja bazni odtok tudi v daljših sušnih obdobjih (Oregon State University, 2005).

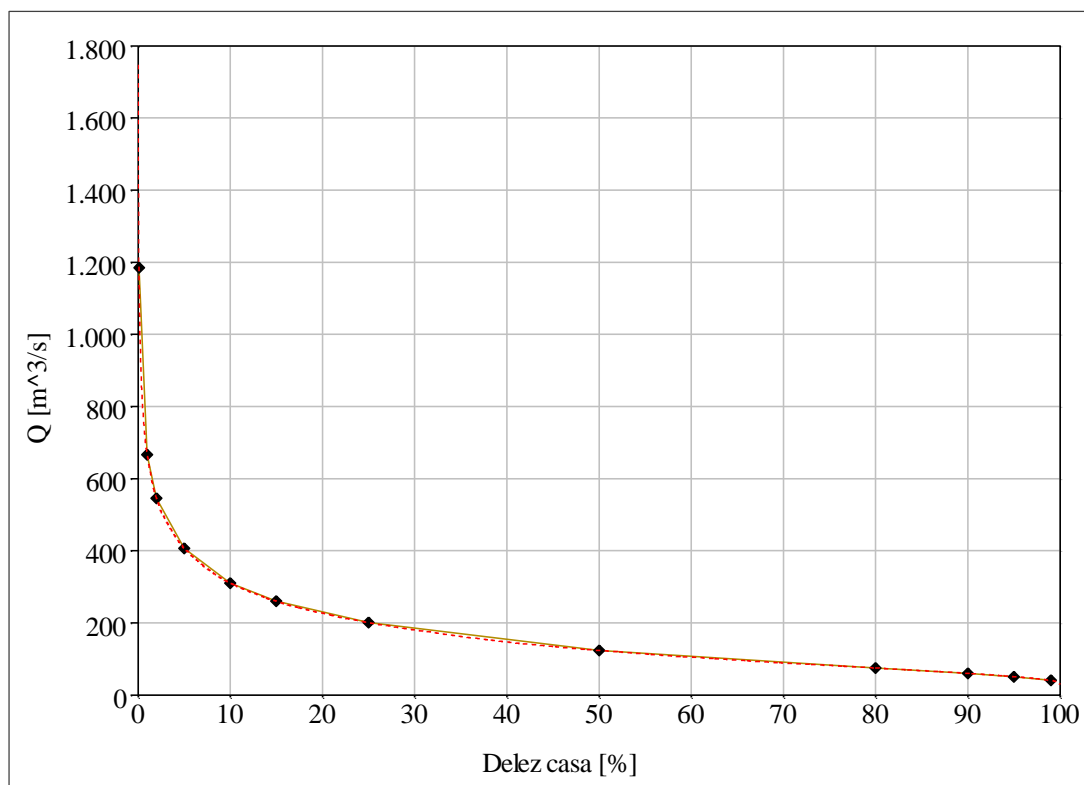
Vhodni podatki za analizo trajanja pretokov so običajno dnevni povprečni pretoki. Podatki morajo biti podani v enakomernem časovnem intervalu. Program HEC-SSP nam omogoča različne nastavitve za izračun analize trajanja pretokov, kot so izbor metode analize, nastavitve merila X in Y osi, določitev

časovnega okvira analize ali obdobja znotraj leta, za katera program izračuna krivulje trajanja, izbor enačbe za prikaz verjetnosti posameznih podatkov, nastavitve verjetnostnih ordinat ter določitev števila razredov (pri metodi »Bin (STATS)«).



Slika 22: Okno analize trajanja v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

Primer grafa krivulje trajanja pretokov v programu HEC-SSP je prikazan na sliki 23.



Slika 23: Primer krivulje trajanja pretokov v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

5.4 Koincidenčna verjetnostna analiza v programu HEC-SSP

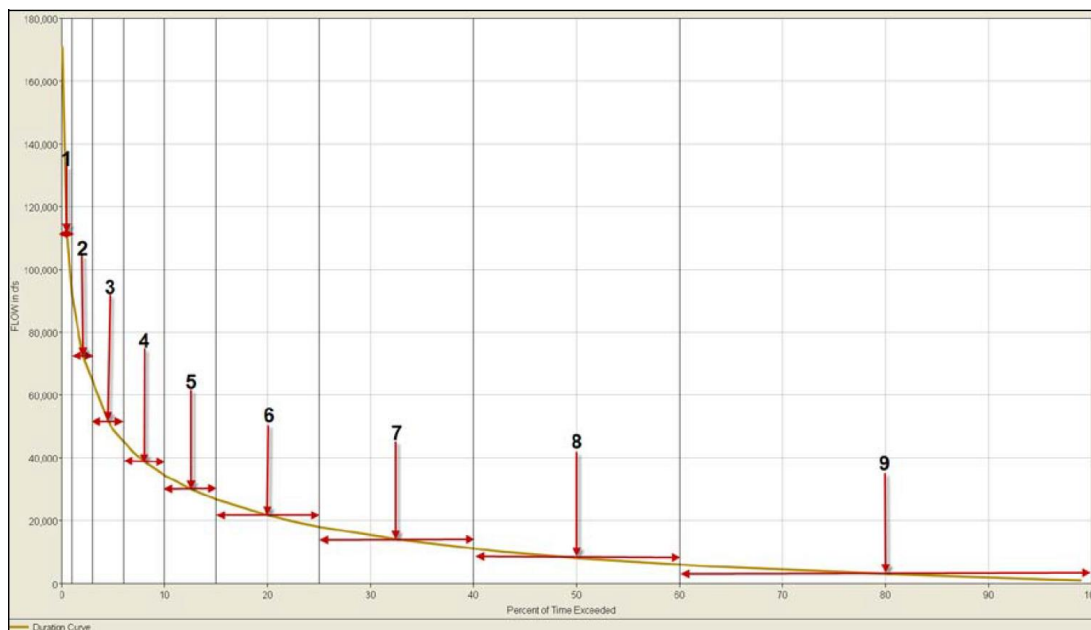
Koincidenčna verjetnostna analiza je orodje za ugotavljanje verjetnosti določene hidrološke spremenljivke, ki je funkcija dveh drugih slučajnih spremenljivk. Pri koincidenčni verjetnostni analizi v programu HEC-SSP potrebujemo verjetnostno krivuljo dominantne spremenljivke A ter krivuljo trajanja ne-dominantne spremenljivke B . Obe krivulji lahko ustvarimo v programu samem ter ju nato uvozimo v koincidenčno verjetnostno analizo, lahko pa ju izračunamo izven programa ter ju nato v program vnesemo ročno. Analogno z razlago v poglavju 4 (situacija na sliki 6) v nadaljevanju dominantna spremenljivka A predstavlja pretok glavnega vodotoka na sotočju, ne-dominantna spremenljivka B predstavlja pretok pritoka gorvodno ter spremenljivka C gladino pritoka pred sotočjem.

5.4.1 Spremenljivka A – pretok glavnega vodotoka na sotočju

V programu najprej določimo, ali lahko predpostavimo neodvisnost visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in visokovodnih konic pritoka gorvodno (spremenljivka B). To ugotovimo z analizo korelacije. Če je koeficient korelacije dovolj majhen, potem lahko predpostavimo neodvisnost spremenljivk, sicer ne. V primeru predpostavke o neodvisnosti spremenljivk za nadaljnje izračune uporabimo verjetnostno krivuljo pretokov glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivke A). To lahko izračunamo v programu HEC-SSP v okviru splošne verjetnostne analize z metodo maksimumov ter jo uvozimo v koincidenčno verjetnostno analizo, če pa razpolagamo z vzorcem pridobljenim z metodo POT (vzorec vrednosti nad izbranim pragom), moramo verjetnostno krivuljo izračunati izven programa, saj ta podpira le verjetnostno analizo z metodo letnih maksimumov. V primeru, ko med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in visokovodnimi konicami pritoka gorvodno (spremenljivka B) obstaja korelacija, moramo izračunati pogojne verjetnostne krivulje pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) pri določenih vrednostih pretoka pritoka gorvodno (indeksne vrednosti b_i spremenljivke B), kot je opisano v poglavju 4.2.6.

5.4.2 Spremenljivka B – pretok pritoka gorvodno

Krivuljo trajanja pretokov pritoka gorvodno (spremenljivka B), ki jo uvozimo v analizo ali pa jo vnesemo ročno, je potrebno diskretizirati (slika 24). To storimo tako, da najprej v okviru splošnih nastavitvev izberemo število diskretnih delov. Ti so lahko določeni glede na privzete verjetnostne razpone v programu (slika 25) ali pa jih definiramo poljubno (določimo indeksne vrednosti b_i ali pa verjetnostne razpone).



Slika 24: Diskretizacija krivulje trajanja v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

		Number of Index Points						
Index		3	4	5	6	7	8	9
1		20	15	45	35	35	35	40
2		60	35	40	30	25	20	20
3		10	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

Slika 25: Privzeti verjetnostni razponi v programu HEC-SSP za izračun indeksnih vrednosti b_i spremenljivke B (USACE, 2010)

5.4.3 Odzivne krivulje spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem

Za različne kombinacije ocen n -letnega pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in indeksnih vrednosti pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B) v hidravličnem modelu pridobimo vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), da dobimo tako imenovane odzivne krivulje (angl. *response curves*) gladin pritoka pred sotočjem. Simulirane vrednosti gladin pritoka pred sotočjem so vhodni podatki za koincidenčno verjetnostno analizo, ki jih vnesemo v program HEC-SSP v preglednico odzivnih krivulj (sliki 26 in 27).

Pri vnašanju vrednosti simuliranih gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) lahko izberemo, ali želimo vsaki indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno (b_i) pripisati enake vrednosti n -letnega pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) ali različne vrednosti n -letnega pretoka glavnega vodotoka na sotočju (pogojne verjetnostne krivulje). V prvem primeru imamo le en stolpec z

vrednostmi spremenljivke A (slika 26), v drugem primeru pa imamo za vsako indeksno vrednost b_i spremenljivke B svoj stolpec z različnimi vrednostmi spremenljivke A (slika 27). Različne vrednosti spremenljivke A za vsako indeksno vrednost b_i spremenljivke B običajno uporabimo, ko med spremenljivkama A in B obstaja korelacija in smo izračunali pogojne verjetnostne krivulje spremenljivke A pri danih vrednostih spremenljivke B .

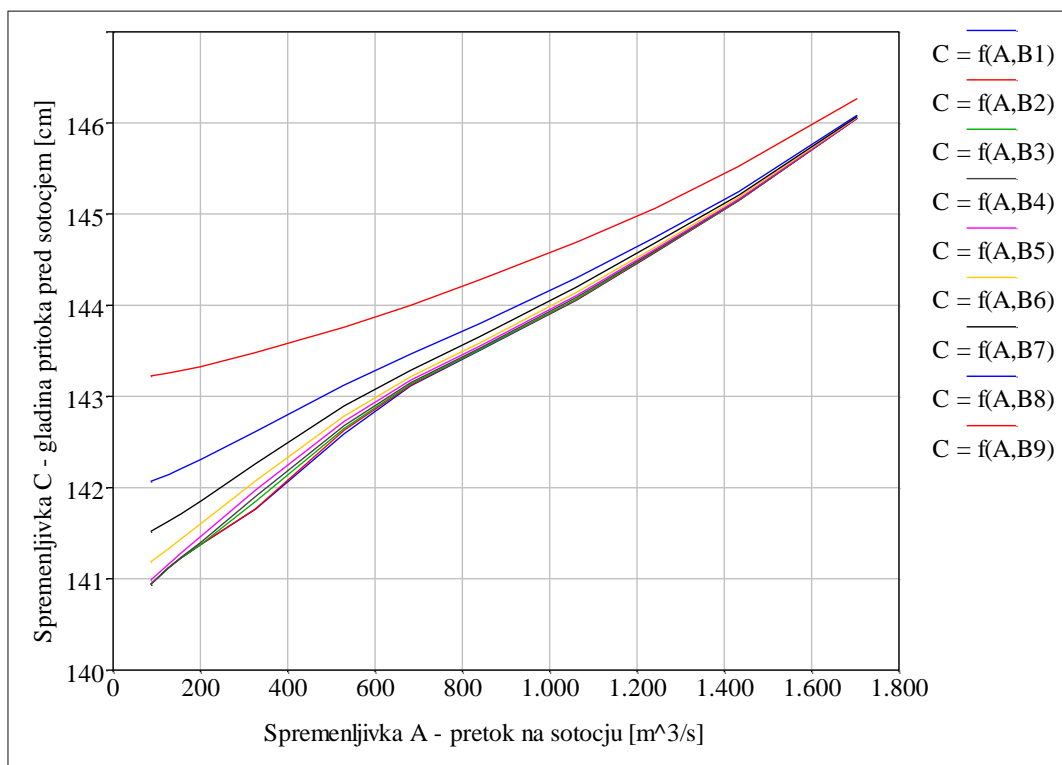
General Variable A Variable B Response Curves Results										
Variable A										
<input checked="" type="radio"/> Same Variable A for Each Index <input type="radio"/> Different Variable A for Each Index										
Import Variable A										
Variable A	B1=85.100	B2=229.300	B3=426.000	B4=634.200	B5=867.000	B6=1141.600	B7=1502.100	B8=2061.300	B9=3847.000	
	C = f(A,B1)	C = f(A,B2)	C = f(A,B3)	C = f(A,B4)	C = f(A,B5)	C = f(A,B6)	C = f(A,B7)	C = f(A,B8)	C = f(A,B9)	
1705.2	146.05	146.05	146.05	146.05	146.05	146.05	146.06	146.07	146.08	146.26
1433.5	145.15	145.15	145.15	145.15	145.15	145.16	145.18	145.21	145.24	145.52
1242.3	144.58	144.58	144.58	144.59	144.6	144.61	144.64	144.68	144.74	145.06
1062.3	144.05	144.06	144.07	144.09	144.11	144.14	144.2	144.2	144.3	144.69
840.1	143.5	143.51	143.51	143.53	143.55	143.59	143.65	143.8	143.8	144.28
682.0	143.12	143.12	143.13	143.15	143.18	143.22	143.29	143.46	143.46	144.0
529.8	142.59	142.63	142.65	142.68	142.73	142.78	142.9	143.12	143.12	143.76
326.8	141.76	141.77	141.85	141.9	141.97	142.07	142.26	142.61	142.61	143.48
201.6	141.38	141.38	141.38	141.4	141.46	141.6	141.85	142.31	142.31	143.33
156.6	141.23	141.23	141.23	141.24	141.28	141.44	141.71	142.2	142.2	143.28
127.1	141.12	141.12	141.12	141.12	141.16	141.33	141.63	142.14	142.14	143.26
86.0	140.94	140.94	140.94	140.94	140.99	141.19	141.52	142.07	142.07	143.22

Slika 26: Vnos vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), pridobljenih s simulacijami v hidravličnem modelu, ko je predpostavljena neodvisnost visokovodnih konic glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in konic pritoka gorvodno (spremenljivka B) (USACE, 2010)

General Variable A Variable B Response Curves Results																		
Variable A																		
<input type="radio"/> Same Variable A for Each Index <input checked="" type="radio"/> Different Variable A for Each Index																		
Import Variable A																		
Variabl...	B1=85...	Variabl...	B2=229...	Variabl...	B3=426...	Variabl...	B4=634...	Variabl...	B5=867...	Variabl...	B6=114...	Variabl...	B7=150...	Variabl...	B8=206...	Variabl...	B9=384...	
	C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...		C = f(A...	
1202.45	144.46	1413.97	145.09	1705.27	146.05	1790.73	146.37	2058.63	147.83	2090.15	147.97	2452.3	149.4	2416.19	149.25	2534.27	149.59	
995.82	143.95	1211.17	144.49	1450.79	145.2	1528.52	145.44	1747.01	146.22	1772.49	146.31	2061.07	147.83	2053.03	147.79	2161.51	148.24	
897.11	143.63	1065.9	144.07	1269.64	144.67	1341.31	144.89	1525.71	145.44	1547.06	145.51	1785.72	146.36	1794.84	146.45	1895.59	146.97	
776.22	143.36	927.04	143.71	1097.48	144.17	1162.86	144.37	1315.8	144.82	1333.38	144.9	1526.73	145.47	1549.7	145.58	1642.29	146.08	
624.75	142.94	751.9	143.3	881.98	143.61	938.7	143.76	1053.87	144.08	1066.89	144.15	1206.95	144.59	1243.31	144.75	1324.35	145.26	
515.17	142.54	624.24	142.95	726.3	143.25	776.08	143.38	865.19	143.61	875.16	143.66	979.45	143.99	1022.29	144.2	1093.91	144.76	
407.88	142.1	498.32	142.5	574.1	142.8	616.37	142.97	681.39	143.17	688.5	143.23	760.62	143.47	806.58	143.73	867.85	144.33	
260.91	141.55	323.86	141.76	366.08	142.02	396.66	142.18	431.46	142.38	435.12	142.46	468.87	142.72	512.56	143.08	557.33	143.8	
166.9	141.26	210.45	141.4	233.44	141.47	255.28	141.6	273.2	141.76	274.98	141.88	289.03	142.13	325.7	142.61	357.9	143.52	
132.13	141.14	168.0	141.27	184.51	141.32	202.75	141.4	215.15	141.52	216.34	141.66	224.47	141.92	256.98	142.44	283.93	143.42	
108.96	141.04	139.49	141.17	151.95	141.21	167.64	141.27	176.64	141.37	177.46	141.51	182.16	141.79	211.3	142.33	234.55	143.36	
75.89	140.88	98.4	141.0	105.57	141.03	117.32	141.08	122.02	141.14	122.39	141.31	123.12	141.61	146.37	142.19	163.87	143.29	

