

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:

Ribič, L., 2015. Verjetnostna analiza
pretočnih volumnov s programskim
orodjem HEC - SSP. Diplomaska naloga.
Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta
za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica
Šraj, M., somentor Kryžanowski, A.): 70
str.

Datum arhiviranja: 02-27-2015

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:

Ribič, L., 2015. Verjetnostna analiza
pretočnih volumnov s programskim
orodjem HEC - SSP. B.Sc. Thesis.
Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty
of civil and geodetic engineering.
(supervisor Šraj, M., co-supervisor
Kryžanowski, A.): 70 pp.

Archiving Date: 02-27-2015

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:

LEA RIBIČ

VERJETNOSTNA ANALIZA PRETOČNIH VOLUMNOV S PROGRAMSKIM ORODJEM HEC - SSP

Diplomska naloga št.: 254/VKI

VOLUME FREQUENCY ANALYSIS USING HEC-SSP SOFTWARE

Graduation thesis No.: 254/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Član komisije:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 20. 02. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERATTA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Lea Ribič izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Verjetnostna analiza pretočnih volumnov s programskim orodjem HEC - SSP«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 09. 02. 2015

Lea Ribič

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:556.1(043.2)
Avtor:	Lea Ribič
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Naslov:	Verjetnostna analiza pretočnih volumnov s programskim orodjem HEC – SSP
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	70 str., 17 pregl., 47 sl., 42 en., 3 pril.
Ključne besede:	pretok, volumen, trajanje, verjetnostna analiza, HEC-SSP, krivulja volumen – trajanje, akumulacija

Izvleček

V zadnjih desetletjih se vse pogosteje soočamo s številnimi hidrološkimi problemi, ki predstavljajo velik izziv in preizkušnjo za človeštvo. Danes je potreba po orodjih, ki izvajajo kompleksnejše analize hidrološkega režima, izredno velika, saj se lahko le z ustreznim preučevanjem, predvidevanjem in napovedovanjem možnih ekstremnih dogodkov nanje delno pripravimo in učinkovito izvajamo ukrepe za zaščito.

Poznavanje soodvisnosti pretok – trajanje – verjetnost omogoča kompleksnejšo verjetnostno analizo, ki celoviteje opredeli pojave in vplive različnih posegov na pojave. Verjetnostna analiza pretočnih volumnov vključuje klasično verjetnostno analizo pretokov znotraj vsakega niza z določenim trajanjem. Povprečni pretoki so najprej izračunani na podlagi različnih stalnih trajanj. Nato pa je za vsako trajanje izvedena verjetnostna analiza letnih maksimalnih (minimalnih) pretokov z izbrano teoretično porazdelitvijo.

V diplomski nalogi smo s programom HEC-SSP izvedli verjetnostno analizo pretočnih volumnov na vodomernih postajah v Sloveniji. Na primeru vodomerne postaje Jesenice na reki Savi Dolinki je prikazan celoten potek tovrstne verjetnostne analize, katere rezultate smo v zadnjem delu naloge uporabili na primeru akumulacijskega bazena HE Moste. Poskušali smo prikazati, kako z zadrževanjem maksimalnih pretokov različnih trajanj vplivamo na zmanjšanje pretokov dolvodno od pregrade, ter določili potrebni zadrževalni volumen akumulacije pri danem maksimalnem pretočnem volumnu in ob upoštevanju obratovalnega instaliranega in doinstaliranega pretoka hidroelektrarne Moste.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004.42:556.1(043.2)
Author: Lea Ribič
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
Co-advisor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Title: Volume frequency analysis using HEC – SSP software
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 70 p., 17 tab., 47 fig., 42 eq., 3 ann.
Keywords: flow, volume, duration, frequency analysis, HEC-SSP, volume – duration curves, storage reservoir

Abstract

In recent decades we are increasingly facing with many hydrological problems that pose a great challenge and test for humanity. Today, there is a significant need for tools that perform complex analysis of the hydrological regime. On the possible extreme events can be partially prepared and we can effectively implement measures to protect only through adequate studying, predicting and forecasting them.

Knowing the interdependence of flow – duration – frequency allows more complex frequency analysis, which comprehensively defines the occurrence and impact of different interventions on the phenomena. Volume frequency analysis involves classic frequency analysis of maximum (minimum) flow within each of a set of specified durations. Average flow rates are first calculated based on different fixed durations. Then, for each duration frequency analysis of maximum (minimum) flow is performed with selected theoretical distribution.

In the thesis we performed volume frequency analysis with HEC – SSP software for gauging stations in Slovenia. The entire course of volume frequency analysis is shown for gauging station Jesenice on the river Sava Dolinka. The results were used for the case of the reservoir HPP Moste, where we tried to show how the containment of flood flows with different durations influence on reducing the flow downstream of the barrier. We also determined the necessary containment volume of the reservoir for a given maximum inflow volume and the operational installed flow of the HPP Moste.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu za strokovno pomoč, koristne nasvete in veliko potrpežljivosti pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalila pa bi se tudi svoji družini, partnerju in prijateljem za spodbudne besede in podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	X
1 UVOD	1
1.1 Cilji diplomske naloge.....	2
2 STATISTIKA IN TEORIJA VERJETNOSTI	3
2.1 Osnovni pojmi statistike in verjetnostnega računa	3
2.2 Osnove verjetnostne analize	5
2.3 Empirične porazdelitve.....	6
2.4 Teoretične porazdelitve in metode statistične analize	7
2.4.1 Metode za oceno parametrov porazdelitev	7
2.4.2 Normalna porazdelitev	8
2.4.3 Logaritemska normalna porazdelitev	9
2.4.4 Pearsonova III porazdelitev	9
2.4.5 Logaritemska Pearsonova III porazdelitev	10
2.5 Interval zaupanja	11
3 VERJETNOSTNA ANALIZA PRETOČNIH VOLUMNOV	13
3.1 Teoretične osnove verjetnostne analize pretočnih volumnov.....	13
3.1.1 Vzorčenje.....	13
3.1.2 Ocena povratne dobe in QdF model	15
3.2 Uporaba verjetnostne analize pretočnih volumnov	18
3.2.1 Uporaba verjetnostni krivulj letnih maksimalnih n-dnevni pretokov	18

4 PROGRAM HEC-SSP	21
4.1 Opis in delovanje programa	21
4.2 Verjetnostna analiza pretočni volumnov v programu HEC-SSP	22
4.2.1 Možnosti nastavitve verjetnostne analize	22
4.2.2 Vzorec letnih maksimalnih (minimalnih) pretokov	25
4.3 Izračun in rezultati verjetnostne analize pretočnih volumnov	26
 5 PRIMER VERJETNOSTNE ANALIZE MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA VODOMERNI POSTAJI JESENICE NA REKI SAVI DOLINKI	27
5.1 Opis obravnavanega vodotoka	27
5.2 Vhodni podatki	28
5.2.1 Vodomerna postaja Jesenice	28
5.3 Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov	30
5.4 Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov	32
5.4.1 Normalna porazdelitev	34
5.4.2 Logaritemska normalna porazdelitev	35
5.4.3 Pearsonova III porazdelitev	37
5.4.4 Logaritemska Pearsonova III porazdelitev	38
 6 VERJETNOSTNA ANALIZA MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA VODOMERNIH POSTAJAH NA REKI SAVI	41
6.1 Vhodni podatki	41
6.2 Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov reke Save	41
6.3 Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov reke Save	42
 7 UPORABA VERJETNOSTNIH KRIVULJ MAKISMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA PRIMERU AKUMULACIJSKEGA BAZENA HE MOSTE	44
7.1 Hidroelektrarna Moste	44
7.2 Vhodni podatki	46
7.3 Verjetnostne krivulje volumen – trajanje	48

7.4 Analiza rezultatov	50
7.4.1 Vpliv akumulacije na zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov	50
7.4.1.1 Instalirani obratovalni pretok $26 \text{ m}^3/\text{s}$	51
7.4.1.2 Instalirani obratovalni pretok $70 \text{ m}^3/\text{s}$	53
7.4.1.3 Komentar na zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov	56
7.4.2 Maksimalni zadrževalni volumen akumulacije	57
7.4.2.1 Instalirani obratovalni pretok $26 \text{ m}^3/\text{s}$	57
7.4.2.2 Instalirani obratovalni pretok $70 \text{ m}^3/\text{s}$	60
7.4.2.3 Komentar k določitvi maksimalnih zadrževanih volumnov akumulacije.....	63
8 ZAKLJUČKI	64
VIRI	66

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Lastnosti vodomerne postaje Jesenice.....	28
Preglednica 2: Postopek izračuna n-dnevni povprečni pretok po metodi drsečih sredin	32
Preglednica 3: Letni maksimalni n-dnevni pretoki oz. letni maksimalni pretočni volumni reke Save Dolinke na VP Jesenice	32
Preglednica 4.1: Normalno porazdeljene verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice	34
Preglednica 4.2: Parametri normalne porazdelitve.....	34
Preglednica 5.1: Logaritemsko normalno porazdeljene verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice	35
Preglednica 5.2: Parametri logaritemske normalne porazdelitve	36
Preglednica 6.1: Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice porazdeljene po Pearsonovi III porazdelitvi	37
Preglednica 6.2: Parametri Pearsonove III porazdelitve	37
Preglednica 7.1: Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice porazdeljene po logaritemski Pearsonovi III porazdelitvi	38
Preglednica 7.2: Parametri logaritemske Pearsonove III porazdelitve.....	39
Preglednica 8: Lastnosti obravnavanih vodomernih postaj na reki Savi.....	41
Preglednica 9: Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov in visokovodnih konic obravnavanih vodomernih postaj na reki Savi za izbrane povratne dobe	42
Preglednica 10: Ocenjeni letni maksimalni n-dnevni pretoki pri različnih povratnih dobah.....	46
Preglednica 11: Vhodni podatki akumulacije	48
Preglednica 12: Maksimalni potrebni volumni akumulacije pri posameznih povratnih dobah ob upoštevanju 26 m ³ /s obratovalnega pretoka.....	60
Preglednica 13: Maksimalni potrebni volumni akumulacije pri posameznih povratnih dobah ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka.....	63

KAZALO SLIK

Slika 1: Določitev maksimalnega povprečnega pretoka Q_d za različna trajanja (Povzeto po Javelle in sod., 2002)	14
Slika 2: Opredelitev spremenljivke $Q_d(t)$	14
Slika 3: Ujemanje statistične porazdelitve z novo oblikovanim vzorcem	15
Slika 4: Samo-afinitetna porazdelitev (Povzeto po Javelle in sod., 2002)	16
Slika 5: Kvantil $Q(d, T)$ za različne povratne dobe v obliki hiperbole (Povzeto po Javelle in sod., 2002)	16
Slika 6: Pomen parametra Δ (Povzeto po Javelle in sod., 2002)	17
Slika 7: Krivulje volumen – trajanje z določeno verjetnostjo presežanja (oziroma povratno dobo) (Povzeto po USACE, 1993)	19
Slika 8: Izračun potrebne kapacitete zadrževalnika s pomočjo verjetnostne krivulje volumen-trajanje (Povzeto po USACE, 1993)	20
Slika 9: Program HEC-SSP	21
Slika 10: Graf dnevni povprečni pretoki za posamezna leta, ki prikazuje obdobje tipičnega pojavljanja visokih oz. nizkih vod	23
Slika 11: Primer verjetnostnih krivulj za posamezna trajanja v programu HEC-SSP	26
Slika 12: Izvir Save Dolinke v Zelencih (24ur.com, 2010)	27
Slika 13: Lokacija vodomerne postaje Jesenice na reki Savi Dolinki	29
Slika 14: Vodomer na postaji Jesenice na reki Savi Dolinki (foto: Ribič, 2015)	29
Slika 15: Dnevni pretoki reke Save Dolinke na VP Jesenice za obdobje od leta 1952 do 2012	30
Slika 16: Dnevne vrednosti pretokov za vsa obravnavana leta	31
Slika 17: Izbrani n-dnevni povprečni pretoki Save Dolinke na VP Jesenice v koledarskem letu 2012	31
Slika 18: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo normalne porazdelitve	35
Slika 19: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo logaritemske normalne porazdelitve	36
Slika 20: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo Pearsonove III porazdelitve	38
Slika 21: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo logaritemske Pearsonove III porazdelitve	39
Slika 22: Pregrada hidroelektrarne Moste v Kavčkah (Podhraški, 2005)	45
Slika 23: Shema izgradnje nadomestnega sistema z možnostjo povečanja instalacije za optimalno energetska izrabo (Povzeto po Obnova HE Moste, 2014)	46

Slika 24: Lokacija vodomerne postaje Jesenice (označena z rdečo) in akumulacijski bazen HE Moste (Atlas okolja, 2013).....	47
Slika 25: Linija volumna akumulacijskega bazena hidroelektrarne Moste (Povzeto po Kryžanowski in Polak, 1996)	48
Slika 26: Konstruiranje verjetnostnih krivulj pretok – trajanje za izbrane povratne dobe	49
Slika 27: Verjetnostne krivulje volumen – trajanje za izbrane povratne dobe.....	49
Slika 28.1: Zmanjšanje pretočnega volumna z 10-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	51
Slika 28.2: Zmanjšanje pretočnega volumna z 20-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	51
Slika 28.3: Zmanjšanje pretočnega volumna s 50-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	52
Slika 28.4: Zmanjšanje pretočnega volumna s 100-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	52
Slika 28.5: Zmanjšanje pretočnega volumna s 1000-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	53
Slika 29.1: Zmanjšanje pretočnega volumna z 10-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	54
Slika 29.2: Zmanjšanje pretočnega volumna z 20-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	54
Slika 29.3: Zmanjšanje pretočnega volumna s 50-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	55
Slika 29.4: Zmanjšanje pretočnega volumna s 100-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	55
Slika 29.5: Zmanjšanje pretočnega volumna s 1000-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka.....	56
Slika 30.1: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 10-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka	57
Slika 30.2: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 20-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka	58
Slika 30.3: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 50-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka	58
Slika 30.4: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 100-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka	59
Slika 30.5: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 1000-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka	59

Slika 31.1: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 10-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka	60
Slika 31.2: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 20-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka	61
Slika 31.3: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 50-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka	61
Slika 31.4: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 100-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka	62
Slika 31.5: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 1000-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m ³ /s obratovalnega pretoka	62

1 UVOD

V zadnjih desetletjih se vse pogosteje soočamo s številnimi hidrološkimi problemi, ki predstavljajo velik izziv in preizkušnjo za človeštvo. Na ekstremne hidrološke dogodke (poplave, suše, ...), ki navadno nastanejo kot zaporedje slučajnih dogodkov v naravi ima človek zelo omejen vpliv, zato je pomembno poiskati ustrezne rešitve s preučevanjem, predvidevanjem in napovedovanjem možnih dogodkov. Večja kot kadarkoli prej, je danes potreba po orodjih, ki izvajajo kompleksnejše analize hidrološkega režima. Verjetnostna analiza je pogosto uporabljeno orodje za opisovanje ekstremnih hidroloških dogodkov, kjer ugotavljamo verjetnost določenega hidrološkega pojava na podlagi preteklih dogodkov. Vendar pa klasične verjetnostne analize pogosto opišejo nek dogodek le po njegovi trenutni maksimalni ali minimalni vrednosti, kar je sicer bistveno, vendar v mnogih primerih nezadostno. Navadno nas pri poplavi ne zanima le njena maksimalna vrednost, temveč tudi kakšen je obseg (volumen) in trajanje poplave.

Poznavanje velikosti in pogostosti pojavljanja ekstremnih hidroloških dogodkov sta pomembna dejavnika za učinkovito načrtovanje rabe vode in prostora, gospodarjenje z vodnimi viri, zaščito pred poplavami, ipd. Iz inženirskega stališča je poznavanje obeh nujno pri načrtovanju nasipov, prepustov, hidroelektrarn in drugih hidrotehničnih objektov. Iz socialno ekonomskega vidika pa te informacije koristijo pri ocenjevanju poplavnih škod, za oblikovanje evakuacijskih načrtov, pri načrtovanju rabe zemljišča, za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka, itd. Informacije o visokovodnih pretokih postanejo veliko bolj dragocene, če se jih uporablja v povezavi s pripadajočim trajanjem oziroma volumnom, saj brez teh načrtovanje zadrževalnikov, drenaž, objektov za shranjevanje meteorne vode, ipd, niti ni mogoče. Poznavanje soodvisnosti pretok – trajanje – verjetnost (angl. *flow – duration – frequency*) ali QdF tako omogoča kompleksnejšo verjetnostno analizo vodnega režima, ki celoviteje opredeli pojave in vplive različnih posegov na pojave. Ne nazadnje pa so te informacije še toliko bolj pomembne z vidika ustreznega dimenzioniranja konstrukcij, saj se tako lahko izognemo nepotrebnim visokim stroškom na eni strani ali visokega tveganja na drugi (Devulapalli in Valdes, 1996).

QdF krivulje so ekvivalentne dobro poznanim krivuljam intenziteta – trajanje – verjetnost (angl. *intensity – duration – frequency (IDF) curves*), ki se uporabljajo pri modeliranju ekstremnih padavin oz. predstavljajo razmerje med intenziteto in trajanjem padavin z določeno verjetnostno oz. povratno dobo. Razlika je v tem, da se QdF krivulje uporabljajo za pretoke.

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov oz. verjetnostna analiza pretok – trajanje ali QdF vključuje klasično verjetnostno analizo pretokov znotraj vsakega niza z določenim trajanjem. Povprečni pretoki so najprej izračunani na podlagi različnih stalnih trajanj. Nato pa je za vsako trajanje izvedena

verjetnostna analiza maksimalnih ali minimalnih pretokov z izbrano teoretično porazdelitvijo. Dejansko so to volumni, ki pa so zaradi lažje interpretacije in primerjave s koničnimi pretoki izraženi kot povprečni pretoki določenega trajanja. Tovrstno verjetnostno analizo lahko izvajamo s programskim orodjem HEC-SSP. Program je razvil Hidrološki inženirski center ameriške vojske, v katerega je združil različne statistične analize, ki se izvajajo na osnovi hidroloških podatkov.

V teoretičnem delu diplomske naloge je najprej nekaj besed namenjenih statistiki v hidrologiji ter teoriji verjetnostnega računa in s tem v povezavi tudi predstavitev verjetnostne analize pretočnih volumnov. Predstavljeno je programsko orodje HEC-SSP, s katerim je bila v praktičnem delu naloge izvedena verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov za vodomerne postaje v Sloveniji. Na primeru vodomerne postaje Jesenice na reki Savi Dolinki je prikazan potek tovrstne verjetnostne analize, katere rezultate smo v zadnjem delu naloge uporabili na primeru akumulacijskega jezera hidroelektrarne Moste.

1.1 Cilji diplomske naloge

Cilji diplomske naloge so (1) predstaviti teoretične osnove verjetnostne analize pretočnih volumnov, (2) s programom HEC-SSP prikazati potek izračuna verjetnostne analize pretočnih volumnov na primeru vodomerne postaje Jesenice na reki Savi Dolinki, (3) izvesti tovrstno verjetnostno analizo za vodomerne postaje v Sloveniji in (4) preveriti uporabnost rezultatov verjetnostne analize pretočnih volumnov (verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov) na primeru hidroelektrarne Moste. Poskušali smo prikazati kako in v kolikšni meri lahko z zadrževanjem letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov vplivamo na zmanjšanje pretokov dolvodno od pregrade ter s pomočjo verjetnostnih krivulj volumen – trajanje določiti potrebni zadrževalni volumen akumulacije pri danem pretočnem volumnu in ob upoštevanje obratovalnega instaliranega in doinstaliranega pretoka hidroelektrarne Moste.

2 STATISTIKA IN TEORIJA VERJETNOSTI

Uporaba statistike in teorije verjetnosti v hidrologiji je neizogibna, saj se v naravi vsakodnevno srečujemo z hidrološkimi procesi, ki se zgodijo naključno. Kompleksne hidrološke probleme pa lahko rešujemo le, če dobro poznamo hidrološke spremenljivke (padavine, pretoki, vodostaji, odtoki ipd.) ter jih znamo pravilno zbirati, razvrščati, urejati in seveda tudi analizirati.

2.1 Osnovni pojmi statistike in verjetnostnega računa

Statistika je veda, ki se ukvarja z obravnavanjem velikega števila podatkov (Turk, 2012), kar pomeni da oblikuje reprezentativne vzorce iz populacije in na osnovi teh sklepa o celotni populaciji oziroma oceni lastnost celotne populacije z želeno točnostjo (Kraner Šumenjak, 2014).

Osnovni pojmi v statistiki so: populacija, enota populacije in vzorec. Populacija je celotna množica elementov (možnih dogodkov nekega pojava), posamezni element populacije se imenuje enota populacije in vzorec je tisti del populacije, s katerim ocenimo lastnost populacije (Brilly in Šraj, 2005).

Matematični temelj statistike pa je verjetnostni račun. Ob tem pa se srečamo z osnovnimi pojmi, kot so poskus, dogodek, verjetnost dogodka, slučajna spremenljivka in porazdelitvena funkcija. Turk (2012) v svojem delu navaja, da je poskus opazovani splet pojavov, rezultat oz. izid nekega poskusa je dogodek, kjer enaki poskusi lahko rezultirajo v različne dogodke. Verjetnost dogodka pa obravnavamo kot vrednost, ki nam pove kolikšna je možnost, da je izid poskusa določen dogodek oziroma je definirana s tremi aksiomi verjetnosti (Turk, 2012):

1. Verjetnost dogodka leži med nič in ena:

$$0 \leq P[X_i] \leq 1. \quad (1)$$

2. Vsota verjetnosti vseh možnih dogodkov v enem poskusu je enaka ena:

$$\sum_i P(X_i) = 1. \quad (2)$$

3. Verjetnost vsote dveh nezdružljivih dogodkov X_1 in X_2 je vsota njunih verjetnosti:

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

Na osnovi teh aksiomov pa se lahko dokaže tudi izreke verjetnosti (Turk, 2012).

Ker so hidrološki pojavi slučajni (enkratni) pojavi, jih opišemo s slučajnimi spremenljivkami. Slučajna spremenljivka lahko zavzame različne vrednosti, katero vrednost zavzame pa je odvisno od slučaja (Turk, 2012). Z drugimi besedami bi lahko tudi rekli, da je slučajna spremenljivka funkcija, ki vsakemu poskusu priredi neko realno število (Kramar Fijavž, 2011).

Verjetnostna teorija je zasnovana na aksiomu, ki pravi, da ima vsak elementarni slučajni dogodek x_i mero verjetnosti p_i in velja (Brilly in Šraj, 2005):

$$\begin{aligned} 0 < p_i < 1, \\ \sum p_i = 1, \quad \text{kjer je } i = 1, 2, 3, \dots, n. \end{aligned} \quad (4)$$

Porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ slučajne spremenljivke X je definirana kot verjetnost, da slučajna spremenljivka zavzame vrednost, ki je manjša ali enaka x (Turk, 2012):

$$F_X(x) = P(X \leq x), \quad -\infty < x < +\infty. \quad (5)$$

Slučajne spremenljivke so lahko diskretne, zvezne ali diskretno-zvezne (mešane).

Če slučajna spremenljivka X zavzame eno od vrednosti $x_1, x_2, \dots, x_n$ s pripadajočimi verjetnostmi $p_1, p_2, \dots, p_n$ je spremenljivka diskretna in velja (Brilly in Šraj, 2005):

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (6)$$

Če slučajna spremenljivka zavzame katerokoli vrednost nekega končnega ali neskončnega intervala (a, b) pa je spremenljivka zvezna in za vsak x iz tega intervala lahko zapišemo (Brilly in Šraj, 2005):

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x < X < x + \Delta x)}{\Delta x} = f_X(x), \quad (7)$$

kjer je $f_X(x)$ funkcija gostote verjetnosti.

V primeru da gre za kombinacijo diskretne in zvezne spremenljivke pa je verjetnostna porazdelitev mešana in je porazdelitvena funkcija enaka (Brilly in Šraj, 2005):

$$F_X(x_i) = P(x = 0) + \int_0^{x_i} f_X(x) dx, \quad \text{za } x_i > 0. \quad (8)$$

Lastnosti statističnih populacij nam podajo karakteristična števila, ki jih določamo z momenti. Najpogosteje se uporabljajo momenti prvih štirih razredov. Moment r -tega reda je definiran (Brilly in Šraj, 2005):

$$E(x - x_0)^r = \sum_{i=1}^n p(x_i)(x_i - x_0)^r \quad \text{za diskretno spremenljivko,} \quad (9)$$

$$E(x - x_0)^r = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)(x - x_0)^r dx \quad \text{za zvezno spremenljivko.} \quad (10)$$

2.2 Osnove verjetnostne analize

Ena izmed najpomembnejših analiz hidroloških podatkov je verjetnost nastopa določenega pojava, kjer lahko na podlagi preteklih dogajanj napovedujemo dogodke v prihodnosti. Vsak dogodek ima določeno verjetnost nastopa in zaradi lažjega razumevanja se v praksi namesto porazdelitvene funkcije uporablja njena recipročna vrednost, to je povratna doba dogodka. S povratno dobo ocenimo časovni interval med dogodki (ARSO, 2013). Verjetnost nastopa določenega pojava se tako ne podaja v odstotkih, temveč v letih. Z izrazom (11) je določena povezava med porazdelitveno funkcijo in povratno dobo (Brilly in Šraj, 2005):

$$T(x) = \frac{1}{1-F_X(x)}. \quad (11)$$

Pri verjetnostni analizi je ključna povezanost velikosti hidrološkega pojava z njegovo pogostostjo pojavljanja. Z analizo tako določimo pogostost pojavljanja ekstremnih dogodkov (kot so na primer poplave) za povratne dobe, ki so daljše od opazovanega časovnega obdobja. Pri tem mora biti zagotovljena homogenost in neodvisnost hidroloških podatkov. Ker so ekstremni dogodki slučajne spremenljivke, jih lahko opišemo z verjetnostnimi porazdelitvami (Begueria, 2005).

Ker nas zanimajo maksimalne vrednosti, se v ta namen lahko pripravijo vzorci na osnovi letnih maksimumov (minimumov), po t.i. metodi letnih maksimumov (minimumov) (angl. *annual maximum (minimum) series*) ali na osnovi pretokov nad (pod) izbrano vrednostjo (pragom), t.i. POT metoda (angl. *peaks over threshold*). Pri metodi letnih maksimumov (minimumov) so v vzorcu vsebovani samo največji (najmanjši) pretoki vsakega posameznega leta. Torej imamo v vzorcu toliko elementov, kolikor imamo let podatkov. Pri POT metodi pa se v vzorec vključi vse pretoke nad (pod) izbrano vrednostjo praga. Velikost vzorca je odvisna od izbire vrednosti praga in izpolnjenega pogoja neodvisnosti (Rao in Hamed, 2000).

Ko imamo oblikovan vzorec je naslednji korak izbira verjetnostne porazdelitve, s katero izračunamo verjetnost pojava. Z empirično porazdelitvijo določimo verjetnost posameznega merjenega podatka, to pa nam nato omogoča lažjo izbiro teoretične porazdelitve, saj poskušamo poiskati tako, ki se najbolj prilega obravnavanemu vzorcu. Empirične porazdelitve ne dajejo rezultatov pri izredno redkih pojavih, zato je uporaba teoretičnih nujna. Čeprav se posamezne teoretične porazdelitve enako dobro prilegajo vzorcu, je lahko pri velikih povratnih dobah odstopanje med njimi veliko. Zato pravilna izbira zahteva znanje in izkušnje ter številna testiranja ustreznosti porazdelitve (Brilly in Šraj, 2005).

2.3 Empirične porazdelitve

Empirične porazdelitve uporabljamo za grafični prikaz verjetnosti posameznega merjenega podatka. Elemente vzorca velikost n uredimo v ranžirno vrsto – razvrstimo v naraščajočem vrstnem redu, jih oštevilčimo z naravnimi števili in določimo verjetnost posameznega elementa. Oblika empirične porazdelitvene funkcije je (Brilly in Šraj, 2005):

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1, \\ \frac{i}{n} & x_1 \leq x < x_n, \\ 1 & x \geq x_n, \end{cases} \quad (12)$$

kjer je:

- i mesto elementa x v ranžirni vrsti (rang),
- x_1 prvi element v vrsti (najmanjši),
- x_n zadnji element v vrsti (največji),
- n število elementov v vzorcu.

S tem določimo verjetnost dogodka znotraj intervala (x_1, x_n) , torej samo za analizirani vzorec. Ker pa nas po navadi zanima verjetnost za celotno populacijo so različni avtorji podali enačbe za določanje relativnega ranga, ki dopuščajo verjetnost za dogodke zunaj intervala (Brilly in Šraj, 2005; Haan, 2002):

$$\begin{aligned} F_i &= \frac{i}{n}, & (\text{California}) \\ F_i &= \frac{(i-0,5)}{n}, & (\text{Hazen}) \\ F_i &= \frac{i}{(n+1)}, & (\text{Weibull}) \\ F_i &= \frac{(i-0,4)}{(n+0,2)}, & (\text{Cunnane}) \\ F_i &= \frac{(i-0,44)}{(n+0,12)}, & (\text{Gringorton}) \\ F_i &= \frac{(i-0,26)}{(n+0,5)}, & (\text{Adamowski}) \end{aligned} \quad (13)$$

Z enačbami (13) tako določimo verjetnost posameznega podatka. V sredini porazdelitve dajo vse enačbe podobne rezultate, največje razlike so v repih porazdelitve. Empirične porazdelitve nam torej omogočajo, da izberemo ustrezno teoretično porazdelitev, ki se najbolj prilega izračunanim verjetnostim (Bezák, 2012).

2.4 Teoretične porazdelitve in metode statistične analize

Teoretične porazdelitve so podane z matematičnimi enačbami, te pa vsebujejo parametre in koeficiente (Brilly in Šraj, 2005). Najpogosteje se uporabljajo porazdelitve, ki vsebujejo dva ali tri parametre. Osnovno načelo pri izbiri ustrezne porazdelitve je, da izberemo tisto z najmanj parametri, ki še prinaša zadovoljivo ujemanje (Kučič, 2007). Parametre običajno ocenimo na osnovi vzorčnih ocen (iz podatkov vzorca izračunane vrednosti). Osnovne vzorčne ocene so: povprečje, mediana, mod, standardna deviacija, koeficient asimetrije, itd. Parametre lahko ocenimo z različnimi metodami, točkovno ali intervalno. Za ocene pretokov, se v praksi zelo pogosto izvajajo kar transformacije teoretičnih porazdelitev, tako da se uporabi enačba linearne transformacije, ki poda zvezo med velikostjo in pogostostjo pojavljanja nekega dogodka (Brilly in Šraj, 2005):

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

kjer je μ_X srednja vrednost, σ_X standardna deviacija, T povratna doba in $z(T)$ faktor frekvenca, ki je odvisen od povratne dobe T in je za različne porazdelitve podan v tabelarni obliki v literaturi oz. ga lahko izračunamo z ustreznimi računalniškimi programi.

V nadaljevanju so na kratko predstavljene teoretične porazdelitve in metode za oceno parametrov, ki jih uporablja program HEC-SSP pri verjetnostnih analizah.

2.4.1 Metode za oceno parametrov porazdelitev

Na podlagi vzorca ocenimo parametre, ki definirajo lastnost verjetnostne porazdelitve. Metode, ki se najpogosteje uporabljajo za ocenjevanje le teh so: metoda momentov, metoda momentov L in metoda največjega verjetja. Tu gre za točkovno oceno, saj parameter ocenimo z eno samo vrednostjo (Turk, 2011; Brilly in Šraj, 2005). Poleg točkovne ocene pa ga lahko ocenimo tudi intervalno z metodo intervala zaupanja, kjer ob izbrani stopnji zaupanja $(1-\alpha)$ podamo območje, v katerega je vključen ta parameter (Turk, 2012). Izbor metode močno vpliva na same rezultate verjetnostne analize (Hosking in Wallis, 1997). Program HEC-SSP za oceno parametrov uporablja metodo momentov.

Metoda momentov je najpogosteje uporabljena metoda, saj je v primerjavi z ostalimi enostavna za uporabo. S pomočjo ocen momentov oz. karakterističnih števil (srednje vrednosti, standardne deviacije, itd.) ocenimo parametre porazdelitve, tako da izenačimo teoretične momente porazdelitve in momente izračunane iz vzorca (Brilly in Šraj, 2005). Hosking in Wallis (1997) sta s primerjavo metode momentov in momentov L ugotovila, da metoda momentov daje dobre rezultate pri simetričnih porazdelitvah, pri asimetričnih vzorcih pa je dokaj nezanesljiva.

Pri metodi momentov se tako iz vzorca velikosti n izračuna ocene parametrov porazdelitve (Maidment, 1993):

$$\text{oceno srednje vrednosti:} \quad \mu_X = \bar{X}^* = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (15)$$

$$\text{oceno variance:} \quad \sigma_X^2 = S_X^{*2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}, \quad (16)$$

$$\text{oceno koeficienta asimetrije:} \quad C_S = C_S^* = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_X^3}, \quad (17)$$

kjer je X_i element vzorca in n velikost vzorca.

2.4.2 Normalna porazdelitev

Gaussova ali normalna porazdelitev je porazdelitev, ki se v statistiki zelo pogosto uporablja, zlasti pri analizi pogreškov in testiranju vzorcev, ko nas zanima kako so podatki raztreseni okoli srednje vrednosti (Brilly in Šraj, 2005). Razvil jo je nemški matematik C. F. Gauss in drugi, ko so analizirali slučajne napake pri merjenjih (Kottegoda in Rosso, 2008).

Uporablja se za zvezno porazdeljene slučajne spremenljivke. Funkcija je simetrična in dvoparameterska – parametra sta srednja vrednost (ali matematično upanje ali pričakovana vrednost) μ_x in standardna deviacija σ_x . Srednja vrednost ima vpliv na lego krivulje (položaj krivulje na x osi), standardna deviacija pa na obliko krivulje (raztegnjenost krivulje v smeri x) (Brilly in Šraj, 2005).

Gostota verjetnosti $f_X(x)$:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu_X)^2 / 2\sigma_X^2}. \quad (18)$$

Porazdelitvena funkcija $F_X(x)$:

$$F_X(x) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(x-\mu_X)^2 / 2\sigma_X^2} dx. \quad (19)$$

Če v funkcijo gostote uvedemo novo spremenljivko $z = \frac{x-\mu_X}{\sigma_X}$ pa dobimo standardizirano normalno porazdelitev, ki je enostavnejša za uporabo in za katero velja $\mu = 0$ in $\sigma^2 = 1$ (Košmelj in sod., 1994; Brilly in Šraj, 2005):

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad -\infty < z < +\infty. \quad (20)$$

2.4.3 Logaritemska normalna porazdelitev

Iz normalne porazdelitve izhaja logaritemska normalna porazdelitev, kjer so podatki transformirani v logaritme (McCuen, 2003). Če za normalno porazdeljeno slučajno spremenljivko X velja, da je $X = \ln Y$, potem je slučajna spremenljivka Y porazdeljena logaritemsko normalno (Turk, 2012). Je dvoparametrski in asimetrični porazdelitev, ki je določena samo za spremenljivke večje od 0 (Brilly in Šraj, 2005).