Slika 27: Vnos vrednosti gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C), pridobljenih s simulacijami v hidravličnem modelu, ko med visokovodnimi konicami glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) in konicami pritoka gorvodno (spremenljivka B) obstaja korelacija (USACE, 2010)

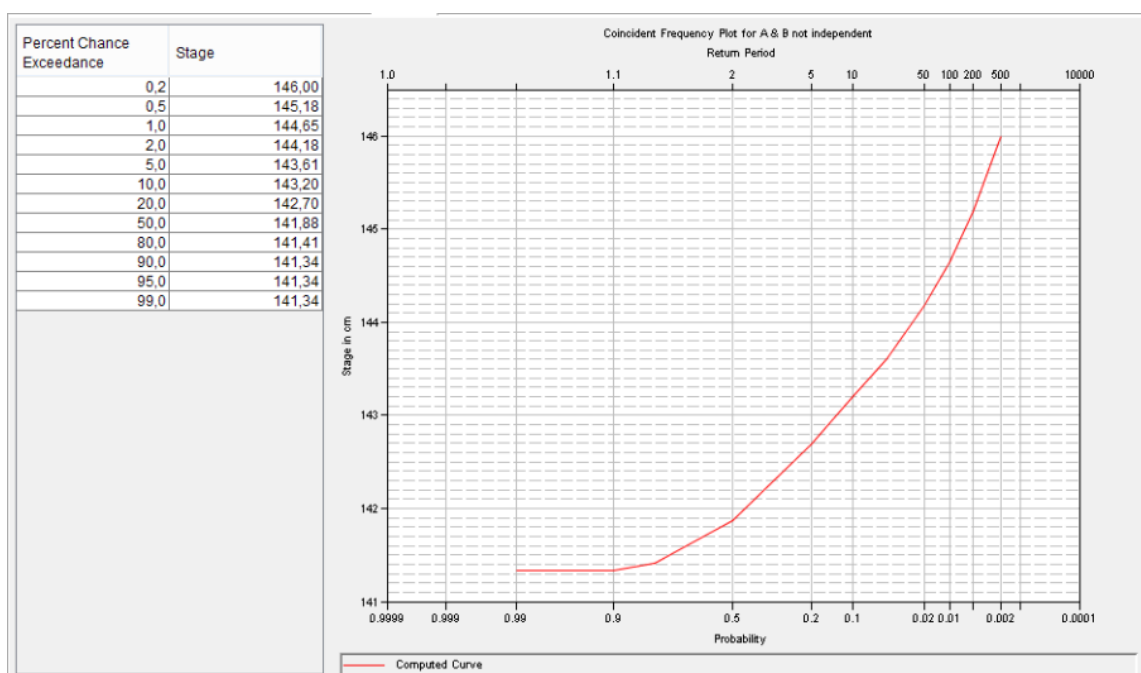
Na sliki 28 je predstavljen primer grafa odzivnih krivulj. Vsaka krivulja na grafu predstavlja »odziv« glatine pritoka pred sotočjem (spremenljivke C) na različne vrednosti n -letnega pretoka glavnega vodotoka na sotočju (spremenljivka A) pri določeni indeksni vrednosti pretoka pritoka gorvodno (spremenljivka B).



Slika 28: Primer grafa odzivnih krivulj spremenljivke C v programu HEC-SSP – gladina pritoka pred sotočjem (USACE, 2010)

5.4.4 Koincidenčna verjetnostna krivulja spremenljivke C – gladina pritoka pred sotočjem

Program nato s pomočjo zakona o popolni verjetnosti dogodka (opisan v poglavju 2.3 in 4.2.5) izračuna koincidenčno verjetnostno krivuljo gladin pritoka pred sotočjem (spremenljivka C) (slika 29).



Slika 29: Primer koincidenčne verjetnostne krivulje v programu HEC-SSP (USACE, 2010)

6 KOINCIDENČNA VERJETNOSTNA ANALIZA VISOKOVODNIH VALOV NA SOTOČJU SOČE IN VIPAVE

6.1 Opis obravnavanih vodotokov

6.1.1 Reka Soča

Reka Soča izvira iz kraškega izvira v dolini Trente na nadmorski višini okoli 1050 m. n. m. Predvsem v svojem zgornjem delu je izrazito hudourniška reka, zato pretok Soče po navadi hitro naraste in relativno tudi hitro upade. Njeni večji levi pritoki so Tolminka, Idrijca ter Vipava, večji desni pritoki pa Koritnica, Učja in reka Ter (ital. *Torre*). Soča od izvira najprej teče 96 km po slovenskem ozemlju, nato pri Solkanu prečka državno mejo in nadaljnjih 42 km teče po italijanskem ozemlju, kjer se na koncu po skupno 138 km izliva v Tržaški zaliv blizu Tržiča v Italiji (Soča, 2014). Njeno porečje obsega 3400 km², od tega 2250 km² v Sloveniji (Posoški razvojni center, 2014). Soča ima pri Solkanu alpski dežno-snežni režim, ki je značilen za reke, katerih večji del porečja leži v alpskem sredogorju. Jesenski in spomladanski višek sta dokaj izenačena, prav tako sta izenačena tudi oba nižka, zimski in poletni. Glavni višek ima Soča po navadi v novembru, drugega pa v aprilu. Nadpovprečna količina vode je tako običajno v Soči prisotna od aprila do junija ter od oktobra do decembra, podpovprečna pa od julija do septembra ter od januarja do marca (Bat et al., 2008). Povprečni letni pretok pri Solkanu znaša okoli 90 m³/s.

6.1.2 Reka Vipava

Reka Vipava izvira v kraju Vipava na nadmorski višini okoli 110 m. n. m., ob obilnem deževju pa se napaja še iz številnih kraških izvirov. Je kraška reka, večja desna pritoka v njenem zgornjem delu sta Močilnik in Hubelj, v spodnjem delu Lijak, kot levi pritok pa se v Vipavo izliva reka Branica (Komac et al., 2008). Prispevno območje reke Vipave znaša nekaj več kot 600 km² in predstavlja del porečja reke Soče. Po 44 km na slovenskem ozemlju in 5 km na italijanskem ozemlju se reka Vipava izliva v reko Sočo nedaleč od kraja Sovodnje na nadmorski višini približno 33 m. n. m. 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, podpovprečna količina vode pa je prisotna med majem in septembrom (Bat et al., 2008).

6.1.3 Sotočje

Soča pri Solkanu vstopi na Goriško polje, vršaj, ki je v zadnji ledeni dobi nastal z močnim nasipavanjem proda (Soča, 2014). S tem je Soča svoj levi pritok Vipavo odrinila pod severno vznožje Krasa, ta pa je v svojem spodnjem toku počasna in močno meandrirala. Vipava se kot levi pritok izliva v Sočo nedaleč od kraja Sovodnje na italijanski strani. Ob visokih vodah tako na reki Soči kot na reki Vipavi prihaja do zajezitve Vipave zaradi povišane gladine Soče na sotočju, kar povzroča poplavljanje Vipave.



Slika 30: Sotočje Soče in Vipave (foto: Vihar, 2014)

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

V neposredni bližini sotočja Soče in Vipave nas zanima, kakšna je verjetnostna porazdelitev gladin Vipave v kraju Sovodnje (slika 32), kljub temu da nimamo na voljo merjenih podatkov o preteklih visokovodnih dogodkih na samem mestu. Verjetnost gladin Vipave v Sovodnjah smo zato izračunali s pomočjo podatkov o pretoku Vipave v Mirnu ter podatkov o pretoku Soče na sotočju. Gladina Vipave v Sovodnjah je namreč odvisna od obeh omenjenih spremenljivk, saj Soča ob visokih pretokih povzroča zajezitev Vipave v njenem spodnjem delu. V Sovodnjah, kjer smo računali verjetnost gladin Vipave, ima ob visokih vodah večji vpliv na gladino le-te povečan pretok Soče na sotočju kot pa pretok Vipave, zato za potrebe koincidenčne verjetnostne analize (skladno z razlago o dominantni spremenljivki v poglavju 4.2.1) pretok Soče na sotočju predstavlja dominantno spremenljivko *A*, pretok Vipave v Mirnu pa ne-dominantno spremenljivko *B*. Gladina Vipave v Sovodnjah v tem primeru predstavlja

spremenljivko C , ki je odvisna od pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B) in pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A). Situacija sotočja Soče in Vipave je prikazana na sliki 31.



Slika 31: Prikaz situacije na sotočju Soče in Vipave



Slika 32: Vipava v Sovodnjah (foto: Vihar, 2014)

6.3 Podatki

Za koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov na sotočju Soče in Vipave 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, ARSO-vi najbližji postaji sta namreč na Soči pri Solkanu ter na Vipavi v Mirnu, smo podatke o pretoku Soče na sotočju izračunali, in sicer s pomočjo urnih podatkov o pretokih Soče in Vipave na vodomernih postajah Solkan I ter Miren I, posredovanih z

Agencije Republike Slovenije za okolje za obdobje od leta 2005 do vključno leta 2012 (ARSO, 2014b) ter 5-minutnih podatkov Katedre za splošno hidrotehniko (KSH, 2014a), izmerjenih s tlačnimi sondami, nameščenimi na Soči pri Solkanu ter na Vipavi pri Sovodnjah in pri Mirnu za obdobje od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012. Z analizo 5-minutnih podatkov smo ugotovili, da tako visokovodni val Soče, izmerjen na vodomerni postaji Solkan, kot visokovodni val Vipave, izmerjen na vodomerni postaji Miren, potujeta približno enako dolgo do sotočja, in sicer okoli 50 do 60 minut. Na podlagi te ugotovitve smo pretoke Soče na sotočju izračunali s seštevanjem urnih vrednosti pretokov obeh ARSO-vih merskih postaj.

6.3.1 Vodomerni postaji Solkan I in Miren I

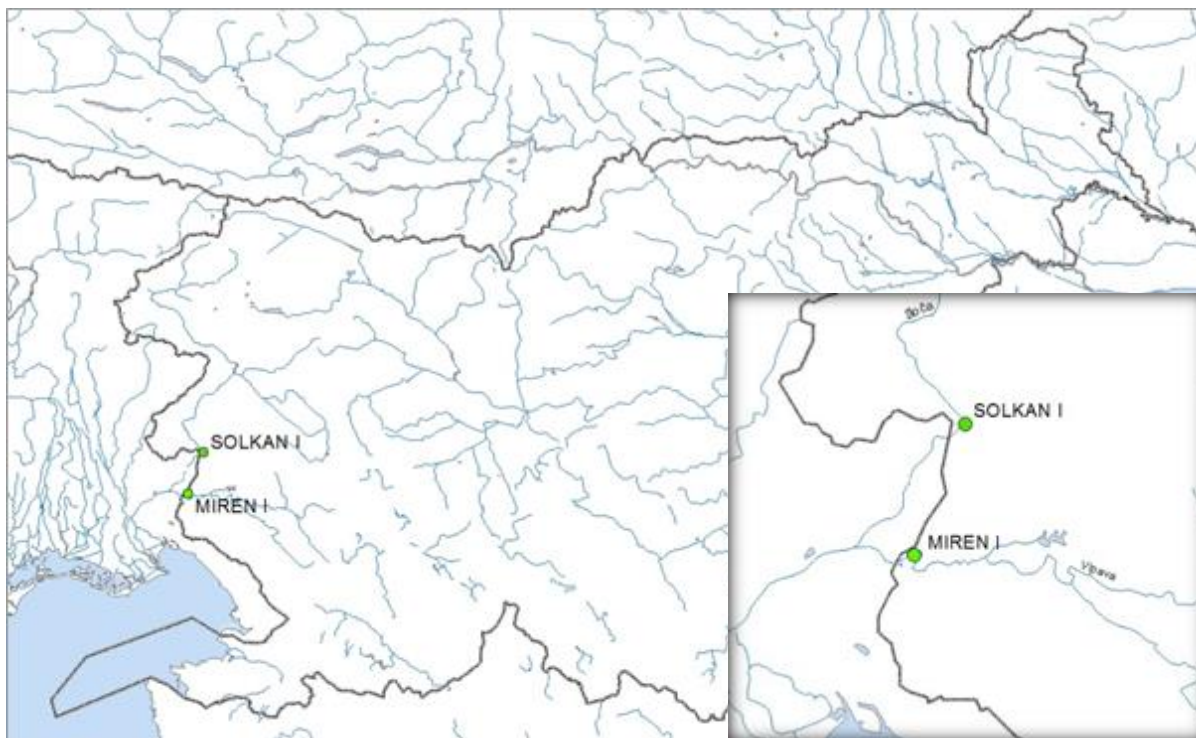
Tik pod hidroelektrarno na Soči v Solkanu potekajo meritve hidroloških parametrov že od leta 1945, najprej še na vodomerni postaji Solkan, ki pa je bila leta 1980 prestavljena nekoliko nižje in preimenovana v Solkan I. Vodomerna postaja Solkan I se nahaja na koti 51,8 m. n. m. Na Vipavi v kraju Miren se meritve izvajajo od leta 1950, tudi tu pa je bila leta 2003 vodomerna postaja prestavljena malce nižje ter preimenovana iz Miren v Miren I, katere kota danes znaša 35,9 m. n. m. Lokacija obeh vodomernih postaj je prikazana na slikah 33, 34 in 35.



Slika 33: Vodomerna postaja Miren I (Vipava) (foto: Vihar, 2014)



Slika 34: Vodomerna postaja Solkan I (Soča) (foto: Vihar, 2014)



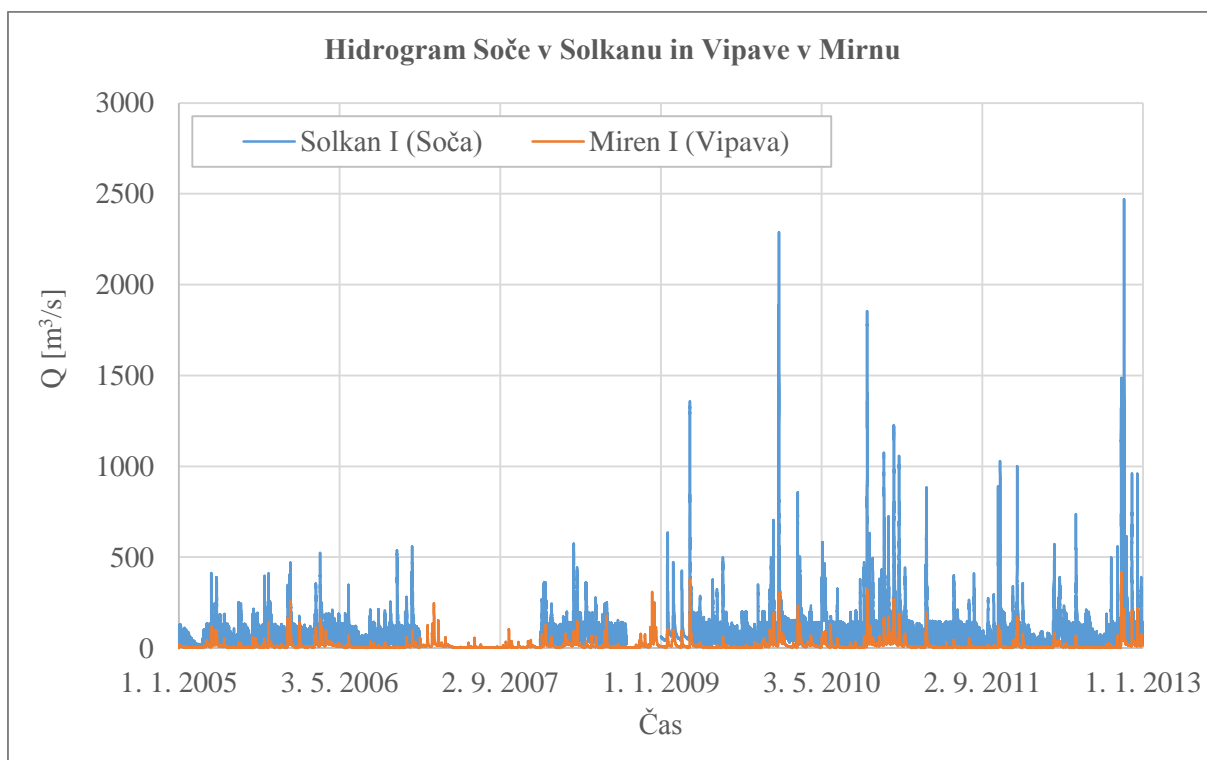
Slika 35: Lokacija vodomernih postaj Solkan I (Soča) in Miren I (Vipava)

V preglednici 2 so podane lastnosti vodomernih postaj Solkan I in Miren I.

Preglednica 2: Lastnosti vodomernih postaj Solkan I in Miren I

Postaja	Solkan I	Miren I
Šifra postaje	8180	8601
Prispevna površina (km ²)	1572,80	589,97
Gauss-Krügerjeva X koordinata	396180	392345
Gauss-Krügerjeva Y koordinata	93920	84260
Kota "0" (m. n. m.)	51,844	35,933
Obdobje opazovanja	1980–danes	2003–danes

Z Agencije RS za okolje smo pridobili podatke o urnih pretokih Soče in Vipave na vodomernih postajah Solkan I ter Miren I za obdobje od leta 2005 do leta 2012 (na vodomerni postaji Solkan I na Soči manjkajo podatki za celo leto 2007 ter za zadnje štiri mesece v letu 2008). Te vrednosti smo nato na podlagi analize časovne odvisnosti konic (poglavje 6.4.1) sešteli, da smo pridobili podatke o pretoku Soče na sotočju. Na sliki 36 je prikazan hidrogram Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu za obdobje od leta 2005 do 2012. Na hidrogramu Soče v Solkanu so razvidni tudi obratovalni valovi HE Solkan, ki znašajo do 180 m³/s, kolikor je požiralnost turbin HE Solkan (SENG, 2014).

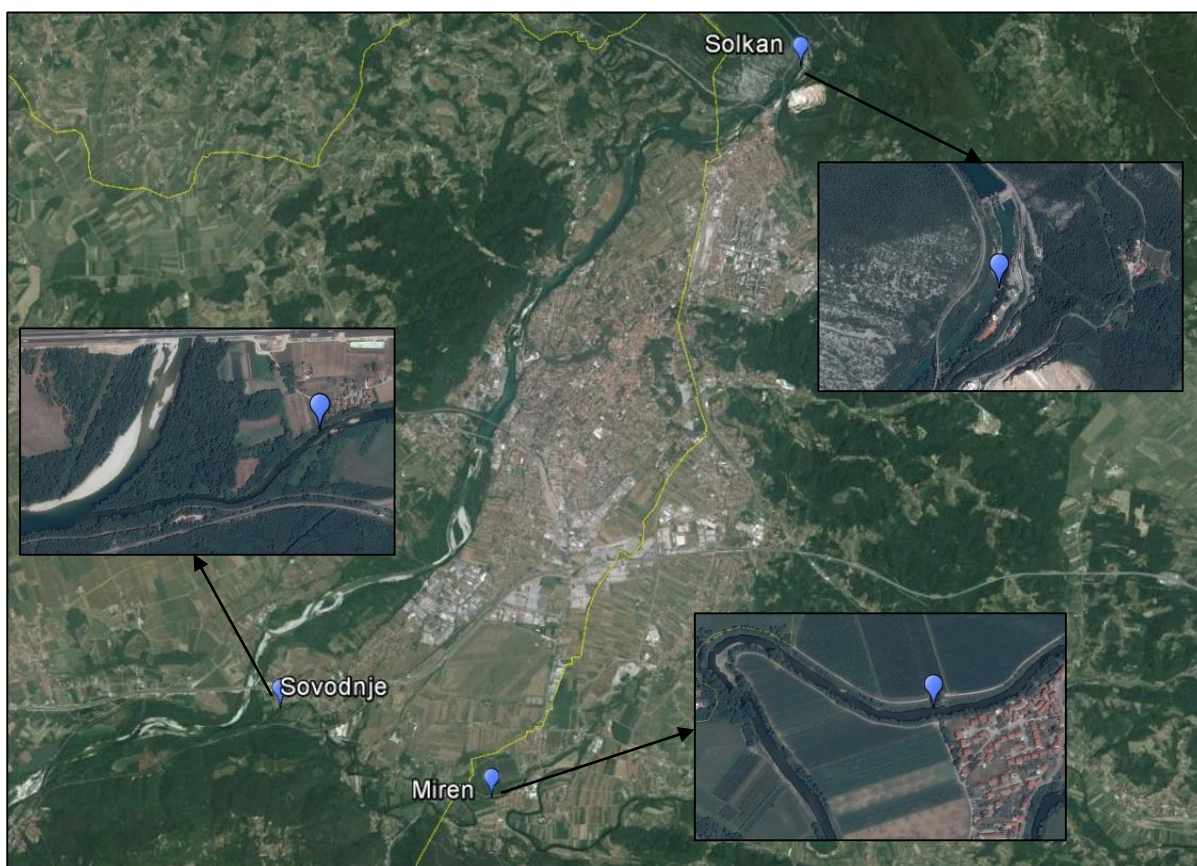


Slika 36: Hidrogram Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu v obdobju od 1. 1. 2005 do 31. 12. 2012

6.4 Analiza merjenih podatkov

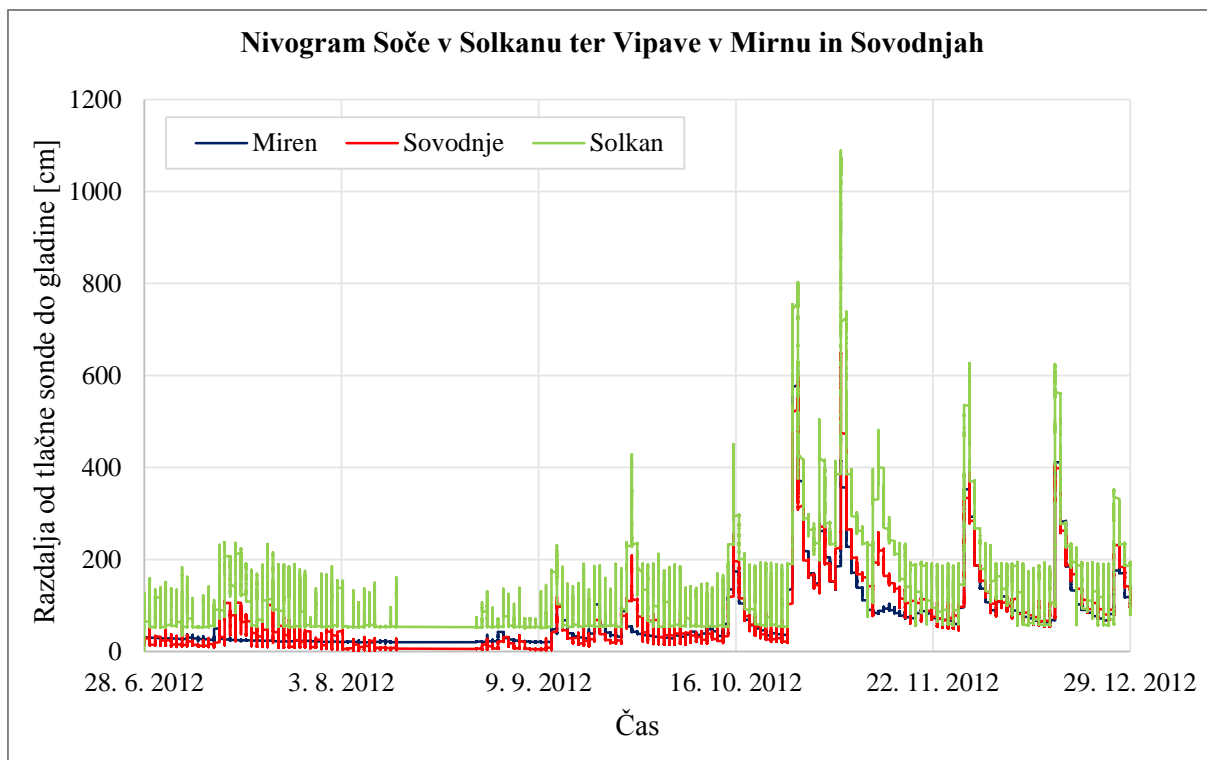
6.4.1 Časovna odvisnost konic

Pri analizi časovne odvisnosti konic smo primerjali čas potovanja visokovodnih valov na Vipavi od Mirna so Sovodenj ter na Soči od Solkana do Sovodenj (vpliv Soče na gladino Vipave v Sovodnjah zaradi zajezitve). Za analizo smo uporabili 5-minutne podatke Katedre za splošno hidrotehniko (KSH, 2014a), izmerjene s tlačnimi sondami, nameščenimi na Soči pri Solkanu ter na Vipavi pri Sovodnjah in pri Mirnu. Izmerjen je bil hidrostatični pritisk vodnega stolpca od sonde do rečne gladine na vsakih 5 minut, vrednosti tlaka pa so bile nato pretvorjene v višino vodnega stolpca. Meritve so potekale pol leta, od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012. Na sliki 37 so označene lokacije merilnih mest s tlačnimi sondami (KSH, 2014a).



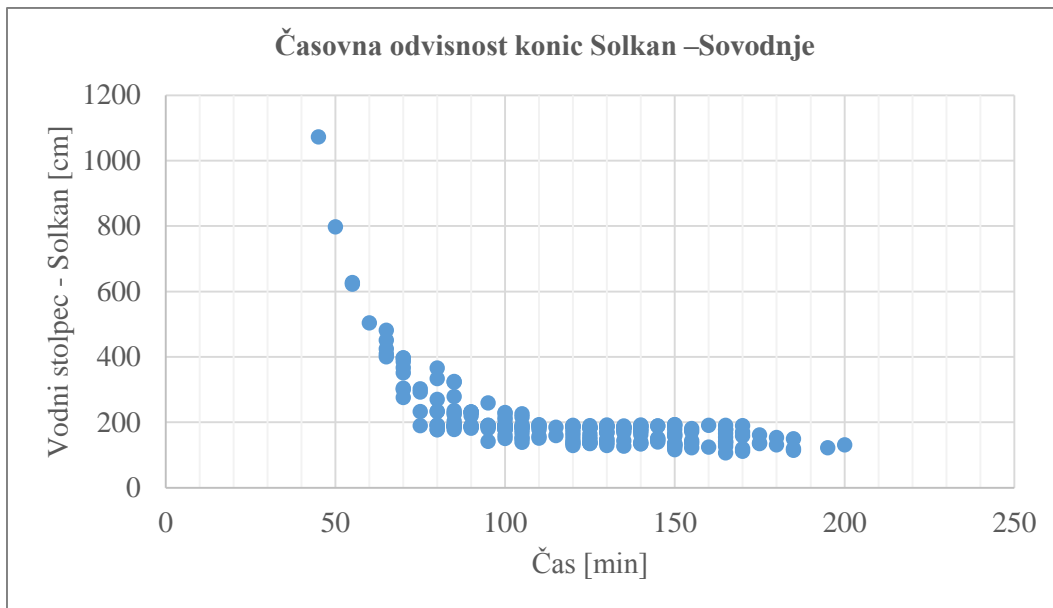
Slika 37: Lokacije merilnih mest s tlačnimi sondami na Soči v Solkanu in na Vipavi v Mirnu ter v Sovodnjah

Na sliki 38 je prikazan nivogram gladin Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu in Sovodnjah v obdobju od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012.

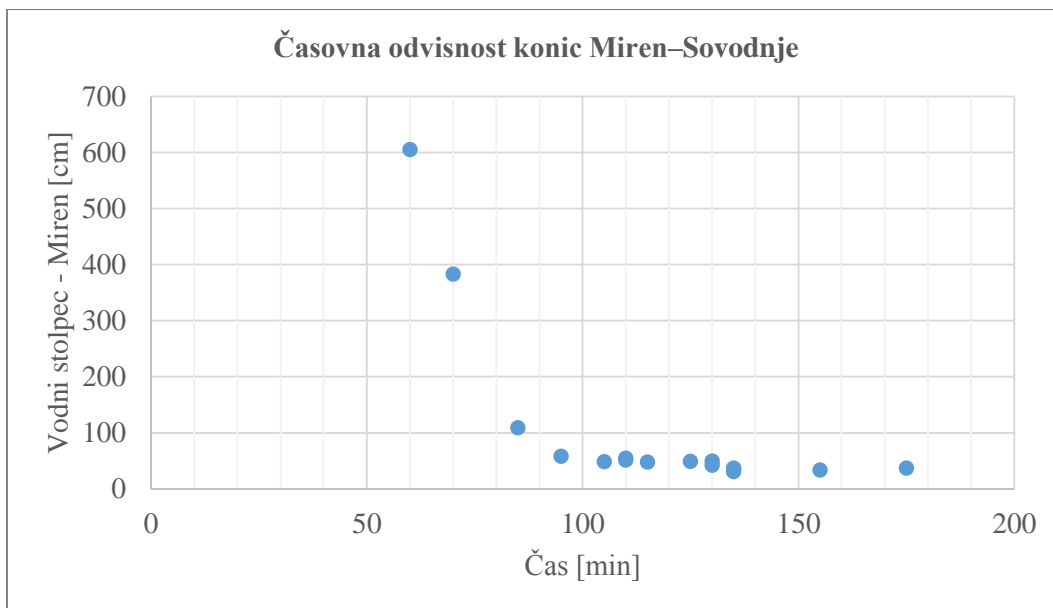


Slika 38: Nivogram Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu in Sovodnjah v obdobju od 28. 6. 2012 do 29. 12. 2012

Sliki 39 in 40 prikazujeta grafa časa zakasnitve visokovodnih valov Vipave od Mirna do Sovodenj in Soče od Solkana do Sovodenj v odvisnosti od njihove velikosti. Z analizo 5-minutnih podatkov smo ugotovili, da tako od Mirna do Sovodenj kot od Solkana do Sovodenj (vpliv Soče na gladino Vipave zaradi zaježitve) visokovodni val potuje približno 50 do 60 minut. Na podlagi te ugotovitve smo predpostavili, da visokovodni valovi Soče in Vipave, merjeni na vodomerni postaji Solkan I (Soča) ter vodomerni postaji Miren I (Vipava), tudi do sotočja prispejo praktično istočasno, ter za potrebe koincidenčne verjetnostne analize sešteli urne pretoke Soče in Vipave z vodomernih postaj Solkan I in Miren I ter tako dobili pretok na sotočju.



Slika 39: Časovna odvisnost konic Solkan–Sovodnje



Slika 40: Časovna odvisnost konic Miren–Sovodnje

6.4.2 Analiza časov zamikov visokovodnih valov Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu

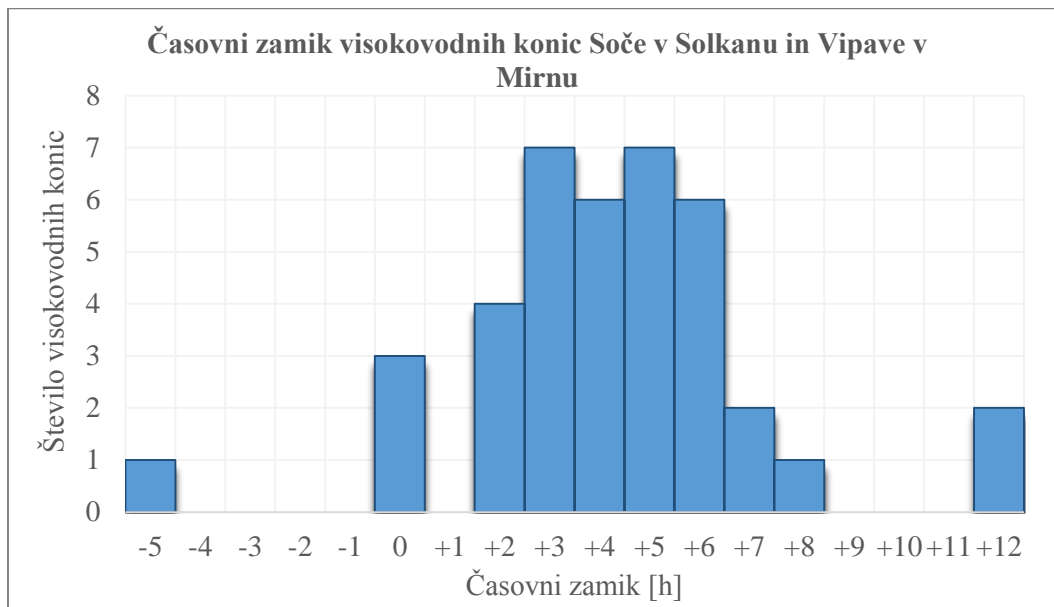
Na podlagi urnih pretokov Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu smo naredili analizo časov zamikov visokovodnih valov. Zanimalo nas je, kakšna je verjetnost, da ob določenem padavinskem dogodku visokovodna konica nastopi najprej na Soči v Solkanu, oziroma obratno, da visokovodna konica nastopi najprej na Vipavi v Mirnu, ter kakšen je časovni zamik med eno in drugo konico. V preglednici 3 so podani časi in vrednosti visokovodnih konic na vodomernih postajah Solkan I in Miren I. V zadnjem stolpcu je podan zamik s pozitivnim predznakom, če je visokovodna konica nastopila najprej na Soči v

Solkanu ter nato na Vipavi v Mirnu, oziroma z negativnim predznakom, če je visokovodna konica nastopila najprej na Vipavi v Mirnu ter nato na Soči v Solkanu.