Enačbi za gostoto verjetnosti $f_X(x)$ in porazdelitveno funkcijo $F_X(x)$ logaritemsko normalne porazdelitve sta:

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu_Y)^2 / 2\sigma_Y^2}, \quad (21)$$

$$F_X(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma_Y\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu_Y)^2 / 2\sigma_Y^2} dx \quad x > 0, \quad (22)$$

kjer sta srednja vrednost σ_Y in standardna deviacija μ_Y enaki:

$$\sigma_Y = \left[\ln \left(1 + \frac{\sigma_X^2}{\mu_X^2} \right) \right]^{1/2} \quad \text{in} \quad (23)$$

$$\mu_Y = \ln \mu_X - \frac{\sigma_Y^2}{2}.$$

Porazdelitev se pogosto uporablja za verjetnostno analizo visokovodnih konic oz. maksimalnih pretokov, saj je enostavna za uporabo in se po navadi dobro ujema s podatki.

2.4.4 Pearsonova III porazdelitev

Pearsonova III porazdelitev se zelo pogosto uporablja v hidrologiji za analizo maksimalnih (minimalnih) pretokov. Gre za eno od gama porazdelitev, ki izhajajo iz eksponentne porazdelitve (Brilly in Šraj, 2005). Gama funkcija ima obliko:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx. \quad (24)$$

Pearsonova III porazdelitev je troparametrski in asimetrični porazdelitev.

Gostota verjetnosti $f_X(x)$ in porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ (Brilly in Šraj, 2005; Kučič, 2007):

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-\xi}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta}, \quad (25)$$

$$F_X(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_{\xi}^x \left(\frac{x-\xi}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta} dx, \quad (26)$$

kjer so α , β in ξ parametri, ki določajo porazdelitev in $\Gamma(\alpha)$ je gama funkcija. Če je $\xi > 0$, lahko spremenljivka zavzame vrednosti med $\xi \leq x < \infty$ (Hosking in Wallis, 1997). α je lahko pozitivna ali negativna vrednost, vendar pri negativni vrednosti je porazdelitev navzdol omejena in zato neprimerna za analizo ekstremnih pojavov (Kučič, 2007).

Splošno veljavni momenti Pearsonove III porazdelitve so (Maidment, 1993):

$$\begin{aligned} \mu_X &= \xi + \frac{\alpha}{\beta} && \text{(srednja vrednost),} \\ \sigma_X &= \sqrt{\frac{\alpha}{\beta^2}} && \text{(standardna deviacija),} \\ C_s &= \frac{2}{\sqrt{\alpha}} && \text{(koeficient asimetrije).} \end{aligned} \quad (27)$$

2.4.5 Logaritemska Pearsonova III porazdelitev

Logaritemska Pearsonova III porazdelitev je članica družine Pearson III porazdelitve in izhaja iz gama porazdelitve. Zelo pogosto se uporablja pri analizi visokovodnih pretokov (Brilly in Šraj, 2005).

Pri tej porazdelitvi gre za logaritemsko transformacijo podatkov (McCuen, 2003). Slučajna spremenljivka X sledi logaritemski Pearsonovi III porazdelitvi, če slučajna spremenljivka $Y = \ln X$ (oz. $Y = \log X$) sledi Pearsonovi III porazdelitvi (Flood Manager, 2014).

Gostota verjetnosti $f_X(x)$ in porazdelitvena funkcija $F_X(x)$ (Kučič, 2007):

$$f_X(x) = \frac{1}{x\beta\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln x - \xi}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(\ln x - \xi)/\beta}, \quad (28)$$

$$F_X(x) = \frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)} \int_0^x \frac{1}{x} \left(\frac{\ln x - \xi}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-(\ln x - \xi)/\beta} dx, \quad (29)$$

kjer so α , β in ξ parametri porazdelitve.

Vsem opisanim porazdelitvam pa je skupno, da za enostavnejšo oceno pretokov različnih povratnih dob lahko uporabimo kar enačbo linearne transformacije (14). Pri logaritemskih porazdelitvah so parametri izračunani na podlagi logaritmiranih vrednosti pretokov. Faktor frekvence $z(T)$ je odvisen od povratne dobe T (pri troparametrskih porazdelitvah pa tudi od koeficienta asimetrije) in ga odčitamo iz preglednic v literaturi ali ga izračunamo z ustreznimi računalniškimi programi. Za oceno

parametrov porazdelitve pa lahko uporabimo metodo momentov, metodo momentov L ali metodo največjega verjetja. Pri metodi momentov srednjo vrednost, standardno deviacijo in koeficient asimetrije ocenimo z enačbami (15), (16) in (17).

2.5 Interval zaupanja

Interval zaupanja je tudi ena od oblik za ocenjevanje porazdelitvene funkcije oz. parametrov porazdelitve. Z metodo intervala zaupanja določimo intervalno oceno. Določimo območje oz. meje območja, za katere z določeno stopnjo zaupanja $(1 - \alpha)$ trdimo, da je vrednost ocenjenega parametra x_p vsebovana v tem območju, če velja verjetnost (Košmelj in sod., 1994):

$$P(x_S \leq x_p \leq x_Z) = 1 - \alpha \quad x_p \in [x_S, x_Z], \quad (30)$$

kjer je:

- x_S spodnja meja intervala oz območja,
- x_Z zgornja meja intervala oz območja,
- α stopnja tveganja,
- x_p vrednost ocenjenega parametra (izračunana ocenjena vrednost pretoka).

Meji sta slučajni spremenljivki (Brilly in Šraj, 2005). Interval zaupanja predstavlja verjetnost, da bo ocenjena vrednost pri ponovnem vzorčenju (t. i. prava vrednost) ležala znotraj mej zaupanja (Cunnane, 1989).

Natančnost ocene pretoka x_p lahko preprosto izmerimo z njegovo varianco $Var(x_p)$, ki je enaka kvadratu standardne napake $SE^2 = Var(x_p)$ (Maidment, 1993).

Klasična enačba intervala zaupanja je za srednjo vrednost μ_X normalno porazdeljene slučajne spremenljivke X . Če so elementi vzorca neodvisni in normalno porazdeljeni, potem se $100(1 - \alpha) \%$ interval zaupanja za srednjo vrednost μ_X glasi (Maidment, 1993):

$$\bar{x} - \frac{S_X}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2, n-1} \leq \mu_X \leq \bar{x} + \frac{S_X}{\sqrt{n}} t_{1-\alpha/2, n-1}, \quad (31)$$

kjer je:

- $t_{1-\alpha/2, n-1}$ zgornji $100\left(\frac{\alpha}{2}\right)\%$ centil Studentove t porazdelitve z $n - 1$ prostostnih stopenj,
- $\frac{S_X}{\sqrt{n}}$ ocena standardne napake vzorčne srednje vrednosti,

S_X	standardna deviacija,
n	velikost vzorca.

V primeru velikega vzorca ($n > 40$) se t porazdelitev približa normalni porazdelitvi, zato lahko $t_{1-\alpha/2, n-1}$ nadomestimo z standardizirano normalno spremenljivko $z_{1-\alpha/2}$ v enačbi (31) (Maidment, 1993).

Pri velikih vzorcih je večina ocenjenih vrednosti pretokov x_p normalno porazdeljenih. Če ima x_p varianco $Var(x_p)$, ki je normalno porazdeljena, lahko na podlagi enačbe (31) meje intervala zaupanja zapišemo kot (Maidment, 1993):

$$\begin{aligned} x_S &= x_p - z_{1-\alpha/2} \sqrt{Var(x_T)}, \\ x_Z &= x_p + z_{1-\alpha/2} \sqrt{Var(x_T)}, \end{aligned} \tag{32}$$

kjer je:

x_S	spodnja meja intervala zaupanja,
x_Z	zgornja meja intervala zaupanja,
x_p	izračunana ocenjena vrednost pretoka,
$z_{1-\alpha/2}$	standardizirana normalna spremenljivka,
$Var(x_T)$	varianca izračunane vrednosti pretoka.

Intervali zaupanja se lahko izračunajo za tiste porazdelitve, za katere so na voljo dobre ocene njihovih standardnih napak (Maidment, 1993).

3 VERJETNOSTNA ANALIZA PRETOČNIH VOLUMNOV

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov (angl. *volume frequency analysis*) oz. verjetnostna analiza pretok – trajanje ali QdF (angl. *flow – duration – frequency analysis*) vključuje klasično verjetnostno analizo pretokov znotraj vsakega niza z določenim trajanjem. Povprečni pretoki so najprej izračunani na podlagi različnih stalnih trajanj. Nato pa je za vsako trajanje izvedena verjetnostna analiza maksimalnih ali minimalnih pretokov z izbrano teoretično porazdelitvijo. Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov tako poleg največjega povprečnega pretoka vključuje še njegovo trajanje oziroma volumen tega pretoka. Verjetnostna analiza minimalnih pretočnih volumnov pa poleg najmanjšega povprečnega pretoka še trajanje oz. volumen tega pretoka (USACE, 1993).

3.1 Teoretične osnove verjetnostne analize pretočnih volumnov

3.1.1 Vzorčenje

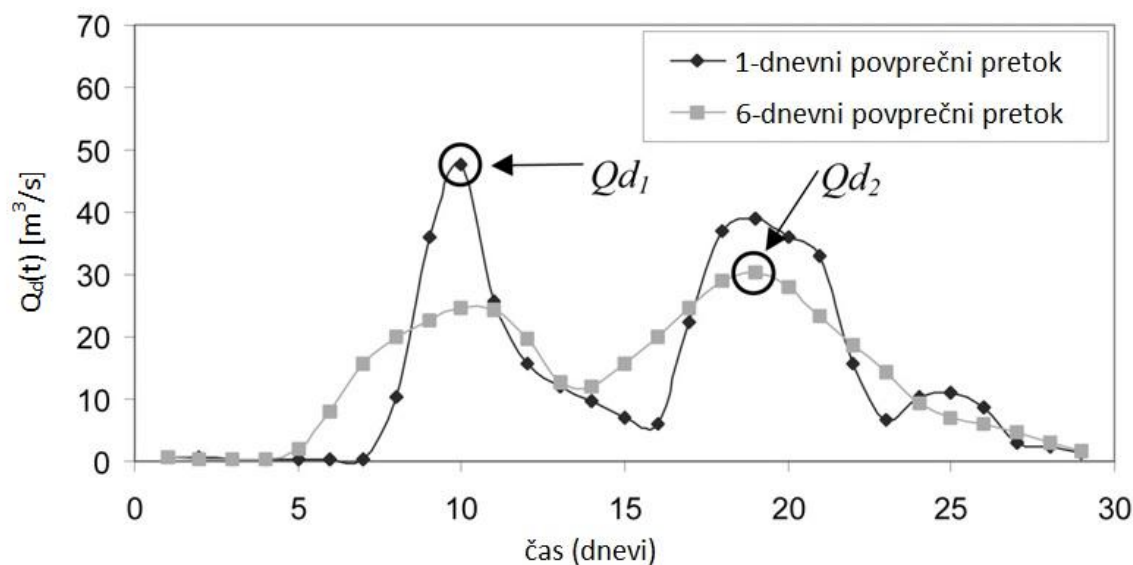
Pri verjetnostni analizi pretočnih volumnov poleg maksimalnega (minimalnega) pretoka upoštevamo še njegovo trajanje oz. volumen tega pretoka. Za analizo uporabimo časovni niz trenutnih pretokov $Q(t)$, iz katerih se najprej s pomočjo drseče sredine (angl. *moving average*) za trajanje d izračuna nov časovni niz povprečnih pretokov določenega trajanja $Q_d(t)$ (Javelle in sod., 2002):

$$Q_d(t) = \frac{1}{d} \int_{t-d/2}^{t+d/2} Q(\tau) d\tau. \quad (33)$$

Nato se iz novo nastalega niza povprečnih pretokov za vsako trajanje posebej na enak način kot pri klasični verjetnostni analizi oblikuje vzorec maksimalnih (minimalnih) letnih vrednosti, po t. i. metodi letnih maksimumov (minimumov). Lahko pa se vzorec oblikuje tudi po t. i. POT metodi, kjer so v vzorcu vsebovani pretoki nad (pod) izbrano vrednostjo (pragom). Maksimalne letne vrednosti pretokov $Q_d^{\max}(t)$ so iz niza povprečnih pretokov povzete kot (Cunderlik in Ouarda, 2006):

$$Q_d^{\max}(t) = \max_{t^- \leq t \leq t^+} \{Q_d(t)\}, \quad (34)$$

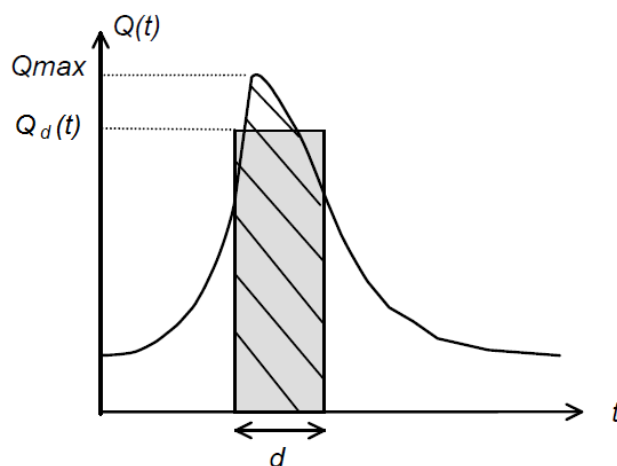
kjer sta t^- in t^+ prvi in zadnji dan t – tega hidrološkega ali koledarskega leta. Enačba (34) se lahko uporabi tudi za minimalne pretoke.



Slika 1: Določitev maksimalnega povprečnega pretoka Q_d za različna trajanja (Povzeto po Javelle in sod., 2002)

Slika 1 prikazuje izračun časovne vrste $Q_d(t)$ za obdobje, ki ustreza letni maksimalni vrednosti in za trajanje $d_1 = 1$ dan in $d_2 = 6$ dni. Na tem primeru lahko vidimo, da ni nujno, da maksimalni pretoki izhajajo iz istega visokovodnega dogodka, kadar gre za različna trajanja.

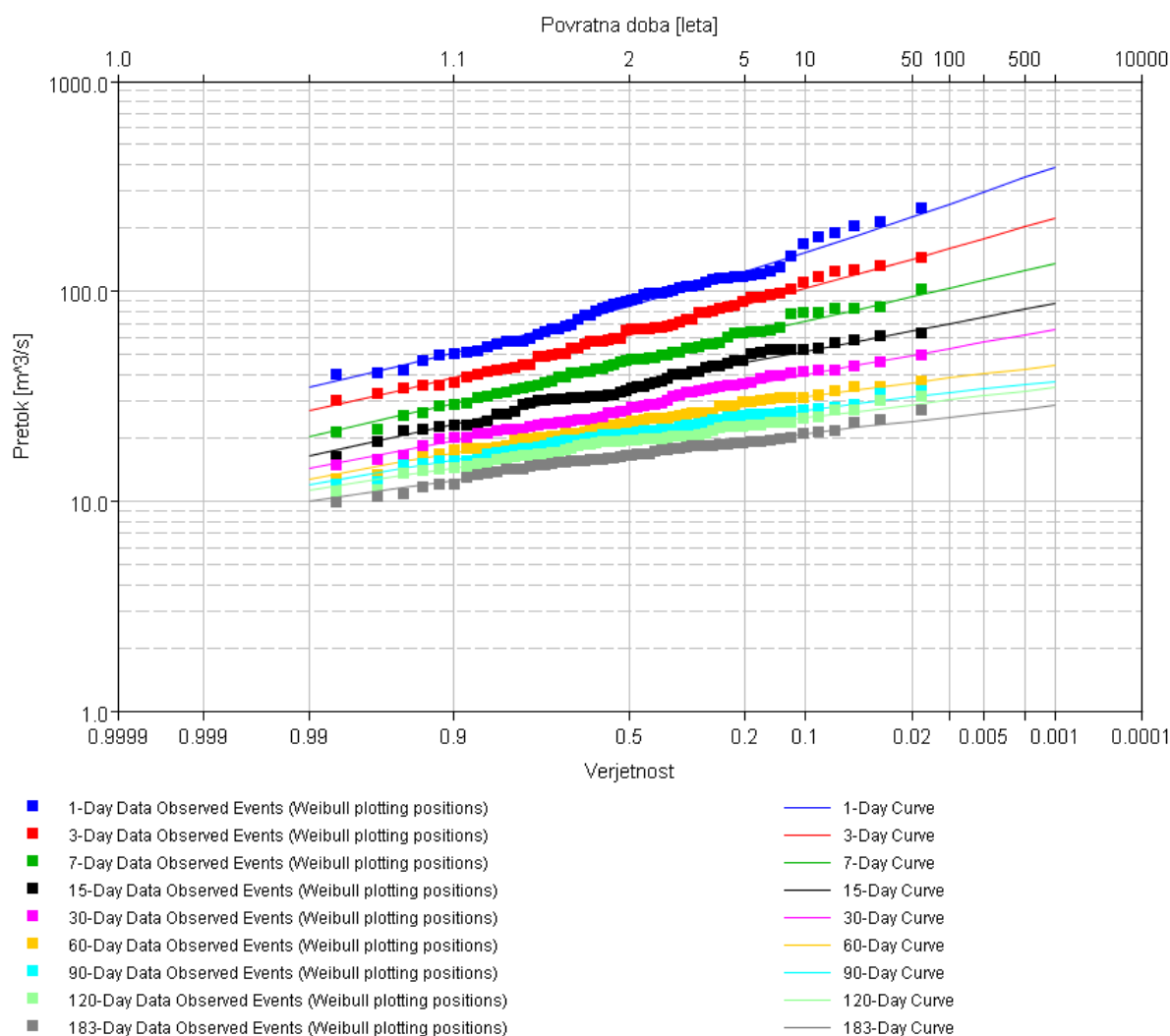
Čeprav nas pri tovrstni analizi zanimajo volumni pretokov (slika 2), jih zaradi lažje interpretacije in primerjave s koničnimi pretoki izražamo kot povprečni pretok določenega trajanja ali n – dnevni povprečni pretok. Volumen (m^3) dobimo, če vrednost n – dnevnega povprečnega pretoka (m^3/s) pomnožimo z njegovim trajanjem (d) v sekundah (USACE, 1993).



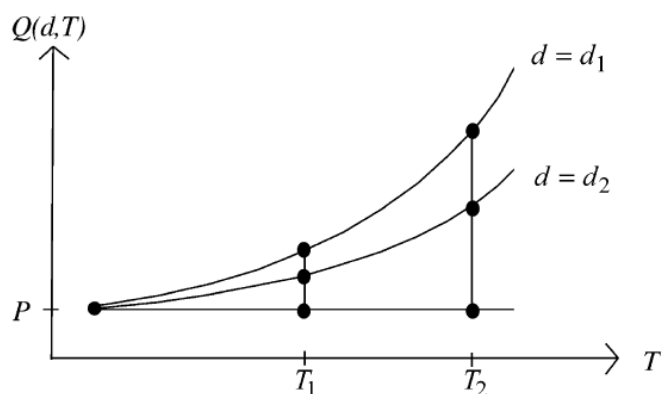
Slika 2: Opredelitev spremenljivke $Q_d(t)$

3.1.2 Ocena povratne dobe in QdF model

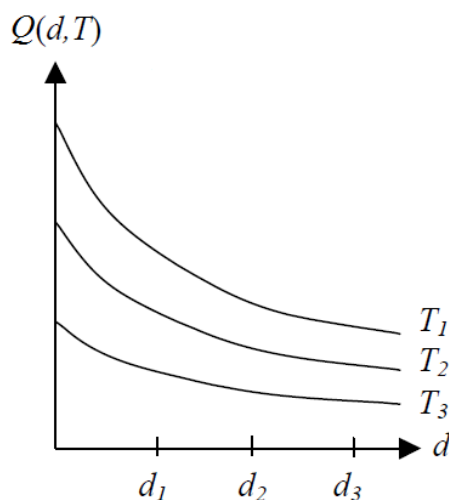
Ujemanje ustrezne statistične porazdelitve z novo oblikovanim vzorcem omogoča oceno zahtevanega pretočnega kvantila oz. pretoka z določeno povratno dobo $Q_d(t)$ (slika 3). Kvantil $Q_d(t)$ je definiran samo za dolžino trajanja d . Cilj verjetnostne analize pretok – trajanje (QdF) pa je zagotoviti enotno enačbo kvantilov $Q(d, T)$, kot funkcijo povratne dobe T in trajanja d . Model temelji na dveh predpostavkah. Prva je samo-afinitetna (angl. *self-affinity*) porazdelitev, kar pomeni da porazdelitve različnih trajanj konvergirajo v eno samo točko (slika 4). Druga predpostavka pa, da za dano povratno dobo razvoj kvantila $Q(d, T)$ opišemo z obliko hiperbole (slika 5) (Javelle in sod., 2002).



Slika 3: Ujemanje statistične porazdelitve z novo oblikovanim vzorcem



Slika 4: Samo-afinitetna porazdelitev (Povzeto po Javelle in sod., 2002)



Slika 5: Kvantil $Q(d, T)$ za različne povratne dobe v obliki hiperbole (Povzeto po Javelle in sod., 2002)

Na podlagi teh predpostavk pa lahko določimo QdF model (Javelle in sod., 2002):

$$Q(d, T) = \frac{Q(d=0, T) - P}{1 + d/\Delta} + P, \quad (35)$$

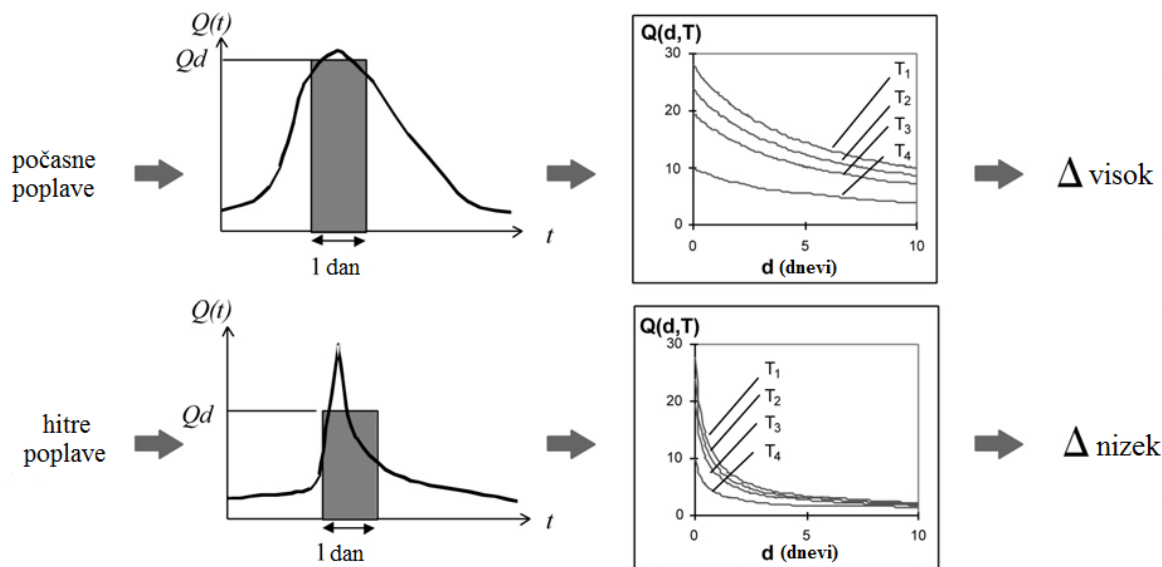
kjer je:

- $Q(d = 0, T)$ porazdelitev, ki ustreza trenutnemu koničnemu pretoku,
- d trajanje pretoka,
- Δ parameter, ki opiše obliko hiperbole (v časovnih enotah) in
- P meja hiperbole, ko gre d v neskončnost.

Enačba (35) se lahko poenostavi zgolj z manjšo izgubo učinkovitosti, če je $P = 0$ (Javelle, 2001):

$$Q(d, T) = \frac{Q(d=0, T)}{1 + d/\Delta}. \quad (36)$$

Parameter Δ je povezan z dinamiko poplav. Visoke vrednosti parametra kažejo na počasne poplave in zglajene hidrograme, medtem ko nizke vrednosti parametra na hitre poplave in ozke hidrograme (slika 6).



Slika 6: Pomen parametra Δ (Povzeto po Javelle in sod., 2002)

Iz enačbe (36) sledi, da je vsaka porazdelitev $Q(d,T)$, ki je pomnožena z $(1 + d/\Delta)$ enaka porazdelitvi niza trenutnih maksimalnih pretokov $Q(d = 0, T)$. To lastnost pa lahko uporabimo za oceno parametra Δ . Eksperimentalni niz letnih maksimalnih povprečnih pretokov $Q_{d_i}(j)$ je najprej časovno normiran (angl. *time scaled*) (Javelle in sod., 2002):

$$x_{d_i}(j) = Q_{d_i}(j) \left[1 + \frac{d_i}{\delta} \right]. \quad (37)$$

Karakteristično trajanje Δ je nato ocenjeno kot optimalna vrednost δ , ki minimizira razpršenost eksperimentalne časovno normirane vrednosti $x_{d_i}(j)$ (Cunderlik in Ouarda, 2006):

$$\Delta = \delta^{opt} = \min \left\{ \frac{1}{NV} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{NV} \sum_{i=1}^N \left[\frac{x_{d_i}(j) - \bar{x}(j)}{\bar{x}(j)} \right]^2 \right\} \quad \text{in} \quad (38)$$

$$\bar{x}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{d_i}(j), \quad (39)$$

kjer je:

- $\bar{x}(j)$ normirana srednja vrednost (za leto j za vsa trajanja D_j),
- NV velikost vzorca maksimalnih povprečnih pretokov $Q_{d_i}(j)$ za vsako trajanje,
- N število analiziranih trajanj D_j ($d_1, d_2, \dots, d_N$).

Ko je parameter Δ enkrat določen, pa lahko parametre porazdelitve $Q(d = 0, T)$ ocenimo z ujemanjem ustrezne porazdelitve in normirane srednje vrednosti $\bar{x}(j)$. Z uporabo enačbe (36) pa je nato možno oceniti porazdelitev $Q(d, T)$, ki ustreza kateremu koli trajanju.

Ta model se nanaša na analizo maksimalnih pretokov, za nizke pretoke pa obstaja podoben QdF pristop, ki ga je v svojem delu opredelil Galéa in sod. (2000).

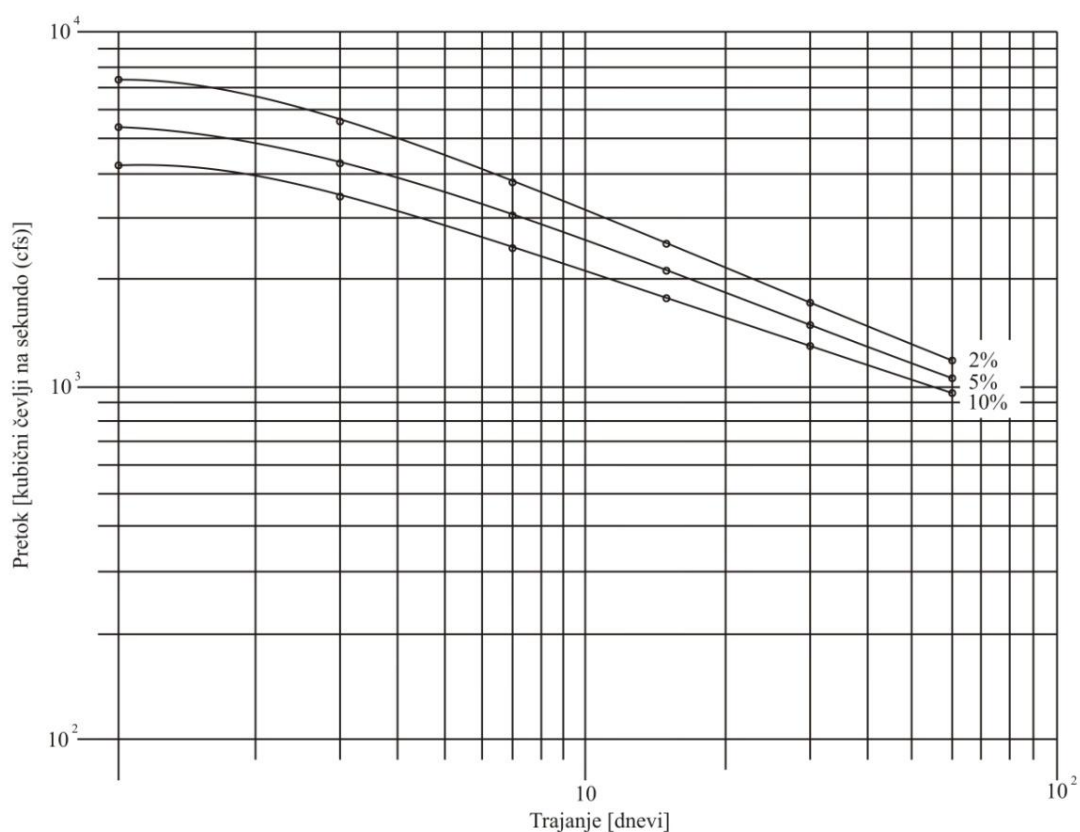
3.2 Uporaba verjetnostne analize pretočnih volumnov

Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov oziroma natančneje verjetnostne krivulje volumen – trajanje (angl. *flood volume – duration curves*) se v prvi vrsti uporabljajo za načrtovanje zadrževalnikov in njihovega obratovanja, katerih glavna funkcija je nadzor nad poplavami (t.i. visokovodni zadrževalniki).

Verjetnostna analiza minimalnih pretočnih volumnov se uporablja za oceno sposobnosti vodotoka, da izpolnjuje določene zahteve o pretokih oziroma da zagotavlja potrebno količino vode v strugi na določeni lokaciji. Tovrstna analiza je zato koristna pri načrtovanju vodnih zbiralnikov, v katerih se zbira voda za uporabne namene, pri načrtovanju hidroelektrarn oz. za določanje ekološko sprejemljivega minimalnega pretoka, takega ki še zagotavlja ustrezno kvaliteto vode in primeren življenjski prostor za organizme (USACE, 1993).

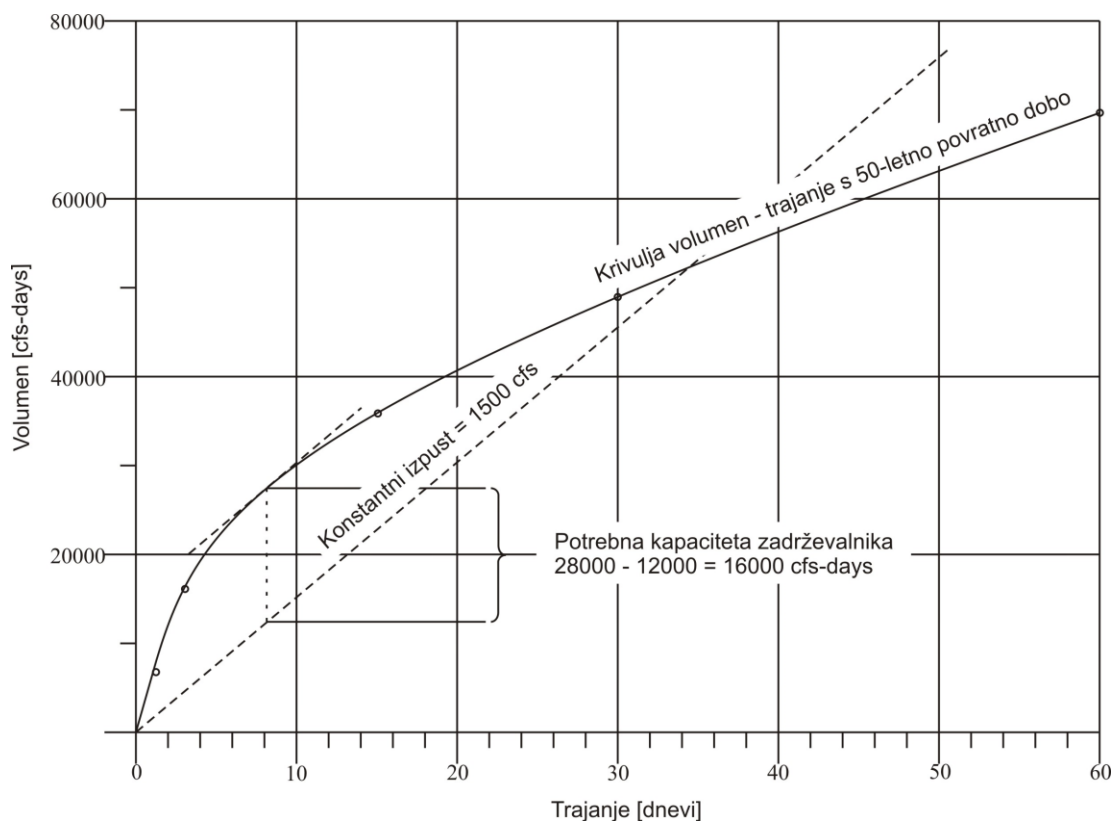
3.2.1 Uporaba verjetnostni krivulj letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov

Iz verjetnostnih krivulj letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov lahko konstruiramo verjetnostne krivulje volumen – trajanje (angl. *volume – duration curves*), ki se uporabljajo za planiranje in načrtovanje zadrževalnikov ter njihovega obratovanja. Verjetnostne krivulje volumen – trajanje dobimo, če za izbrano povratno dobo (preseganje verjetnosti) vrednosti posameznih verjetnostnih krivulj letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov naneseemo na graf (z logaritemsko razdelbo) v odvisnosti od trajanj in vrednosti interpoliramo. Na sliki 7 je prikazan primer krivulj volumen – trajanje z 2, 5 in 10 % preseganjem verjetnosti oz. za 50-, 20- in 10-letno povratno dobo. Nato posamezne pretočne vrednosti krivulj pomnožimo s pripadajočim trajanjem in s tem na ordinatni osi namesto pretočnih izrazimo volumnske enote, ki so potrebne za nadaljnjo obravnavo oz. za določitev potrebe kapacitete zadrževalnika (USACE, 1993).



Slika 7: Krivulje volumen – trajanje z določeno verjetnostjo preseganja (oziroma povratno dobo)
(Povzeto po USACE, 1993)

Na sliki 8 je prikazan primer krivulje volumen – trajanje s 50-letno povratno dobo, kjer so na ordinatni osi izražene volumske enote. Poleg tega pa ta ista slika prikazuje primer izračuna potrebne kapacitete zadrževalnika. Prikazana je krivulja volumen – trajanje s 50-letno povratno dobo in ravna črta, ki predstavlja konstanten izpust iz zadrževalnika. Potrebna kapaciteta zadrževalnika je določena z maksimalnim odmikom med krivuljo volumen – trajanje in črto izpusta, kot prikazuje slika 8. V tem primeru potrebna kapaciteta zadrževalnika, pri konstantnem izpustu 1500 cfs ali $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$, znaša 16000 cfs-days ali 39100000 m^3 oz. $39,1 \text{ hm}^3$. Krivulja prikazuje tudi, da je ob takšnem konstantnem izpustu za kapaciteto zadrževalnika kritično 8-dnevno trajanje pretoka s 50-letno povratno dobo.



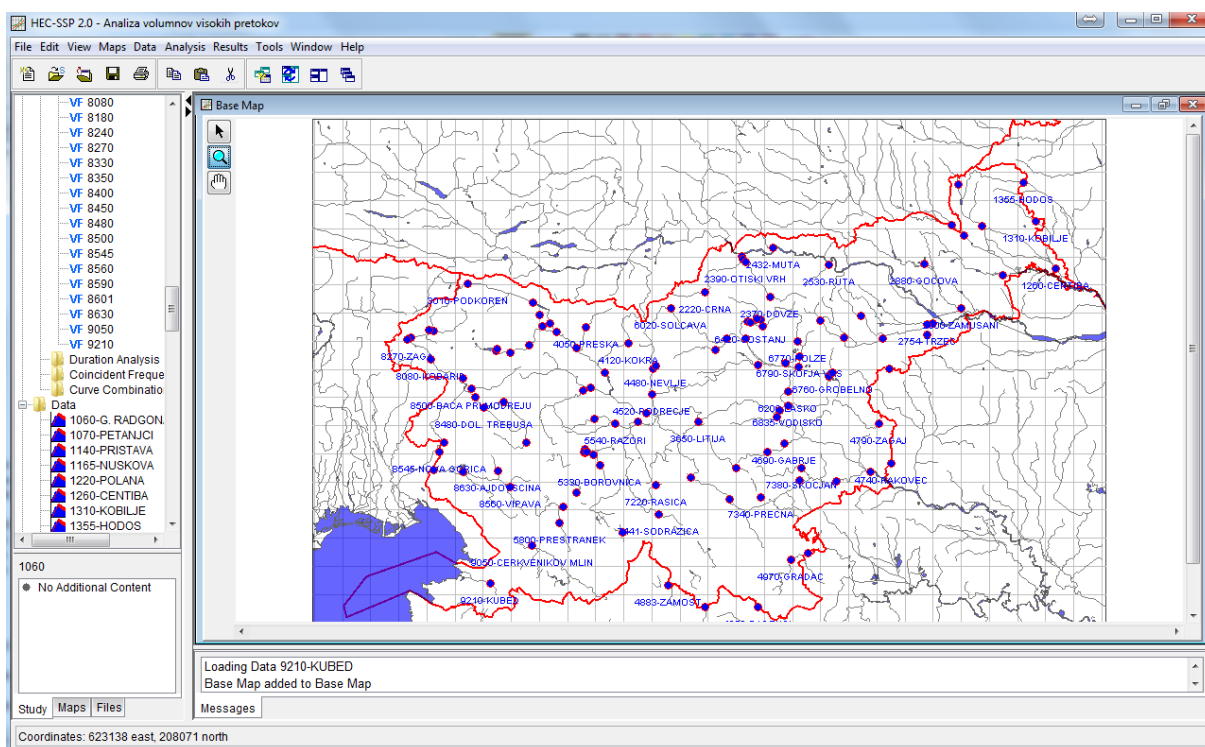
Slika 8: Izračun potrebne kapacitete zadrževalnika s pomočjo verjetnostne krivulje volumen-trajanje
(Povzeto po USACE, 1993)

Običajno se kapaciteta zadrževalnikov načrtuje za projektne vode s 50- ali 100-letno povratno dobo oz. je to v veliki meri odvisno od same rabe zemljišča, kjer je predvsem potrebno upoštevati škodni potencial oz. kakšne poplavne škode se lahko pričakujejo (Zaletelj, 2010).

4 PROGRAM HEC-SSP

4.1 Opis in delovanje programa

Hydrologic Engineering Center's Statistical Software Package (krajše HEC–SSP) je programsko orodje, ki omogoča izvajanje različnih statističnih analiz na osnovi hidroloških podatkov (pretokov, vodostajev, padavin, ...). Program je razvil Hidrološki inženirski center ameriške vojske, z namenom združitve različnih programov, ki so se predhodno uporabljali za posamezne statistične analize. Je celostni sistem, ki omogoča interaktivno uporabo v večopravilnem okolju. Sistem je sestavljen iz grafičnega uporabniškega vmesnika, ločenih komponent statistične analize, shranjevanja podatkov in upravljaljskih zmogljivosti, orodij za kartiranje, grafiko ter poročanje (Brunner in Fleming, 2010).



Slika 9: Program HEC-SSP

Trenutna verzija HEC-SSP 2.0, ki je izšla oktobra 2010, podpira izvajanje:

- verjetnostne analize visokovodnih konic, ki temelji na t. i. metodi *Bulletin 17B* (angl. *Bulletin 17B Guidelines*),
- splošne verjetnostne analize hidroloških podatkov (angl. *General frequency analysis*),
- verjetnostne analize volumnov (angl. *Volume frequency analysis*),
- analize trajanja (angl. *Duration analysis*),
- koincidenčne verjetnostne analize (angl. *Coincident frequency analysis*) in
- kombinacijske analize verjetnostnih krivulj (angl. *Curve combination analysis*).

Statistične analize v programu se izvajajo na osnovi petih glavnih korakov:

1. izdelava študije,
2. dodajanje podloge v študijo programa (izbirno),
3. uvoz, urejanje in prikaz vhodnih podatkov,
4. izvajanje izbrane verjetnostne analize in
5. pregled in izvoz rezultatov.

V izdelano študijo programa se uvozi podatke, ki jih želimo analizirati. Program ima na voljo pet možnih načinov vnosa podatkov, in sicer uvoz iz obstoječe HEC-DSS datoteke, iz ameriške spletne strani USGS, uvoz podatkov iz Excelove preglednice, ročni vnos podatkov ali uvoz iz tekstovne datoteke. V kolikor uvozimo podatke s pomočjo MS Excel-ove datoteke, program zahteva vnos hidroloških podatkov skupaj s časovnim zaporedjem datumov.

Po vnosu podatkov v študijo programa, se prične z izvajanjem izbrane verjetnostne analize, in sicer se najprej določi in opredeli vse nastavitve in možnosti analize.

4.2 Verjetnostna analiza pretočni volumnov v programu HEC-SSP

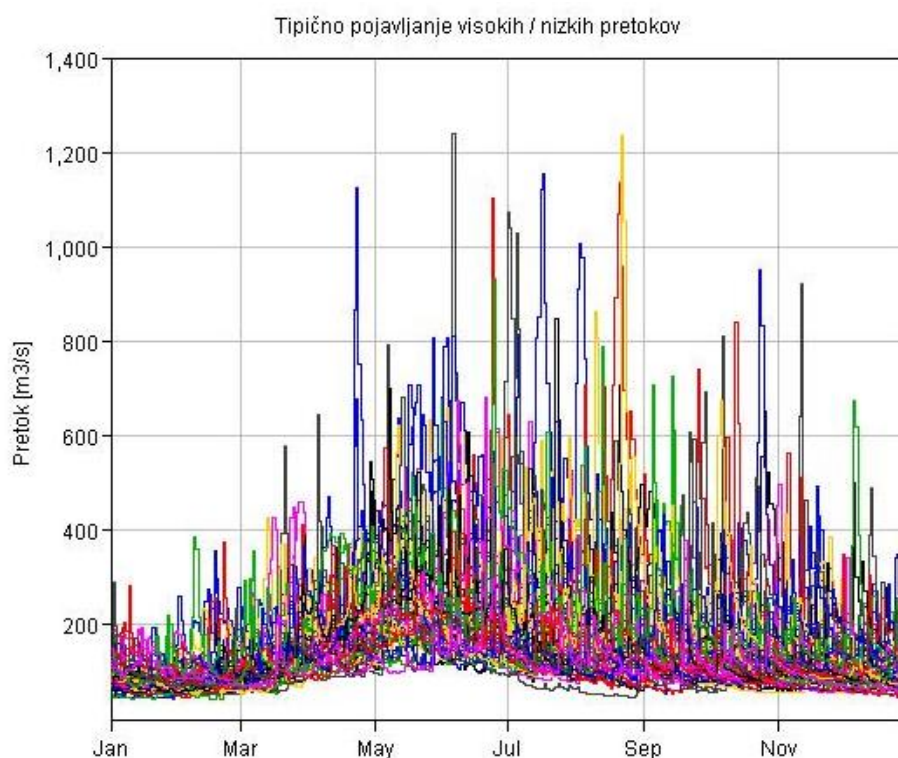
Program HEC-SSP 2.0 omogoča izvajanje verjetnostne analize maksimalnih ali minimalnih pretočnih volumnov. Tovrstna analiza se izvaja na osnovi dnevnih povprečnih pretokov. Najprej se iz dnevnih pretokov izračunajo serije n-dnevnih povprečnih pretokov, nato pa je na podlagi izbranih maksimalnih (minimalnih) letnih vrednosti vsake serije narejena verjetnostna analiza. Pretočni volumni so torej izraženi kot povprečni pretoki določenega časovnega trajanja, kot n-dnevni povprečni pretoki, saj jih tako lažje obravnavamo in primerjamo s koničnimi pretoki. Program pri oblikovanju vzorca uporablja metodo letnih maksimumov (minimumov) ter na podlagi oblikovanega vzorca oceni parametre po metodi momentov. Verjetnostno analizo pretočnih volumnov se lahko izvede z različnimi teoretičnimi porazdelitvami in možnostmi nastavitve, ki omogočajo izračun verjetnostnih krivulj letnih maksimalnih (minimalnih) n-dnevnih pretokov (Brunner in Fleming, 2010; Vihar, 2014; Beard in Fredrich, 1975).

4.2.1 Možnosti nastavitve verjetnostne analize

V okviru splošnih nastavitvev se lahko določi logaritemsko transformacijo podatkov, izbere empirično enačbo za prikaz verjetnosti posameznega merjenega podatka na grafu, izbira med maksimalnimi ali minimalnimi vrednostmi za analizo, specifičira začetek leta in določi časovni okvir analize.

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov se lahko izvede na letnih maksimalnih ali minimalnih pretokih. Program iz niza n-dnevni povprečnih pretokov povzame maksimalne ali minimalne letne vrednosti.

Pri specifikaciji leta izbiramo med koledarskim letom, ki se začne 1. januarja in konča 31. decembra, hidrološkim letom, ki se pri nas začne 1. oktobra predhodnega leta in konča 31. septembra tekočega leta ter možnost, da sami izberemo začetek leta. Izbira leta omogoča pridobivanje letnih maksimalnih oz. minimalnih pretokov iz niza n-dnevni povprečnih pretokov z namenom dobiti eno največjo oz. najmanjšo vrednost za vsako posamezno leto. Zelo pomembno je, da izberemo začetek leta tako, da se zajame vse ekstremne dogodke določenega hidrološkega režima. Če se visoki pretoki v splošnem pojavljajo med novembrom in majem, potem naj se leto ne začne v tem obdobju. To zmanjša možnost, da bi se isti ekstremni dogodek upošteval v dveh zaporednih letih. Za pomoč pri izbiri leta nam je lahko graf, ki prikaže tipično pojavljanje visokih oz. nizkih vod (slika 10).



Slika 10: Graf dnevni povprečni pretokov za posamezna leta, ki prikazuje obdobje tipičnega pojavljanja visokih oz. nizkih vod

S časovnim okvirom omejimo niz podatkov, ki jih želimo vključiti v analizo. Privzeto se uporabi vse podatke, ki so vsebovani v nizu podatkov, po izbiri pa lahko niz omejimo. Kot dodatna možnost znotraj časovnega okvira pa je na voljo tudi določitev krajšega trajanja oz. le dela leta, ki se uporabi

pri analizi. Tak primer je sezona, znotraj katere program iz niza n-dnevni povprečnih pretokov izvzame maksimalne oz. minimalne vrednosti.

Izbor ustrezne empirične enačbe omogoča grafično določitev verjetnosti posameznega maksimalnega (minimalnega) n-dnevnega povprečnega pretoka in s tem lažjo odločitev za izbor ustrezne prilegajoče teoretične porazdelitve. Izbiramo lahko med štirimi teoretičnimi porazdelitvami, od tega sta dve logaritemski. Če analizo izvajamo na logaritmiranih vrednostih podatkov, imamo na izbiro logaritemsko normalno in logaritemsko Pearson III porazdelitev. V kolikor analizo izvajamo na neobdelanih podatkih pa imamo na izbiro normalno in Pearson III porazdelitev.

Poleg splošnih nastavitev je na voljo tudi nekaj dodatnih možnosti nastavitve izračuna verjetnostnih krivulj, in sicer določitev trajanja pretokov, verjetnostnih ordinat, označb na izhodnih preglednicah in grafih, določitev pragov nizkih osamelcev in zgodovinskih podatkov.

Izbira se lahko med različnimi trajanji na podlagi katerih program izračuna n-dnevne povprečne pretoke (volumne) in nato izbere letne maksimalne (minimalne) pretoke, ki jih uporabi pri verjetnostni analizi. Z izborom verjetnostnih ordinat, ki so navedene v odstotkih preseganja, pa program oceni vrednosti pretokov za posamezna trajanja.

Osamelci (angl. *outliers*) ali ekstremni dogodki so podatki, ki bistveno odstopajo od trenda ostalih podatkov v nizu. Zadrževanje, spreminjanje ali izbris teh osamelcev lahko močno vpliva na izračun statističnih parametrov, zlasti če je vzorec majhen. Zato vsi postopki za obdelavo osamelcev zahtevajo tako matematično kot hidrološko presojo. V programu je za izračun praga nizkih in visokih osamelcev privzet postopek *Bulletin 17B*, lahko pa prag osamelcev za posamezna trajanja določimo tudi sami. Pri analizi minimumov se določi prag visokih osamelcev, pri analizi maksimumov pa prag nizkih osamelcev za posamezna trajanja (USWRC, 1982; Ribič, 2014).

Za boljše izračune pri verjetnostni analizi ima program možnost vnosa zgodovinskih podatkov. Po besedah strokovnjakov (Mikoš in sod., 2002) so to podatki, ki so se zgodili v preteklosti oziroma bolj natančno izven sistematičnih meritev. Zgodovinske informacije so lahko zelo koristne in če je le mogoče, jih pridobimo in dokumentiramo, zlasti če so sistematične meritve relativno kratke. Pogosto se uporabljajo za izdelavo ocene konic pretokov in za določitev obsežnejšega obdobja, v katerem so se zgodile največje poplave, bodisi merjene ali zgodovinske (USWRC, 1982; Ribič, 2014).

Stacionarni koeficient asimetrije ali koeficient asimetrije postaje (angl. *station skew*) izračunan iz merjenih podatkov ene postaje je precej občutljiv na ekstremne vrednosti, zato je pogosto težko natančno oceniti asimetričnost porazdelitve še posebej, če so vzorci majhni. Zato se je ponekod

uveljavila regionalizacija koeficienta asimetrije, kjer se natančnost ocene lahko izboljša z uteženim koeficientom asimetrije (angl. *weighted skew*). Dobimo ga, če regionalni koeficient asimetrije (angl. *regional skew*) utežimo s stacionarnim koeficientom asimetrije. Uteževanje koeficienta asimetrije omogoča tudi program HEC-SSP. V ZDA so na voljo karte z izočrtami regionalnega koeficienta asimetrije, kar omogoča preprosto odčitavanje le-tega. Pri nas se regionalizacija za enkrat še ni uveljavila, zato za izračun verjetnosti uporabimo kar stacionarni koeficient asimetrije (USWRC, 1982; Kobold in sod., 2013; Ribič, 2014).

Izračun pričakovane verjetnostne krivulje je neobvezen in je predvsem namenjen kot pomoč pri razlagi postopka ocenjevanja verjetnostne krivulje. S pričakovano verjetnostno krivuljo se poskuša popraviti morebitne pristranskosti izračunane verjetnostne krivulje, ki so lahko vzrok časovno kratkega beleženja podatkov. Najpogosteje se uporablja za oceno letnih poplavnih škod in pri vzpostavitvi meril za načrtovanje poplav (Brunner in Fleming, 2010; Flynn in sod., 2006; USWRC, 1982).

Za zagotavljanje medsebojne usklajenosti verjetnostnih krivulj vseh trajanj se lahko določi oziroma prilagodi parametre porazdelitve in s tem onemogoči, da bi se krivulje med seboj sekale. Priporočljivo je uskladiti variacijo standardne deviacije (in koeficienta asimetrije) z variacijo srednje vrednosti (USACE, 1993). Postopek izračuna izvedemo z metodo najmanjših kvadratov. To je ena od metod linearne regresije, kjer iščemo premico, ki se najbolj prilega danim točkam oziroma vrednostim. Regresijska premica je določena tako, da je vsota kvadratov odklonov od danih vrednosti najmanjša (Brilly in Šraj, 2005).

4.2.2 Vzorec letnih maksimalnih (minimalnih) pretokov

Program iz vhodnega niza podatkov za vsako izbrano trajanje izračuna serijo n -dnevni povprečnih pretokov. Metoda izračuna se imenuje metoda drseče sredine, ki jo ponazorimo z naslednjo enačbo:

$$Q(n) = \frac{Q_t + Q_{t-1} + \dots + Q_{t-(n-1)}}{n}, \quad (40)$$

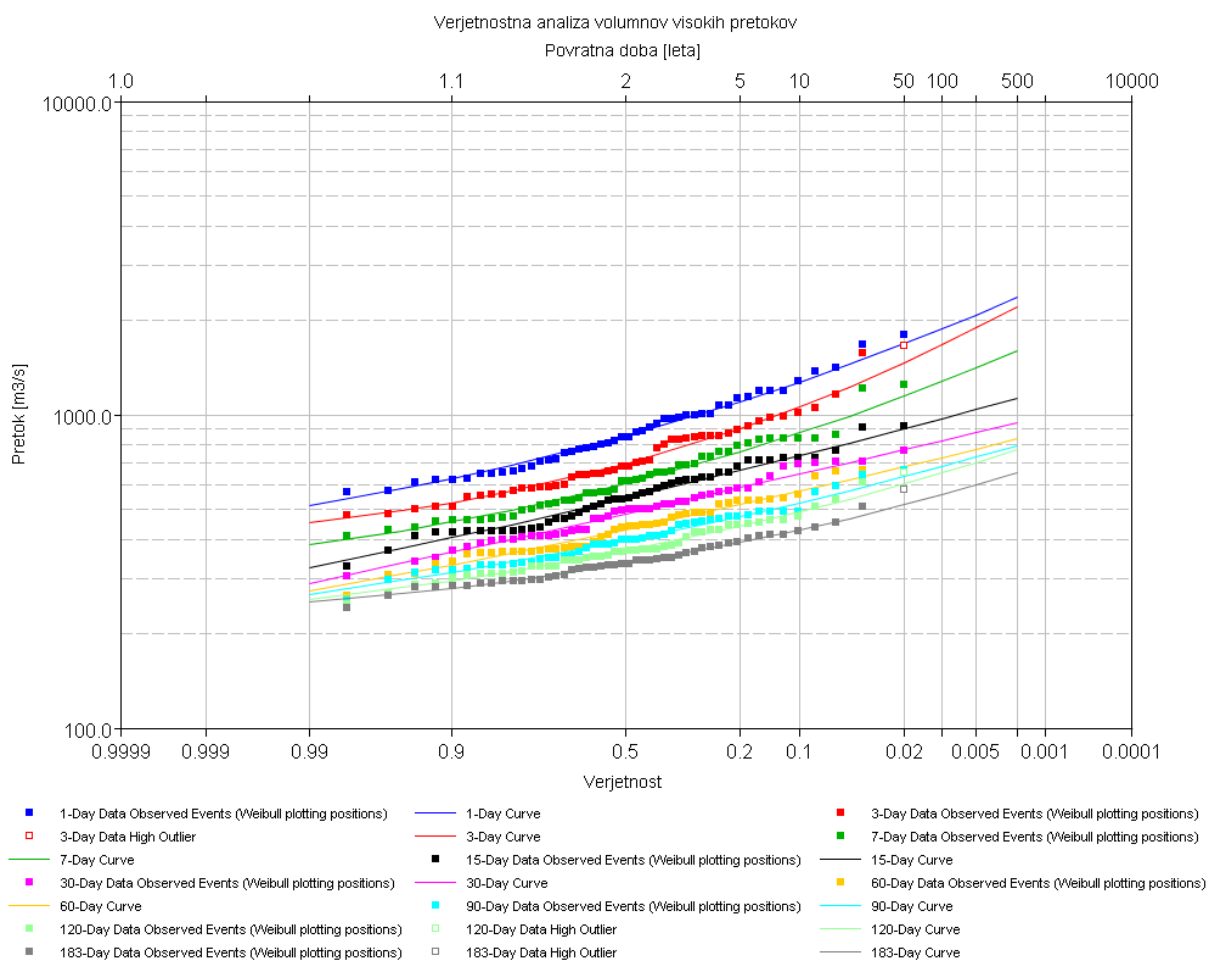
in z besedami pomeni, da za izbrano trajanje n , program za vsak dan izračuna povprečni pretok $Q(n)$ iz $(n - 1)$ predhodnih dni in dotičnega dne.

Nato pa program iz vsake izračunane serije n -dnevni povprečnih pretokov izvzame maksimalne (minimalne) letne pretoke na podlagi katerih izvede verjetnostno analizo.

4.3 Izračun in rezultati verjetnostne analize pretočnih volumnov

Program po izračunu verjetnostne analize najprej izda opozorilo, če oz. koliko maksimumov (minimumov) se pojavi v $(n + 5)$ dneh po izbranem začetku leta. S tem želi opozoriti, da je lahko tak maksimum (minimum) posledica dogodka, ki se je začel že v predhodnem letu. Zato je tudi pomembno, da se izbere začetek leta tako, da sezona pojavljanja visokih (nizkih) pretokov ni razdeljena in da se s tem zmanjša verjetnost dvakratnega upoštevanja istega dogodka v dveh zaporednih letih (Brunner in Fleming, 2010).

Po izvedenem izračunu dobimo rezultate v grafični obliki ali v obliki preglednice. Grafični rezultati vključujejo graf verjetnosti posameznih letnih maksimalnih (minimalnih) n -dnevni pretokov izračunanih na podlagi izbrane empirične porazdelitve in izračunane verjetnostne krivulje za posamezna trajanja (verjetnostne krivulje letnih maksimalnih (minimalnih) n -dnevni pretokov) (slika 11). V preglednici pa so ocene letnih maksimalnih (minimalnih) n -dnevni pretokov za določene povratne dobe ter ocene parametrov izbrane porazdelitve oz. ocene prilagojenih parametrov. Vse rezultate in postopke analize pa vsebuje tudi končno poročilo.



Slika 11: Primer verjetnostnih krivulj za posamezna trajanja v programu HEC-SSP

5 PRIMER VERJETNOSTNE ANALIZE MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA VODOMERNI POSTAJI JESENICE NA REKI SAVI DOLINKI

5.1 Opis obravnavanega vodotoka

Reka Sava Dolinka izvira v Zelencih pri Ratečah na nadmorski višini 833 m. Najprej teče med močvirsko vegetacijo in naprej po dolini v smeri zahod – vzhod mimo Krajske Gore, Gozda Martuljka, Mojstrane in skozi Jesenice. Njen največji desni pritok je Radovna, levi pritoki pa so krajši in značilnega hudourniškega značaja. V Jesenicah se začne akumulacijsko jezero hidroelektrarne Moste. Od tu Sava Dolinka nadaljuje pot proti Radovljici, kjer se združi s Savo Bohinjko in teče naprej kot reka Sava, najdaljša slovenska reka. Dolžina Save Dolinke znaša okoli 50 km, njeno porečje pa obsega 521 km². Celotna dolžina reke Save v Sloveniji znaša okoli 220 km. Ta se pri Beogradu izliva v reko Donavo. Rečni režim reke Save se vzdolž toka spreminja glede na spremembo podnebja in terena. V zgornjem toku prevladuje snežno-dežni režim, v srednjem in spodnjem toku pa preide v dežno-snežni režim (Sever in Ternar (ur.), 1994; Savske elektrarne, 2014; Uredba UL RS št. 121, 2004).



Slika 12: Izvir Save Dolinke v Zelencih (24ur.com, 2010)

Za Savo Dolinko je za obdobje od leta 1961 do 1990 značilen snežno-dežni režim, kjer je izrazitejši pomladanski višek (vpliv taljenja snega) ter nižji jesenjski višek. Zimski nižek je primaren, poletni pa

sekundaren (Frantar (ur.), 2008). Za obdobje po letu 1991 pa je za reko Savo Dolinko značilnejši sredogorski dežno-snežni režim, kjer je primarni višek jeseni in nižek pozimi, sekundarna ekstrema pa sta praktično zabrisana (Frantar, 2003).

5.2 Vhodni podatki

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov je bila narejena v programu HEC-SSP z dnevnimi pretoki, ki so bili izmerjeni na vodomerni postaji Jesenice na reki Savi Dolinki. Podatki so dostopni na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (2014) v hidrološkem arhivu. Meritve pretokov se na omenjeni postaji izvajajo že od leta 1918. Vse do leta 1952 so meritve opravljali enkrat dnevno z odčitavanjem na merski letvi. Od leta 1952 pa vse do danes pa se meritve izvajajo z limnigrafom. Pri verjetnostni analizi smo upoštevali podatke od leta 1952 pa do leta 2012. Za to obdobje smo se odločili po priporočilih hidrološke službe ARSO, saj so lahko merjene vrednosti pretokov pred letom 1950 vprašljive (Kavčič, 2013). Za analizo smo torej imeli na voljo 61 let podatkov in sicer dnevne vrednosti pretokov.

5.2.1 Vodomerna postaja Jesenice

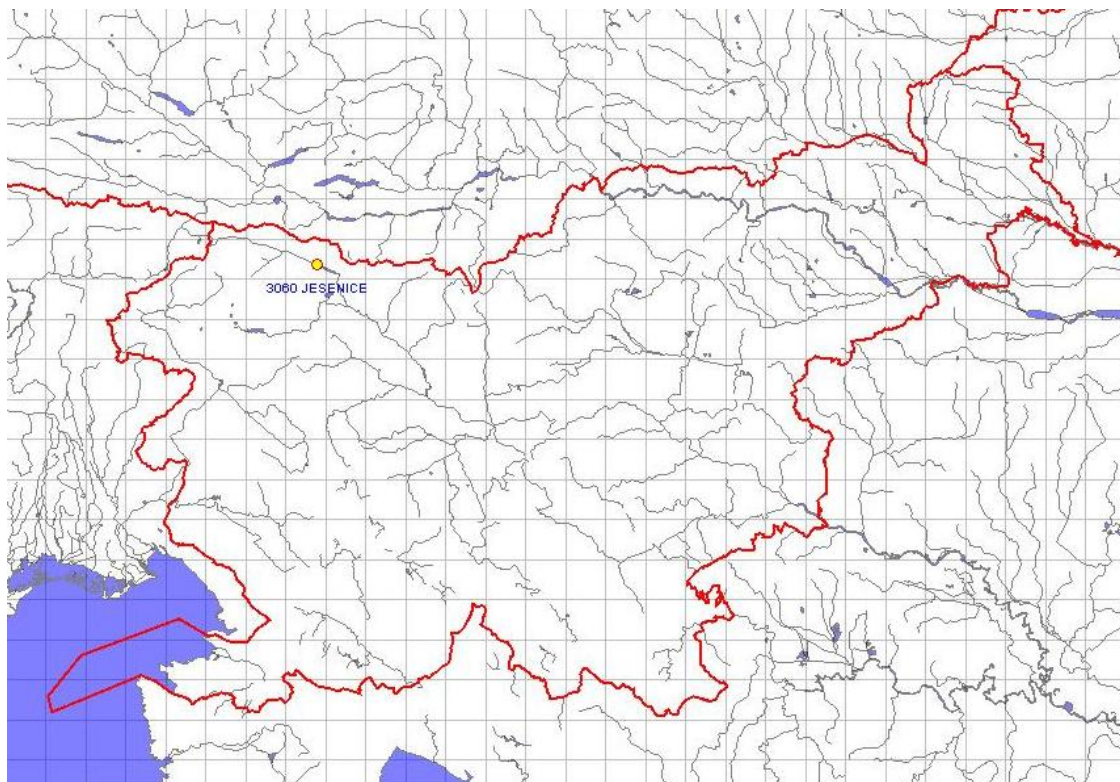
V preglednici 1 je navedenih nekaj lastnosti vodomerne postaje Jesenice in na sliki 13 prikazana lokacija te vodomerne postaje.

Preglednica 1: Lastnosti vodomerne postaje Jesenice

Šifra postaje	3060
Merilna naprava	Merska letev / Limnigraf
Površina porečja [km ²]	257,56
Gauss-Krugerjeva koordinata X	427697
Gauss-Krugerjeva koordinata Y	143744
Kota [m n.m.]	566,433
Obdobje meritev [leto]	1918 - danes

Dnevne vrednosti pretokov na vodomerni postaji Jesenice za obdobje od leta 1952 do leta 2012 smo izvozili iz spletnega mesta Agencije RS za okolje v obliki Excel-ove datoteke, ki je primerna za uvoz v program HEC-SSP. Po vnosu podatkov v študijo programa se ti lahko prikažejo v obliki preglednice ali grafično, kot prikazuje slika 15.

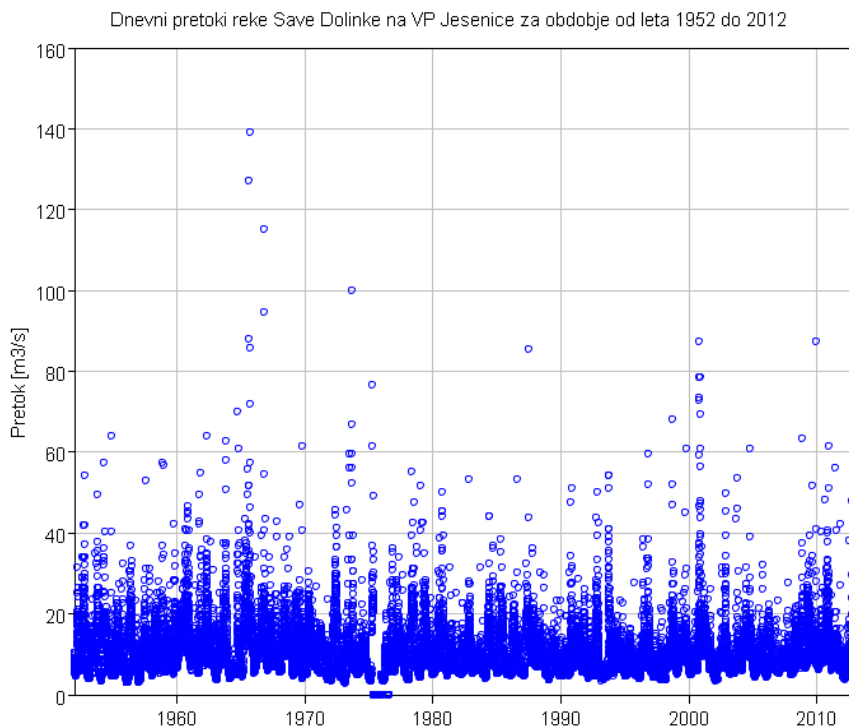
V študijo programa smo uvozili tudi karto Slovenije površinskih voda na kateri smo nato prikazali lokacijo vodomerne postaje (slika 13), tako da smo vnesli njene koordinatne točke.



Slika 13: Lokacija vodomerne postaje Jesenice na reki Savi Dolinki



Slika 14: Vodomerna postaja Jesenice na reki Savi Dolinki (foto: Ribič, 2015)



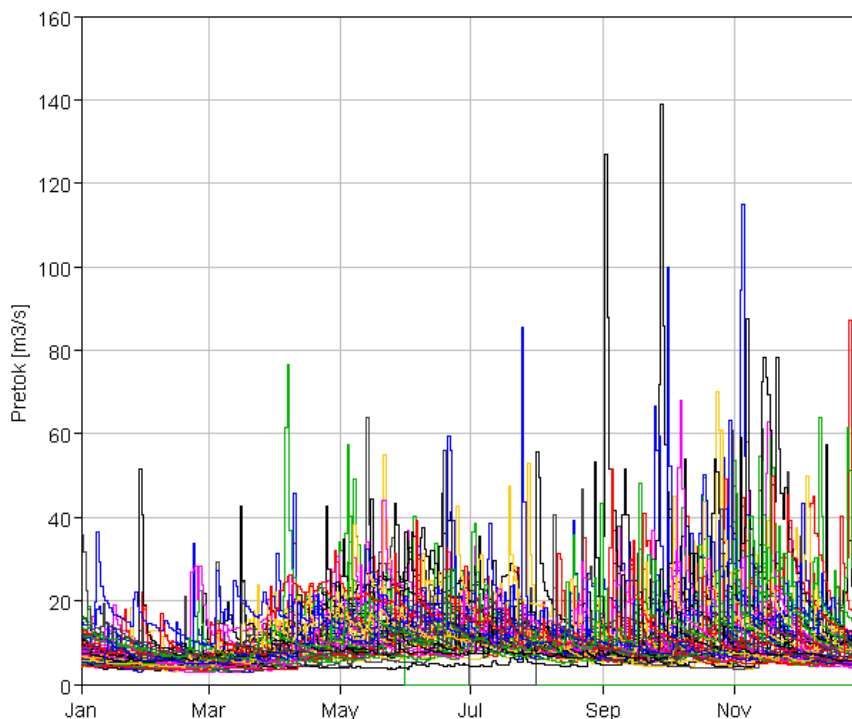
Slika 15: Dnevni pretoki reke Save Dolinke na VP Jesenice za obdobje od leta 1952 do 2012

Na podlagi dnevnih vrednosti pretokov smo s programom HEC-SSP izvedli verjetnostno analizo maksimalnih pretočnih volumnov reke Save Dolinke.