Preglednica 3: Čas nastopa in vrednosti visokovodnih konic Soče v Solkanu ter Vipave v Mirnu

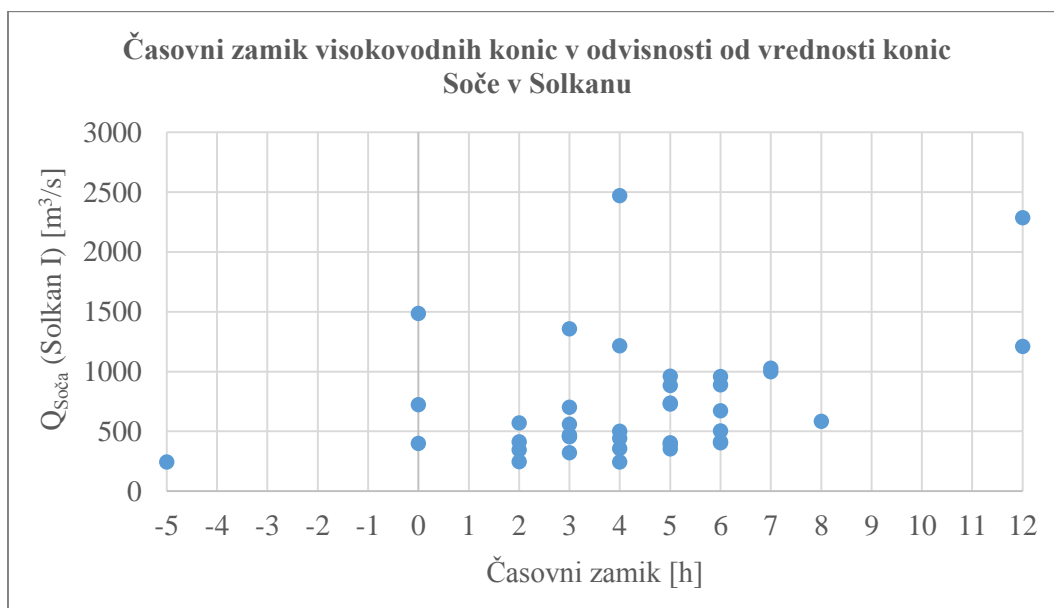
Solkan I			Miren I			Zamik [h]
Datum	Ura	Pretok [m ³ /s]	Datum	Ura	Pretok [m ³ /s]	
9. 4. 2005	18:00	412,8	10. 4. 2005	0:00	60,7	+6
20. 4. 2005	19:00	247,0	20. 4. 2005	21:00	100,2	+2
25. 4. 2005	20:00	390,0	26. 4. 2005	1:00	92,7	+5
17. 9. 2005	23:00	398,7	17. 9. 2005	23:00	51,6	0
30. 9. 2005	0:00	412,8	30. 9. 2005	2:00	143,0	+2
27. 10. 2005	10:00	346,7	27. 10. 2005	12:00	162,0	+2
3. 12. 2005	16:00	403,9	3. 12. 2005	21:00	100,2	+5
5. 12. 2005	9:00	470,0	5. 12. 2005	12:00	258,1	+3
20. 2. 2006	18:00	354,8	20. 2. 2006	23:00	113,4	+5
5. 3. 2006	19:00	1215,0	5. 3. 2006	23:00	170,0	+4
10. 3. 2006	14:00	244,3	10. 3. 2006	18:00	120,2	+4
10. 12. 2006	8:00	458,6	10. 12. 2006	11:00	98,5	+3
17. 1. 2008	19:00	357,3	17. 1. 2008	23:00	126,4	+4
22. 4. 2008	18:00	442,8	22. 4. 2008	22:00	144,2	+4
21. 7. 2008	9:00	244,1	21. 7. 2008	4:00	176,9	-5
30. 3. 2009	13:00	1356,6	30. 3. 2009	16:00	377,0	+3
7. 7. 2009	22:00	404,6	8. 7. 2009	4:00	57,3	+6
27. 11. 2009	16:00	321,8	27. 11. 2009	19:00	100,4	+3
1. 12. 2009	6:00	499,8	1. 12. 2009	10:00	94,1	+4
8. 12. 2009	21:00	702,0	9. 12. 2009	0:00	195,6	+3
25. 12. 2009	12:00	2286,9	26. 12. 2009	0:00	307,6	+12
19. 2. 2010	23:00	729,0	20. 2. 2010	4:00	166,8	+5
26. 2. 2010	21:00	504,9	27. 2. 2010	3:00	132,8	+6
6. 5. 2010	10:00	582,9	6. 5. 2010	18:00	70,2	+8
12. 5. 2010	8:00	454,3	12. 5. 2010	11:00	84,1	+3
22. 11. 2010	11:00	724,3	22. 11. 2010	11:00	168,2	0
9. 12. 2010	0:00	1209,7	9. 12. 2010	12:00	270,0	+12
17. 3. 2010	10:00	883,5	17. 3. 2010	15:00	195,9	+5
20. 10. 2011	16:00	888,5	20. 10. 2010	22:00	123,7	+6
26. 10. 2011	19:00	1028,4	27. 10. 2011	2:00	97,7	+7
17. 12. 2011	4:00	999,2	17. 12. 2011	11:00	167,2	+7
8. 4. 2012	2:00	571,0	8. 4. 2012	4:00	82,8	+2
12. 6. 2012	19:00	736,3	13. 6. 2012	0:00	64,1	+5
16. 10. 2012	12:00	558,6	16. 10. 2012	15:00	69,4	+3
28. 10. 2012	3:00	1485,3	28. 10. 2012	4:00	417,5	0
1. 11. 2012	14:00	672,6	1. 11. 2012	20:00	103,6	+6
5. 11. 2012	15:00	2469,5	5. 11. 2012	19:00	216,1	+4
29. 11. 2012	3:00	960,0	29. 11. 2012	8:00	208,9	+5
15. 12. 2012	20:00	957,4	16. 12. 2012	2:00	219,7	+6

Na sliki 41 je prikazano število visokovodnih konic v odvisnosti od časa zamika med nastopom konice Soče v Solkanu in konice Vipave v Mirnu. Zamik s pozitivnim predznakom pomeni, da je konica na Soči v Solkanu nastopila pred konico na Vipavi v Mirnu, zamik z negativnim predznakom pa ravno obratno. Analiza je pokazala, da običajno ob padavinskem dogodku konica najprej nastopi na Soči v Solkanu ter nato nekje s 3- do 6-urnim zamikom na Vipavi v Mirnu.

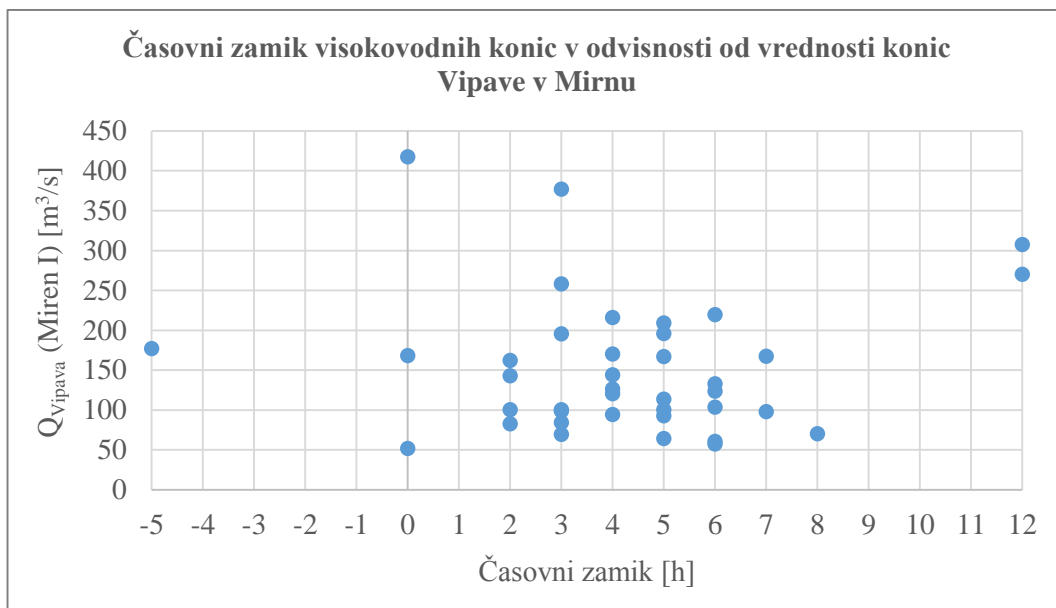


Slika 41: Časovni zamik visokovodnih konic Soče v Solkanu in Vipave v Mirnu

Na časovni zamik konic Soče v Solkanu in Vipave v Mirnu velikost samih konic nima izrazitega vpliva, kar je razvidno z grafom na slikah 42 in 43. Ali bo visokovodna konica nastopila najprej na Soči v Solkanu ali najprej na Vipavi v Mirnu, pa je odvisno tudi od lokalne razporeditve padavin oziroma območja padavinskega dogodka.



Slika 42: Časovni zamik visokovodnih konic v odvisnosti od vrednosti konic Soče v Solkanu



Slika 43: Časovni zamik visokovodnih konic v odvisnosti od vrednosti konic Vipave v Mirnu

6.5 Korelacija visokovodnih valov na sotočju Soče z Vipavo ter na vodomerni postaji Miren I

Izračunali smo korelacijo med visokovodnimi konicami Soče na sotočju (vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3) ter konicami Vipave na vodomerni postaji Miren I, pri čemer koeficient korelacije znaša 0,61. Koeficient korelacije je merilo za medsebojno povezanost dveh spremenljivk. Kot je predstavljeno v poglavju 4.2.6, pri koeficientu korelacije nad 0,3 predpostavimo, da sta konici linearno povezani. Zaradi precejšnje poenostavitve izračunov in ker program HEC-SSP ne podpira bivariatne verjetnostne analize medsebojno povezanih spremenljivk, smo vseeno predpostavili neodvisnost visokovodnih konic Soče na sotočju in konic Vipave v Mirnu, kar pa je treba upoštevati pri končni interpretaciji rezultatov. V praksi se pogosto uporablja predpostavka o neodvisnosti dveh spremenljivk, kljub temu da med spremenljivkama obstaja korelacija. Predpostavke o popolni neodvisnosti spremenljivk so bile iz tega razloga uporabljene tudi v številnih tujih študijah (MacArthur and Li, 1986; Van Mullem, 1998; Tingsanchali and Kitpisalsaku, 1999, cit. po Faber in Gibson, 2003). Predpostavljane neodvisnosti visokovodnih konic kljub temu da obstaja korelacija pomeni, da bodo ocenjeni ekstremni dogodki (v tem primeru gladina Vipave v Sovodnjah) nekoliko podcenjeni, dogodki z majhno povratno dobo pa nekoliko precenjeni.

6.6 Rezultati in analiza

6.6.1 Verjetnostna analiza visokovodnih valov Soče na sotočju z Vipavo (spremenljivka A)

Za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju smo uporabili seštete urne vrednosti pretokov Soče na vodomerni postaji Solkan I in Vipave na vodomerni postaji Miren I ter iz njih povzeli dnevne maksimalne vrednosti pretoka na sotočju. Ker za Sočo na vodomerni postaji Solkan I manjkajo podatki o urnih pretokih za celo leto 2007 ter del leta 2008, za leto 2006 pa so podatki nezanesljivi, smo v prvotni niz podatkov vnesli še mesečne visokovodne konice Soče na vodomerni postaji Solkan I za leta 2006, 2007 in 2008 (ARSO, 2014a) ter jim prišteli sočasno vrednost pretoka Vipave na postaji Miren I.

Sledil je izbor metode za verjetnostno analizo. Na voljo smo imeli le 8 let podatkov, kar pa pri verjetnostni analizi po metodi 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. Priporočljivo je namreč, da imamo za verjetnostno analizo z metodo letnih maksimumov na voljo vsaj 20 do 30 let podatkov, zato smo verjetnostno analizo naredili z metodo vzorčenja nad izbranim pragom oziroma POT metodo. Pri tem smo prag izbrali tako, da je vzorec sestavljen iz povprečno treh konic letno (POT3). Vzorec smo določili s pomočjo programa Hydrospect (Radziejewski, 2011), v katerem smo podali pogoj, naj vzorec sestavljajo povprečno tri konice letno, med dvema zaporednima konicama pa mora biti vsaj 8 dni, kar sledi iz pogoja o neodvisnosti konic (enačba 31). Parametra pogoja neodvisnosti konic sta podana v preglednici 4.

Preglednica 4: Parametra pogoja neodvisnosti konic

Parameter	Vrednost
Površina prispevnega območja A	2180 km ² oziroma 842 milje ²
Čas med konicama	7,93 dni

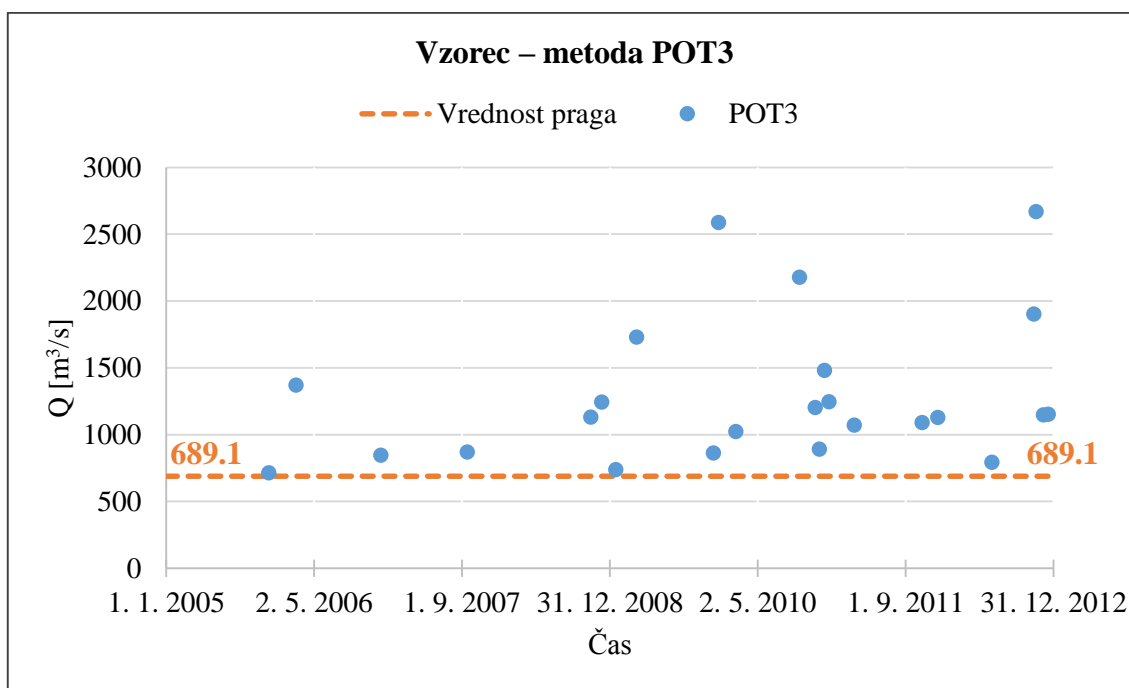
Program Hydrospect pa ne omogoča preverjanja drugega dela pogoja neodvisnosti konic (enačba 30), ki pravi, da mora pretok med dvema konicama pasti pod $\frac{3}{4}$ vrednosti manjše od obeh konic, zato smo ta pogoj preverili ročno. Vse konice so bile neodvisne, zato iz vzorca pridobljenega s programom Hydrospect nismo izločili nobene izmed konic.

Dobili smo vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3 (preglednica 5), ki vsebuje 24 visokovodnih dogodkov nad pragom 689,1 m³/s.

Preglednica 5: Vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3

Datum	Q [m ³ /s]	Datum	Q [m ³ /s]
5. 12. 2005	713,3	8. 11. 2010	1203,2
5. 3. 2006	1371,2	22. 11. 2010	892,5
9. 12. 2006	844,9	9. 12. 2010	1479,7
19. 9. 2007	869,1	24. 12. 2010	1245,7
30. 10. 2008	1129,9	17. 3. 2011	1071,5
5. 12. 2008	1244,2	26. 10. 2011	1090,1
21. 1. 2009	738,3	17. 12. 2011	1127,5
30. 3. 2009	1730,7	12. 6. 2012	792,5
8. 12. 2009	861,7	28. 10. 2012	1902,8
25. 12. 2009	2586,6	5. 11. 2012	2668,3
20. 2. 2010	1023,7	29. 11. 2012	1148,8
18. 9. 2010	2176,7	15. 12. 2012	1151,7

Na sliki 44 je prikazan vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3.



Slika 44: Vzorec za verjetnostno analizo visokovodnih valov Soče na sotočju z metodo POT3

Za opis števila konic v letu smo uporabili Poissonovo porazdelitev, za opis vrednosti konic nad izbranim pragom pa eksponentno porazdelitev, saj so statistični testi potrdili ustreznost izbranih porazdelitev. Parametri omenjenih porazdelitev, ki jih potrebujemo za izračun ocene pretoka, so podani v preglednici 6.

Preglednica 6: Parametri POT3 metode

Parameter	Vrednost
x_0	689,1 m ³ /s
μ	3,0
β	605,3 m ³ /s

Za oceno n -letnega pretoka smo uporabili enačbo (34), rezultati pa so prikazani v preglednici 7.