5.3 Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov

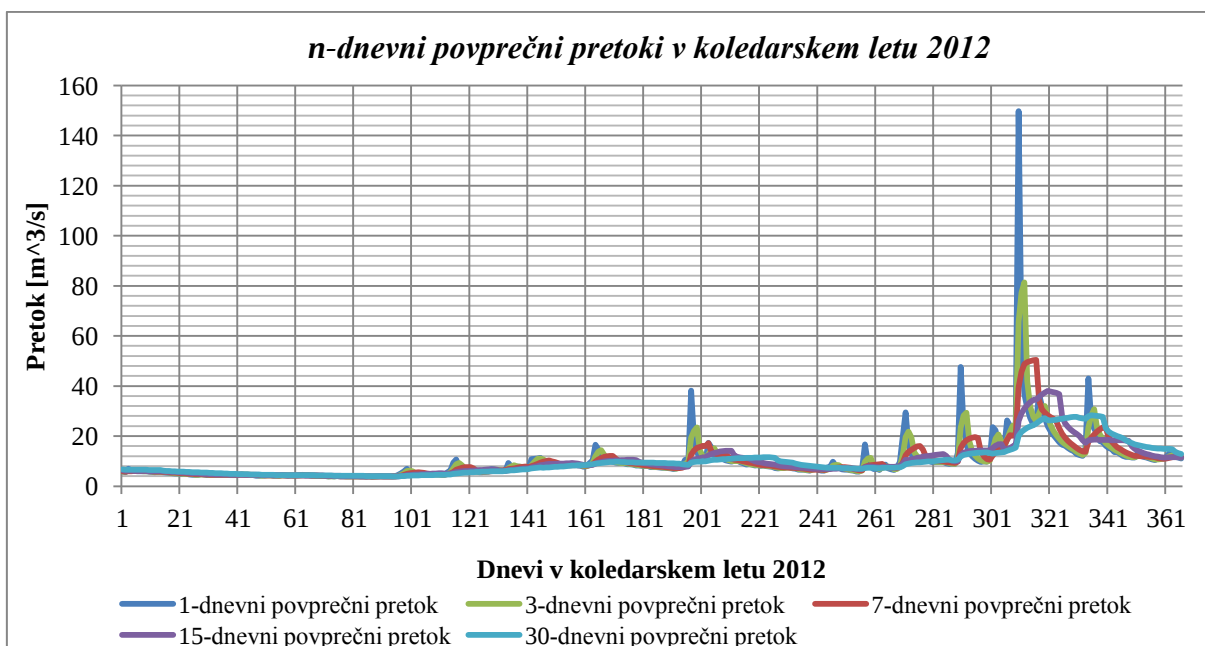
Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov je bila narejena z uporabo vseh teoretičnih porazdelitev, ki so na voljo v programu HEC-SSP. Za grafični prikaz verjetnosti posameznih vrednosti pretokov je bila izbrana Weibullova empirična porazdelitev. V analizo je bil vključen celotni niz podatkov. N-dnevni povprečni pretoki so bili izračunani za v programu privzete vrednosti trajanj, in sicer za 1, 3, 7, 15, 30, 60, 120 in 183 dni. Za določitev letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov je bilo izbrano koledarsko leto. Pretoki so bili ocenjeni za naslednje vrednosti povratnih dob oz. verjetnosti preseganja v odstotkih: 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 80, 90, 95 in 99 %. Zgodovinskih podatkov in pragov nizkih osamelcev nismo določili. Za izračun verjetnosti pa smo uporabili stacionarni koeficient asimetrije.

Za določitev maksimumov je bilo izbrano koledarsko leto, ker na ta način manj verjetno delimo obdobje visokih pretokov. To je razvidno tudi na grafu dnevnih pretokov za obravnavano obdobje, ki kaže, kdaj se tipično pojavljajo visoke oz. nizke vode (slika 16).



Slika 16: Dnevne vrednosti pretokov za vsa obravnavana leta

Iz dnevni pretokov se po metodi drsečih sredin (40) izračunajo n -dnevne povprečne vrednosti pretokov za izbrana trajanja. V preglednici 2 je nakazan začetek izračuna serij 1-, 3-, 7- in 15-dnevni povprečni pretokov z metodo drsečih sredin. Na sliki 17 pa so grafično prikazani 1-, 3-, 7-, 15- in 30-dnevni povprečni pretoki za koledarsko leto 2012.



Slika 17: Izbrani n -dnevni povprečni pretoki Save Dolinke na VP Jesenice v koledarskem letu 2012

Preglednica 2: Postopek izračuna n-dnevnih povprečnih pretokov po metodi drsečih sredin

Datum	1-dnevni povprečni pretok (m ³ /s)	3-dnevni povprečni pretok (m ³ /s)	7-dnevni povprečni pretok (m ³ /s)	15-dnevni povprečni pretok (m ³ /s)
1.1.1952	10,4			
2.1.1952	10,4			
3.1.1952	10,1	10,30		
4.1.1952	10,1	10,20		
5.1.1952	9,7	9,97		
6.1.1952	9,02	9,61		
7.1.1952	8,68	9,13	9,77	
8.1.1952	8,68	8,79	9,53	
9.1.1952	8,3	8,55	9,23	
10.1.1952	8,3	8,43	8,97	
11.1.1952	8,3	8,30	8,71	
12.1.1952	8,68	8,43	8,57	
13.1.1952	7,96	8,31	8,41	
14.1.1952	7,62	8,09	8,26	
15.1.1952	7,62	7,73	8,11	8,92
16.1.1952	7,62	7,62	8,01	8,74
17.1.1952	7,62	7,62	7,92	8,55
18.1.1952	7,25	7,50	7,77	8,36
19.1.1952	7,25	7,37	7,56	8,17
↓	↓	↓	↓	↓

Iz izračunanega niza n-dnevnih povprečnih pretokov se za posamezna trajanja povzamejo maksimalne letne vrednosti (preglednica 3), v kolikor izvajamo analizo maksimalnih pretočnih volumnov ali minimalne letne vrednosti, v kolikor analiziramo minimalne pretočne volumne.

5.4 Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov

Preglednica 3: Letni maksimalni n-dnevni pretoki oz. letni maksimalni pretočni volumni reke Save Dolinke na VP Jesenice

LETO	Letne maksimalne vrednosti n-dnevnih pretokov v m ³ /s								
	1	3	7	15	30	60	90	120	183
1952	54,2	44,4	35,7	30,2	24,4	23,0	20,7	18,1	15,0
1953	49,3	40,8	34,7	28,1	21,9	18,9	17,0	18,0	14,7
1954	63,8	43,0	36,0	26,9	20,5	18,7	17,5	15,8	13,1
1955	32,5	27,7	23,0	18,1	16,5	16,3	14,8	13,7	12,2
1956	36,9	29,5	26,4	23,3	22,8	20,5	18,7	16,5	13,7
1957	53,0	36,0	25,2	22,3	18,9	16,3	15,1	14,0	13,0
1958	57,3	38,1	28,0	23,2	17,6	16,2	15,4	14,6	13,0
1959	42,2	29,3	24,7	20,9	19,3	16,6	14,9	13,9	12,8
1960	46,4	41,6	35,4	28,6	26,0	25,4	24,7	23,0	20,4
1961	54,7	39,2	32,7	24,2	22,8	23,4	23,6	23,0	20,4
1962	63,8	45,2	34,3	32,2	29,3	24,4	21,8	19,8	16,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

1963	62,8	50,1	36,0	33,4	29,8	21,9	19,5	18,2	15,3
1964	69,9	57,0	42,7	30,1	25,6	21,5	18,1	17,9	15,1
1965	139,0	98,8	67,8	46,3	43,6	32,0	27,7	26,8	25,0
1966	115,0	88,0	56,6	39,2	30,2	23,0	19,3	20,9	21,2
1967	42,7	34,9	26,9	21,2	18,1	22,4	19,5	17,9	16,8
1968	39,0	28,3	24,8	21,5	19,7	17,1	16,0	15,2	15,1
1969	61,3	42,2	28,8	22,5	20,2	18,3	16,7	15,6	14,7
1970	30,4	26,8	25,2	23,8	22,1	19,8	18,3	17,0	14,7
1971	23,4	16,4	15,7	15,1	14,7	14,1	13,5	12,8	11,5
1972	45,7	39,4	37,1	32,7	29,4	25,6	22,0	20,8	17,2
1973	100,0	61,8	50,6	39,2	30,7	21,3	16,9	16,3	15,7
1974	28,1	21,8	17,2	14,6	13,7	12,2	12,4	14,3	13,2
1975	76,5	58,2	38,4	27,7	24,3	23,2	17,0	13,6	10,7
1976	36,0	30,8	27,9	24,4	19,9	16,4	14,1	12,9	9,7
1977	34,0	27,5	24,8	19,5	16,8	15,4	15,1	15,1	14,1
1978	55,0	41,4	31,7	25,8	24,1	23,6	22,6	20,8	17,5
1979	51,5	37,1	25,6	24,5	24,3	23,1	21,5	19,6	16,8
1980	50,1	46,5	38,0	32,4	26,5	20,3	16,4	16,1	15,6
1981	31,5	20,2	15,9	14,1	13,4	12,4	16,4	14,2	14,7
1982	53,3	34,6	25,7	20,6	18,2	16,8	15,3	13,3	11,7
1983	31,3	18,8	13,9	16,9	16,6	17,0	15,7	14,1	11,9
1984	44,1	40,2	31,8	26,4	23,0	20,0	18,0	16,5	15,5
1985	38,2	33,4	28,5	26,2	22,1	20,9	18,5	17,0	14,1
1986	53,2	33,4	22,3	19,6	17,6	17,4	16,0	14,4	13,5
1987	85,5	50,1	29,5	23,6	21,6	20,4	19,4	18,1	15,9
1988	30,2	25,8	19,7	16,3	14,3	14,0	14,4	13,2	13,6
1989	23,2	18,9	15,0	13,5	12,3	10,7	10,4	10,3	9,8
1990	50,9	37,9	30,6	24,6	20,8	18,2	15,0	12,8	11,3
1991	28,6	24,4	21,0	19,4	16,0	16,8	15,6	13,7	12,1
1992	49,9	41,1	30,5	23,1	21,6	21,1	18,2	14,9	12,4
1993	54,0	48,6	40,2	31,9	30,5	23,0	18,8	15,7	12,4
1994	23,3	18,7	16,2	14,3	13,6	12,9	18,0	17,0	13,5
1995	27,5	17,9	13,6	12,6	11,8	10,0	9,3	9,2	8,7
1996	59,4	49,9	39,0	30,3	23,1	18,0	15,9	13,9	13,8
1997	21,3	17,6	13,6	11,2	12,2	16,5	15,7	13,9	13,4
1998	67,9	55,5	39,2	29,8	23,5	19,2	17,1	15,1	13,4
1999	60,8	37,7	26,3	20,4	17,7	15,2	15,7	15,0	13,4
2000	87,4	74,8	64,5	54,6	46,0	31,8	26,2	21,4	17,0
2001	36,5	29,8	24,2	20,1	18,9	30,7	26,6	24,0	21,1
2002	49,7	38,7	33,9	32,0	25,4	18,6	16,0	14,1	12,9
2003	53,5	41,5	26,9	19,2	16,4	18,7	16,4	14,5	13,0
2004	60,7	42,9	30,8	23,2	19,2	16,0	15,0	14,3	14,4
2005	32,1	29,1	22,5	17,9	14,2	12,1	13,6	13,0	13,4
2006	23,3	21,1	19,5	17,6	16,1	15,1	14,0	12,8	11,2
2007	27,5	20,9	15,7	14,1	12,1	10,4	9,4	9,0	8,5
2008	63,1	45,1	31,7	24,3	19,8	18,1	14,9	13,3	12,8
2009	87,3	52,8	35,7	24,6	24,1	22,4	21,5	19,7	17,5
2010	61,5	46,8	33,2	28,3	25,3	23,4	20,1	19,3	16,2
2011	56,0	30,7	21,2	23,9	21,5	23,1	20,4	19,7	16,8
2012	149,7	81,3	50,5	38,0	28,3	22,2	18,7	16,2	13,8

Na podlagi letnih maksimalnih vrednosti se izvede verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov. Verjetnostna analiza je bila izvedena z vsemi razpoložljivimi teoretičnimi porazdelitvami, in sicer z normalno, logaritemsko normalno, Pearsonovo III in logaritemsko Pearson III porazdelitvijo. Kot rezultat dobimo verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov. V preglednicah 4a do 7a so za različne teoretične porazdelitve podane ocene letnih maksimalnih n-dnevni pretokov za različne povratne dobe oz. verjetnosti presežanja ter v preglednicah 4b do 7b ocene parametrov za različne porazdelitve. Na slikah 18 do 21 pa so rezultati tudi grafično prikazani in sicer verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov in točkovno prikazane verjetnosti posameznih letnih maksimalnih n-dnevni pretokov.

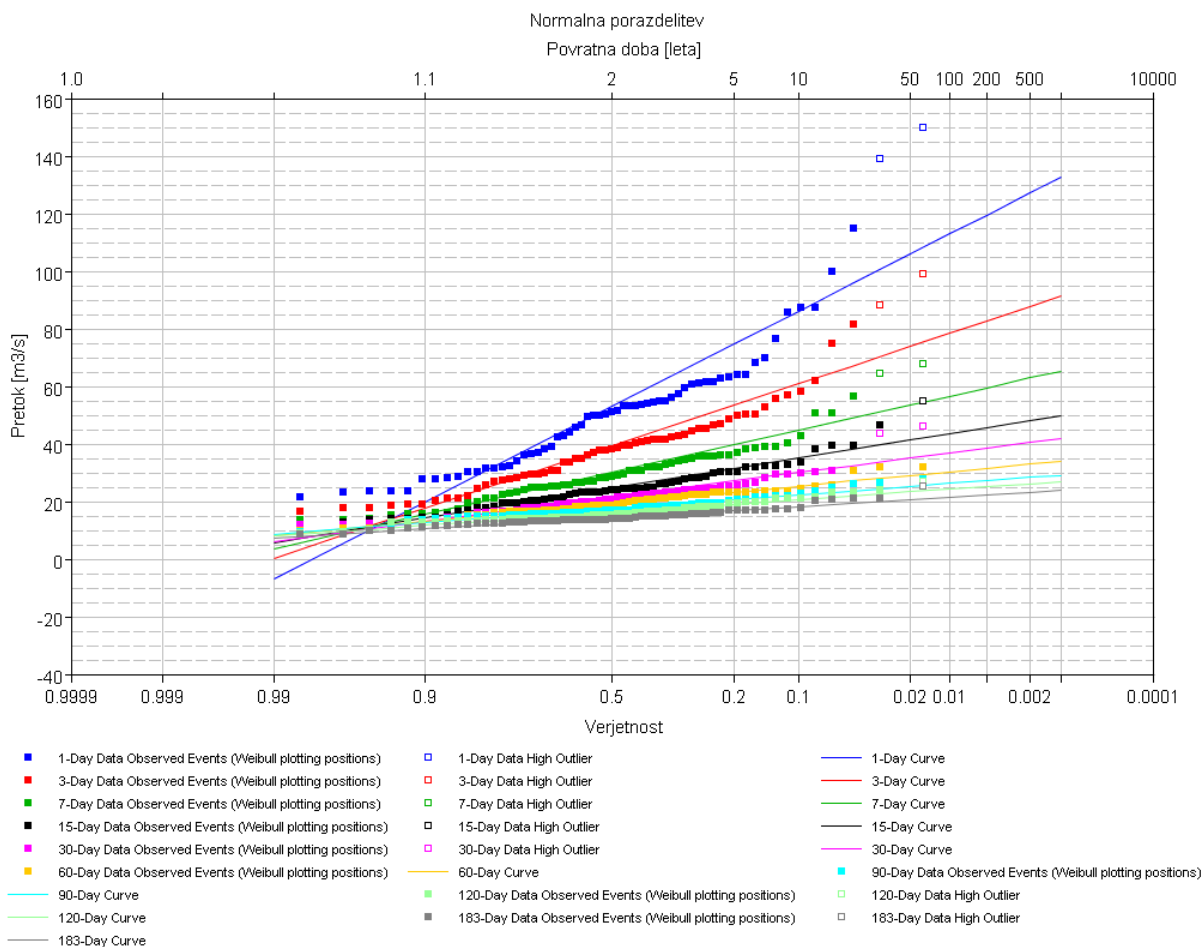
5.4.1 Normalna porazdelitev

Preglednica 4.1: Normalno porazdeljene verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice

Verjetnost presežanja v odstotkih	Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni povprečnih pretokov v m ³ /s								
	Q(1)	Q(3)	Q(7)	Q(15)	Q(30)	Q(60)	Q(90)	Q(120)	Q(183)
0,1	132,8	91,3	65,4	49,8	42,1	34	29,2	27	23,8
0,2	127,3	87,7	62,9	48,1	40,6	33	28,4	26,2	23,1
0,5	119,5	82,6	59,5	45,6	38,6	31,6	27,2	25,2	22,2
1	113,1	78,5	56,6	43,6	37	30,4	26,3	24,3	21,5
2	106,1	73,9	53,5	41,4	35,2	29,1	25,2	23,3	20,6
5	95,5	67	48,9	38,1	32,4	27,1	23,7	21,9	19,4
10	86,1	60,9	44,7	35,1	30	25,4	22,3	20,6	18,3
20	74,8	53,5	39,7	31,5	27,1	23,3	20,7	19,1	17
50	53,1	39,4	30,1	24,7	21,5	19,3	17,5	16,2	14,4
80	31,3	25,2	20,5	17,8	15,9	15,2	14,3	13,2	11,9
90	20	17,8	15,5	14,2	13	13,1	12,7	11,7	10,5
95	10,6	11,7	11,3	11,3	10,5	11,4	11,3	10,4	9,4
99	-7	0,3	3,5	5,7	6	8,1	8,7	8	7,3

Preglednica 4.2: Parametri normalne porazdelitve

Parametri porazdelitve	Q(1) [m ³ /s]	Q(3) [m ³ /s]	Q(7) [m ³ /s]	Q(15) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(60) [m ³ /s]	Q(90) [m ³ /s]	Q(120) [m ³ /s]	Q(183) [m ³ /s]
Srednja vrednost	53,067	39,375	30,079	24,666	21,489	19,253	17,488	16,161	14,406
Standardna deviacija	25,808	16,798	11,414	8,142	6,655	4,779	3,774	3,496	3,035
Koeficient asimetrije	1,732	1,371	1,17	1,124	1,342	0,441	0,54	0,695	0,971
Sprejet koeficient asimetrije	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Število ničelnih podatkov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let z manjkajočimi podatki	0	1	1	1	1	1	1	1	1



Slika 18: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo normalne porazdelitve

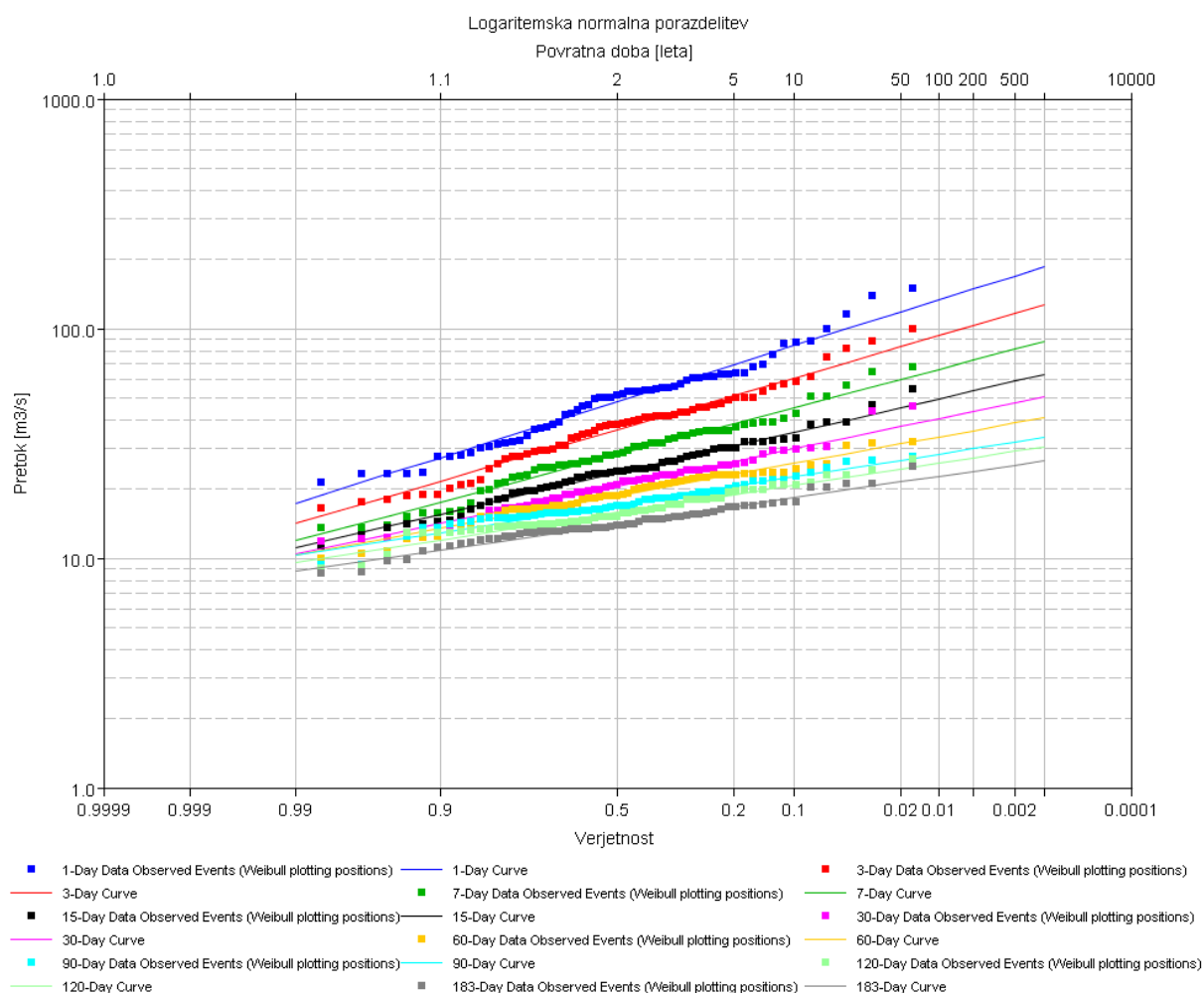
5.4.2 Logaritemska normalna porazdelitev

Preglednica 5.1: Logaritemsko normalno porazdeljene verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice

Verjetnost preseganja v odstotkih	Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni povprečnih pretokov v m ³ /s								
	Q(1)	Q(3)	Q(7)	Q(15)	Q(30)	Q(60)	Q(90)	Q(120)	Q(183)
0,1	186,3	126,8	87,9	63	50,7	41	33,6	30,6	26,5
0,2	169,8	116,3	81,3	58,9	47,7	38,9	32,1	29,2	25,4
0,5	148,7	102,9	72,7	53,5	43,6	36	30	27,4	23,9
1	133,3	93,1	66,3	49,4	40,6	33,8	28,4	26	22,7
2	118,3	83,3	60	45,2	37,5	31,5	26,8	24,5	21,5
5	98,9	70,6	51,6	39,7	33,3	28,4	24,5	22,5	19,7
10	84,3	61	45,1	35,3	29,9	25,9	22,6	20,8	18,3
20	69,6	51	38,4	30,7	26,3	23,1	20,5	18,9	16,8
50	48,1	36,3	28,1	23,5	20,6	18,7	17,1	15,8	14,1
80	33,3	25,8	20,6	17,9	16,1	15,1	14,2	13,2	11,9
90	27,4	21,6	17,6	15,6	14,2	13,5	12,9	12	10,9
95	23,4	18,7	15,4	13,9	12,7	12,3	11,9	11,1	10,1
99	17,4	14,2	11,9	11,1	10,4	10,3	10,3	9,6	8,8

Preglednica 5.2: Parametri logaritemske normalne porazdelitve

Parametri porazdelitve	Q(1) [m ³ /s]	Q(3) [m ³ /s]	Q(7) [m ³ /s]	Q(15) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(60) [m ³ /s]	Q(90) [m ³ /s]	Q(120) [m ³ /s]	Q(183) [m ³ /s]
Srednja vrednost	1,682	1,56	1,449	1,37	1,314	1,271	1,233	1,199	1,15
Standardna deviacija	0,19	0,176	0,16	0,139	0,127	0,111	0,095	0,093	0,089
Koeficient asimetrije	0,281	0,079	-0,023	0,013	0,229	-0,352	-0,322	-0,037	0,124
Sprejet koeficient asimetrije	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Število ničelnih podatkov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let z manjkajočimi podatki	0	1	1	1	1	1	1	1	1



Slika 19: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo logaritemske normalne porazdelitve

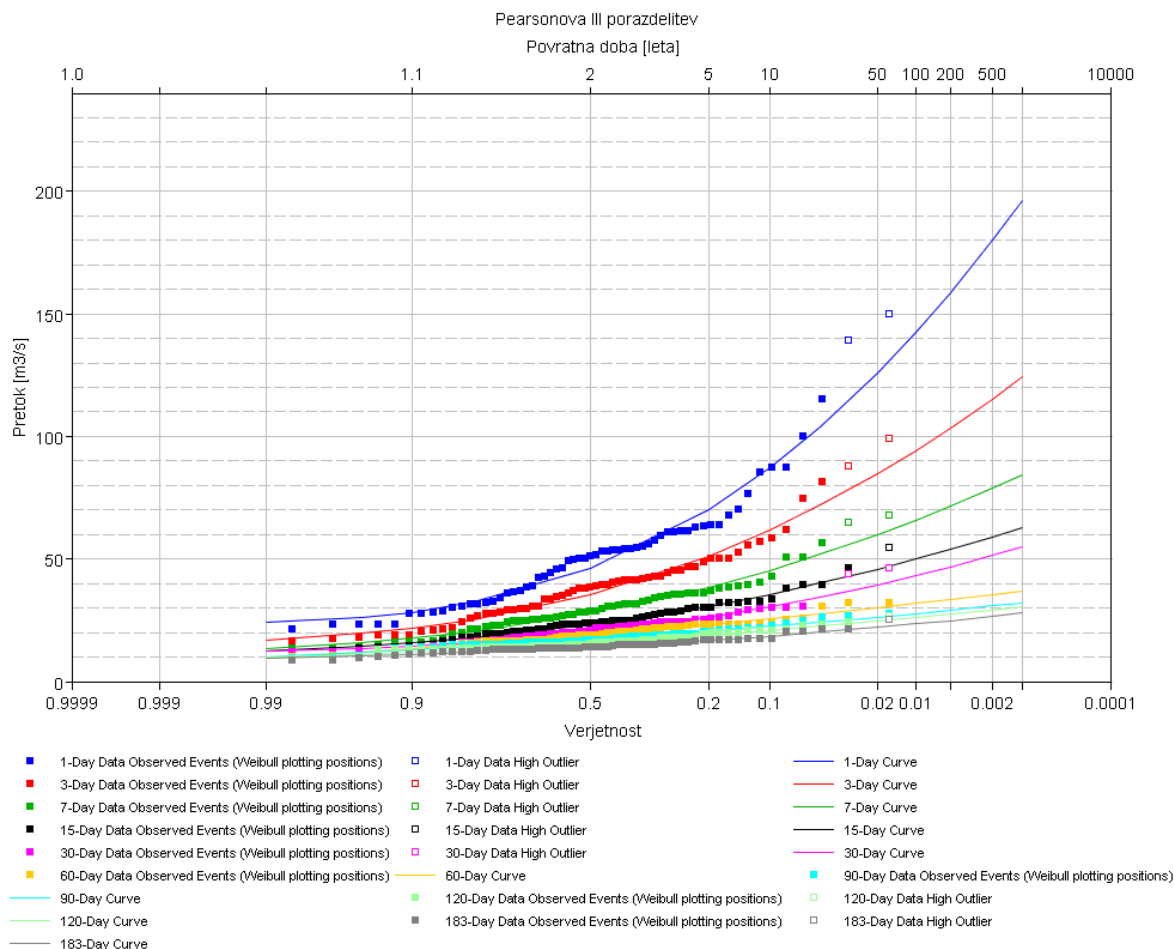
5.4.3 Pearsonova III porazdelitev

Preglednica 6.1: Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice porazdeljene po Pearsonovi III porazdelitvi

Verjetnost preseganja v odstotkih	Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevni povprečnih pretokov v m ³ /s								
	Q(1)	Q(3)	Q(7)	Q(15)	Q(30)	Q(60)	Q(90)	Q(120)	Q(183)
0,1	196,3	124,3	84,5	63	54,9	37,1	32,1	30,5	28
0,2	180,2	115,3	79	59,1	51,4	35,6	30,8	29,2	26,7
0,5	158,7	103,3	71,6	53,9	46,6	33,5	29,1	27,4	24,9
1	142,4	94	65,8	49,9	43	31,9	27,7	26	23,5
2	126	84,6	59,9	45,8	39,3	30,2	26,3	24,6	22,1
5	104	71,9	51,8	40,1	34,3	27,7	24,2	22,5	20,1
10	87,2	61,8	45,4	35,6	30,4	25,6	22,5	20,8	18,5
20	70	51,3	38,5	30,7	26,2	23,1	20,5	18,9	16,7
50	46	35,7	27,9	23,2	20	18,9	17,1	15,8	13,9
80	32,3	25,4	20,4	17,8	15,9	15,2	14,3	13,2	11,8
90	28,2	21,8	17,6	15,7	14,5	13,4	12,9	12	11
95	26,1	19,6	15,8	14,3	13,6	12	11,9	11,2	10,4
99	24,1	16,9	13,3	12,4	12,5	9,7	10,2	9,8	9,5

Preglednica 6.2: Parametri Pearsonove III porazdelitve

Parametri porazdelitve	Q(1) [m ³ /s]	Q(3) [m ³ /s]	Q(7) [m ³ /s]	Q(15) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(60) [m ³ /s]	Q(90) [m ³ /s]	Q(120) [m ³ /s]	Q(183) [m ³ /s]
Srednja vrednost	53,067	39,375	30,079	24,666	21,489	19,253	17,488	16,161	14,406
Standardna deviacija	25,808	16,798	11,414	8,142	6,655	4,779	3,774	3,496	3,035
Koeficient asimetrije	1,732	1,371	1,17	1,124	1,342	0,441	0,54	0,695	0,971
Sprejet koeficient asimetrije	1,732	1,371	1,17	1,124	1,342	0,441	0,54	0,695	0,971
Število let	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Število ničelnih podatkov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let z manjkajočimi podatki	0	1	1	1	1	1	1	1	1



Slika 20: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo Pearsonove III porazdelitve

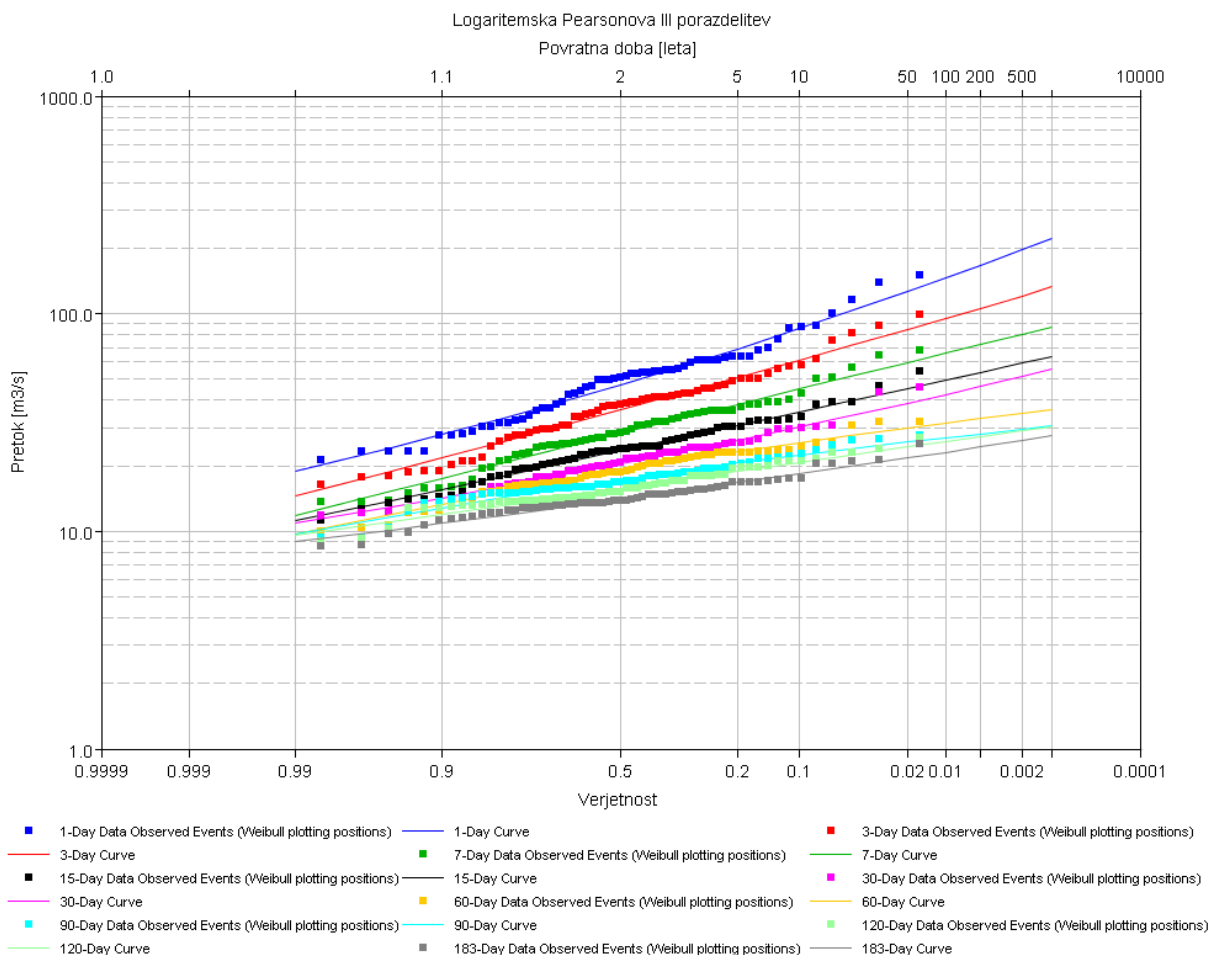
5.4.4 Logaritemska Pearsonova III porazdelitev

Preglednica 7.1: Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov reke Save Dolinke na VP Jesenice porazdeljene po logaritemski Pearsonovi III porazdelitvi

Verjetnost preseganja v odstotkih	Verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevnih povprečnih pretokov v m ³ /s								
	Q(1)	Q(3)	Q(7)	Q(15)	Q(30)	Q(60)	Q(90)	Q(120)	Q(183)
0,1	222,4	132,7	86,8	63,4	55,8	36,2	30,4	30,3	27,5
0,2	197,3	120,9	80,4	59,2	51,7	34,9	29,5	29,0	26,2
0,5	166,9	106,1	72,1	53,7	46,5	33,1	28,1	27,2	24,5
1	145,8	95,3	65,9	49,5	42,6	31,6	27,0	25,8	23,1
2	126,2	84,8	59,7	45,4	38,8	30,0	25,8	24,4	21,8
5	102,2	71,3	51,5	39,7	33,9	27,6	24,0	22,4	19,9
10	85,3	61,2	45,1	35,4	30,1	25,6	22,4	20,8	18,4
20	69,1	50,9	38,4	30,7	26,2	23,2	20,6	18,9	16,7
50	47,1	36,1	28,2	23,4	20,4	18,9	17,3	15,8	14,1
80	33,1	25,8	20,6	17,9	16,1	15,1	14,3	13,2	11,9
90	27,9	21,7	17,5	15,6	14,3	13,4	12,8	12,0	10,9
95	24,3	18,8	15,3	13,9	13,0	12,0	11,7	11,1	10,2
99	19,0	14,5	11,9	11,2	11,0	9,7	9,8	9,6	8,9

Preglednica 7.2: Parametri logaritemske Pearsonove III porazdelitve

Parametri porazdelitve	Q(1) [m ³ /s]	Q(3) [m ³ /s]	Q(7) [m ³ /s]	Q(15) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(60) [m ³ /s]	Q(90) [m ³ /s]	Q(120) [m ³ /s]	Q(183) [m ³ /s]
Srednja vrednost	1,682	1,56	1,449	1,37	1,314	1,271	1,233	1,199	1,15
Standardna deviacija	0,19	0,176	0,16	0,139	0,127	0,111	0,095	0,093	0,089
Koeficient asimetrije	0,281	0,079	-0,023	0,013	0,229	-0,352	-0,322	-0,037	0,124
Sprejet koeficient asimetrije	0,281	0,079	-0,023	0,013	0,229	-0,352	-0,322	-0,037	0,124
Število let	61	61	61	61	61	61	61	61	61
Število ničelnih podatkov	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Število let z manjkajočimi podatki	0	1	1	1	1	1	1	1	1



Slika 21: Grafični prikaz rezultatov verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov za reko Savo Dolinko na VP Jesenice z uporabo logaritemske Pearsonove III porazdelitve

Program ne izvaja testov ustreznosti porazdelitve, s katerimi bi lahko preverili katera od porazdelitev je najustrežnejša oziroma se najbolj prilega podatkom. Izbrali smo logaritemsko Pearsonovo III porazdelitev na podlagi testov ustreznosti, ki jih je Menih (2014) v svojem diplomskem delu izvedel pri verjetnostni analizi visokovodnih konic za obravnavano vodomerno postajo.

6 VERJETNOSTNA ANALIZA MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA VODOMERNIH POSTAJAH NA REKI SAVI

6.1 Vhodni podatki

Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov je bila izvedena za izbrane vodomerne postaje na reki Savi. Kriterij za izbiro postaj je bil vsaj 30-letni niz neprekinjenih meritev dnevnih pretokov. Po priporočilih hidrološke službe ARSO smo upoštevali le pretoke izmerjene po letu 1950, ker je pred tem lahko njihova vrednost vprašljiva (Kavčič, 2013). Upoštevali smo tako delujoče postaje, kot tudi postaje, ki ne obratujejo več. V primeru, da je bila postaja ukinjena oz. jo je nadomestila nova v bližini, smo podatke obeh postaj združili in tako dobili daljše nize podatkov. Analizo smo tako izvedli na 11 vodomernih postajah na reki Savi.

Preglednica 8: Lastnosti obravnavanih vodomernih postaj na reki Savi

ŠIFRA POSTAJE	POSTAJA	VODOTOK	ZALEDJE [km ²]	GKY	GKX	KOTA [m n.m.]	OBD OBJE MERITEV UPOŠTEVANO PRI ANALIZI	DOLŽINA NIZA
3010	Podkoren	Sava Dolinka	30,22	404650	150425	833,609	1958 - 1991	34
3060	Jesenice	Sava Dolinka	257,56	427697	143744	566,433	1952 - 2012	61
3080	Blejski most	Sava Dolinka	505,4	433785	136305	427,946	1974 - 2006	33
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	93,99	414565	126620	524,948	1951 - 2012	62
3220	Soteska	Sava Bohinjka	288,19	426230	128680	478,241	1951 - 1989	39
3420	Radovljica I	Sava	907,97	436120	133220	408,086	1953 - 2012	60
3500	Prebačevo	Sava	1467,4	453385	118865	333,936	1954 - 1985	32
3570	Šentjakob	Sava	2284,8	468075	104515	268,185	1954 - 2012	59
3650	Litija I	Sava	4821,43	486670	101285	230,444	1953 - 2012	60
3740	Radeče	Sava	7083,7	514390	103055	184,111	1951 - 1994	44
3850	Čatež + Čatež I	Sava	10186,45	547709	83402	137,279	1954 - 2012	59

6.2 Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov reke Save

Verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov je bila narejena z uporabo logaritemske Pearsonove III porazdelitve, saj se je pri testiranju ustreznosti porazdelitve pri analizi visokovodnih konic (Menih, 2014) izkazala kot najustreznejša na večini vodomernih postaj na reki Savi. Za grafični prikaz verjetnosti posameznih vrednosti pretokov je bila izbrana Weibullova empirična porazdelitev. V analizo je bil vključen celotni niz podatkov posamezne postaje. N-dnevni povprečni pretoki so bili izračunani za v programu privzete vrednosti trajanj. Za določitev letnih maksimalnih n-dnevnih

pretokov je bilo izbrano hidrološko ali koledarsko leto (odvisno od pretočnega režima reke oz. vodomerne postaje). Pretoki so bili ocenjeni za različne verjetnosti preseganja oz. vrednosti povratnih dob. Zgodovinskih podatkov in pragov nizkih osamelcev nismo določili. Za izračun verjetnosti pa smo uporabili stacionarni koeficient asimetrije.

Iz dnevnih pretokov so po metodi drsečih sredin izračunane n-dnevne povprečne vrednosti pretokov za izbrana trajanja. Iz njih se povzamejo letni maksimalni n-dnevni pretoki, na podlagi katerih je izvedena verjetnostna analiza.

6.3 Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov reke Save

V preglednici 9 so prikazani ocenjeni maksimalni pretočni volumni (letni maksimalni n-dnevni pretoki) s 50-, 100- in 1000-letno povratno dobo pri različnih trajanjih za obravnavane vodomerne postaje na reki Savi. Za primerjavo je bila izvedena tudi klasična verjetnostna analiza visokovodnih konic za obravnavane vodomerne postaje na reki Savi (razen za VP 3850, ker ni dovolj podatkov o visokovodnih konicah). V preglednici 9 so tako prikazane tudi ocene koničnih pretokov za 50-, 100- in 1000-letno povratno dobo.

Preglednica 9: Rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov in visokovodnih konic obravnavanih vodomernih postajah na reki Savi za izbrane povratne dobe

ŠIFRA VP	LETO	Trajanje [dnevi]	Ocene konic Q [m ³ /s]	Ocene letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov Q [m ³ /s]					
		Povratna doba [leta]		1	3	7	15	30	60
3010	koledarsko leto	50	7,8	6,0	5,5	4,7	4,2	3,9	3,6
		100	9,4	7,0	6,3	5,3	4,6	4,3	3,9
		1000	16,3	11,2	9,7	7,3	5,9	5,4	5,1
3060	koledarsko leto	50	227	126,2	84,8	59,7	45,4	38,8	30,0
		100	271,1	145,8	95,3	65,9	49,5	42,6	31,6
		1000	461,1	222,4	132,7	86,8	63,4	55,8	36,2
3080	koledarsko leto	50	343,2	227,9	162,3	125,0	98,5	83,3	67,6
		100	388,7	255,0	178,1	138,7	109,4	93,6	72,9
		1000	555,9	355,3	232,7	188,4	149,9	133,7	90,4
3200	koledarsko leto	50	208,6	176,0	130,9	77,1	50,0	39,0	28,9
		100	232,7	195,7	145,7	83,7	53,8	42,0	30,5
		1000	317,5	264,9	199,2	105,5	66,5	52,2	35,0
3220	koledarsko leto	50	567,2	481,0	342,9	202,8	125,2	87,8	61,0
		100	619,9	536,2	390,7	226,5	138,0	95,3	63,5
		1000	789	725,4	574,8	313,2	183,5	121,2	70,6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 9

3420	koledarsko leto	50	823,5	659,3	489,2	309,7	217,9	172,6	127,6
		100	905,2	735,2	547,0	340,7	239,3	190,7	134,3
		1000	1177,5	1007,3	759,8	449,1	315,6	258,4	153,9
3500	koledarsko leto	50	1301,8	1023,7	752,9	458,3	286,2	222,6	158,8
		100	1385,4	1108,5	826,8	496,8	306,1	239,2	164,3
		1000	1610,8	1362,1	1065,0	617,0	369,9	296,1	179,6
3570	hidrološko leto	50	1520,6	1195,7	915,4	615,1	440,2	349,6	247,9
		100	1632,1	1298,7	1008,6	673,7	484,9	389,4	263,2
		1000	1973	1620,2	1326,1	871,4	645,0	539,4	309,2
3650	hidrološko leto	50	2256,2	1756,9	1318,9	948,9	718,3	565,5	444,3
		100	2456	1909,8	1429,0	1011,6	766,8	601,5	467,5
		1000	3106	2405,2	1787,2	1199,5	916,3	710,2	533,6
3740	hidrološko leto	50	3291,3	2613,9	1914,2	1357,8	922,3	724,6	578,1
		100	3642,5	2876,2	2096,2	1469,4	977,2	769,2	611,1
		1000	4888,7	3785,0	2732,5	1844,4	1148,2	910,3	714,0
3850	hidrološko leto	50	ni podatkov	3095,4	2433,2	1740,7	1262,3	954,7	746,7
		100		3361,3	2651,9	1864,9	1341,5	1009,5	784,7
		1000		4214,1	3379,1	2246,0	1577,8	1173,4	894,3

Verjetnostno analizo maksimalnih pretočnih volumnov smo izvedli tudi na ostalih vodomernih postajah v Sloveniji. Kriteriji za izbiro postaj je enak kot pri izbiri postaj na reki Savi (poglavju 6.1). Tako smo verjetnostno analizo izvedli na 117 vodomernih postajah v Sloveniji. Uporabljena je bila logaritemska Pearsonova III porazdelitev. V prilogi A so opisane lastnosti obravnavanih vodomernih postaj, v prilogi B rezultati verjetnostne analize maksimalnih pretočnih volumnov obravnavanih vodomernih postaj, v prilogi C pa so prikazane obravnavane vodomerne postaje na karti.

Vidimo lahko, da so vrednosti ocenjenih koničnih pretokov precej višje kot ocenjene vrednosti letnih maksimalnih n-dnevni pretokov, saj konični pretok nastopi v trenutku in je določen večinoma iz 5-minutnih meritev, medtem ko se maksimalni n-dnevni pretok zgodi v določenem časovnem obdobju in je izračunan iz dnevnih vrednosti pretokov. Dejansko so to pretočni volumni, ki so izraženi kot maksimalni n-dnevni povprečni pretoki (če n-dnevni povprečni pretok pomnožimo z njegovim trajanjem (n) dobimo volumen).

7 UPORABA VERJETNOSTNIH KRIVULJ MAKISMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV NA PRIMERU AKUMULACIJSKEGA BAZENA HE MOSTE

Verjetnostne krivulje pretočnih volumnov lahko uporabimo pri načrtovanju zadrževalnikov in njihovem obratovanju. V osnovi se uporabljajo za načrtovanje visokovodnih zadrževalnikov s konstantnim izpustom, katerih glavna funkcija je nadzorovanje in začasno zadrževanje visokovodnih valov.

S pomočjo verjetnostnih krivulj maksimalnih pretočnih volumnov vodomerne postaje Jesenice smo na primeru akumulacijskega bazena HE Moste analizirali situacijo pri visokih oz. maksimalnih vodah, kako z zadrževanjem visokovodnega vala vplivamo na zmanjšanje pretokov pod pregrado ter določili kakšen bi bil potreben zadrževalni volumen akumulacije pri danem maksimalnem pretočnem volumnu in ob upoštevanju obratovalnega pretoka.

7.1 Hidroelektrarna Moste

HE Moste je prva hidroelektrarna na reki Savi, ki obratuje od leta 1952. Hidroelektrarna izkorišča vodo Save Dolinke, ki jo zajezuje betonska ločno težnostna pregrada pri Mostah v soteski Kavčke. S 60 m višine je tudi najvišja pregrada v Sloveniji. Akumulacijski bazen omogoča tedensko izravnavo pretokov. HE Moste je akumulacijska elektrarna za proizvodnjo vršne energije.

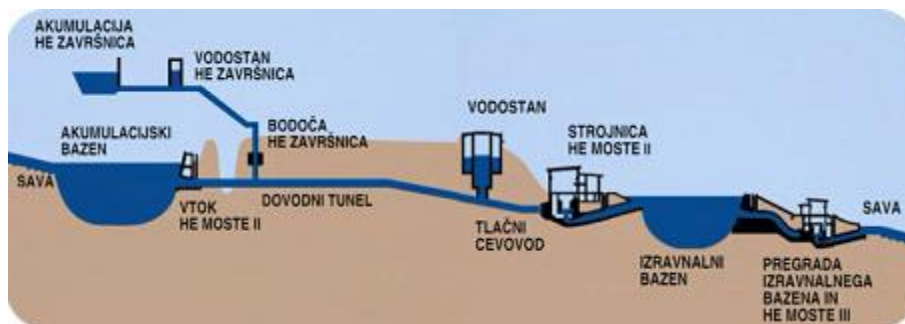
HE Moste skupaj s HE Završnica (zgrajeno leta 1914 na potoku Završnica) tvori enotni energetski sistem. Prvotno so bili vgrajeni trije agregati v strojnici HE Moste (s skupno požiralnostjo $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$), kasneje je bil vgrajen še četrti reverzibilni agregat (s požiralnostjo $6 \text{ m}^3/\text{s}$) s priključkom dovodnega cevovoda HE Završnica (Savske elektrarne Ljubljana, 2014). Zaradi nerealiziranega prečrpavanja savske vode v višje ležeči bazen Završnica (zaradi prevelike onesnaženosti reke Save) ter nezanesljivosti in slabega izkoristka reverzibilnega agregata, je bil ta leta 1999 rekonstruiran in omogoča samo izkoriščanje pretoka Završnice v turbinskem režimu. Zaradi zagotovitve stabilnosti in varnosti obratovanja je bila v letih od 2008 do 2010 izvedena popolna rekonstrukcija pogonske in elektro opreme ter stavbe strojnice. Namesto treh agregatov sta ostala le dva s skupno požiralnostjo $26 \text{ m}^3/\text{s}$. Glede na hidravlične karakteristike derivacijskega sistema so izbrane obratovalne karakteristike optimalne (Savske elektrarne Ljubljana, 2014; Kryžanowski, 2015).



Slika 22: Pregrada hidroelektrarne Moste v Kavčkah (Podhraški, 2005)

Hidroelektrarna skupaj z akumulacijo kaže že večje znake dotrajanosti, zato je nujna obnova in posodobitev celotnega sistema. Celotno območje HE Moste leži na neugodnih tleh (plazljivem območju), kar povzroča številne probleme na hidrotehničnih objektih. Z okoljevarstvenega vidika pa predstavljajo velik problem tudi močne in hitro napredujoče erozije brežin rek Save Dolinke in Save, ki se pričnejo na iztoku iz HE Moste pa vse do HE Mavčiče. Erozijo bregov povzroča obratovanje HE Moste, saj zaradi energetskih potreb pretok stalno niha od 0 do 28 m³/s (Obnova HE Moste, 2014). Problem pa se kaže tudi pri zaprojenosti akumulacije, ki delno zmanjšuje volumen le-te ter problem zagotavljanja varnosti pregrade. Bazen bi se moral v ta namen vsakih 10 let izprazniti, kar pa iz ekološkega vidika zaradi prisotnosti strupenih snovi v usedlinah, ni mogoče (Kryžanowski in Polak, 1996).

Na podlagi strokovne študije (Kryžanowski in Polak, 1996) je bil narejen predlog obnove in doinstalacije v kateri se predvideva gradnja nove HE Moste II in gradnja kompenzacijskega (izravnalnega) bazena skupaj z HE Moste III. Cilj sanacije in doinstalacije HE Moste je doseči optimalno obratovanje in energetsko izrabo ob upoštevanju prostorskih, okoljevarstvenih in ekonomskih omejitev (Obnova HE Moste, 2014; Kryžanowski in Polak, 1996).



Slika 23: Shema izgradnje nadomestnega sistema z možnostjo povečanja instalacije za optimalno energetske izrabo (Povzeto po Obnova HE Moste, 2014)

Do sedaj je bila v okviru obnove izvedena sanacija prodne pregrade Javornik, sanacija korena zaježitve, sanacija pregrade in vgradnja zapornic na pregradi obstoječe HE Moste ter že omenjena gradbena sanacija strojnice HE Moste, ki naj bi preprečila nadaljnje deformiranje objekta, zamenjava agregatov (spremenjena požiralnost iz $3 \times 9,5$ na $2 \times 13 \text{ m}^3/\text{s}$) in rekonstrukcija stikališč. Trenutno celotni sistem v konicah proizvede 21 MW moči, srednja letna proizvodnja pa znaša 56 GWh (Obnova HE Moste, 2014; Savske elektrarne Ljubljana, 2014).

7.2 Vhodni podatki

Osnovni vhodni podatek so verjetnostne krivulje letnih maksimalnih n-dnevnih pretokov oz. maksimalni pretočni volumni, ki smo jih izračunali s pomočjo programskega orodja HEC-SSP za vodomerno postajo Jesenice na reki Savi Dolinki. Verjetnostna analiza je bila izvedena z logaritemsko Pearsonovo III porazdelitvijo.

Preglednica 10: Ocenjeni letni maksimalni n-dnevni pretoki pri različnih povratnih dobah

Povratna doba T [leta]	Ocenjeni letni maksimalni pretoki Q [m^3/s] pri različnih trajanjih [dnevi]								
	Q(1)	Q(3)	Q(7)	Q(15)	Q(3)	Q(60)	Q(90)	Q(120)	Q(183)
10	85,3	61,2	45,1	35,4	30,1	25,6	22,4	20,8	18,4
20	102,2	71,3	51,5	39,7	33,9	27,6	24,0	22,4	19,9
50	126,2	84,8	59,7	45,4	38,8	30,0	25,8	24,4	21,8
100	145,8	95,3	65,9	49,5	42,6	31,6	27,0	25,8	23,1
1000	222,4	132,7	86,8	63,4	55,8	36,2	30,4	30,3	27,5

Koren akumulacijskega bazena hidroelektrarne Moste se prične približno 3 kilometre dolvodno od vodomerne postaje Jesenice (slika 24). Skupni volumen akumulacijskega bazena znaša $7,8 \text{ hm}^3$, maksimalni koristni volumen pa nekje $6,45 \text{ hm}^3$, kar predstavlja volumen med maksimalno koto zaježitve 524,75 m (krona zapornice) in minimalno obratovalno koto 510,00 m (zgornja koto vtoka na odvzemni zgradbi). Med samim obratovanjem se je skupni in koristni volumen nekoliko zmanjšal

(zaradi zasipavanja bazena), kljub temu pa še vedno zadostuje za tedensko izravnavo (Kryžanowski in Polak, 1996; Kryžanowski, 2015).

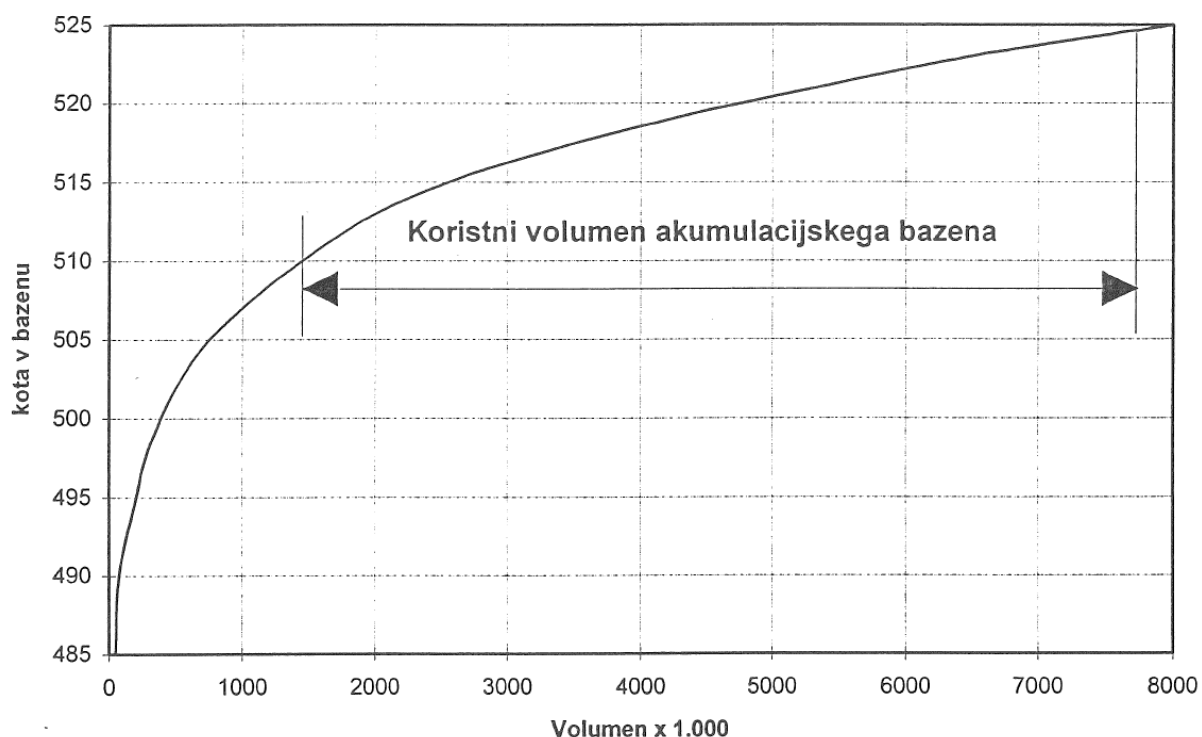


Slika 24: Lokacija vodomerne postaje Jesenice (označena z rdečo) in akumulacijski bazen HE Moste (Atlas okolja, 2013)

Za potrebe projekta sanacije HE Moste se izvajajo periodične meritve dna bazena. Na osnovi teh meritev se je določila krivulja volumna akumulacijskega bazena v odvisnosti od kote gladine (slika 25). V naših nadaljnjih analizah smo upoštevali samo koristen volumen akumulacije. Iz krivulje volumna akumulacije se je določila enačba za gladinska stanja akumulacije pri pripadajočem volumnu in enačba za volumen akumulacije pri pripadajoči gladini:

$$kota\ glad. = 501,8595 + 0,007054 \times x - 9,04456 \times 10^{-7} \times x^2 + 4,84154 \times 10^{-11} \times x^3 \quad (41)$$

$$volumen = 5414521,3450485 - 121286,7185857706 \times x + 20,8148557973526 \times x^2 + 0,00022032983939908 \times x^3 \quad (42)$$



Slika 25: Linija volumna akumulacijskega bazena hidroelektrarne Moste (Povzeto po Kryžanowski in Polak, 1996)

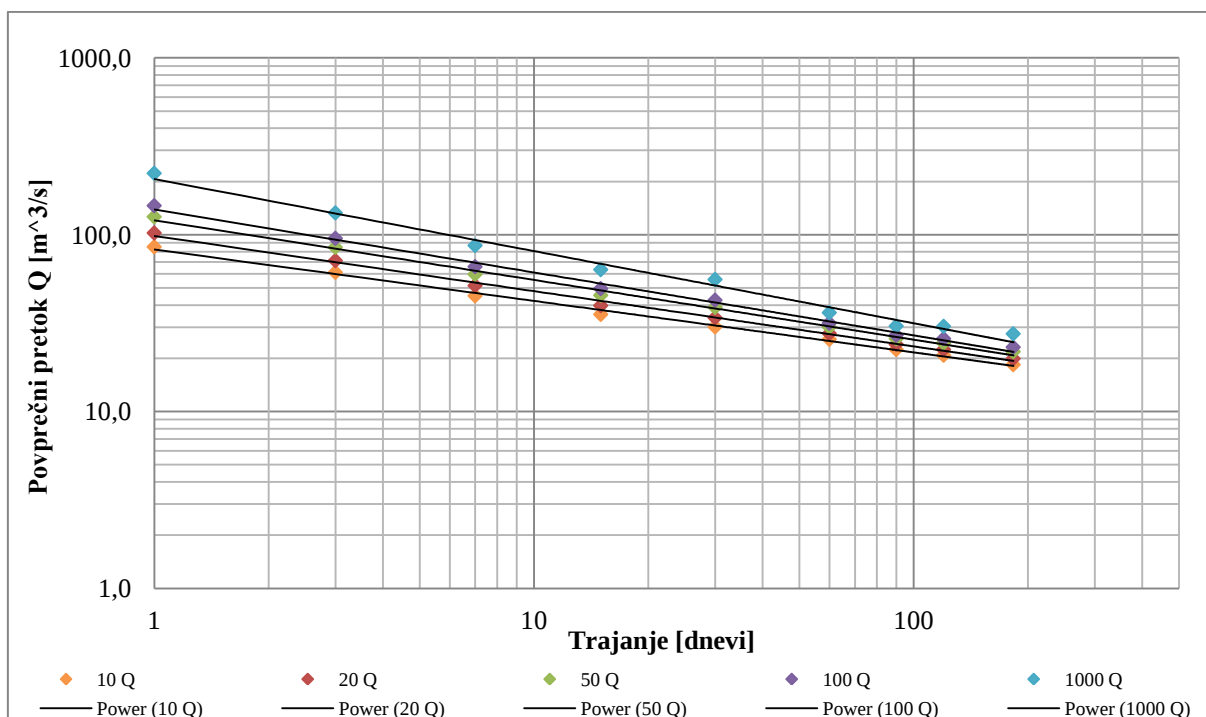
V preglednici 11 so podane tehnične lastnosti akumulacije, ki smo jih upoštevali pri nadaljnjih izračunih. Maksimalna obratovalna kota predstavlja krono preliva na zapornici pregrade, minimalna kota pa je po obratovalnem pravilniku minimalna dopustna obratovalna kota. V analizah smo upoštevali dve obratovalni stanji, sedanje stanje pri instaliranem obratovalnem pretoku $26 \text{ m}^3/\text{s}$ in projektni pretok $70 \text{ m}^3/\text{s}$ po doinstalaciji HE Moste.

Preglednica 11: Vhodni podatki akumulacije

Maksimalna kota zaježitve	524,75 m
Maksimalen razpoložljiv volumen (denivelacija)	$3,87 \text{ hm}^3$ (-6,5 m)
Obratovalni instalirani pretok	$26 \text{ m}^3/\text{s}$
Obratovalni doinstalirani pretok	$70 \text{ m}^3/\text{s}$

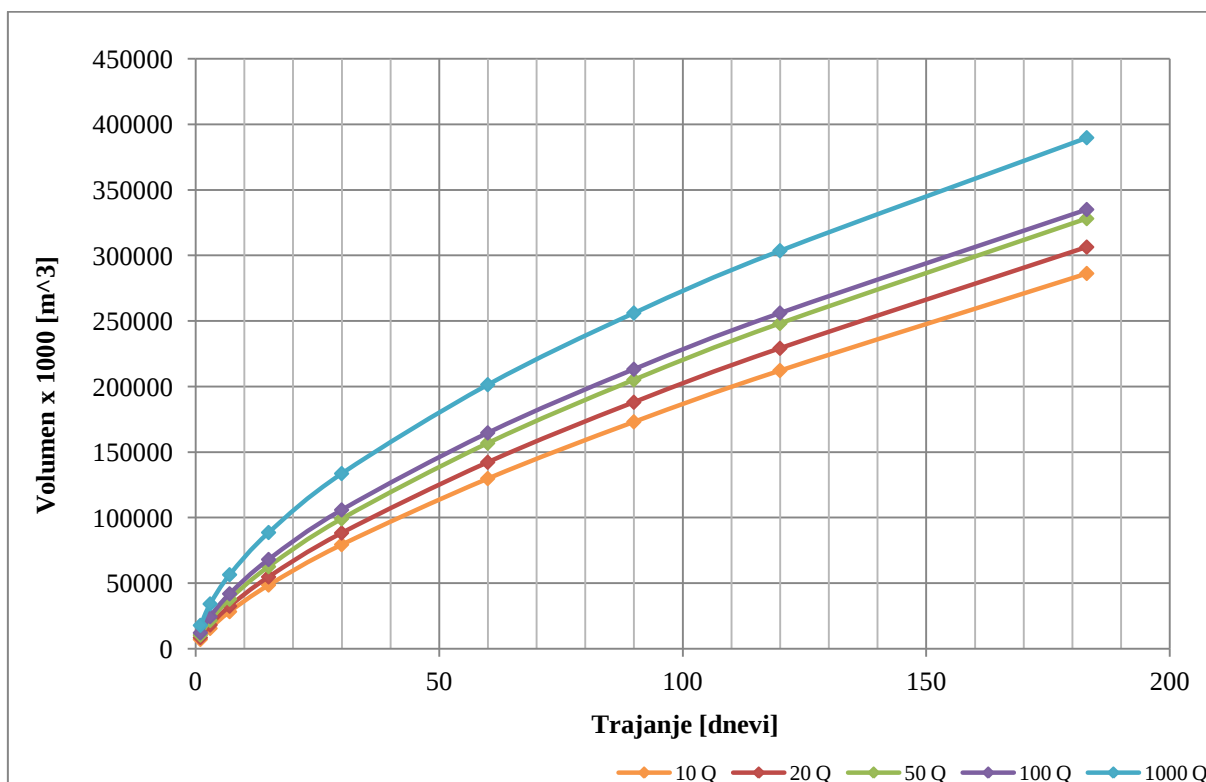
7.3 Verjetnostne krivulje volumen – trajanje

Najprej smo iz verjetnostnih krivulj letnih maksimalnih n -dnevni pretokov konstruirali krivulje volumen – trajanje (oz. krivulje pretok – trajanje), tako da smo vrednosti izbrane povratne dobe nanegli na graf v odvisnosti od trajanj. Nato pa smo vrednosti interpolirali (slika 26).



Slika 26: Konstruiranje verjetnostnih krivulj pretok – trajanje za izbrane povratne dobe

V kolikor želimo na ordinatni osi izraziti volumen, je potrebno posamezne interpolirane pretočne vrednosti krivulj pomnožiti z pripadajočim trajanjem. Na sliki 27 so prikazane krivulje volumen – trajanje z 10-, 20-, 50-, 100- in 1000-letno povratno dobo.



Slika 27: Verjetnostne krivulje volumen – trajanje za izbrane povratne dobe

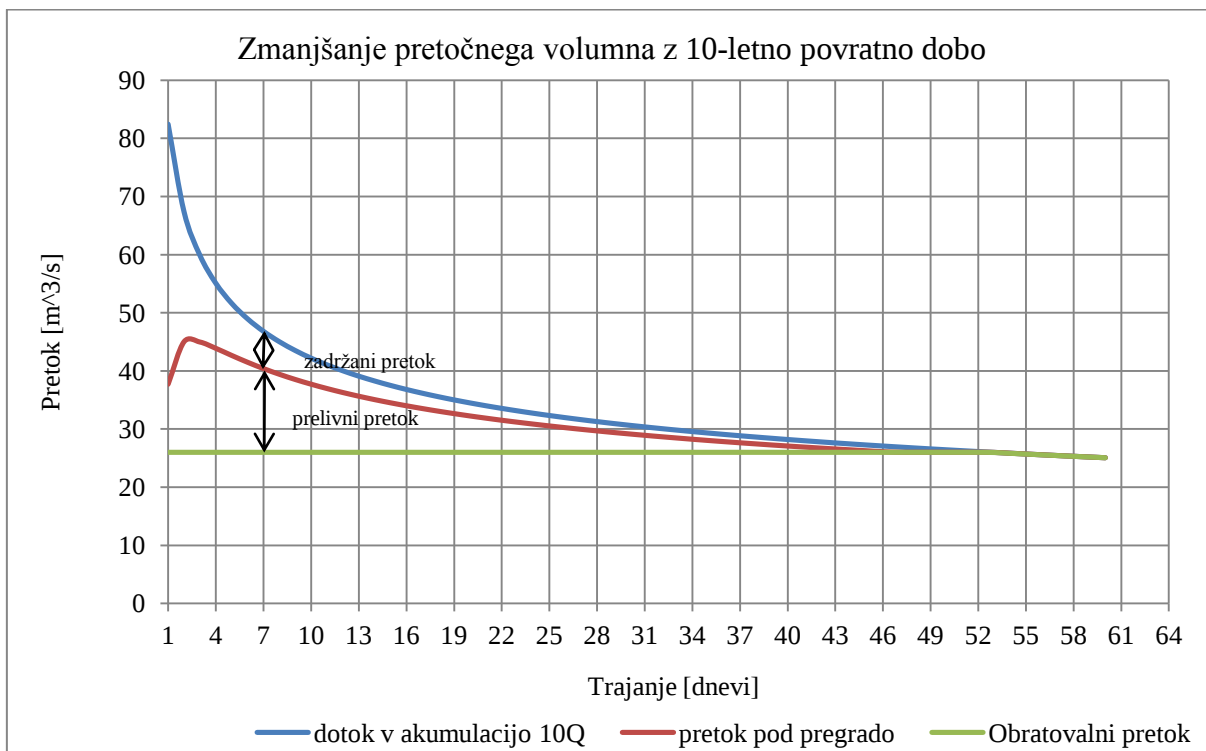
7.4 Analiza rezultatov

S pomočjo krivulj volumen – trajanje smo za izbrane povratne dobe (10-, 20-, 50, 100- in 1000-letno povratno dobo) izračunali kolikšen del maksimalnega pretočnega volumna oz. maksimalnega n-dnevnega pretoka, ki priteče v akumulacijo se zadrži v akumulaciji, koliko se ga prelije preko pregrade in kakšen pretok lahko pričakujemo dolvodno od pregrade pri posameznih trajanjih. Pri tem smo upoštevali maksimalni razpoložljivi volumen akumulacije ($3,87 \text{ hm}^3$) in izračune izvedli tako za primer obstoječega obratovalnega pretoka ($26 \text{ m}^3/\text{s}$) kot za načrtovani obratovalni pretok ($70 \text{ m}^3/\text{s}$). Poleg tega pa smo določili tudi maksimalni zadrževalni volumen akumulacije, ki bi bil potreben, da v celoti zadržimo maksimalne pretočne volumnne izbranih povratnih dob ob upoštevanju zgolj izpusta v višini obratovalnega pretoka iz akumulacije ($26 \text{ m}^3/\text{s}$ in $70 \text{ m}^3/\text{s}$).