Preglednica 7: Ocenjene vrednosti n -letnih pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 3 (POT3) konicami nad vrednostjo praga

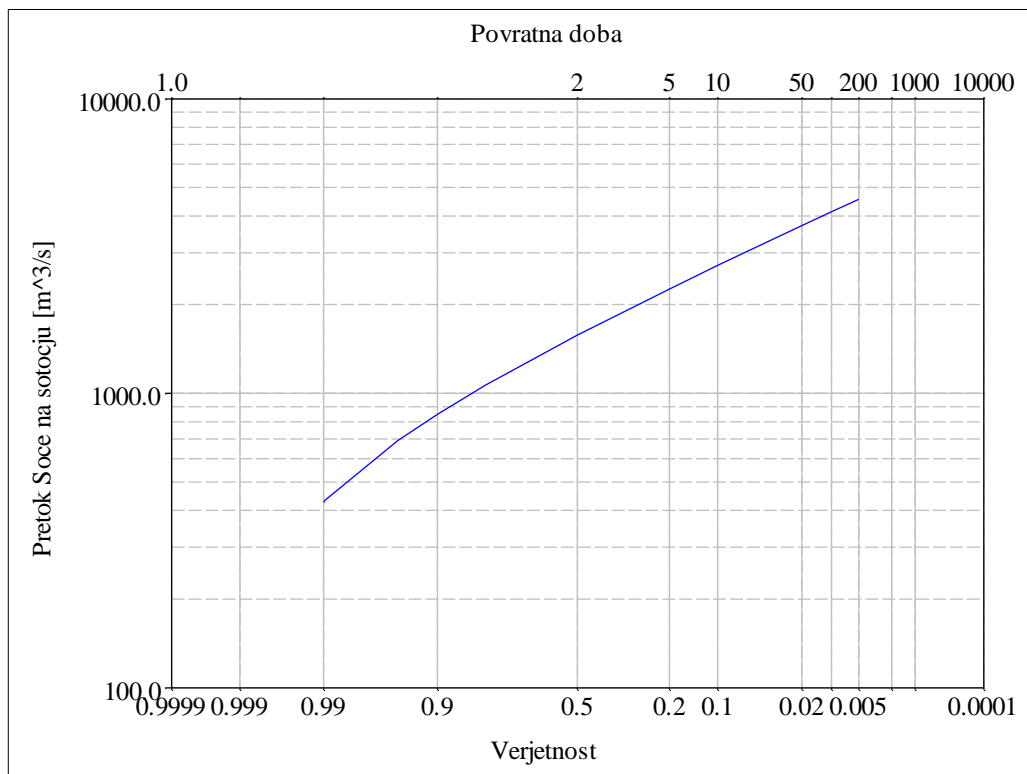
Metoda	Vrednost praga [m ³ /s]	Q2 [m ³ /s]	Q5 [m ³ /s]	Q10 [m ³ /s]	Q20 [m ³ /s]	Q50 [m ³ /s]	Q100 [m ³ /s]
POT3	689,1	1575,5	2261,9	2716,1	3151,8	3715,7	4138,3

Za primerjavo smo pretoke ocenili še na podlagi vzorcev s povprečno eno (POT1) ter petimi konicami (POT5) letno nad izbranim pragom. Pri metodi POT1 prag znaša 1245,0 m³/s, pri metodi POT5 pa 506,6 m³/s.

Preglednica 8: Ocenjene vrednosti n -letnih pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 1 (POT1) in 5 (POT5) konicami nad vrednostjo praga

Metoda	Vrednost praga [m ³ /s]	Q2 [m ³ /s]	Q5 [m ³ /s]	Q10 [m ³ /s]	Q20 [m ³ /s]	Q50 [m ³ /s]	Q100 [m ³ /s]
POT1	1245,0	1483,3	2220,3	2708,2	3176,3	3782,1	4236,1
POT5	506,6	1495,4	2062,6	2438,2	2798,4	3264,7	3614,1

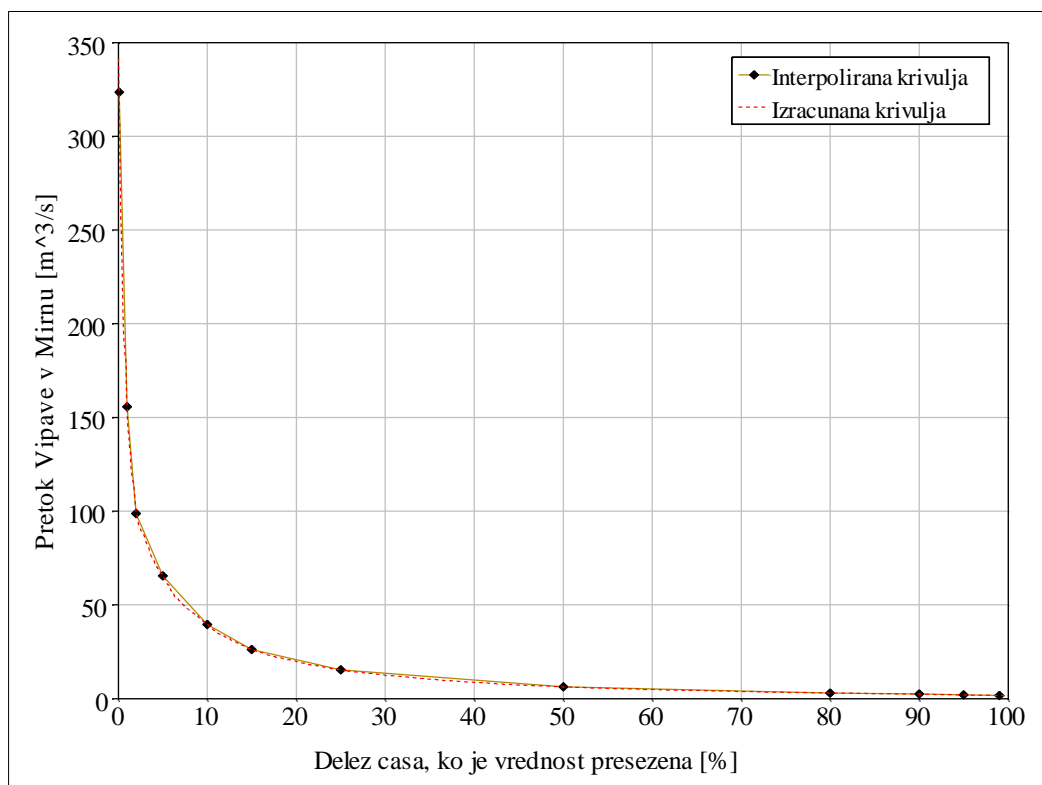
Slika 45 prikazuje rezultat verjetnostne analize visokovodnih konic Soče na sotočju za vzorec s povprečno 3 (POT3) konicami nad izbranim pragom.



Slika 45: Verjetnostna krivulja pretokov Soče na sotočju za vzorec s povprečno 3 (POT3) konicami nad izbranim pragom

6.6.2 Krivulja trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (spremenljivka B)

Za pretoke Vipave na vodomerni postaji Miren I smo izvedli analizo trajanja pretokov na podatkih o dnevni povprečni pretokih od leta 2005 do vključno leta 2012. Analizo smo izvedli v programu HEC-SSP, katere rezultate smo kasneje uvozili v koincidenčno verjetnostno analizo. Na sliki 46 je prikazana krivulja trajanja dnevni povprečni pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I, v preglednici 8 pa so vrednosti predstavljene tabelarično.



Slika 46: Krivulja trajanja dnevnih povprečnih pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I

Pretok Vipave v Mirnu 10 odstotkov časa presega vrednost 39,6 m³/s, 50 odstotkov časa presega vrednost 6,3 m³/s in 99 odstotkov časa je pretok večji od 1,6 m³/s. Z grafa krivulje trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I med drugim lahko razberemo, da Vipava tudi v sušnem obdobju ne presahne.

Preglednica 9: Delež trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I

Delež časa, ko je vrednost Q presežena [%]	Q [m ³ /s]
99	1,6
95	2,0
90	2,4
80	3,0
50	6,3
25	15,3
15	26,2
10	39,6
5	65,4
2	98,7
1	155,7
0.1	323,5

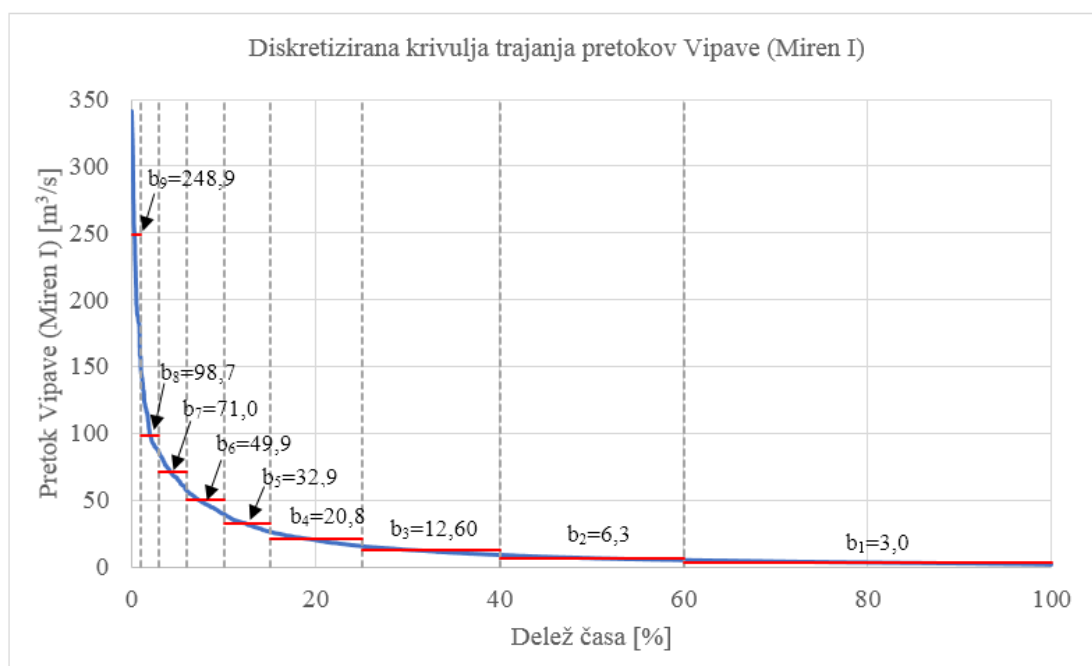
6.6.3 Diskretizacija krivulje trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I

Za potrebe koincidenčne verjetnostne analize smo krivuljo trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (spremenljivka B) diskretizirali na devet neenakih delov. Ti so bili določeni glede na privzete verjetnostne razpone v programu HEC-SSP, kot je navedeno v poglavju 5.4.3 (slika 25). Tako največji delež časa, 40 %, predstavlja indeksna vrednost b_1 , ki znaša $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, najmanjši delež časa, 1 %, pa indeksna vrednost b_9 , $248,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Na ta način v zgornjem delu krivulje trajanja dobimo bolj ekstremne indeksne vrednosti pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I. Indeksne vrednosti pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (b_i) so predstavljene v preglednici 10.

Preglednica 10: Indeksne vrednosti pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I

b_i	Verjetnost [%]	Vrednost [m^3/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

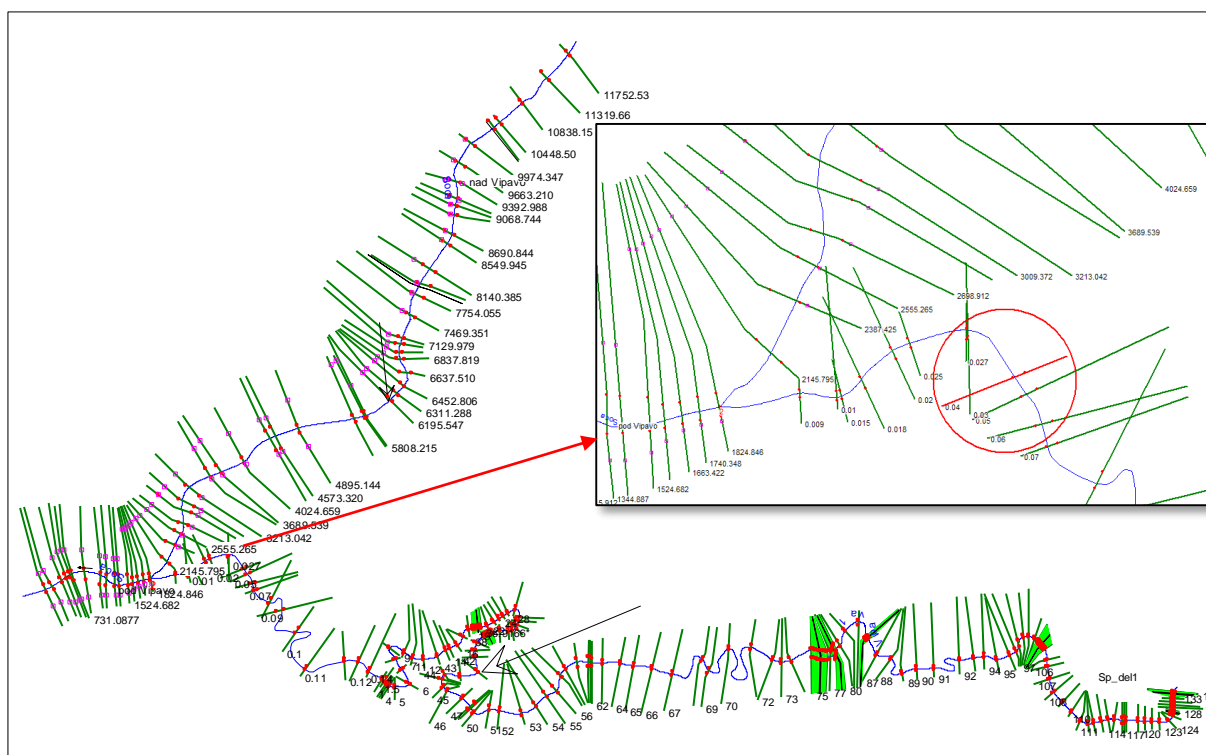
Slika 47 prikazuje diskretizirano krivuljo trajanja pretokov Vipave (Miren I) na 9 neenakih delov, določenih s privzetimi verjetnostnimi razponi v programu HEC-SSP.



Slika 47: Diskretizirana krivulja trajanja pretokov Vipave (Miren I)

6.6.4 Simulacije v hidravličnem modelu

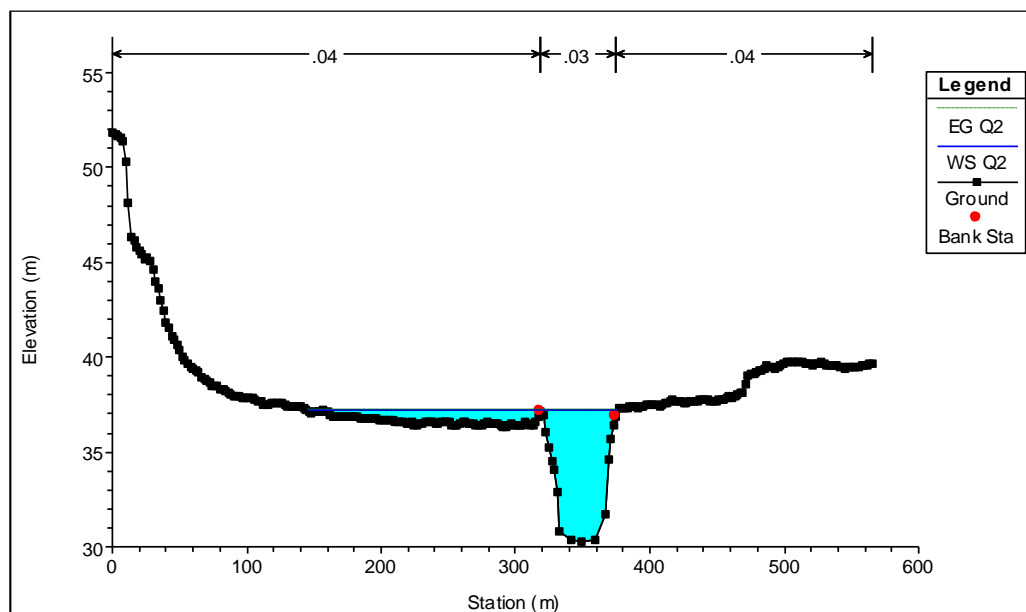
Za pridobitev odzivnih krivulj gladine Vipave v Sovodnjah smo izvedli simulacije v hidravličnem modelu. Enodimenzionalni hidravlični model sotočja reke Soče ter Vipave, izdelan v programu HEC-RAS, smo dobili na Katedri za splošno hidrotehniko UL FGG (slika 48). Za različne kombinacije n -letnih vrednosti pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A), ocenjenih z verjetnostno analizo (poglavje 6.6.1), in različnih vrednosti pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B), pridobljenih z analizo trajanja in diskretizcijo krivulje trajanja (poglavje 6.6.2 in 6.6.3), smo s simulacijami v hidravličnem modelu izračunali gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C).



Slika 48: Hidravlični model sotočja Soče in Vipave in prikaz lokacije profila Vipave v Sovodnjah (KSH, 2014b)

Profile, ki niso vsebovali dovolj podatkov o terenu, smo približno ekstrapolirali, saj v nasprotnem primeru pri preplavljanju ob visokih vodah program privzame vertikalno zaključitev profila, kjer se leta konča. Rezultati simulacij so zaradi tega, pa tudi na splošno zaradi pomanjkljivih podatkov o dejanskem poteku terena, le približna ocena realnega stanja.