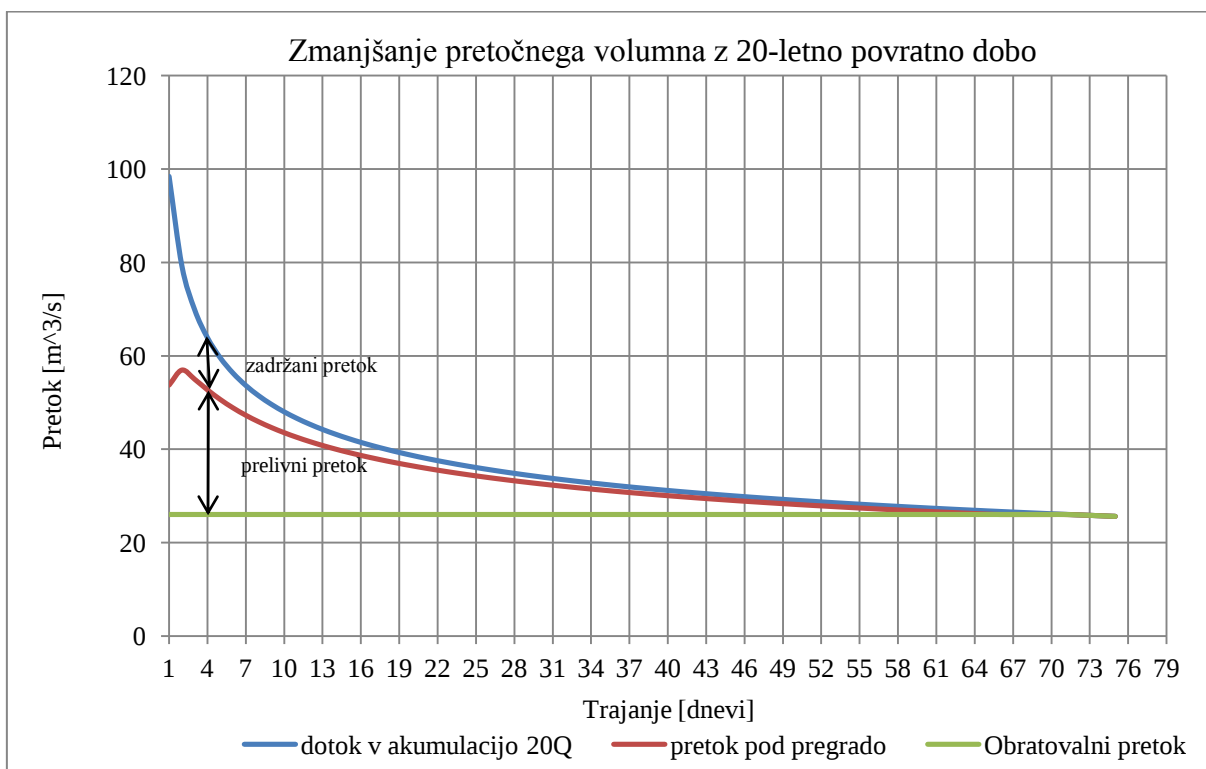
7.4.1 Vpliv akumulacije na zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov

Na slikah 28.1 do 28.5 in 29.1 do 29.5 je za izbrane povratne dobe prikazano zmanjšanje maksimalnega pretočnega volumna na račun zadrževanja vode v akumulaciji, obratovalnega pretoka ter prelivanja preko pregrade za posamezna trajanja. S pomočjo verjetnostne analize smo najprej ocenili maksimalni dotočni volumen v akumulacijo, ki ga za posamezno trajanje in povratno dobo lahko pričakujemo. Predpostavili smo, da pred pojavom maksimalnega pretočnega volumna akumulacijo spraznimo do minimalne obratovalne gladine v bazenu 518,25 m (denivelacija -6,5 m) in s tem zagotovimo $3,87 \text{ hm}^3$ maksimalnega visokovodnega razpoložljivega volumna akumulacije. Na iztoku iz akumulacije smo upoštevali, da hidroelektrarna obratuje z instaliranim pretokom, ki znaša $26 \text{ m}^3/\text{s}$ (oz. doinstaliranim pretokom, ki znaša $70 \text{ m}^3/\text{s}$) – do zapolnjenosti visokovodnega volumna. Ko dotok preseže instalirani obratovalni pretok in je akumulacijski prostor v celoti zapolnjen, se višek pretokov prelije preko pregrade (oz. skozi talni izpust). Tako je velikost pretoka v strugi dolvodno od pregrade odvisna od dotoka, obratovalnega pretoka in razpoložljivega visokovodnega volumna akumulacije.

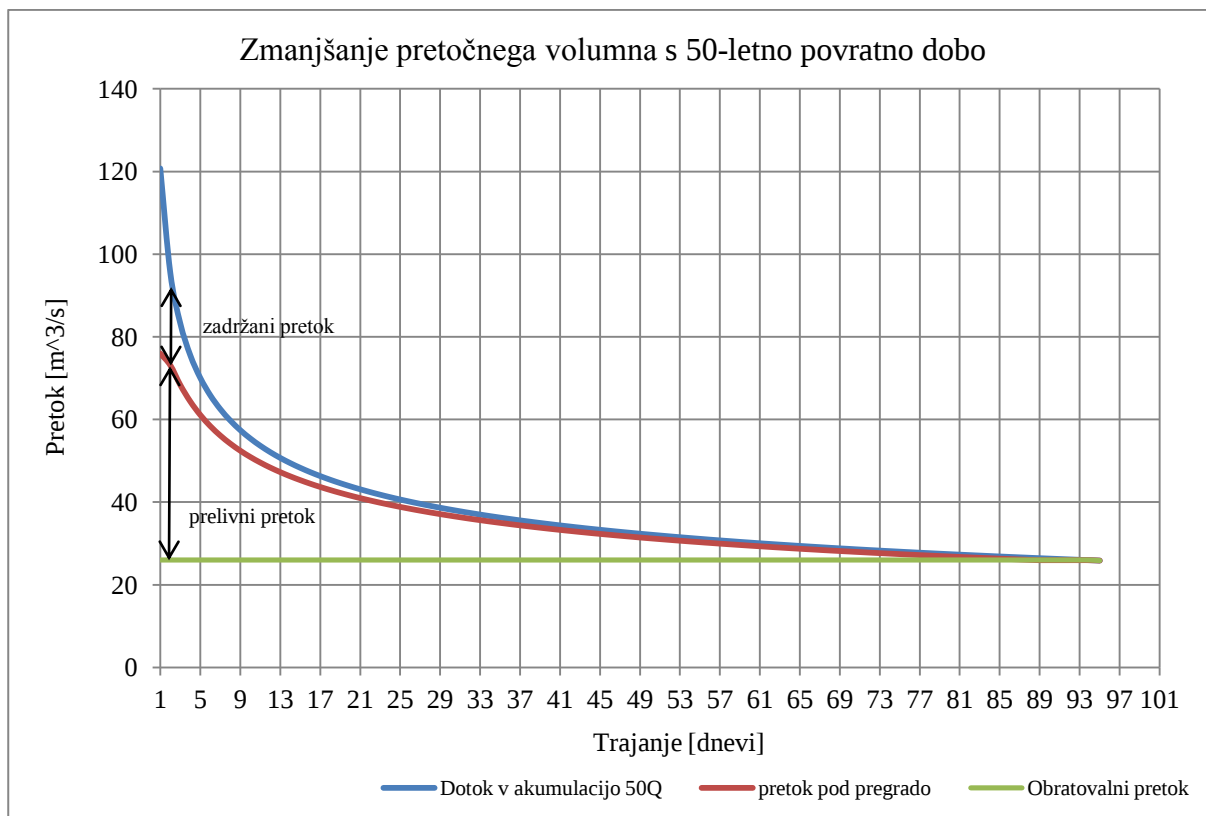
7.4.1.1 Instalirani obratovalni pretok $26 \text{ m}^3/\text{s}$



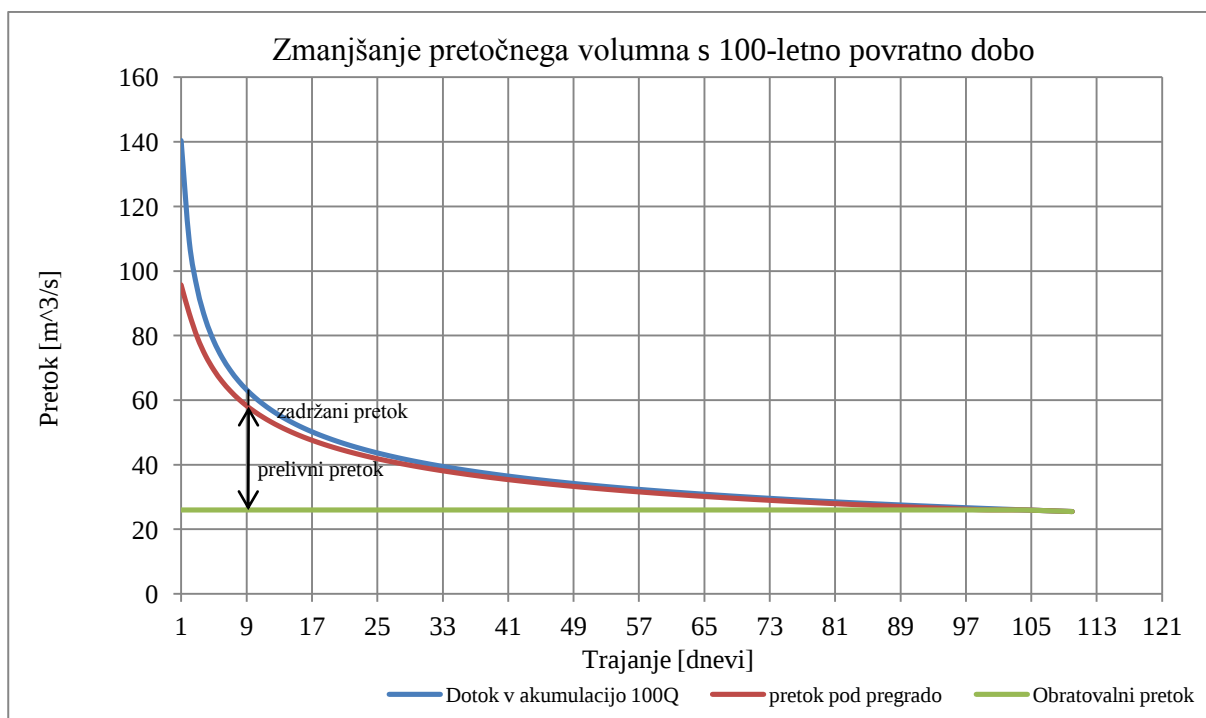
Slika 28.1: Zmanjšanje pretočnega volumna z 10-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



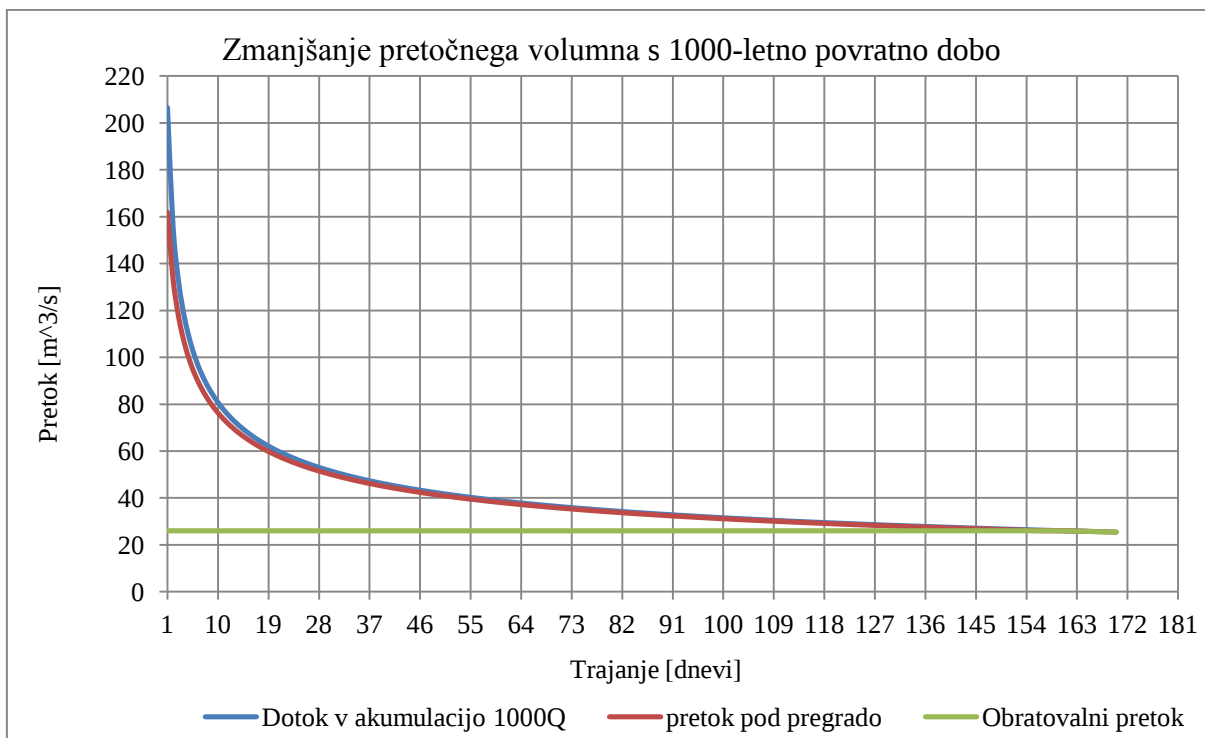
Slika 28.2: Zmanjšanje pretočnega volumna z 20-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 28.3: Zmanjšanje pretočnega volumna s 50-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 28.4: Zmanjšanje pretočnega volumna s 100-letno povratno dobo ob $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



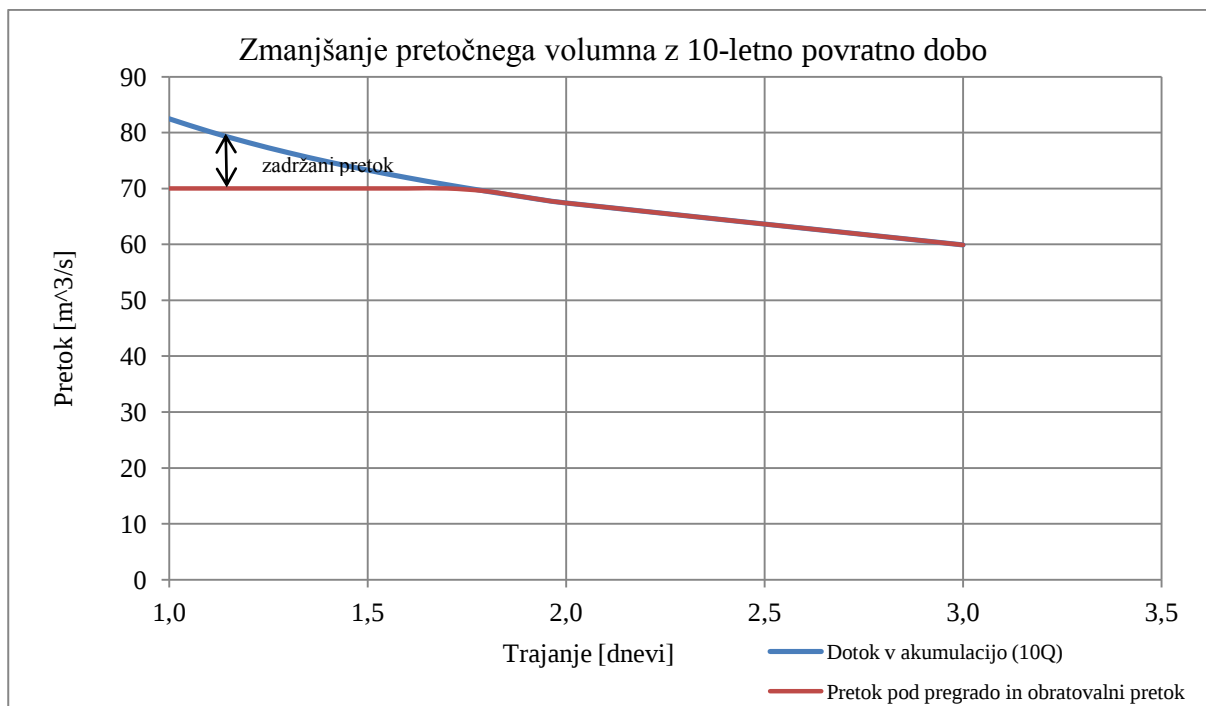
Slika 28.5: Zmanjšanje pretočnega volumna s 1000-letno povratno dobo ob 26 m³/s obratovalnega pretoka

Iz slik 28.1 do 28.5 je razviden vpliv velikosti razpoložljivega volumna akumulacije na zmanjšanje maksimalnega n-dnevnega pretoka oz. pretočnega volumna. Ta se pri vseh analiziranih situacijah občutno zniža. Učinek zadržanja pretokov pa je, glede na sorazmerno majhno kapacitivnost visokovodnega volumna akumulacije, viden pri krajših povratnih dobah, pri daljših pa je učinek zanemarljiv.

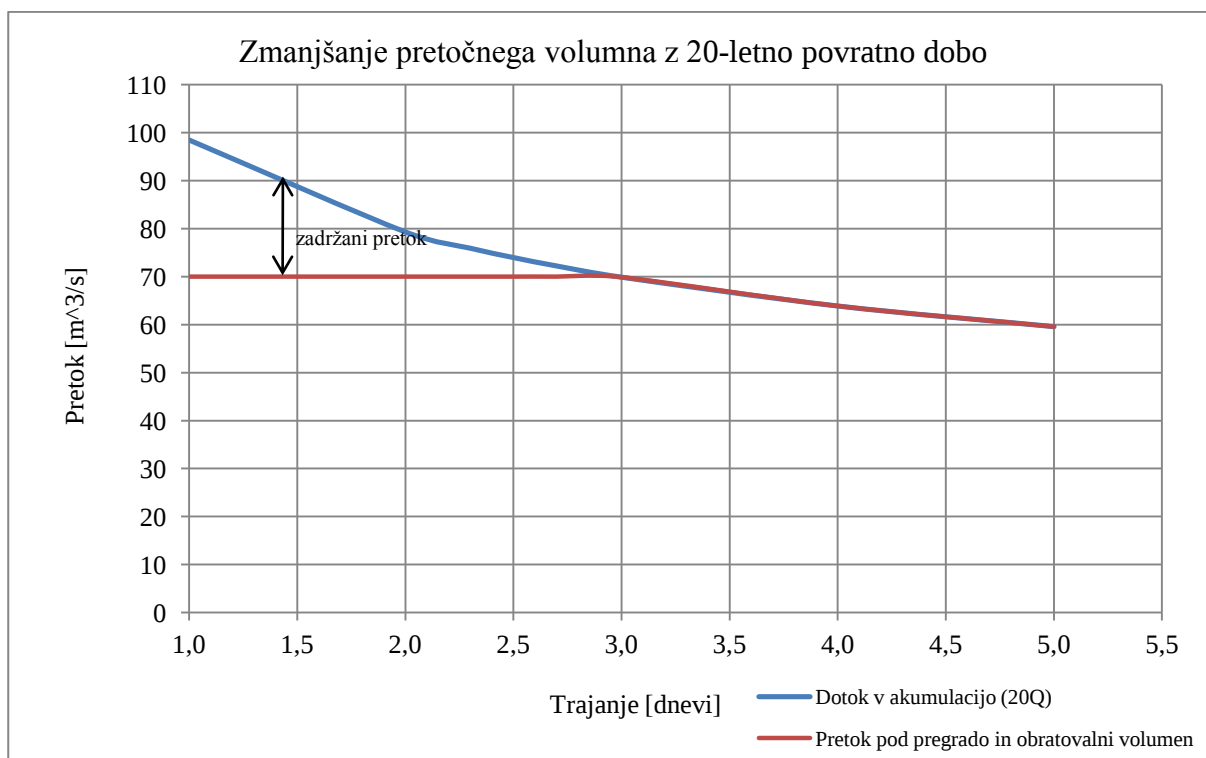
Na sliki 28.1 in 28.2 lahko vidimo, da je pri 10- in 20-letni povratni dobi maksimalni 2-dnevni pretok bolj kritičen v primerjavi z ostalimi maksimalnimi n-dnevnimi pretoki, saj povzroča največje pretoke pod pregrado na račun večjega prelivanja preko pregrade. Pri daljših povratnih dobah pa je 1-dnevni maksimalni pretok tisti, ki povzroča največje pretoke dolvodno od pregrade.

7.4.1.2 Instalirani obratovalni pretok 70 m³/s

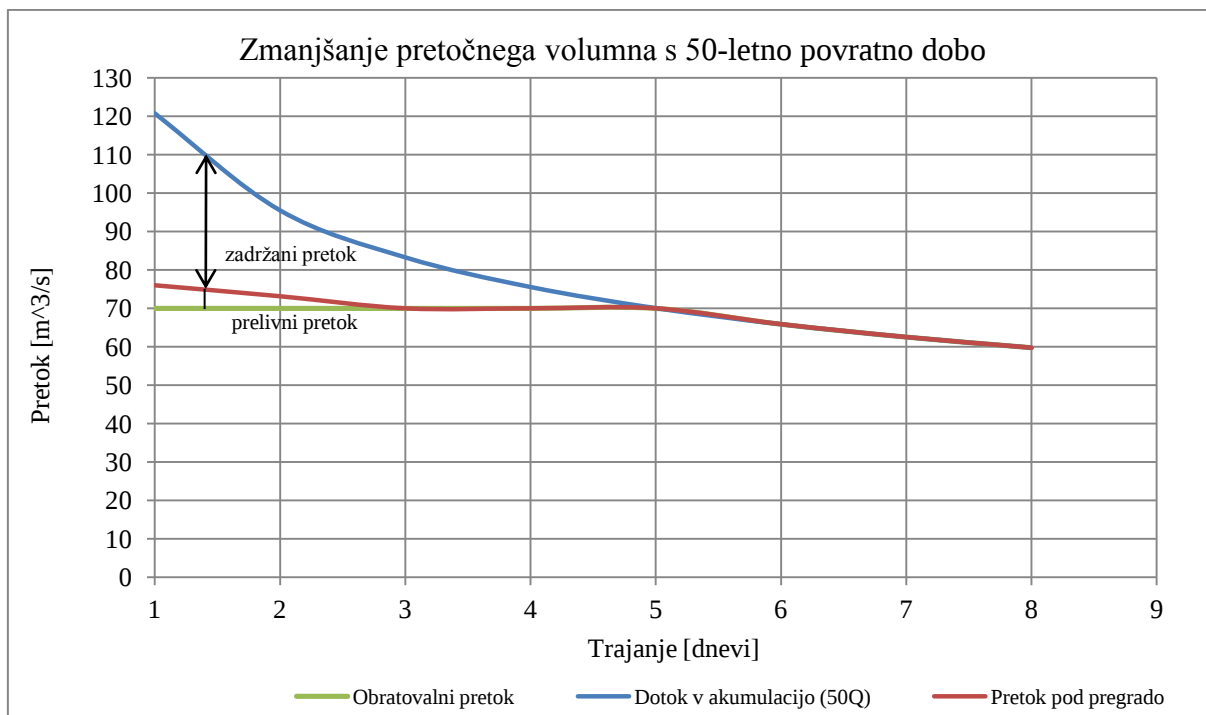
Na slikah 29.1 do 29.5 je prikazan učinek zadrževanja za primer višjega obratovalnega pretoka. Pri krajših povratnih dobah lahko z izkoriščanjem razpoložljivega volumna akumulacije maksimalne dotočne volumne v celoti preusmerimo skozi turbine hidroelektrarne. Pri daljših povratnih dobah se kratkotrajno sicer pojavi prelivanje, vendar je učinek zadrževanja maksimalnih dotočnih volumnov v kombinaciji s povečanim obratovalnim pretokom in ob razpoložljivem volumnu akumulacije, bistveno bolj izrazit kot v primeru obstoječega obratovalnega pretoka.



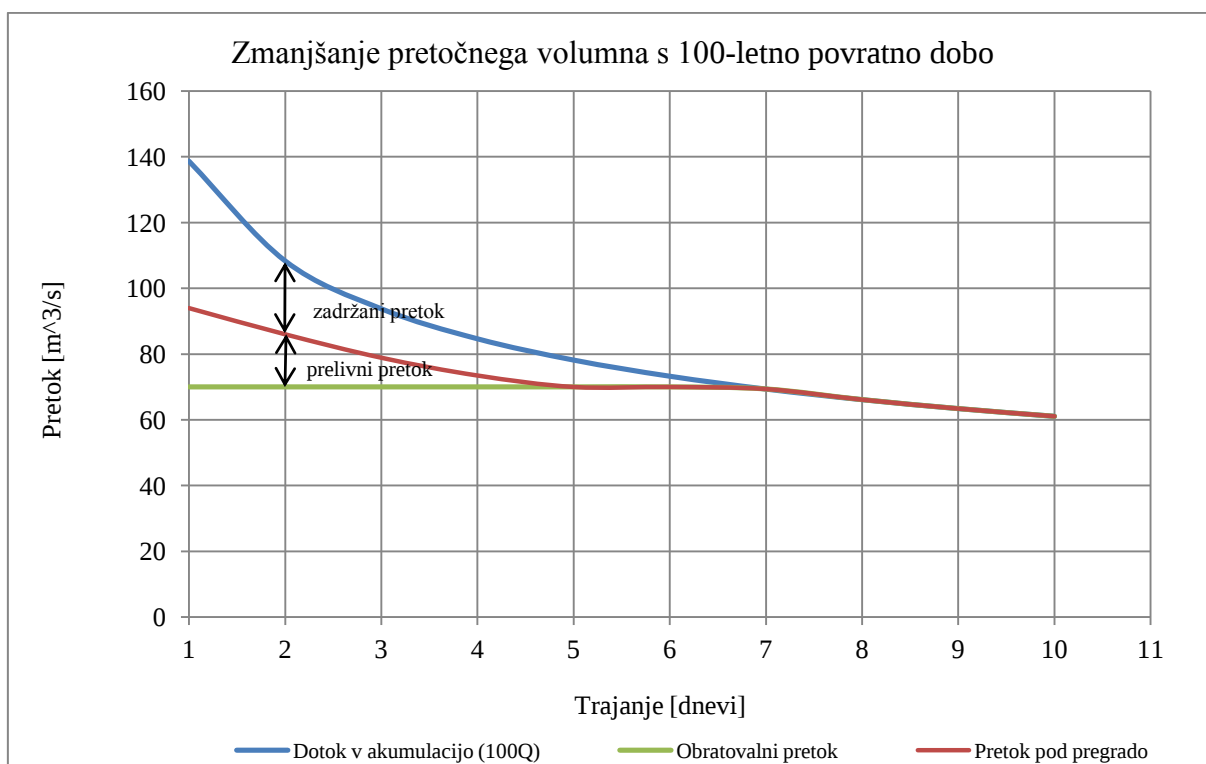
Slika 29.1: Zmanjšanje pretočnega volumna z 10-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



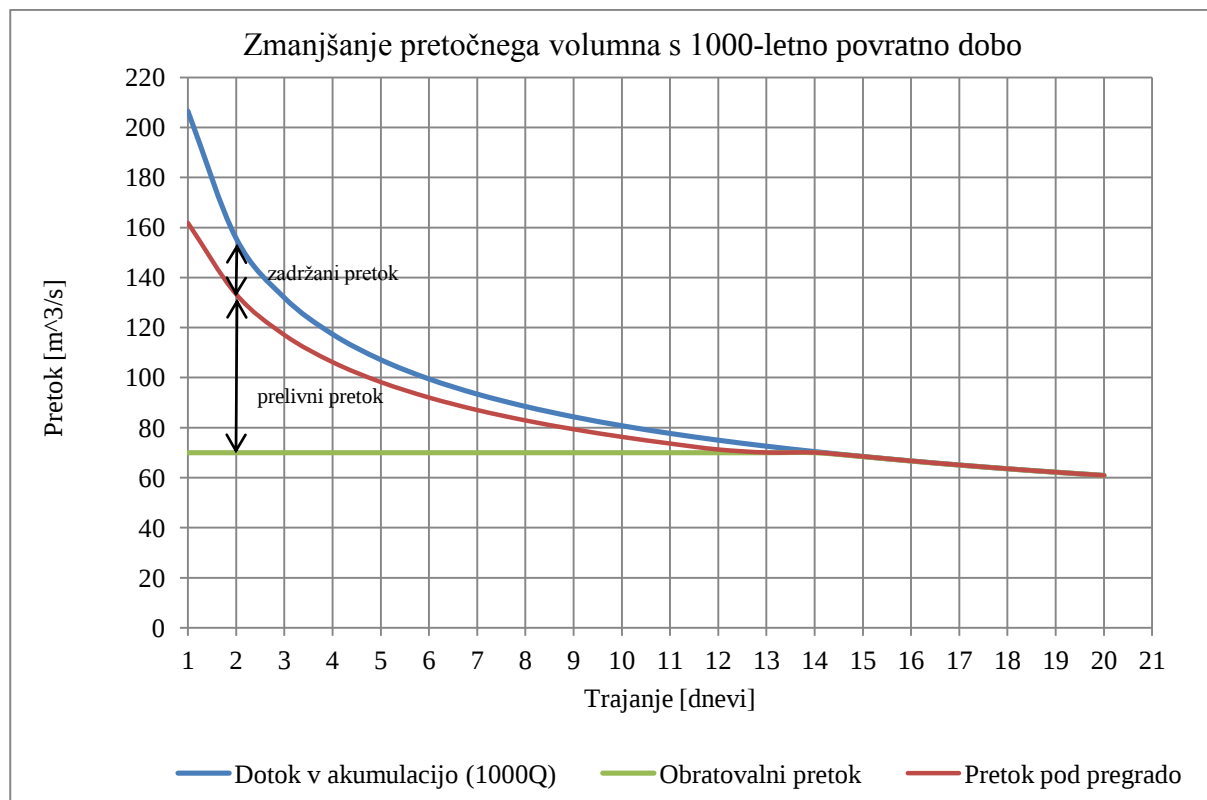
Slika 29.2: Zmanjšanje pretočnega volumna z 20-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 29.3: Zmanjšanje pretočnega volumna s 50-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 29.4: Zmanjšanje pretočnega volumna s 100-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 29.5: Zmanjšanje pretočnega volumna s 1000-letno povratno dobo ob $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka

7.4.1.3 Komentar na zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov

Na slikah 28.1 do 28.5 in 29.1 do 29.5 smo grafično prikazali maksimalne dotočne volumne oz. maksimalne n -dnevne dotoke v akumulacijo pri različnih trajanjih in povratnih dobah ter prikazali kako z akumulacijo oz. zadrževanjem vplivamo na pretoke pri različnih trajanjih in povratnih dobah.

Vidimo, da akumulacija ne glede na velikost povratne dobe bolj ali manj vpliva na zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov. Pretok pod pregrado je tako zmanjšan za pretok, ki se zadrži v akumulaciji in je torej odvisen od maksimalnega razpoložljivega volumna akumulacije, prelivnega pretoka preko pregrade in instaliranega obratovalnega pretoka.

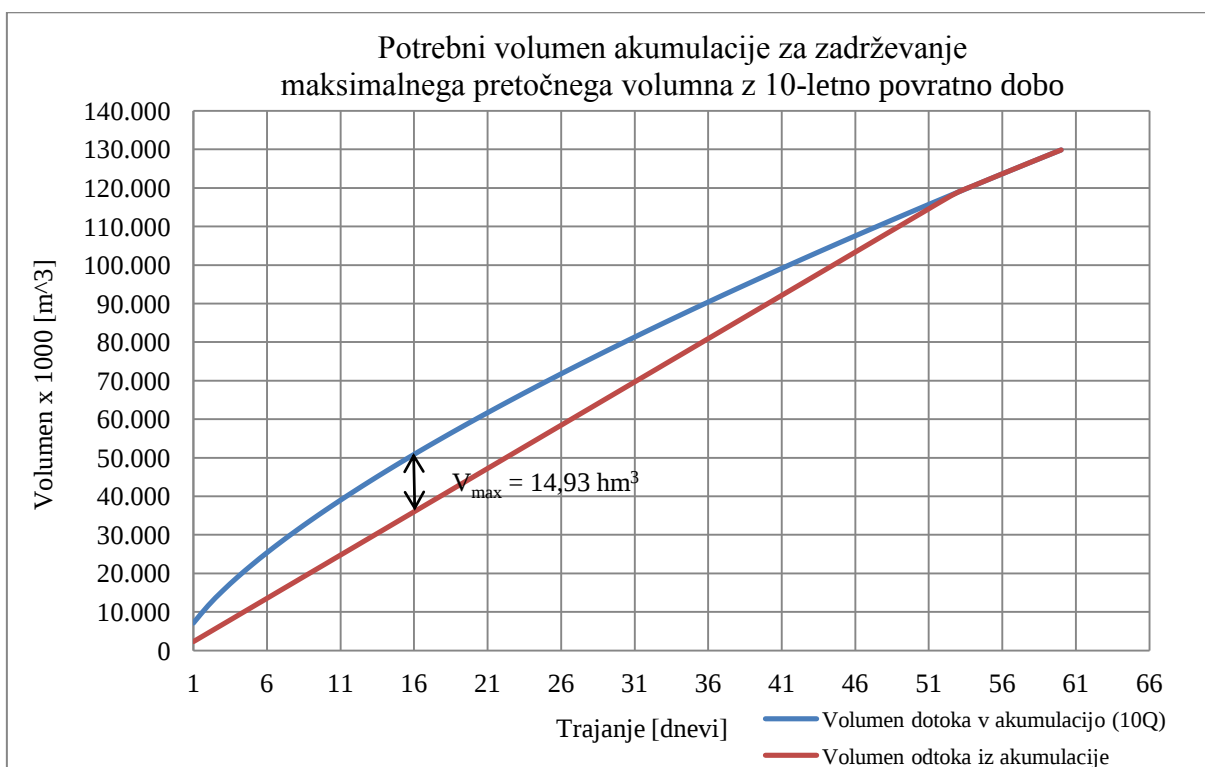
Glede na dejstvo, da visokovodnega volumna v akumulaciji HE Moste ni mogoče povečati, je povečanje velikosti instaliranega obratovalnega pretoka praktično edina možnost za zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov oz. za povečanje učinkovitosti zadrževanja. Pri krajših povratnih dobah in povečanem obratovalnem pretoku ni potrebe po prelivanju in tudi pri daljših povratnih dobah je prelivanje znatno krajše. S povečanjem obratovalnega pretoka in z izrabo razpoložljivega visokovodnega volumna se lahko praktično ves maksimalni n -dnevni dotok oz. maksimalni dotočni volumen porabi za obratovanje hidroelektrarne.