Na sliki 49 je prikazan profil Vipave v Sovodnjah, kjer smo računali verjetnostno porazdelitev gladin.



Slika 49: Prečni profil Vipave v Sovodnjah

6.6.5 Odzivne krivulje gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C)

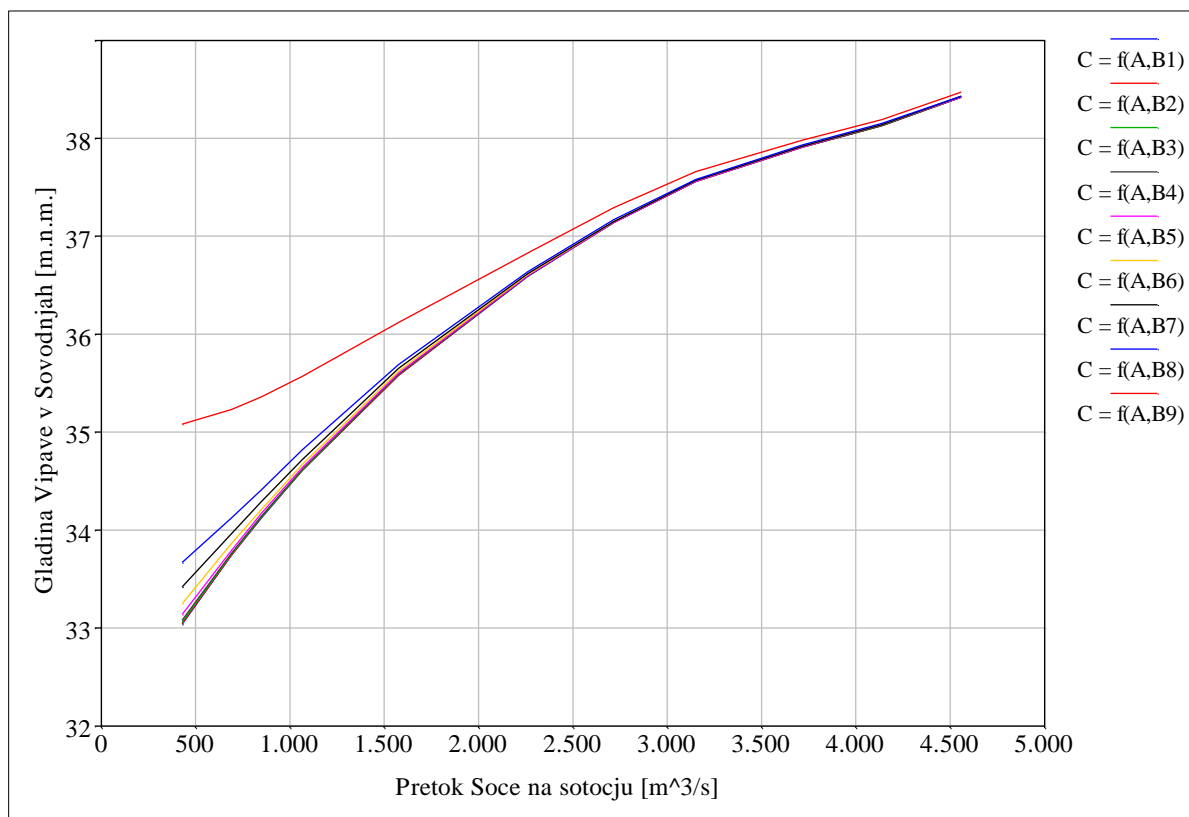
V koincidenčno verjetnostno analizo v programu HEC-SSP smo vnesli izračunano verjetnostno krivuljo pretokov Soče na sotočju (spremenljivka A) ter uvozili izračunano krivuljo trajanja pretokov Vipave na vodomerni postaji Miren I (spremenljivka B). Za različne kombinacije n -letnih pretokov Soče na sotočju in indeksnih vrednosti pretokov Vipave v Mirnu smo v program HEC-SSP vnesli s hidravličnim modelom pridobljene gladine Vipave v Sovodnjah, prikazane v preglednici 11.

Preglednica 11: Gladina Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) pri različnih n -letnih vrednostih pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A) in indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B)

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

Na podlagi pridobljenih vrednosti gladin Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) pri različnih n -letnih vrednostih pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A) in indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B) program HEC-SSP izriše odzivne krivulje (slika 50). Te prikazujejo gladine Vipave v Sovodnjah v odvisnosti od pretoka Soče na sotočju in pretoka Vipave v Mirnu. Tako na primer pri pretoku Vipave v Mirnu $248,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ter pretoku Soče na sotočju $2716,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (10-letni pretok Soče na sotočju) gladina Vipave v Sovodnjah znaša $37,3 \text{ m. n. m.}$, pri enakem pretoku Vipave ter pretoku Soče na sotočju $1575,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (2-letni pretok Soče na sotočju) pa $36,1 \text{ m. n. m.}$ Vidimo, da ima ob visokih vodah na gladino Vipave v Sovodnjah velik vpliv zajezev zaradi povečanega pretoka Soče na sotočju. Sam pretok Vipave na povišano gladino v Sovodnjah ob sočasno visokem pretoku Soče vpliva šele, ko doseže vrednost okoli $249 \text{ m}^3/\text{s}$ in več (zgornja rdeča krivulja na sliki 50).

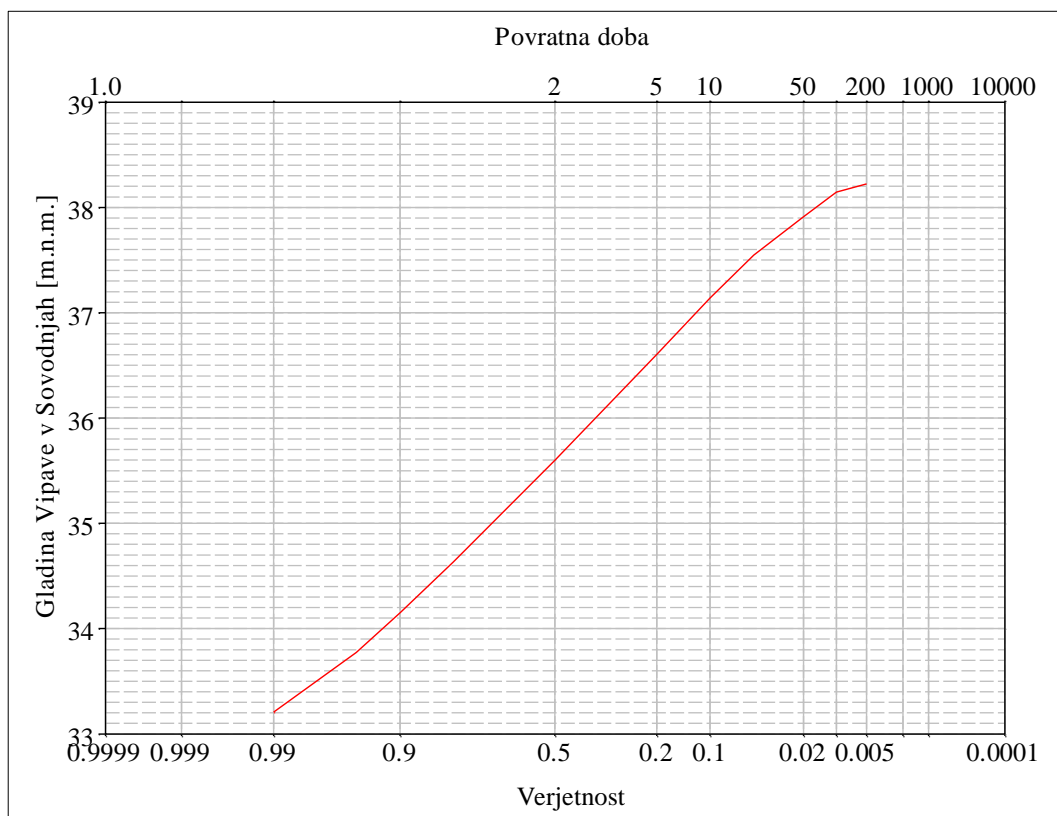
Dogodek, ko se pojavi visok pretok Vipave v Mirnu (npr. indeksna vrednost b_9) ob sočasno nizkem pretoku Soče na sotočju, je zelo malo verjeten, saj med visokovodnimi konicami Soče na sotočju in visokovodnimi konicami Vipave v Mirnu obstaja korelacija (koeficient korelacije je $0,61$), kar pomeni, da 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 naloge predpostavili neodvisnost visokovodnih konic.



Slika 50: Odzivne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) pri različnih indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu (spremenljivka B) in n -letnega pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A)

6.6.6 Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah

Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah je izračunana na podlagi zakona o popolni verjetnosti (poglavje 2.3 in 4.2.5). Program odzivne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah pretvori v pogojne verjetnostne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah pri določenih indeksnih vrednostih pretoka Vipave v Mirnu, tako da vrednostim gladin Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C) pripiše pripadajoče verjetnosti pretoka Soče na sotočju (spremenljivka A) (poglavje 4.2.4, slika 12). Nato za določeno vrednost gladine Vipave v Sovodnjah pomnoži pripadajočo verjetnost z vsake pogojne verjetnostne krivulje gladin Vipave v Sovodnjah pri določeni vrednosti pretoka Vipave v Mirnu z deležem časa (verjetnostjo) pripadajočih vrednosti pretoka Vipave v Mirnu (indeksne vrednosti b_i spremenljivke B). Te pomnožene vrednosti se nato seštejejo, rezultat pa je verjetnost izbrane vrednosti gladine Vipave v Sovodnjah (spremenljivka C). Ta postopek se ponovi za več vrednosti gladin Vipave v Sovodnjah, nato pa program med temi vrednostmi interpolira koincidenčno verjetnostno krivuljo gladin Vipave v Sovodnjah. Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah je prikazana na sliki 51, kjer je gladina podana s koto v metrih nad morjem. Podrobnejši rezultati in postopek analize so prikazani v prilogi D.



Slika 51: Koincidenčna verjetnostna krivulja gladin Vipave v Sovodnjah

V preglednici 12 so podane ocene n -letne gladine Vipave v Sovodnjah. 10-letna gladina Vipave v Sovodnjah tako znaša 37,1 m. n. m., 20-letna gladina 37,6 m. n. m. in 50-letna gladina 38,0 m. n. m. Glede na začetno predpostavko o neodvisnosti visokovodnih konic Soče na sotočju in visokovodnih

konic Vipave v Mirnu so ocenjene gladine Vipave v Sovodnjah z veliko povratno dobo (majhno verjetnostjo) v tem primeru nekoliko podcenjene, ocenjene gladine Vipave v Sovodnjah z majhno povratno dobo (veliko verjetnostjo) pa precenjene. To pomeni, da za na primer 100-letno gladino Vipave v Sovodnjah pričakujemo še nekoliko višjo koto od 38,2 m. n. m. in za na primer 5-letno gladino Vipave v Sovodnjah nekoliko nižjo koto od 36,6 m. n. m.

Preglednica 12: Ocene n -letnih gladin Vipave v Sovodnjah

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

Ugotovili smo, da visok pretok Soče na sotočju močno zajezuje reko Vipavo od sotočja vse do naselja Miren, ki leži tik ob državni meji z Italijo. Gladina Vipave na tem odseku zato ob sočasnem visokem pretoku Soče na sotočju in visokem pretoku Vipave močno naraste ter preplavlja brežine. Za zmanjšanje verjetnosti poplavljanja Vipave od sotočja do naselja Miren bi bilo zato najprej potrebno urediti strugo reke Soče, tako da ta ob visokih vodah ne bi povzročala zaježitve Vipave v tolikšnem obsegu.

7 ZAKLJUČKI

Koincidenčna verjetnostna analiza predstavlja orodje za ocenjevanje verjetnosti določenega dogodka, ki jo ocenimo na podlagi meritev dveh slučajnih hidroloških pojavov, od katerih je le-ta odvisen. Tak primer predstavlja poplavljanje na sotočju kot posledica povečanega pretoka pritoka ter sočasnega povečanega pretoka glavnega vodotoka, ki zajezuje pritok. Izračun koincidenčne verjetnostne analize ni tako enostaven še posebej v primeru, ko sta dva pojava medsebojno povezana in je potrebno izračunati njuno skupno (pogojno) verjetnost, kar pomeni bivariatno verjetnostno analizo. Za bivariatno verjetnostno analizo se v zadnjem desetletju tudi v hidrologiji vse pogosteje uporabljajo funkcije kopula (Bezák et al., 2014).

V nalogi smo preverili uporabnost programskega orodja HEC-SSP, katerega so razvili v Hidrološkem inženirskem centru ameriške vojske (USACE) in je v osnovi namenjen statistični analizi različnih hidroloških podatkov. Program omogoča lažje obvladovanje velike količine podatkov ter olajša zamudne ročne izračune. Pri izračunu koincidenčne verjetnostne analize pa se je pokazala pomanjkljivost programa predvsem v tem, da ne omogoča bivariatne verjetnostne analize dveh linearno povezanih spremenljivk, ampak je slednjo potrebno izračunati izven programa. Poleg koincidenčne verjetnostne analize program omogoča tudi analizo trajanja in splošno verjetnostno analizo, ki predstavljata tudi del koincidenčne verjetnostne analize. Verjetnostno analizo je v programu mogoče narediti le z metodo letnih maksimumov, zato je v primeru izračuna verjetnostne analize z metodo vrednosti nad izbranim pragom (POT), le-to potrebno narediti izven programa in jo nato ročno vnesti nazaj v koincidenčno verjetnostno analizo. V prihodnosti naj bi program med drugim nadgradili tudi z možnostjo verjetnostne analize z metodo vrednosti nad izbranim pragom, zaenkrat pa program predstavlja praktično orodje predvsem za hitre ocene pretokov z določeno povratno dobo v primeru, da razpolagamo z daljšimi nizi podatkov (20 let in več).

V praktičnem delu naloge smo koincidenčno verjetnostno analizo visokovodnih valov izvedli na sotočju rek Soče in Vipave, pri čemer smo izračunali verjetnostno porazdelitev gladin Vipave v Sovodnjah na podlagi podatkov o pretoku Vipave v Mirnu ter podatkov o pretoku Soče na sotočju. S koincidenčno verjetnostno analizo smo ugotovili, da ima visok pretok Soče na sotočju izrazit vpliv na gladino Vipave v njenem spodnjem toku od sotočja vse nekje do naselja Miren, ki se nahaja tik ob državni meji z Italijo. Gladina Vipave se v tem delu še toliko bolj poviša ob sočasnem pojavu visokega pretoka Soče na sotočju in visokega pretoka Vipave. Na odseku od sotočja do naselja Miren tako ob visokih vodah prihaja do poplavljanja Vipave predvsem zaradi zajezitvenega učinka reke Soče, ko se Vipava ne more prosto izlivati v reko Sočo. Ker smo predpostavili neodvisnost visokovodnih konic Soče na sotočju ter konic Vipave v Mirnu, so ocenjene n -letne vrednosti gladin Vipave v Sovodnjah z večjo povratno dobo (manjšo verjetnostjo) nekoliko podcenjene, gladine z manjšo povratno dobo (večjo verjetnostjo) pa nekoliko precenjene. Zato je pričakovati, da bo v nalogi ocenjena 5-letna gladina Vipave v Sovodnjah,

36,6 m. n. m., nekoliko nižja, ocenjena 100-letna gladina Vipave v Sovodnjah, 38,2 m. n. m. pa še nekoliko višja.

Za zmanjšanje verjetnosti poplavljanja Vipave na odseku od sotočja do naselja Miren bi bilo torej najprej potrebno urediti strugo reke Soče, tako da ta ob visokih vodah ne bi povzročala zaježitve Vipave v tolikšnem obsegu. Zgolj protipoplavni ukrepi na omenjenem odseku Vipave, brez rešitve problema zaježitve Vipave, verjetno ne bi bili dovolj oziroma smiselni.

VIRI

ARSO. 2014a. Arhivski hidrološki podatki, mesečne statistike. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://www.arso.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. 2014. 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. 2012. Verjetnostna analiza visokovodnih konic z metodo vrednosti nad izbranim pragom in z metodo letnih maksimumov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Bezak): 106 str.

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 str.

Faber, B., Gibson, F. 2005. Coincident Frequency Analysis. Hydrologic Engineering Center Statistical Methods in Hydrology Class Notes: 24 str.

Frantar, P., Hrvatin, 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.

Haan, C. T. 2002. Statistical methods in hydrology. Iowa, Iowa State Press: 496 str.

Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Ljubljana, Založba ZRC: 180 str.

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., Ouarda, T. B. M. J., Bobee, B. 1999. Towards operational guidelines for over-threshold modeling. *Journal of Hydrology* 225, 3–4: 103–117.

Langbein, W. B. 1949. Annual floods and the partial-duration flood series. *Transactions, American Geophysical Union* 30, 6: 879–881.

http://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/AGU_Langbein_1949.pdf (Pridobljeno 6. 7. 2014.)

Maidment, D. R., (ur.). 1993. *Handbook of Hydrology*. New York [etc.], McGraw-Hill: 1424 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta hydrotehnica* 20, 32.

ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 23. 8. 2013.)

Oregon State University. 2005. *Streamflow Evaluations for Watershed Restoration Planning and Design*.

<http://streamflow.engr.oregonstate.edu/analysis/flow/index.htm> (Pridobljeno 30. 8. 2013.)

Önöz, B., Bayazit, M. 2001. Effect of the occurrence process of the peaks over threshold on the flood estimates. *Journal of Hydrology* 244, 1–2: 86–96.

Posoški razvojni center, projekt Camis.

<http://www.camisproject.eu> (Pridobljeno 6. 7. 2014.)

Radziejewski, M., 2011.

<http://www.staff.amu.edu.pl/~maciejr/hydrospect/> (Pridobljeno 20. 12. 2011.)

SENG. 2014. Brošura HE Solkan.

http://www.seng.si/medijsko_sredisce/predstavitevna_gradiva/ (Pridobljeno 28. 8. 2014)

Soča. 2014.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Soča> (Pridobljeno 4. 8. 2014.)

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

(Pridobljeno 6. 6. 2014.)

Turk, G. 2011. Verjetnostni račun in statistika: 246 str.

<http://km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/ovrs/OVRSLit.htm> (Pridobljeno 30. 8. 2013.)

USACE. 2010. 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/hec-ssp/download.aspx> (Pridobljeno 13. 8. 2013.)

USACE. 2010. HEC-SSP User's Manual. Version 2.0. Washington, DC: 312 str.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/documentation/HEC-SSP_20_Users_Manual.pdf

(Pridobljeno 13. 8. 2013.)

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

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 str.

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

USWRC, 1981. Guidelines for determining flood flow frequency. United States Water Resources Council, Bulletin 17B, Hydrology Subcommittee. Washington, DC: 185 str.

http://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/dl_flow.pdf (Pridobljeno 23. 8. 2013.)

»Ta stran je namenoma prazna«

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Preglednica časovnih odvisnosti konic Solkan–Sovodnje	A1
PRILOGA B: Preglednica časovnih odvisnosti konic Miren–Sovodnje	B1
PRILOGA C: Poročilo izračuna krivulje trajanja pretokov Vipave v Mirnu	C1
PRILOGA D: Poročilo izračuna koincidenčne verjetnostne analize gladin Vipave v Sovodnjah.....	D1

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA A: Preglednica časovnih odvisnosti konic Solkan–Sovodnje

Solkan			Sovodnje			Zakasnitev [min]
H [cm]	Datum	Ura	H [cm]	Datum	Ura	
1072,8	5. 11. 2012	16:25	647,8	5. 11. 2012	17:10	45
797,8	28. 10. 2012	3:45	599,2	28. 10. 2012	4:35	50
626,7	29. 11. 2012	1:25	384,8	29. 11. 2012	2:20	55
622,4	15. 12. 2012	20:35	405,8	15. 12. 2012	21:30	55
503,9	1. 11. 2012	13:25	284,7	1. 11. 2012	14:25	60
481,6	12. 11. 2012	9:00	257,9	12. 11. 2012	10:05	65
409,2	16. 10. 2012	2:55	220,1	16. 10. 2012	4:00	65
424,1	27. 9. 2012	2:55	209,0	27. 9. 2012	3:10	65
450,6	16. 10. 2012	11:55	256,2	16. 10. 2012	13:05	70
396,0	7. 11. 2012	7:05	247,3	7. 11. 2012	8:15	70
367,0	7. 11. 2012	18:55	226,5	7. 11. 2012	20:05	70
396,7	11. 11. 2012	22:10	208,9	11. 11. 2012	23:20	70
275,9	14. 11. 2012	17:05	161,7	14. 11. 2012	18:15	70
304,6	30. 11. 2012	18:15	207,8	30. 11. 2012	19:25	70
351,4	26. 12. 2012	22:45	231,4	26. 12. 2012	23:55	70
300,0	27. 12. 2012	18:45	210,5	27. 12. 2012	19:55	70
399,8	2. 11. 2012	2:40	261,4	2. 11. 2012	3:55	75
292,2	14. 11. 2012	11:05	169,2	14. 11. 2012	12:20	75
232,5	17. 11. 2012	16:35	135,0	17. 11. 2012	17:50	75
190,1	23. 11. 2012	10:55	107,8	23. 11. 2012	12:10	75
302,0	8. 11. 2012	8:05	192,1	8. 11. 2012	9:20	75
270,4	9. 11. 2012	17:50	166,3	9. 11. 2012	19:10	80
233,8	15. 7. 2012	7:10	95,2	15. 7. 2012	8:30	80
177,7	18. 7. 2012	10:25	71,1	18. 7. 2012	11:45	80
189,6	2. 10. 2012	8:55	75,2	2. 10. 2012	10:15	80
177,0	3. 10. 2012	20:05	66,7	3. 10. 2012	21:25	80
191,1	15. 10. 2012	11:55	104,2	15. 10. 2012	13:15	80
385,0	28. 11. 2012	9:30	243,4	28. 11. 2012	10:50	80
232,7	2. 12. 2012	14:25	147,8	2. 12. 2012	15:45	80
191,2	8. 12. 2012	10:50	116,7	8. 12. 2012	13:10	80
229,2	3. 12. 2012	11:30	142,6	3. 12. 2012	12:55	85
190,1	26. 7. 2012	12:10	73,5	26. 7. 2012	13:35	85
186,4	20. 10. 2012	19:20	81,1	20. 10. 2012	20:45	85
278,3	31. 10. 2012	19:55	157,7	31. 10. 2012	21:20	85
366,0	2. 11. 2012	15:10	229,8	2. 11. 2012	16:35	85
223,7	16. 11. 2012	16:30	133,5	16. 11. 2012	17:55	85
191,3	25. 11. 2012	20:05	108,3	25. 11. 2012	21:30	85
203,5	2. 12. 2012	16:55	127,4	2. 12. 2012	18:20	85

se nadaljuje...

... nadaljevanje

186,6	6. 12. 2012	9:15	116,8	6. 12. 2012	10:40	85
187,5	7. 12. 2012	9:30	113,5	7. 12. 2012	10:55	85
177,5	13. 12. 2012	11:10	101,8	13. 12. 2012	12:35	85
193,7	22. 12. 2012	12:10	129,6	22. 12. 2012	13:35	85
188,4	23. 12. 2012	12:30	122,4	23. 12. 2012	13:55	85
322,8	26. 12. 2012	20:15	211,4	26. 12. 2012	21:40	85
324,9	27. 12. 2012	3:00	229,4	27. 12. 2012	4:25	85
236,0	13. 7. 2012	19:55	108,5	13. 7. 2012	21:20	85
188,8	20. 7. 2012	7:25	64,1	20. 7. 2012	8:55	90
220,0	13. 9. 2012	13:15	106,9	13. 9. 2012	14:45	90
230,7	13. 9. 2012	17:45	118,8	13. 9. 2012	19:15	90
182,1	20. 9. 2012	9:50	91,2	20. 9. 2012	11:20	90
185,6	20. 9. 2012	20:05	93,9	20. 9. 2012	21:35	90
189,0	19. 10. 2012	17:55	83,6	19. 10. 2012	19:25	90
231,1	11. 11. 2012	10:25	137,5	11. 11. 2012	11:55	90
333,4	13. 11. 2012	17:55	192,7	13. 11. 2012	19:25	90
186,3	24. 11. 2012	12:20	105,5	24. 11. 2012	13:50	90
231,0	2. 12. 2012	18:30	141,0	2. 12. 2012	20:00	90
231,5	21. 7. 2012	22:15	103,9	21. 7. 2012	23:45	90
190,3	24. 9. 2012	9:55	62,2	24. 9. 2012	11:30	95
180,6	25. 9. 2012	11:10	86,8	25. 9. 2012	12:45	95
141,7	8. 10. 2012	10:25	43,8	8. 10. 2012	12:00	95
259,1	9. 11. 2012	7:00	164,9	9. 11. 2012	8:35	95
189,8	22. 11. 2012	9:20	110,1	22. 11. 2012	10:55	95
186,2	26. 11. 2012	19:40	103,7	26. 11. 2012	21:15	95
189,7	22. 12. 2012	17:30	128,0	22. 12. 2012	19:05	95
190,9	23. 12. 2012	18:05	124,1	23. 12. 2012	19:40	95
182,7	5. 7. 2012	9:20	65,4	5. 7. 2012	11:00	100
229,8	12. 7. 2012	4:35	93,8	12. 7. 2012	6:15	100
207,0	14. 7. 2012	7:45	88,9	14. 7. 2012	9:25	100
159,9	18. 7. 2012	21:50	43,5	18. 7. 2012	23:30	100
176,6	25. 7. 2012	18:10	51,0	25. 7. 2012	19:50	100
178,3	30. 9. 2012	10:40	68,4	30. 9. 2012	12:20	100
190,4	1. 10. 2012	19:10	81,5	1. 10. 2012	20:50	100
190,4	18. 10. 2012	18:25	89,5	18. 10. 2012	20:05	100
150,2	24. 10. 2012	10:50	49,1	24. 10. 2012	12:30	100
228,2	16. 11. 2012	7:15	132,0	16. 11. 2012	8:55	100
190,4	21. 11. 2012	19:05	111,2	21. 11. 2012	20:45	100
191,0	22. 11. 2012	16:45	106,2	22. 11. 2012	18:25	100
182,5	27. 11. 2012	18:40	105,3	27. 11. 2012	20:20	100
190,6	4. 12. 2012	13:45	115,5	4. 12. 2012	15:25	100

... se nadaljuje

...nadaljevanje

179,9	14. 12. 2012	22:25	106,3	15. 12. 2012	0:05	100
215,6	19. 12. 2012	17:25	150,5	19. 12. 2012	19:05	100
188,1	20. 12. 2012	18:35	131,7	20. 12. 2012	20:15	100
189,7	24. 12. 2012	16:50	124,8	24. 12. 2012	18:30	100
150,0	2. 7. 2012	11:45	45,7	2. 7. 2012	13:25	105
177,4	20. 7. 2012	19:25	62,6	20. 7. 2012	21:10	105
215,9	22. 7. 2012	1:15	90,3	22. 7. 2012	3:00	105
189,0	23. 7. 2012	20:05	75,8	23. 7. 2012	21:50	105
153,8	31. 7. 2012	9:00	36,9	31. 7. 2012	10:45	105
139,1	12. 10. 2012	19:35	43,5	12. 10. 2012	21:20	105
166,7	23. 11. 2012	20:50	86,6	23. 11. 2012	22:35	105
184,4	25. 11. 2012	12:25	100,0	25. 11. 2012	14:10	105
182,8	5. 12. 2012	7:20	123,4	5. 12. 2012	9:05	105
191,7	13. 12. 2012	17:45	110,9	13. 12. 2012	19:30	105
226,2	19. 12. 2012	7:20	144,1	19. 12. 2012	9:05	105
157,5	29. 6. 2012	12:25	52,4	29. 6. 2012	14:15	110
178,4	24. 7. 2012	19:40	64,6	24. 7. 2012	21:30	110
192,6	23. 10. 2012	18:25	76,5	23. 10. 2012	20:15	110
190,9	20. 11. 2012	7:25	110,2	20. 11. 2012	9:15	110
151,8	8. 12. 2012	23:20	88,7	9. 12. 2012	1:10	110
185,0	14. 12. 2012	17:45	105,8	14. 12. 2012	19:35	110
189,7	24. 12. 2012	12:30	123,5	24. 12. 2012	14:20	110
159,4	23. 10. 2012	11:00	43,1	23. 10. 2012	12:55	115
184,8	23. 11. 2012	17:25	103,3	23. 11. 2012	19:20	115
138,9	2. 7. 2012	20:00	39,6	2. 7. 2012	22:00	120
169,3	19. 7. 2012	13:55	52,0	19. 7. 2012	15:55	120
187,2	21. 7. 2012	7:00	45,2	21. 7. 2012	9:00	120
159,4	27. 7. 2012	22:45	40,0	28. 7. 2012	0:45	120
136,2	3. 9. 2012	22:05	31,3	3. 9. 2012	0:05	120
129,3	17. 9. 2012	20:05	33,4	17. 9. 2012	22:05	120
147,9	11. 10. 2012	20:05	51,8	11. 10. 2012	22:05	120
186,8	15. 10. 2012	8:25	96,9	15. 10. 2012	10:25	120
179,3	26. 11. 2012	11:55	84,8	26. 11. 2012	13:55	120
190,6	6. 12. 2012	17:15	119,5	6. 12. 2012	19:15	120
187,4	12. 12. 2012	17:50	110,9	12. 12. 2012	19:50	120
188,8	20. 12. 2012	7:30	129,9	20. 12. 2012	9:30	120
134,6	30. 6. 2012	21:35	33,8	30. 6. 2012	23:40	125
136,2	3. 7. 2012	17:35	37,3	3. 7. 2012	19:40	125
154,1	3. 8. 2012	22:05	46,0	4. 8. 2012	0:10	125
183,7	14. 9. 2012	8:05	91,6	14. 9. 2012	10:10	125
147,2	15. 9. 2012	19:00	45,9	15. 9. 2012	21:05	125

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

183,4	4. 10. 2012	18:45	67,7	4. 10. 2012	20:50	125
182,9	6. 10. 2012	10:10	71,6	6. 10. 2012	12:15	125
137,9	8. 10. 2012	18:50	40,4	8. 10. 2012	20:55	125
138,5	9. 10. 2012	20:40	41,0	9. 10. 2012	22:45	125
189,3	19. 11. 2012	20:50	113,3	19. 11. 2012	22:55	125
182,0	24. 11. 2012	17:15	103,2	24. 11. 2012	19:20	125
164,2	14. 12. 2012	9:25	90,6	14. 12. 2012	11:30	125
148,6	6. 7. 2012	19:55	36,0	6. 7. 2012	22:05	130
188,3	24. 7. 2012	8:55	74,1	24. 7. 2012	11:05	130
167,6	28. 7. 2012	9:50	46,3	28. 7. 2012	12:00	130
128,6	30. 7. 2012	21:45	25,6	30. 7. 2012	23:55	130
167,7	1. 8. 2012	21:15	49,8	1. 8. 2012	23:25	130
138,7	6. 9. 2012	20:30	35,3	6. 9. 2012	22:40	130
137,2	18. 9. 2012	12:00	26,4	18. 9. 2012	14:10	130
188,4	30. 9. 2012	18:00	76,0	30. 9. 2012	20:10	130
187,8	1. 10. 2012	13:35	67,6	1. 10. 2012	15:45	130
185,0	6. 10. 2012	20:05	72,3	6. 10. 2012	22:15	130
146,4	10. 10. 2012	8:40	44,0	10. 10. 2012	10:50	130
185,4	19. 10. 2012	7:40	83,4	19. 10. 2012	9:50	130
191,6	9. 12. 2012	12:00	87,3	9. 12. 2012	14:10	130
172,0	25. 10. 2012	7:55	65,8	25. 10. 2012	10:05	130
127,0	28. 6. 2012	21:35	28,8	28. 6. 2012	23:50	135
184,1	25. 7. 2012	10:05	69,0	25. 7. 2012	1:20	135
175,0	28. 7. 2012	21:40	43,6	28. 7. 2012	23:55	135
168,9	31. 7. 2012	18:35	39,4	31. 7. 2012	20:50	135
185,2	2. 8. 2012	20:25	51,5	2. 8. 2012	22:40	135
182,7	1. 10. 2012	6:50	69,6	1. 10. 2012	9:05	135
183,5	20. 10. 2012	7:00	73,9	20. 10. 2012	9:15	135
144,0	26. 11. 2012	9:30	70,7	26. 11. 2012	11:45	135
181,4	11. 12. 2012	16:50	103,2	11. 12. 2012	19:05	135
189,1	25. 12. 2012	17:00	122,8	25. 12. 2012	19:15	135
134,2	4. 7. 2012	15:50	34,2	4. 7. 2012	18:10	140
162,1	6. 7. 2012	8:15	32,9	6. 7. 2012	10:35	140
187,4	21. 9. 2012	8:00	72,6	21. 9. 2012	10:20	140
191,2	29. 9. 2012	18:50	80,2	29. 9. 2012	21:10	140
181,9	2. 10. 2012	18:00	71,3	2. 10. 2012	20:20	140
179,0	4. 10. 2012	8:25	66,9	4. 10. 2012	10:45	140
171,8	5. 10. 2012	20:25	58,3	5. 10. 2012	22:45	140
134,7	9. 10. 2012	8:20	38,1	9. 10. 2012	10:40	140
139,9	13. 10. 2012	11:15	32,7	13. 10. 2012	13:35	140
189,4	21. 11. 2012	7:03	106,7	21. 11. 2012	9:50	140