7.4.2 Maksimalni zadrževalni volumen akumulacije

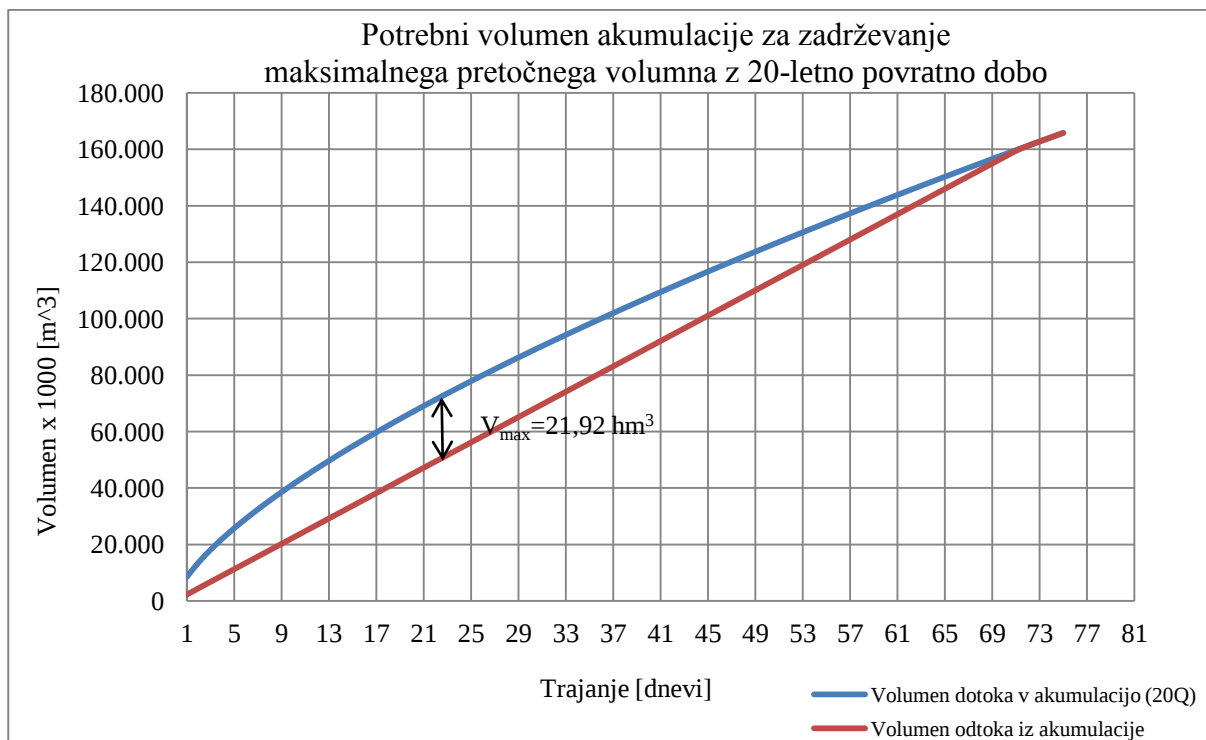
Maksimalni potrebni zadrževalni volumen akumulacije lahko določimo s pomočjo verjetnostnih krivulj volumen – trajanje in določenega izpusta iz zadrževalnika v odvisnosti od trajanja. Na slikah 30.1 do 30.5 in 31.1 do 31.5 so za posamezne povratne dobe z modro prikazane verjetnostne krivulje volumen – trajanje (volumen dotoka v akumulacijo), rdeča krivulja pa predstavlja obratovalni pretok v odvisnosti od trajanja (volumen odtoka iz akumulacije).

Potrební volumen akumulacije za zadrževanje maksimalnega pretočnega volumna s T-letno povratno dobo ob upoštevanju obratovalnega pretoka ($\leq 26 \text{ m}^3/\text{s}$ ali $\leq 70 \text{ m}^3/\text{s}$) je enak maksimalnemu odmiku med volumnom dotoka v akumulacijo in volumnom odtoka iz akumulacije.

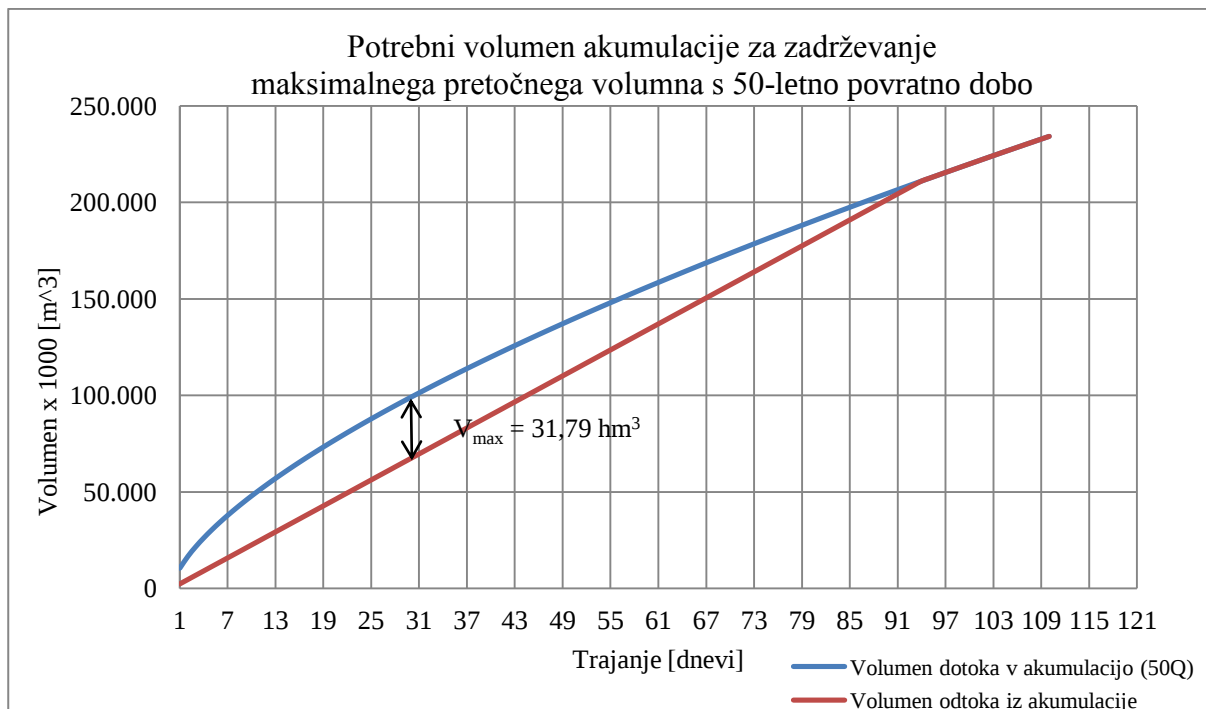
7.4.2.1 Instalirani obratovalni pretok $26 \text{ m}^3/\text{s}$



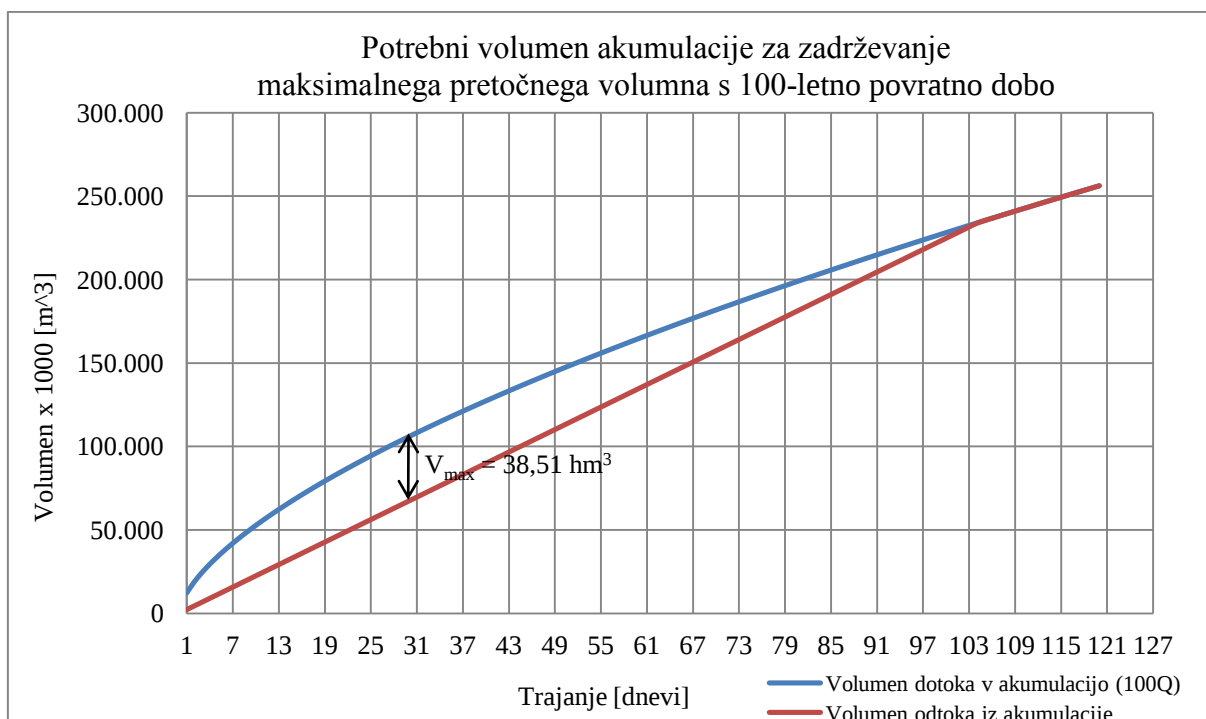
Slika 30.1: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 10-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



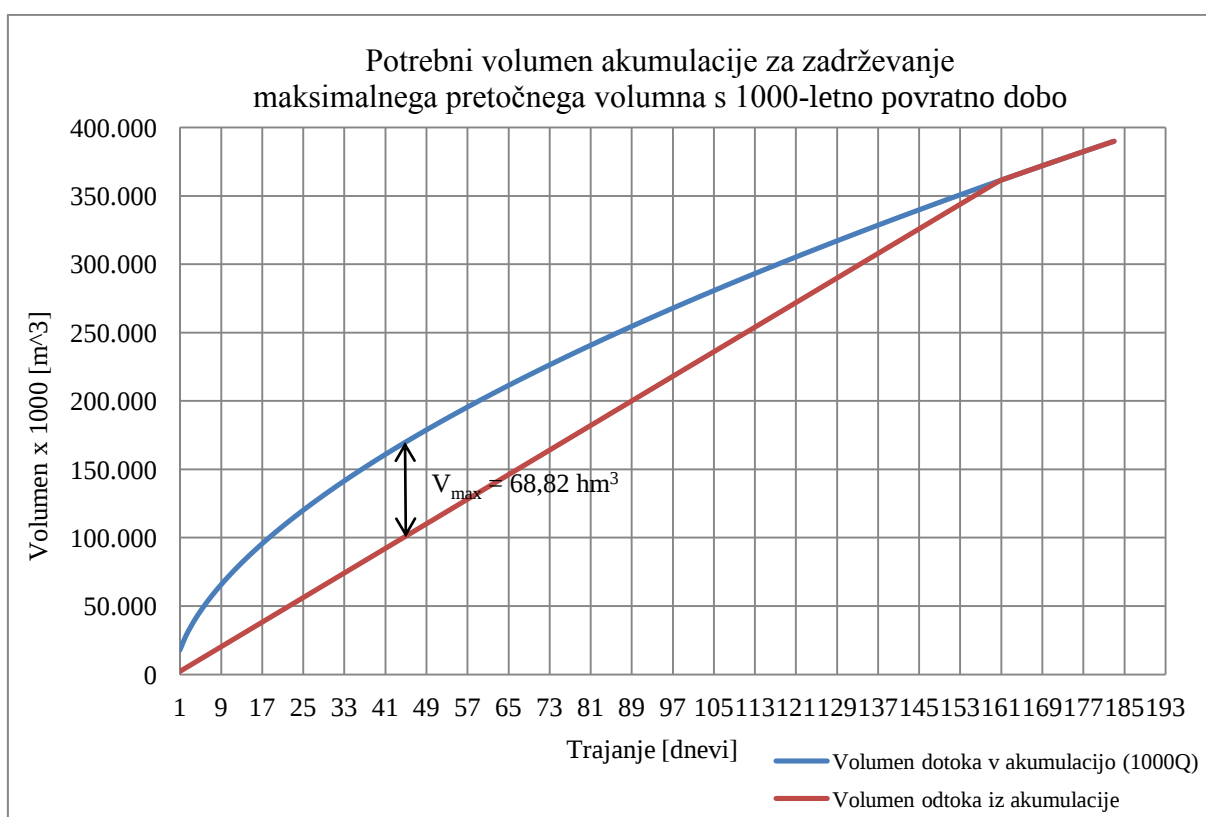
Slika 30.2: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 20-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 30.3: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 50-letni povratni dobi ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 30.4: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 100-letni povratni dobi ob upoštevanju 26 m^3/s obratovalnega pretoka



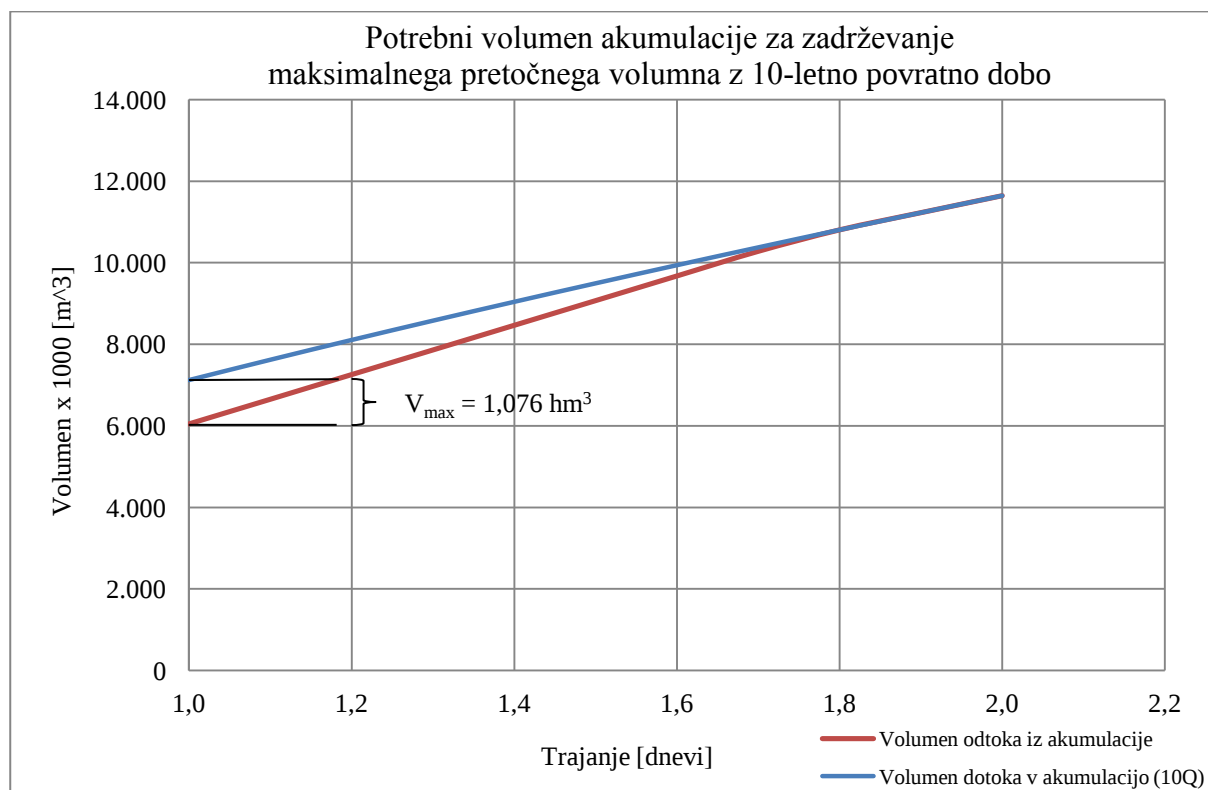
Slika 30.5: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 1000-letni povratni dobi ob upoštevanju 26 m^3/s obratovalnega pretoka

V preglednici 12 so za posamezne povratne dobe prikazani maksimalni zadrževalni volumni akumulacije, ki bi bili potrebni, da v celoti zadržimo ocenjene maksimalne dotočne volumne ob upoštevanju zgolj velikosti obratovalnega pretoka na izpustu iz akumulacije ($26 \text{ m}^3/\text{s}$). Iz preglednice 12 je razvidno, da bi bilo pri obstoječem obratovalnem pretoku za popolno izravnavo potrebno zagotoviti bistveno večji volumen zadrževalnika od obstoječega.

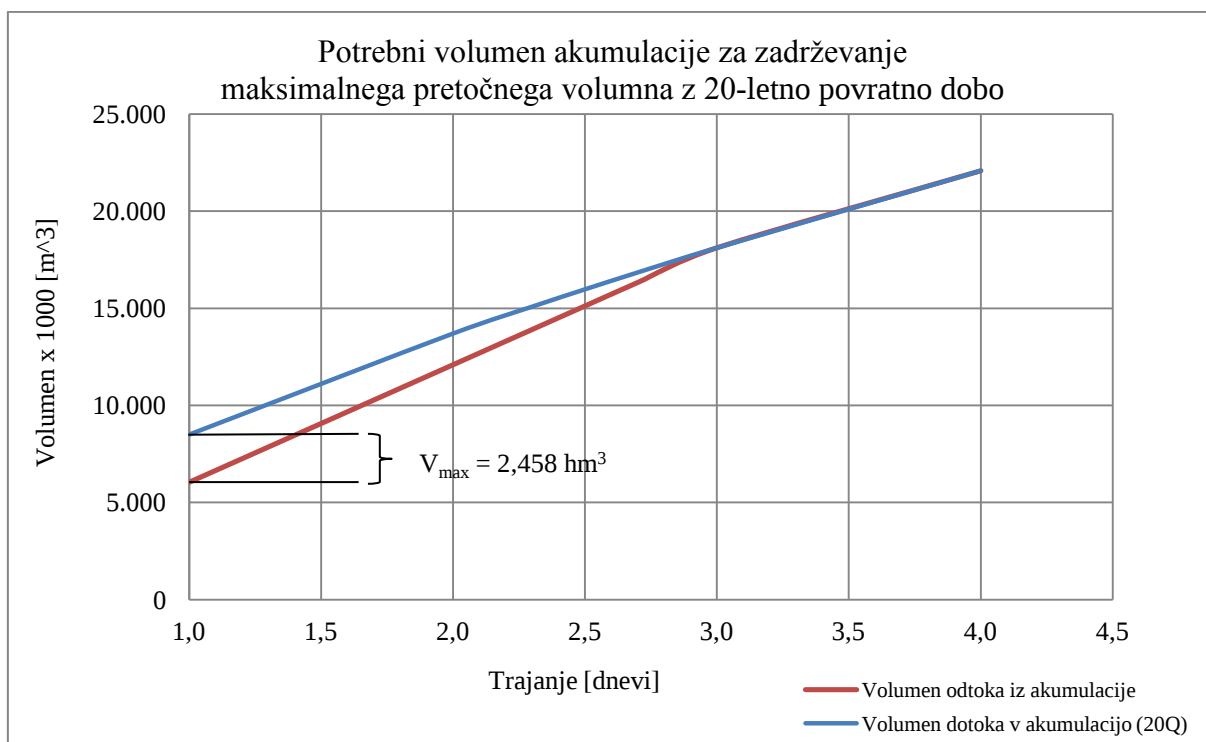
Preglednica 12: Maksimalni potrebni volumni akumulacije pri posameznih povratnih dobah ob upoštevanju $26 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka

Maksimalni dotočni volumni	$V_{\max} [\text{hm}^3]$	Kritično trajanje [dnevi]
10Q	14,93	16
20Q	21,92	22
50Q	31,79	28
100Q	38,51	30
1000Q	68,82	44

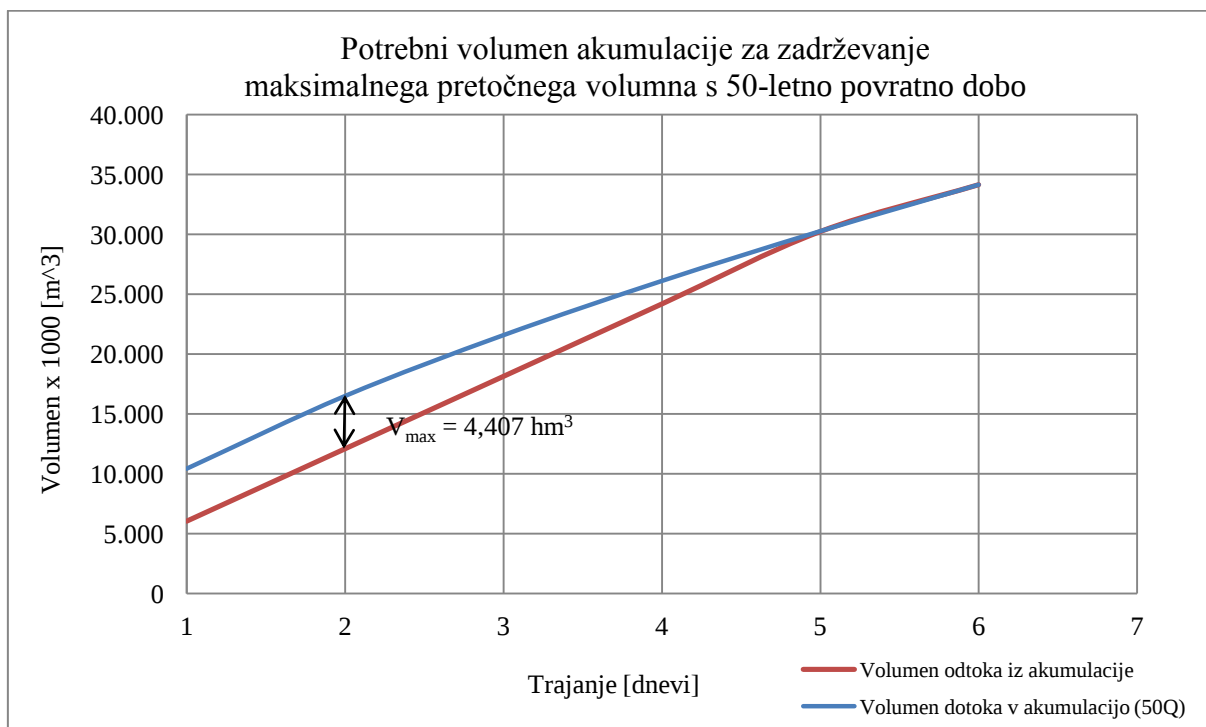
7.4.2.2 Instalirani obratovalni pretok $70 \text{ m}^3/\text{s}$



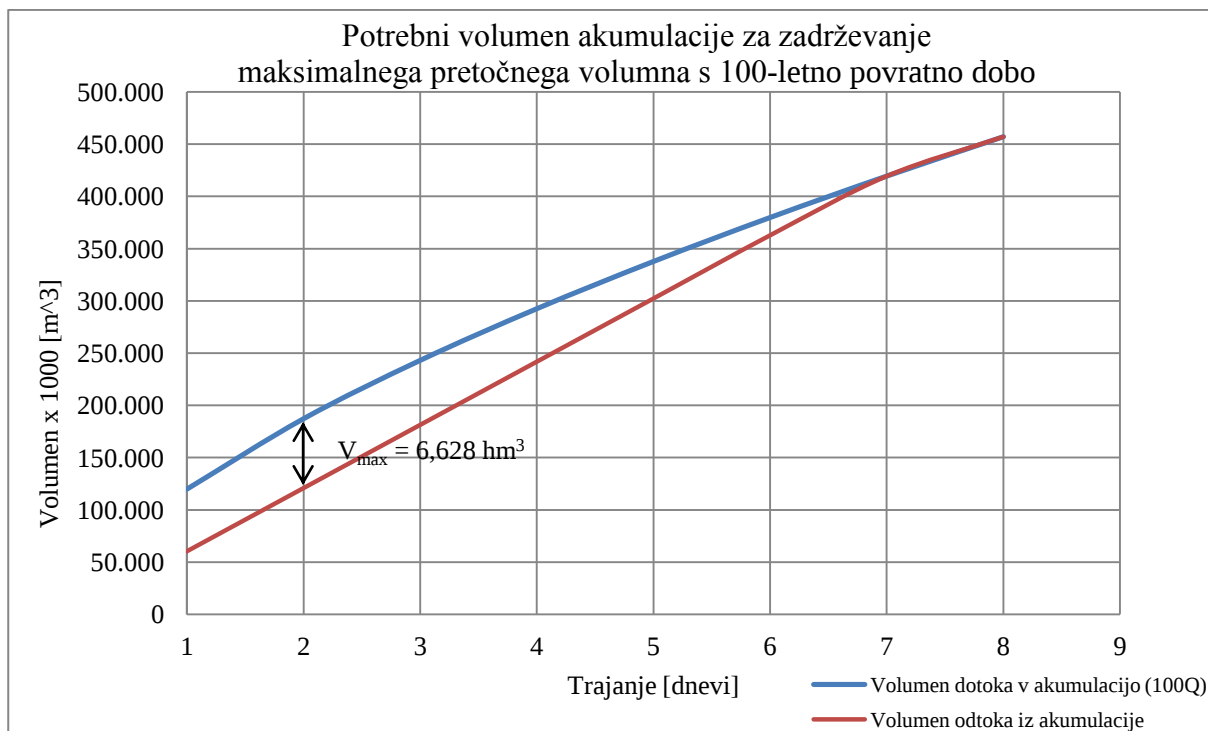
Slika 31.1: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 10-letni povratni dobi ob upoštevanju $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



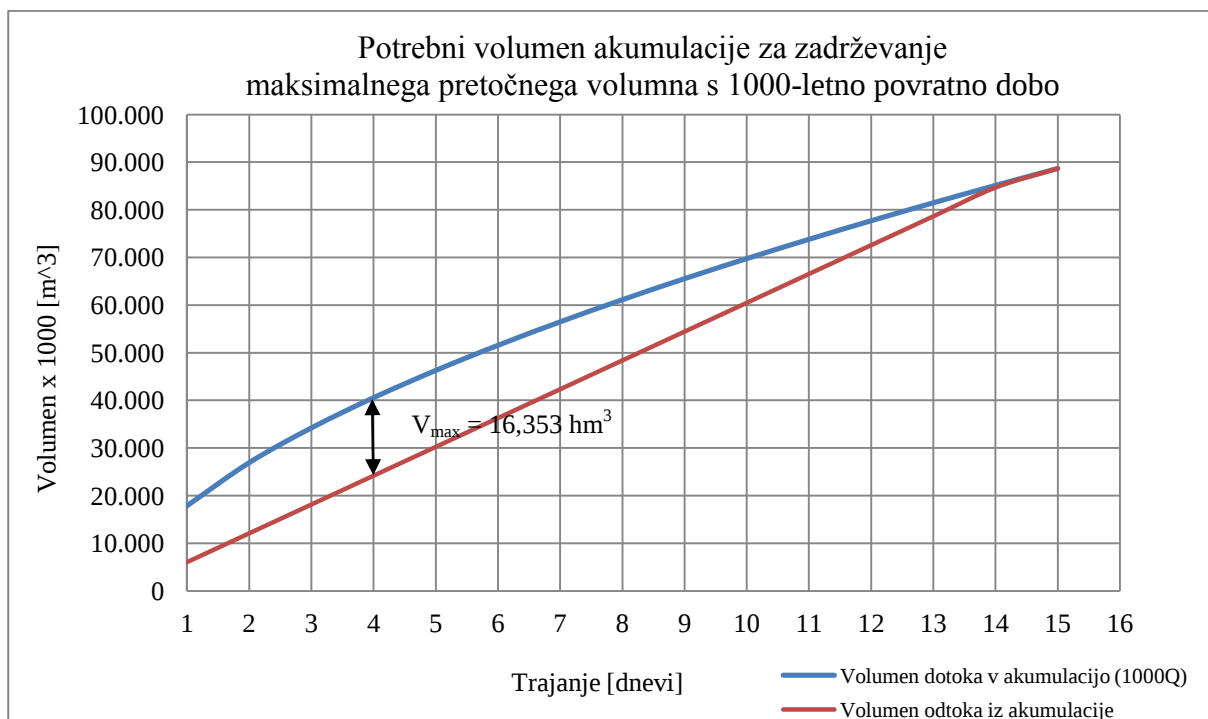
Slika 31.2: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 20-letni povratni dobi ob upoštevanju $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 31.3: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 50-letni povratni dobi ob upoštevanju $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka



Slika 31.4: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 100-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m³/s obratovalnega pretoka



Slika 31.5: Izračun potrebnega volumna akumulacije pri 1000-letni povratni dobi ob upoštevanju 70 m³/s obratovalnega pretoka

V preglednici 13 so za posamezne povratne dobe prikazani maksimalni zadrževalni volumni akumulacije, ki bi bili potrebni, da v celoti zadržimo ocenjene maksimalne dotočne volumne ob

upoštevanju zgolj velikosti načrtovanega obratovalnega pretoka na izpustu iz akumulacije ($70 \text{ m}^3/\text{s}$). Iz preglednice 13 je razvidno, da pri načrtovanem obratovalnem pretoku volumen akumulacije v celoti zadošča za krajše povratne dobe. Z načrtovano razširitvijo akumulacijskega prostora (približno 1 hm^3) bi lahko zagotovili popolno izravnavo tudi do višine 50-letnih voda. Pri daljših povratnih dobah pa je prelivanje še vedno neizogibno, vendar je ta čas bistveno krajši, kot v primeru obstoječega obratovalnega pretoka ($26 \text{ m}^3/\text{s}$).

Preglednica 13: Maksimalni potrebni volumni akumulacije pri posameznih povratnih dobah ob upoštevanju $70 \text{ m}^3/\text{s}$ obratovalnega pretoka

Maksimalni dotočni volumni	$V_{\max} [\text{hm}^3]$	Kritično trajanje [dnevi]
10Q	1,076	1
20Q	2,458	1
50Q	4,407	2
100Q	6,628	2
1000Q	16,353	4

7.4.2.3 Komentar k določitvi maksimalnih zadrževanih volumnov akumulacije

V preglednici 12 lahko vidimo, da so potrebni volumni precej večji od razpoložljivega volumna obstoječe akumulacije ($3,87 \text{ hm}^3$). To pa pomeni, da je pri zgolj $26 \text{ m}^3/\text{s}$ instaliranega obratovalnega pretoka obstoječi volumen akumulacije znatno premajhen, da bi zadržal ocenjene maksimalne pretočne volumne obravnavanih povratnih dob. Za popolno izravnavo bi bilo pri obstoječem obratovalnem pretoku potrebno zagotoviti bistveno večji volumen zadrževalnika od obstoječega. Pri $70 \text{ m}^3/\text{s}$ načrtovanega obratovalnega pretoka (preglednica 13) pa obstoječi volumen akumulacije lahko zadrži maksimalne pretočne volumne z 10- in 20-letno povratno dobo oz. manjše od 50-letne povratne dobe. V tem primeru je potrební zadrževalni volumen manjši od maksimalnega razpoložljivega volumna obstoječe akumulacije HE Moste.

Ocenjeni volumni akumulacije so približne vrednosti, saj smo pri izračunih upoštevali le dnevna trajanja, torej daljša od 24 ur. Lahko bi se zgodilo, da so kritične vrednosti pretočnih volumnov krajše od 24 ur, zlasti kadar je za ocenjeni potrebni volumen akumulacije kritično 1-dnevno trajanje. V tem primeru se potrebni volumen akumulacije določi za trajanje krajše od 24 ur. To pa zahteva posebno obravnavo. Verjetnostna analiza se izvede na isti način kot pri daljših trajanjih, vendar se uporabi koeficient asimetrije, ki je interpolirana vrednost med koeficientom asimetrije pri 1-dnevnem trajanju in koeficientom asimetrije pri konicah (USACE, 1993).

8 ZAKLJUČKI

Kompleksno izvedena analiza vodnega režima je v današnjem času, ob vse pogostejšem pojavu izrednih hidroloških dogodkov nujna, saj se le tako lahko nanje delno pripravimo in učinkovito izvajamo ukrepe za zaščito. Verjetnostna analiza je pogosto uporabljeno orodje za opisovanje ekstremnih hidroloških dogodkov, kjer ugotavljamo verjetnost določenega hidrološkega pojava na podlagi preteklih dogodkov. Vendar pa klasične verjetnostne analize pogosto opišejo nek dogodek le po njegovi trenutni maksimalni (minimalni) vrednosti, kar je sicer bistveno, vendar v mnogih primerih nezadostno. Zato se v zadnjem času vse pogostejše v verjetnostno analizo uvaja poleg maksimalnega (minimalnega) pretoka še njegovo trajanje oz. volumen visokovodnega vala.

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov vključuje klasično verjetnostno analizo pretokov znotraj vsakega niza z določenim trajanjem. Povprečni pretoki so najprej izračunani na podlagi različnih dnevnih trajanj. Nato pa je za vsako trajanje izvedena verjetnostna analiza na podlagi maksimalnih ali minimalnih pretokov z izbrano teoretično porazdelitvijo. Tovrstno verjetnostno analizo lahko izvedemo s programskim orodjem HEC-SSP, ki je v osnovi namenjeno različnim statističnim analizam hidroloških podatkov.

V praktičnem delu diplomske naloge je verjetnostna analiza maksimalnih pretočnih volumnov narejena v programu HEC-SSP za vse vodomerne postaje v Sloveniji, delujoče in tiste, ki ne obratujejo več, ki imajo vsaj 30-letni niz neprekinjenih meritev dnevnih pretokov in pri katerih smo upoštevali pretoke izmerjene od leta 1950 naprej. Tako smo analizo izvedli na 117 vodomernih postajah v Sloveniji.