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

188,0	9. 12. 2012	18:00	112,6	9. 12. 2012	20:20	140
172,6	10. 12. 2012	10:45	104,0	10. 12. 2012	13:05	140
139,9	1. 7. 2012	22:00	26,9	2. 7. 2012	0:25	145
151,4	22. 7. 2012	16:45	45,6	22. 7. 2012	19:10	145
144,9	11. 9. 2012	18:50	28,1	11. 9. 2012	21:15	145
148,6	17. 9. 2012	8:25	40,9	17. 9. 2012	10:50	145
189,0	5. 10. 2012	7:30	74,8	5. 10. 2012	9:55	145
188,6	25. 10. 2012	18:00	70,1	25. 10. 2012	20:25	145
128,2	4. 7. 2012	12:35	27,9	4. 7. 2012	15:05	150
116,2	7. 7. 2012	7:40	21,3	7. 7. 2012	10:10	150
157,6	22. 7. 2012	6:45	34,7	22. 7. 2012	9:15	150
178,5	27. 7. 2012	19:00	48,5	27. 7. 2012	21:30	150
134,0	1. 8. 2012	9:35	21,0	1. 8. 2012	12:05	150
132,5	6. 8. 2012	18:20	27,1	6. 8. 2012	20:50	150
136,3	8. 8. 2012	17:50	31,1	8. 8. 2012	20:20	150
128,6	9. 8. 2012	21:50	24,2	10. 8. 2012	0:20	150
124,9	4. 9. 2012	21:05	19,6	4. 9. 2012	23:35	150
160,0	22. 9. 2012	19:35	38,4	22. 9. 2012	22:05	150
166,2	14. 10. 2012	10:55	32,8	14. 10. 2012	13:25	150
192,4	22. 10. 2012	7:45	86,3	22. 10. 2012	10:15	150
189,9	19. 11. 2012	7:45	110,2	19. 11. 2012	10:15	150
192,8	29. 12. 2012	7:50	134,2	29. 12. 2012	10:20	150
122,2	9. 8. 2012	19:40	24,3	9. 8. 2012	22:15	155
136,1	7. 10. 2012	17:55	40,8	7. 10. 2012	20:30	155
144,0	10. 10. 2012	17:50	36,9	10. 10. 2012	20:25	155
172,2	23. 10. 2012	7:40	46,7	23. 10. 2012	10:15	155
181,2	26. 10. 2012	7:15	64,7	26. 10. 2012	9:50	155
124,4	3. 9. 2012	8:40	29,9	3. 9. 2012	11:20	160
191,1	21. 10. 2012	9:40	79,0	21. 10. 2012	12:20	160
140,9	10. 7. 2012	12:45	28,8	10. 7. 2012	15:30	165
126,4	3. 8. 2012	9:55	10,8	3. 8. 2012	13:40	165
107,0	7. 8. 2012	21:20	9,8	7. 8. 2012	0:05	165
177,5	12. 9. 2012	23:15	74,1	13. 9. 2012	2:00	165
142,0	16. 9. 2012	21:35	31,6	17. 9. 2012	0:20	165
178,1	18. 9. 2012	7:40	29,7	18. 9. 2012	10:25	165
190,4	18. 9. 2012	18:50	53,6	18. 9. 2012	21:35	165
135,2	19. 9. 2012	19:10	39,5	19. 9. 2012	21:55	165
154,7	29. 9. 2012	5:50	50,9	29. 9. 2012	8:35	165
166,0	3. 10. 2012	7:50	53,8	3. 10. 2012	10:35	165
119,5	30. 6. 2012	9:15	22,9	30. 6. 2012	12:05	170
111,7	11. 7. 2012	16:00	16,2	11. 7. 2012	18:50	170

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

169,8	13. 10. 2012	16:55	52,1	13. 10. 2012	19:45	170
158,3	14. 10. 2012	18:35	50,7	14. 10. 2012	21:25	170
189,9	24. 10. 2012	17:55	77,8	24. 10. 2012	20:45	170
134,5	10. 7. 2012	18:25	25,8	10. 7. 2012	21:20	175
137,3	30. 7. 2012	11:00	29,8	30. 7. 2012	13:55	175
161,6	14. 8. 2012	8:00	27,7	14. 8. 2012	10:55	175
153,9	4. 8. 2012	9:00	23,8	4. 8. 2012	12:00	180
130,7	31. 8. 2012	13:20	26,7	31. 8. 2012	16:20	180
149,7	10. 8. 2012	17:00	29,2	10. 8. 2012	20:05	185
118,9	31. 8. 2012	19:00	25,0	31. 8. 2012	22:05	185
114,1	19. 9. 2012	8:55	26,0	19. 9. 2012	12:00	185
121,8	9. 7. 2012	11:00	23,2	9. 7. 2012	14:15	195
157,9	2. 8. 2012	8:00	27,9	2. 8. 2012	11:15	195
130,8	5. 7. 2012	21:00	15,4	6. 7. 2012	0:20	200

PRILOGA B: Preglednica časovnih odvisnosti konic Miren–Sovodnje

Miren			Sovodnje			Zakasnitev [min]
H [cm]	Datum	Ura	H [cm]	Datum	Ura	
604,7	28. 10. 2012	2:55	594,3	28. 10. 2012	3:55	60
383,0	27. 10. 2012	11:05	412,6	27. 10. 2012	12:15	70
109,2	20. 9. 2012	14:25	70,6	20. 9. 2012	15:50	85
58,4	12. 10. 2012	6:55	34,9	12. 10. 2012	8:30	95
48,7	19. 9. 2012	18:05	27,3	19. 9. 2012	19:50	105
51,4	12. 7. 2012	14:40	31,3	12. 7. 2012	2:10	110
54,8	12. 10. 2012	14:50	32,2	12. 10. 2012	16:40	110
47,7	14. 10. 2012	7:00	25,5	14. 10. 2012	8:55	115
48,8	11. 10. 2012	6:45	28,9	11. 10. 2012	8:50	125
49,3	24. 9. 2012	20:25	26,3	24. 9. 2012	22:35	130
42,2	2. 9. 2012	23:50	25,0	3. 9. 2012	1:50	130
37,0	6. 7. 2012	14:40	20,6	6. 7. 2012	16:55	135
36,1	7. 7. 2012	12:50	18,4	7. 7. 2012	15:05	135
30,5	11. 7. 2012	16:35	16,2	11. 7. 2012	18:50	135
33,3	11. 7. 2012	6:45	14,2	11. 7. 2012	9:20	155
36,8	12. 9. 2012	14:40	16,7	12. 9. 2012	17:35	175

»Ta stran je namenoma prazna«

PRILOGA C: Poročilo izračuna krivulje trajanja v programu HEC-SSP – Miren I

Duration Analysis

22 sep 2014 04:52 PM

--- Input Data ---

Analysis Name: Miren

Description:

DSS File Name: H:\HEC-SSP\Sovodnje\Sovodnje.dss

DSS Pathname: /Vipava/Miren/Qd_povp//1DAY//

Project Path: H:\HEC-SSP\Sovodnje

Report File Name: H:\HEC-

SSP\Sovodnje\DurationAnalysisResults\Miren\Miren.rpt

Result File Name: H:\HEC-

SSP\Sovodnje\DurationAnalysisResults\Miren\Miren.xml

Duration Analysis Method: Standard

Duration Plot Position Method: Rank/(N+1)

X-Axis Scale: Linear

Y-Axis Scale: Linear

Duration Period: Annual

Use Standard Percent Exceedance

Display ordinate values using 1 digits in fraction part of value

--- End of Input Data ---

Annual Duration Analysis

Time Period: 01Jan - 31Dec

Number Valid Values: 2919

Number Missing Values: 4

Minimum Value: 1,4

Maximum Value: 341,3

Percent of Time Exceeded	Qd_povp cms
99,0	1,6
95,0	2,0
90,0	2,4
80,0	3,0
50,0	6,3
25,0	15,3
15,0	26,2
10,0	39,6
5,0	65,4
2,0	98,7
1,0	155,7
0,1	323,5

PRILOGA D: Poročilo izračuna koincidenčne verjetnostne analize v programu HEC-SSP

Coincident Frequency Analysis
22 sep 2014 05:19 PM

--- Input Data ---

Analysis Name: Sovodnje
Description:

Project Path: H:\HEC-SSP\Sovodnje
Report File Name: H:\HEC-
SSP\Sovodnje\CoincidentFreqResults\Sovodnje\Sovodnje.rpt
Result File Name: H:\HEC-
SSP\Sovodnje\CoincidentFreqResults\Sovodnje\Sovodnje.xml

DSS File Name: H:\HEC-SSP\Sovodnje\Sovodnje.dss

Y-Axis Scale: Linear

Display ordinate values using 2 digits in fraction part of value

Marginal Frequency for Variable A

Exceedance Percent	Flow cms
0,5	4.559,4
1,0	4.138,3
2,0	3.715,7
5,0	3.151,8
10,0	2.716,1
20,0	2.261,9
50,0	1.575,5
80,0	1.066,0
90,0	849,2
95,0	690,0
99,0	429,7

Index-Value Table for Variable B

Occurrance Frequency Percent	Index Value	Exceedance Break Point Percent	Assigned Exceedance Percent
		100.0	
40.0	3,0	60.0	80.0
20.0	6,3	40.0	50.0
15.0	12,6	25.0	32.5
10.0	20,8	15.0	20.0
5.0	32,9	10.0	12.5
4.0	49,9	6.0	8.0
3.0	71,0	3.0	4.5
2.0	98,7	1.0	2.0
1.0	248,9	0.0	0.5

Response Curve for Variable B1 = 3,0

Variable A cms	C = f(A,B1) m.n.m.
4.559,4	38,42
4.138,3	38,13
3.715,7	37,91
3.151,8	37,56
2.716,1	37,14
2.261,9	36,59
1.575,5	35,58
1.066,0	34,61
849,2	34,12
690,0	33,74
429,7	33,04

Response Curve for Variable B2 = 6,3

Variable A cms	C = f(A,B2) m.n.m.
4.559,4	38,42
4.138,3	38,13
3.715,7	37,91
3.151,8	37,56
2.716,1	37,14
2.261,9	36,60
1.575,5	35,58
1.066,0	34,61
849,2	34,13
690,0	33,74
429,7	33,05

Response Curve for Variable B3 = 12,6

Variable A cms	C = f(A,B3) m.n.m.
4.559,4	38,42
4.138,3	38,13
3.715,7	37,91
3.151,8	37,56
2.716,1	37,14
2.261,9	36,60
1.575,5	35,59
1.066,0	34,61
849,2	34,13
690,0	33,75
429,7	33,06

Response Curve for Variable B4 = 20,8

Variable A cms	C = f(A,B4) m.n.m.
4.559,4	38,42
4.138,3	38,13
3.715,7	37,91
3.151,8	37,56
2.716,1	37,14
2.261,9	36,60
1.575,5	35,59
1.066,0	34,62
849,2	34,14
690,0	33,76
429,7	33,08

Response Curve for Variable B5 = 32,9

Variable A cms	C = f(A,B5) m.n.m.
4.559,4	38,42
4.138,3	38,14
3.715,7	37,91
3.151,8	37,56
2.716,1	37,14
2.261,9	36,60
1.575,5	35,60
1.066,0	34,64
849,2	34,17
690,0	33,79
429,7	33,14

Response Curve for Variable B6 = 49,9

Variable A cms	C = f(A,B6) m.n.m.
4.559,4	38,43
4.138,3	38,14
3.715,7	37,92
3.151,8	37,57
2.716,1	37,15
2.261,9	36,61
1.575,5	35,62
1.066,0	34,67
849,2	34,21
690,0	33,86
429,7	33,25

Response Curve for Variable B7 = 71,0

Variable A cms	C = f(A,B7) m.n.m.
4.559,4	38,43
4.138,3	38,14
3.715,7	37,92
3.151,8	37,57
2.716,1	37,15
2.261,9	36,62
1.575,5	35,65
1.066,0	34,72
849,2	34,29
690,0	33,96
429,7	33,42

Response Curve for Variable B8 = 98,7

Variable A cms	C = f(A,B8) m.n.m.
4.559,4	38,43
4.138,3	38,15
3.715,7	37,93
3.151,8	37,58
2.716,1	37,17
2.261,9	36,64
1.575,5	35,69
1.066,0	34,82
849,2	34,41
690,0	34,12
429,7	33,67

Response Curve for Variable B9 = 248,9

Variable A cms	C = f(A,B9) m.n.m.
4.559,4	38,47
4.138,3	38,19
3.715,7	37,98
3.151,8	37,66
2.716,1	37,29
2.261,9	36,83
1.575,5	36,12
1.066,0	35,57
849,2	35,36
690,0	35,23
429,7	35,08

--- End of Input Data ---

Intermediate Response Frequency $P(C|B1)$

Exceedance Percent	$C = f(A, B1)$ m.n.m.
99,000	33,04
97,973	33,33
96,163	33,61
93,246	33,90
88,968	34,18
83,354	34,47
76,302	34,75
68,013	35,04
58,711	35,33
48,933	35,61
39,554	35,90
30,747	36,18
22,929	36,47
16,508	36,76
11,460	37,04
7,449	37,33
4,397	37,61
2,066	37,90
0,882	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency $P(C|B2)$

Exceedance Percent	$C = f(A, B2)$ m.n.m.
100,000	33,04
98,001	33,33
96,178	33,61
93,297	33,90
89,118	34,18
83,420	34,47
76,302	34,75
68,013	35,04
58,711	35,33
48,943	35,61
39,654	35,90
30,920	36,18
23,150	36,47
16,649	36,76
11,489	37,04
7,449	37,33
4,397	37,61
2,066	37,90
0,882	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency P(C|B3)

Exceedance Percent	C = f(A,B3) m.n.m.
100,000	33,04
98,048	33,33
96,259	33,61
93,370	33,90
89,118	34,18
83,420	34,47
76,341	34,75
68,150	35,04
58,957	35,33
49,265	35,61
39,876	35,90
31,040	36,18
23,182	36,47
16,649	36,76
11,489	37,04
7,449	37,33
4,397	37,61
2,066	37,90
0,882	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency P(C|B4)

Exceedance Percent	C = f(A,B4) m.n.m.
100,000	33,04
98,124	33,33
96,356	33,61
93,493	33,90
89,288	34,18
83,647	34,47
76,569	34,75
68,323	35,04
59,048	35,33
49,265	35,61
39,876	35,90
31,040	36,18
23,182	36,47
16,649	36,76
11,489	37,04
7,449	37,33
4,397	37,61
2,066	37,90
0,882	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency $P(C|B5)$

Exceedance Percent	$C = f(A, B5)$ m.n.m.
100,000	33,04
98,348	33,33
96,652	33,61
93,849	33,90
89,782	34,18
84,176	34,47
77,066	34,75
68,810	35,04
59,481	35,33
49,594	35,61
40,102	35,90
31,163	36,18
23,216	36,47
16,649	36,76
11,489	37,04
7,449	37,33
4,397	37,61
2,066	37,90
0,900	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency $P(C|B6)$

Exceedance Percent	$C = f(A, B6)$ m.n.m.
100,000	33,04
98,751	33,33
97,272	33,61
94,587	33,90
90,480	34,18
84,941	34,47
77,833	34,75
69,615	35,04
60,264	35,33
50,279	35,61
40,662	35,90
31,590	36,18
23,510	36,47
16,854	36,76
11,648	37,04
7,571	37,33
4,507	37,61
2,125	37,90
0,903	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency P(C|B7)

Exceedance Percent	C = f(A,B7) m.n.m.
100,000	33,04
100,000	33,33
98,145	33,61
95,764	33,90
91,912	34,18
86,400	34,47
79,108	34,75
70,937	35,04
61,521	35,33
51,368	35,61
41,485	35,90
32,166	36,18
23,854	36,47
17,007	36,76
11,680	37,04
7,571	37,33
4,507	37,61
2,125	37,90
0,903	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency P(C|B8)

Exceedance Percent	C = f(A,B8) m.n.m.
100,000	33,04
100,000	33,33
100,000	33,61
97,626	33,90
94,129	34,18
88,845	34,47
81,902	34,75
73,509	35,04
63,751	35,33
53,003	35,61
42,694	35,90
33,092	36,18
24,492	36,47
17,430	36,76
12,009	37,04
7,773	37,33
4,619	37,61
2,186	37,90
0,922	38,18
0,000	38,47

Intermediate Response Frequency P(C|B9)

Exceedance Percent	C = f(A,B9) m.n.m.
100,000	33,04
100,000	33,33
100,000	33,61
100,000	33,90
100,000	34,18
100,000	34,47
100,000	34,75
100,000	35,04
91,554	35,33
78,148	35,61
63,302	35,90
46,991	36,18
33,934	36,47
22,572	36,76
14,837	37,04
9,380	37,33
5,498	37,61
2,562	37,90
1,020	38,18
0,500	38,47

Computed Coincident Frequency Curve

Exceedance Percent	Gladina m.n.m.
99,600	33,04
98,176	33,33
96,443	33,61
93,614	33,90
89,456	34,18
83,879	34,47
76,867	34,75
68,686	35,04
59,396	35,33
49,551	35,61
40,085	35,90
31,161	36,18
23,243	36,47
16,686	36,76
11,533	37,04
7,483	37,33
4,420	37,61
2,078	37,90
0,887	38,18
0,005	38,47

Interpolated Coincident Frequency Curve

Exceedance Percent	Gladina m.n.m.
0,5	38,22
1,0	38,15
2,0	37,91
5,0	37,55
10,0	37,14
20,0	36,60
50,0	35,60
80,0	34,63
90,0	34,15
95,0	33,77
99,0	33,21