Programsko orodje HEC-SSP sicer olajša dokaj zamudne ročne izračune, vendar pa je samo vnašanje in urejanje večje količine podatkov precej zamudno. Pomanjkljivost samega programa je tudi v tem, da ne izvaja testov ustreznosti posamezne porazdelitve, s katerim bi lahko preverili, katera od porazdelitev se najbolj prilega podatkom na posameznih vodomernih postajah. Zato je bila verjetnostna analiza pretočnih volumnov za vse vodomerne postaje narejena s uporabo logaritemske Pearsonove III porazdelitve, saj se je pri analizi visokovodnih konic (Menih, 2014) izkazala kot najustreznejša na večini vodomernih postaj. Slabost samega programa je tudi, da vzorce oblikuje samo po metodi letnih maksimumov ter parametre porazdelitve oceni zgolj z metodo momentov. Metodi sta sicer enostavni za uporabo, vendar v primeru krajših časovnih nizov lahko precej nezanesljivi (Bezak, 2012).

V zadnjem delu naloge pa smo preveriti uporabnost verjetnostnih krivulj letnih maksimalnih n-dnevni pretokov oz. verjetnostnih krivulj volumen – trajanje na primeru akumulacijskega bazena hidroelektrarne Moste. Običajno se tovrstne verjetnostne krivulje uporabljajo pri načrtovanju visokovodnih zadrževalnikov in njihovem obratovanju. Verjetnostne krivulje smo s pomočjo programa HEC-SSP izračunali za vodomerno postajo Jesenice na reki Savi Dolinki, ki se nahaja približno 3 km gorvodno od akumulacijskega bazena HE Moste in predstavljajo vhodni podatek za izračun potrebnega zadrževalnega volumna akumulacije pri 10-, 20-, 50-, 100- in 1000-letni povratni dobi. Poleg tega pa smo skušali tudi grafično prikazati kako lahko z zadrževanjem maksimalnih pretokov različnih trajanj in povratnih dob vplivamo na zmanjšanje pretokov v strugi dolvodno od pregrade. Pri tem smo upoštevali, da je maksimalni razpoložljivi volumen akumulacije $3,87 \text{ hm}^3$. Ugotovili smo, da je pri zgolj $26 \text{ m}^3/\text{s}$ instaliranega obratovalnega pretoka, razpoložljivi volumen akumulacije znatno premajhen, da bi zadržal ocenjene maksimalne pretočne volumne obravnavanih povratnih dob. Pri $70 \text{ m}^3/\text{s}$ instaliranega obratovalnega pretoka pa obstoječi volumen akumulacije lahko zadrži maksimalne pretočne volumne z 10- in 20-letno povratno dobo oz. manjše od 50-letne povratne dobe, saj je potrební zadrževalni volumen manjši od razpoložljivega volumna akumulacijskega bazena HE Moste. Glede na dejstvo, da visokovodnega volumna v akumulaciji HE Moste ni mogoče kar tako povečati, bi bilo za boljšo učinkovitost zadrževanja oz. za zmanjšanje maksimalnih pretočnih volumnov smiselno povečati velikost obratovalnega pretoka. S povečanjem obratovalnega pretoka in z izrabo razpoložljivega visokovodnega volumna akumulacije se lahko praktično ves maksimalni n-dnevni dotok oz. maksimalni dotočni volumen porabi za obratovanje hidroelektrarne.

V nadaljevanju bi bilo smiselno tovrstno verjetnostno analizo uporabiti tudi za oceno letnih minimalnih n-dnevni pretokov reke Save Dolinke pri različnih povratnih dobah, ko bi nas zanimal vpliv zaježitve na minimalne pretoke dolvodno od pregrade in s tem izpolnjevanje zahtev o ekološko sprejemljivem pretoku pod pregrado.

Verjetnostna analiza pretočnih volumnov, ki poleg maksimalnega (minimalnega) pretoka upošteva še njegovo trajanje oz. volumen lahko predstavlja dobro alternativo klasični verjetnostni analizi visokovodnih konic, zlasti kadar gre za načrtovanje zadrževalnikov, vodnih akumulacij, hidroelektrarn in drugih hidrotehničnih objektov ter pri ocenjevanju sposobnosti vodotoka, da zagotavlja določeno potrebno količino vode v strugi. Poleg tega pa se lahko iz nje izpelje regionalna verjetnostna analiza pretočnih volumnov. Regionalni pristop uporablja klasični koncept regionalizacije verjetnostne analize (Kavčič, 2013) in se torej uporablja za območja, kjer nimamo na voljo podatkov o meritvi pretokov (Javelle in sod., 2000; Devulapalli in Valdes, 1996). Vendar pa to zahteva še veliko raziskovalnega in strokovnega dela tako pri nas kot v tujini.

VIRI

ARSO. 2013. Povratne dobe velikih in malih pretokov za merilna mesta državnega hidrološkega monitoringa površinskih voda. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/Povratne%20dobe%20Qvk,Qnp.pdf> (Pridobljeno 29. 04. 2014.)

ARSO. 2014. Arhiv površinskih voda. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno 20. 08. 2014.)

Atlas okolja. 2013. http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 5. 12. 2014.)

Beard, L. R., Fredrich A. J. 1975. Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development. Volume 3: Hydrologic frequency analysis. IHD - 3. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, Davis, CA: 176 str. <http://www.hec.usace.army.mil/publications/IHDVolumes/IHD-3.pdf> (Pridobljeno 28. 9. 2014.)

Beguiria, S. 2005. Uncertainties in partial duration series modelling of extremes related to the choice of the threshold value. Journal of Hydrology 303, 1-4: 215-230.

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

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Brunner, G. W., Fleming, M. 2010. HEC-SSP Statistical Software Package, Version 2.0. User's Manual. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Davis, CA: 312 str. http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/documentation/HEC-SSP_20_Users_Manual.pdf (Pridobljeno 10. 09. 2013.)

Cunderlik, J. M., Ouarda, T. B. M. J. 2006. Regional flood-duration-frequency modeling in the changing environment. Journal of Hydrology 318, 1-4: 276-291.

Cunnane, C. 1989. Statistical distributions for flood frequency analysis. World Meteorological Organization Operational Hydrology, Report No. 33. WMO-No.718, Geneva, Switzerland: 73 f.

Devulapalli, R. S., Valdes, J. B. 1996. Volume-duration-frequencies for ungaged catchments in Texas. Volume I. Calculation of regional regression equations. Texas, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Texas Department of Transportation: 118 str.

http://twri.tamu.edu/reports/1996/173/tr173_v1.pdf (Pridobljeno 16. 12. 2014.)

Flood Manager, E-learning. 2014. Tutorial, Flood Probability Assessment, Hydrology of Floods, Flood frequencies and design flood, Flood frequency analysis.

<http://daad.wb.tu-harburg.de/?id=243> (Pridobljeno 01. 02. 2014.)

Flynn, K. M., Kirby, W. H., Hummel, P. R. 2006. User's Manual for Program PeakFQ Annual Flood-Frequency Analysis Using Bulletin 17B Guidelines. Techniques and Methods Book 4-B4. Reston, Virginia, U. S. Geological Survey: 42 str.

<http://pubs.usgs.gov/tm/2006/tm4b4/tm4b4.pdf> (Pridobljeno 10. 12. 2013.)

Frantar, P. 2003. Pretočni režimi na reki Savi in njihove spremembe med obdobjem 1961-1990 in 1991-2000. 14. Mišičev vodarski dan.

<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEica/publikacije/Pretoki.pdf> (Pridobljeno 25. 10. 2014)

Frantar, P. (ur.). 2008. Vodna Bilanca Slovenije 1971-2000 = Water balance of Slovenia 1971-2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 119 str.

Galéa, G., Javelle, P., Chaput, N., 2000. Un modèle débit-durée-fréquence pour caractériser le régime d'étiage d'un bassin versant. Revue des Sciences de l'eau 13, 4: 421-440.

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

Hidroelektrarna Moste. 2013.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna_Moste (Pridobljeno 25. 12. 2014.)

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1997. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge, Cambridge University Press: 224 str.

Javelle, P. 2001. Caractérisation du régime des crues: le modèle débit-durée-fréquence convergent, Approche locale et régionale. PhD thesis. Cemagref-Lyon. Institut National Polytechnique de Grenoble: 268 str.

Javelle, P., Ouarda, T. B. M. J., Lang, M., Bobeé, B., Galéa, G., Grésillon, J. M. 2002. Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method. Journal of Hydrology 258, 1-4: 249-259.

Kavčič, K. 2013. Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic v Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kavčič): 113 str.

Kobold, M., Šraj, M., Brilly, M. 2013. Review of applied methods for flood frequency analysis in a changing environment in Slovenia. V: Madsen, H. (ur.), Lawrence, D. (ur.), Lang, M. (ur.), idr. Floodfreq COST Action ES 0901, European Procedures for Flood Frequency Estimation: a review of applied methods in Europe for flood-frequency analysis in a changing environment. Wallingford, U.K., Centre for Ecology & Hydrology on behalf of COST: 119–125.

http://www.wmo.int/pages/prog/hwrr/publications/Floodfreq_report.pdf (Pridobljeno 10. 11. 2014.)

Košmelj, B., Arh, F., Doberšek-Urbanc, A., Ferligoj, A., Omladič, M. 1994. Statistični terminološki slovar. Ljubljana, Statistično društvo Slovenije, Društvo matematikov, fizikov in astronomov: 98 str.

Kottogoda, N. T., Rosso, R. 2008. Applied statistics for civil and environmental engineers. Oxford, Blackwell Publishing: 718 str.

Kramar Fijavž, M. 2011. Matematična analiza IV. Študijsko gradivo.

<http://ucilnica1011.fgg.uni-lj.si/file.php/30/predavanja/ma4-1011-1-izrocki.pdf> (Pridobljeno 29. 04. 2014.)

Kraner Šumenjak, T. 2014. Statistika.

<http://fk.uni-mb.si/fkbv/images/stories/matematika/1pred-stat.pdf> (Pridobljeno 29. 04. 2014.)

Kryžanovski, A., Polak, D. 1996. Projektna naloga za izdelavo idejne študije doinstaliranja HE Moste. 1. Faza: Hidravlično obratovanje sistema HE Moste (mapa H2MS/MG01). Savske elektrarne Ljubljana: 133 f.

Kryžanowski, A. 2015. Hidroelektrarna Moste. Osebna komunikacija. (2. 2. 2015.)

Kučič, K. 2007. Metoda momentov L pri verjetnostni analizi visokih vod. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kučič): 85 str.

Maidment, D. R. (ur.). 1993. Handbook of hydrology. New York idr., McGraw-Hill, INC: 1424 str.

McCuen, R. H. 2003. Modeling hydrologic change: statistical methods. Boca Raton idr., Lewis Publishers: 433 str.

Menih, M. 2014. Analiza vpliva izbranega obdobja meritev na rezultate verjetnostnih analiz visokovodnih konic. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Menih): 58 str.

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20, 32: 324 str.

ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 12. 09. 2013.)

Obnova HE Moste. 2014

<http://www.he-moste.sel.si/> (Pridobljeno 22. 12. 2014.)

Podhraški, M. 2005. Pregrada hidroelektrarne Moste v Kavčkah. Slika.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna_Moste (Pridobljeno 17. 12. 2014.)

Rao, A. R., Hamed, K. H. 2000. Flood frequency analysis. Florida, CRC press: 350 str.

Ribič, L. 2014. Analiza visokovodnih konic s programom HEC-SSP. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 79 str.

Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. 2014.

<http://www.sel.si/> (Pridobljeno 22. 12. 2014.)

Sever, B. (ur.), Ternar, J. (ur.). 1994. Gorenjska A-Ž. Priročnik za popotnika in poslovnega človeka. Murska Sobota, Pomurska založba: 295 str.

Turk, G. 2012. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 246 str.

<http://km.fgg.uni-lj.si/PREDMETI/ovrs/OVRSLit.htm> (Pridobljeno 05. 12. 2013.)

Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delu vodnega telesa reke Save od Ježice do Suhadolega. Priloga: območje izvajanja koncesije in pogoji, pod katerimi se izvaja koncesija za rabo vode za proizvodnjo električne energije na delih vodnega telesa srednje Save. Uradni list RS št. 121-5019/2004: 14560.

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 19. 09. 2014.)

USACE. 2009. HEC-DSSVue, HEC Data Storage System Visual Utility Engine, Version 2.0, User's Manual. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Davis, CA: 460 str.
http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dssvue/documentation/User%27sManual_2.0/HEC-DSSVue_20_Users_Manual.pdf (Pridobljeno 12. 09. 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 10. 09. 2013)

USWRC. 1982. 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, 15. 11. 2013.)

Vihar, A. 2014. Analiza pretokov s programom HEC-SSP. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 99 str.

Zaletelj, M. 2010. Zadrževalniki na povodju Grosupeljščice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Zaletelj): 57 str.

24ur.com. 2010. Izvir Save Dolinke v Zelencih. Slika.
http://www.24ur.com/razgalimo_slovenijo/talni-izviri-save-dolinke.html (Pridobljeno 20. 11. 2014.)

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: SEZNAM OBRAVNAVANIH VODOMERNIH POSTAJ.....	A1
PRILOGA B: REZULTATI VERJETNOSTNE ANALIZE MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV (VERJETNOSTNE KRIVULJE LETNIH MAKSIMALNIH N-DNEVNIH PRETOKOV) OBRAVNAVANIH VODOMERNIH POSTAJ V SLOVENIJI ZA IZBRANE POVRATNE DOBE.....	B1
PRILOGA C: KARTA VODOMERNIH POSTAJ VKLJUČENIH V ANALIZO	C1

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA A: SEZNAM OBRAVNAVANIH VODOMERNIH POSTAJ

ŠIFRA POSTAJE	POSTAJA	VODOTOK	OBDOBJE MERITEV UPOŠTEVANO PRI ANALIZI	DOLŽINA NIZA
1060	Gornja Radgona I	Mura	1951 - 2012	62
1070	Petanjci	Mura	1956 - 2007	52
1140	Pristava + Pristava I	Ščavnica	1954 - 2012	59
1165	Nuskova	Ledana	1982 - 2012	31
1220	Polana + Polana I	Ledana	1956 - 2012	57
1260	Čentiba	Ledana	1970 - 2012	43
1310	Kobilje	Kobiljski potok	1980 - 2012	33
1355	Hodoš + Hodoš I	Velika Krka	1974 - 2012	39
2010	HE Dravograd	Drava	1965 - 2012	48
2220	Črna	Meža	1971 - 2012	42
2250	Otiški vrh I	Meža	1955 - 2012	58
2370	Dovže I	Mislinja	1971 - 2010	40
2390	Otiški vrh + Otiški vrh I	Msilinja	1965 - 2012	48
2432	Muta + Muta I	Bistrica	1954 - 2012	59
2530	Ruta	Radoljna	1973 - 2006	34
2600	Zreče	Dravinja	1973 - 2012	40
2640	Makole	Dravinja	1973 - 2012	40
2652	Videm + Videm I	Dravinja	1951 - 2012	62
2670	Dražas vas	Oplotnica	1973 - 2008	36
2715	Slovenska Bistrica + Slovenska Bistrica I	Bistrica	1953 - 1985	33
2719	Podlehnik + Podlehnik I	Rogatnica	1975 - 2012	38
2754	Tržec	Poljska	1953 - 2012	60
2880	Gočova	Pesnica	1970 - 2012	43
2900	Zamušani I	Pesnica	1961 - 2012	52
3010	Podkoren	Sava Dolinka	1958 - 1991	34
3060	Jesenice	Sava Dolinka	1952 - 2012	61
3080	Blejski most	Sava Dolinka	1974 - 2006	33
3180	Podhom	Radovna	1954 - 2012	59
3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	1951 - 2012	62
3220	Soteska	Sava Bohinjka	1951 - 1989	39
3300	Stara Fužina + Stara Fužina II	Mostnica	1951 - 2006	56
3320	Bohinjska Bistrica	Bistrica	1969 - 2012	44
3400	Mlino I	Jezernica	1956 - 2012	57
3420	Radovljica I	Sava	1953 - 2012	60
3500	Prebačevo	Sava	1954 - 1985	32
3570	Šentjakob	Sava	1954 - 2012	59
3650	Litija I	Sava	1953 - 2012	60
3740	Radeče	Sava	1951 - 1994	44
3850	Čatež + Čatež I	Sava	1954 - 2012	59
4020	Ovsiše I	Lipnica	1955 - 2000	46
4050	Preska	Tržiška Bistrica	1958 - 2007	50

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

4120	Kokra I	Kokra	1957 - 2012	56
4200	Suha I	Sora	1953 - 1990	38
4230	Zminec	Poljanska Sora	1980 - 2012	33
4400	Kamnik + Kamnik I	Kamniška Bistrica	1951 - 2006	56
4480	Nevlje I	Nevljica	1959 - 2012	54
4520	Podrečje	Rača	1983 - 2012	30
4660	Martinja vas + Martinja vas I	Mirna	1954 - 2012	59
4690	Gabrje I	Mirna	1954 - 1992	39
4710	Rogatec	Sotla	1951 - 1986	36
4740	Rakovec + Rakovec I	Sotla	1951 - 2012	62
4790	Zagaj + Zagaj I	Bistrica	1965 - 2010	46
4820	Petrina	Kolpa	1952 - 2012	61
4850	Radenci II	Kolpa	1953 - 2012	60
4860	Metlika	Kolpa	1951 - 2012	62
4883	Zamost I	Čabranka	1950 - 1989	40
4970	Gradac	Lahinja	1952 - 2012	61
5030	Vrhnika	Ljubljana	1961 - 2012	52
5078	Moste + Moste I	Ljubljana	1954 - 2012	59
5130	Mirke I	Velika Ljubljana	1951 - 1981	31
5150	Mirke	Mala Ljubljana	1951 - 1981	31
5240	Verd I	Ljubija	1952 - 2009	58
5270	Bistra I	Bistra	1970 - 2012	43
5330	Borovnica	Borovniščica	1954 - 1993	40
5500	Dvor	Gradaščica	1981 - 2012	32
5540	Razori	Šujica	1954 - 2012	59
5590	Pudob	Veliki Obrh	1952 - 1986	35
5800	Prestranek	Pivka	1958 - 2012	55
5820	Postojnska jama	Pivka	1954 - 1986	33
5880	Hasberg	Unica	1951 - 2012	62
6020	Solčava I	Savinja	1963 - 2012	50
6060	Nazarje	Savinja	1951 - 2012	62
6200	Laško I	Savinja	1953 - 2012	60
6210	Veliko Širje + Veliko Širje I	Savinja	1955 - 1990	36
6240	Kraše	Dreta	1959 - 2012	54
6280	Velenje	Paka	1978 - 2012	35
6300	Šoštanj	Paka	1951 - 1990	40
6340	Rečica	Paka	1978 - 2012	35
6350	Škale	Lepena	1980 - 2012	33
6400	Škale	Sopota	1980 - 2012	33
6420	Šoštanj	Velunja	1981 - 2012	32
6550	Dolenja vas II	Bolska	1962 - 2012	51
6630	Levec I	Ložnica	1954 - 2012	59
6691	Črnlolica + Črnlolica I	Vogljajna	1982 - 2012	31
6720	Celje II	Vogljajna	1967 - 2012	46
6760	Grobelno	Slomščica	1959 - 1989	31

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

6770	Polže	Hudinja	1958 - 1989	32
6790	Škofja vas	Hudinja	1983 - 2012	30
6835	Vodiško + Vodiško I	Gračnica	1968 - 2012	45
7030	Podbukovje	Krka	1959 - 2012	54
7040	Dvor	Krka	1959 - 2004	46
7110	Gorenja Gomila	Krka	1962 - 2012	51
7160	Podbočje	Krka	1954 - 2012	59
7220	Rašica	Rašica	1982 - 2012	31
7310	Rožni vrh	Temenica	1961 - 2001	41
7340	Prečna	Prečna	1953 - 2012	60
7380	Škocjan	Radulja	1961 - 2012	52
7441	Sodražica	Bistrica	1981 - 2012	32
8031	Kršovec + Kršovec I	Soča	1951 - 2011	61
8060	Log Čezsoški	Soča	1951 - 2012	62
8080	Kobarid I	Soča	1953 - 2012	60
8180	Solkan + Solkan I	Soča	1954 - 2012	59
8240	Kal Koritnica	Koritnica	1954 - 2005	52
8270	Žaga	Učja	1954 - 2012	59
8330	Tolmin	Tolminka	1953 - 1995	43
8350	Podroteja + Podroteja I	Idrijca	1954 - 2012	59
8400	Reka	Idrijca	1952 - 1989	38
8450	Hotešk	Idrijca	1953 - 2012	60
8480	Dol. Trebuša	Trebuša	1954 - 2012	59
8500	Bača pri Modreju	Bača	1951 - 2012	62
8545	Nova Gorica + Nova Gorica I	Koren	1982 - 2012	31
8560	Vipava + Vipava I	Vipava	1951 - 2012	62
8590	Dornberk	Vipava	1958 - 2012	55
8601	Miren + Miren I	Vipava	1950 - 2012	63
8630	Ajdovščina I	Hubelj	1956 - 2012	57
9050	Cerkvenikov Mlin	Reka	1952 - 2012	61
9210	Kubed II	Rizana	1965 - 2012	48

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA B: REZULTATI VERJETNOSTNE ANALIZE MAKSIMALNIH PRETOČNIH VOLUMNOV (VERJETNOSTNE KRIVULJE LETNIH MAKSIMALNIH N-DNEVNIH PRETOKOV) OBRAVNAVANIH VODOMERNIH POSTAJ V SLOVENIJI ZA IZBRANE POVRATNE DOBE

ŠIFRA VP	LETO	Ocene letnih maksimalnih n-dnevni povprečnih pretokov Q [m ³ /s]						
		n [dnevni] T [leta]	1	3	7	15	30	60
1060	koledarsko leto	50	1349,6	1090,4	833,7	647,5	536,4	467,9
		100	1507,5	1217,4	921,0	705,6	585,5	510,2
		1000	2054,2	1661,2	1220,8	898,7	755,3	656,8
1070	koledarsko leto	50	1379,4	1196,0	890,5	652,8	540,1	472,2
		100	1530,9	1350,7	997,0	710,7	590,8	515,9
		1000	2030,8	1905,4	1379,9	900,6	768,6	669,3
1140	hidrološko leto	50	50,0	36,9	27,6	20,7	14,6	10,7
		100	53,8	38,8	29,4	22,7	16,2	12,0
		1000	64,2	43,3	34,4	29,0	21,2	16,6
1165	hidrološko leto	50	14,6	7,0	3,6	2,3	1,7	1,3
		100	16,8	7,6	3,7	2,4	1,8	1,4
		1000	24,1	9,1	3,9	2,5	2,1	1,7
1220	hidrološko leto	50	50,0	36,7	22,5	14,7	9,6	6,6
		100	55,9	41,5	25,5	16,7	10,7	7,4
		1000	74,2	57,4	35,7	23,4	14,6	10,1
1260	hidrološko leto	50	92,6	84,7	60,5	41,0	27,0	17,4
		100	100,5	95,3	67,7	45,0	29,5	18,7
		1000	122,4	129,7	90,6	56,5	36,8	22,2
1310	hidrološko leto	50	18,2	10,5	6,3	4,1	2,6	1,7
		100	20,4	11,6	7,0	4,6	2,9	1,9
		1000	27,2	14,8	8,8	6,1	3,8	2,5
1355	hidrološko leto	50	28,0	15,5	8,6	5,0	3,2	2,0
		100	32,2	17,3	9,4	5,2	3,4	2,1
		1000	45,8	22,7	11,2	5,8	3,8	2,2
2010	koledarsko leto	50	1684,8	1468,9	1148,5	903,0	774,0	683,0
		100	1877,0	1670,8	1275,8	970,9	825,4	729,4
		1000	2600,5	2493,9	1757,6	1196,8	990,2	882,0
2220	koledarsko leto	50	34,8	25,5	17,6	12,6	9,7	7,4
		100	40,1	29,1	19,7	13,9	10,6	8,0
		1000	61,5	42,9	27,4	18,6	13,8	9,8
2250	koledarsko leto	50	224,8	142,5	94,3	64,9	49,4	36,5
		100	259,0	160,2	103,8	70,2	53,2	38,5
		1000	391,6	224,4	135,7	86,9	65,6	44,2
2370	koledarsko leto	50	41,8	29,0	19,7	12,5	8,6	6,0
		100	48,9	33,2	22,1	13,6	9,2	6,4
		1000	77,6	48,4	30,1	17,3	11,2	7,4
2390	koledarsko leto	50	113,6	68,6	42,4	27,5	19,5	14,8
		100	129,1	75,9	45,7	29,0	20,6	15,6
		1000	184,5	99,9	55,1	33,1	23,4	17,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

2432	koledarsko leto	50	33,3	22,9	16,0	12,2	10,1	8,5
		100	39,5	26,4	17,8	13,4	11,1	9,2
		1000	65,3	40,1	23,8	16,9	14,3	11,5
2530	koledarsko leto	50	35,5	23,2	14,7	9,8	6,9	5,5
		100	39,4	25,4	15,8	10,5	7,3	5,8
		1000	52,1	32,1	19,1	12,6	8,4	6,5
2600	hidrološko leto	50	15,5	9,5	6,6	4,5	3,0	2,3
		100	18,9	10,9	7,5	5,1	3,3	2,4
		1000	34,1	15,8	11,2	7,1	4,1	2,8
2640	hidrološko leto	50	116,5	74,8	45,1	32,3	20,4	14,6
		100	133,2	83,5	50,6	36,1	22,2	15,4
		1000	198,3	113,9	71,3	50,1	28,0	17,8
2652	hidrološko leto	50	219,1	163,3	105,9	72,5	48,4	34,2
		100	236,6	177,5	113,5	77,9	51,3	35,6
		1000	287,0	220,9	135,4	94,0	59,4	39,1
2670	hidrološko leto	50	27,3	18,9	13,5	9,0	6,8	5,0
		100	29,5	20,3	14,6	9,6	7,2	5,3
		1000	36,6	24,6	18,1	11,3	8,7	6,0
2715	hidrološko leto	50	19,1	9,0	6,1	4,5	3,1	2,2
		100	22,3	10,2	6,9	5,0	3,4	2,4
		1000	34,8	14,3	10,0	7,3	4,4	2,9
2719	hidrološko leto	50	17,2	14,5	10,0	6,4	4,7	3,0
		100	18,0	15,7	11,0	6,9	5,2	3,2
		1000	20,2	19,0	14,4	8,6	7,1	4,0
2754	hidrološko leto	50	62,0	46,9	29,6	19,1	12,5	9,5
		100	68,6	52,1	32,4	20,8	13,5	10,3
		1000	88,2	68,0	40,9	25,5	16,3	12,9
2880	hidrološko leto	50	64,1	53,7	36,8	24,9	17,0	11,7
		100	70,1	58,7	39,6	26,4	18,1	12,5
		1000	89,2	74,6	47,7	30,5	21,0	15,0
2900	hidrološko leto	50	135,4	107,2	74,0	46,5	31,7	22,5
		100	147,4	115,5	81,6	49,8	33,8	24,5
		1000	181,1	137,2	106,3	58,7	39,4	30,7
3010	koledarsko leto	50	6,0	5,5	4,7	4,2	3,9	3,6
		100	7,0	6,3	5,3	4,6	4,3	3,9
		1000	11,2	9,7	7,3	5,9	5,4	5,1
3060	koledarsko leto	50	126,2	84,8	59,7	45,4	38,8	30,0
		100	145,8	95,3	65,9	49,5	42,6	31,6
		1000	222,4	132,7	86,8	63,4	55,8	36,2
3080	koledarsko leto	50	227,9	162,3	125,0	98,5	83,3	67,6
		100	255,0	178,1	138,7	109,4	93,6	72,9
		1000	355,3	232,7	188,4	149,9	133,7	90,4
3180	koledarsko leto	50	105,4	81,2	54,1	39,9	33,7	24,8
		100	114,8	88,8	58,7	43,1	37,1	26,3
		1000	146,6	114,7	74,1	53,9	49,4	31,0
3200	koledarsko leto	50	176,0	130,9	77,1	50,0	39,0	28,9
		100	195,7	145,7	83,7	53,8	42,0	30,5
		1000	264,9	199,2	105,5	66,5	52,2	35,0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

3220	koledarsko leto	50	481,0	342,9	202,8	125,2	87,8	61,0
		100	536,2	390,7	226,5	138,0	95,3	63,5
		1000	725,4	574,8	313,2	183,5	121,2	70,6
3300	koledarsko leto	50	124,8	68,5	39,3	26,3	17,6	11,6
		100	144,1	76,2	43,7	29,1	19,5	12,4
		1000	219,6	102,8	59,4	39,1	26,5	15,1
3320	koledarsko leto	50	67,5	52,0	32,2	20,6	14,3	10,2
		100	74,7	57,5	36,1	22,4	15,4	10,5
		1000	101,0	77,4	50,9	28,3	19,0	11,2
3400	hidrološko leto	50	4,4	3,2	2,6	2,2	1,9	1,7
		100	4,9	3,5	2,8	2,4	2,1	1,9
		1000	6,7	4,4	3,6	3,1	2,9	2,7
3420	koledarsko leto	50	659,3	489,2	309,7	217,9	172,6	127,6
		100	735,2	547,0	340,7	239,3	190,7	134,3
		1000	1007,3	759,8	449,1	315,6	258,4	153,9
3500	koledarsko leto	50	1023,7	752,9	458,3	286,2	222,6	158,8
		100	1108,5	826,8	496,8	306,1	239,2	164,3
		1000	1362,1	1065,0	617,0	369,9	296,1	179,6
3570	hidrološko leto	50	1195,7	915,4	615,1	440,2	349,6	247,9
		100	1298,7	1008,6	673,7	484,9	389,4	263,2
		1000	1620,2	1326,1	871,4	645,0	539,4	309,2
3650	hidrološko leto	50	1756,9	1318,9	948,9	718,3	565,5	444,3
		100	1909,8	1429,0	1011,6	766,8	601,5	467,5
		1000	2405,2	1787,2	1199,5	916,3	710,2	533,6
3740	hidrološko leto	50	2613,9	1914,2	1357,8	922,3	724,6	578,1
		100	2876,2	2096,2	1469,4	977,2	769,2	611,1
		1000	3785,0	2732,5	1844,4	1148,2	910,3	714,0
3850	hidrološko leto	50	3095,4	2433,2	1740,7	1262,3	954,7	746,7
		100	3361,3	2651,9	1864,9	1341,5	1009,5	784,7
		1000	4214,1	3379,1	2246,0	1577,8	1173,4	894,3
4020	hidrološko leto	50	61,2	43,1	27,3	18,9	13,2	9,0
		100	66,9	47,7	30,2	21,1	14,6	9,8
		1000	85,0	63,3	40,0	29,1	19,6	12,6
4050	koledarsko leto	50	77,4	43,5	26,7	18,9	16,2	13,6
		100	87,1	47,4	28,8	20,2	17,7	14,7
		1000	121,9	59,9	35,8	24,7	23,0	18,7
4120	hidrološko leto	50	113,9	71,8	42,9	27,2	19,6	13,5
		100	133,1	84,0	49,2	30,6	21,7	14,5
		1000	209,5	133,6	73,5	43,1	29,5	17,7
4200	hidrološko leto	50	415,9	289,7	171,6	123,8	89,5	64,7
		100	454,3	317,9	182,5	132,9	96,4	69,2
		1000	576,3	411,0	214,3	161,2	119,2	83,7
4230	hidrološko leto	50	203,4	146,8	94,8	68,9	46,7	34,0
		100	216,3	159,0	101,3	73,9	49,6	35,7
		1000	252,6	197,1	120,3	88,7	57,8	40,0
4400	koledarsko leto	50	99,2	78,2	52,6	37,1	28,4	22,5
		100	111,3	86,7	57,8	40,5	30,9	24,3
		1000	155,3	116,0	75,5	51,9	39,4	30,4

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

4480	hidrološko leto	50	43,3	30,0	17,6	12,0	8,3	6,5
		100	47,9	34,1	19,1	13,1	9,0	7,2
		1000	63,7	49,5	23,9	16,8	11,3	10,2
4520	hidrološko leto	50	73,8	55,7	38,8	27,0	18,3	14,0
		100	81,5	61,5	42,2	28,8	19,4	14,9
		1000	109,0	81,3	53,2	34,5	22,6	17,2
4660	hidrološko leto	50	55,6	37,2	22,2	13,6	9,4	7,6
		100	60,3	40,8	23,6	14,3	9,7	7,9
		1000	75,3	52,7	27,8	16,3	10,5	8,6
4690	hidrološko leto	50	84,9	55,9	36,9	23,8	16,0	13,1
		100	91,7	60,8	39,7	25,8	16,9	13,9
		1000	113,6	77,3	48,6	32,7	19,5	16,6
4710	hidrološko leto	50	19,6	10,9	6,6	4,4	2,9	2,1
		100	21,1	11,7	7,1	4,6	3,1	2,2
		1000	25,6	14,0	8,4	5,2	3,5	2,4
4740	hidrološko leto	50	246,6	176,7	111,2	75,2	48,1	33,7
		100	279,1	196,1	122,6	84,7	52,6	36,4
		1000	393,2	258,8	159,6	120,8	68,1	44,7
4790	hidrološko leto	50	61,9	35,4	19,8	11,8	8,9	5,8
		100	70,8	40,7	22,5	13,0	10,0	6,3
		1000	103,9	61,2	32,7	16,9	13,8	7,7
4820	hidrološko leto	50	466,9	350,5	225,6	153,8	112,5	79,6
		100	485,3	375,2	238,0	162,0	118,5	82,4
		1000	529,8	449,7	272,3	184,8	135,9	89,5
4850	hidrološko leto	50	785,2	599,8	405,5	279,3	209,0	157,2
		100	819,9	637,1	425,4	289,3	217,5	164,0
		1000	909,2	745,8	478,9	313,6	239,9	182,4
4860	hidrološko leto	50	1038,5	774,1	549,7	375,7	290,0	213,2
		100	1092,6	810,5	578,0	390,2	305,5	222,1
		1000	1241,7	904,7	656,7	426,7	351,5	246,4
4883	hidrološko leto	50	115,1	70,0	42,0	26,9	19,3	13,7
		100	125,1	75,7	45,3	28,7	20,6	14,6
		1000	154,7	92,8	55,3	33,8	24,5	17,5
4970	hidrološko leto	50	110,3	88,4	59,6	39,4	28,4	19,5
		100	122,1	98,7	65,3	43,0	30,9	20,6
		1000	165,0	137,1	85,3	55,7	40,2	23,7
5030	hidrološko leto	50	111,3	108,2	102,8	93,0	86,4	78,7
		100	114,4	110,9	105,2	94,3	88,2	82,3
		1000	124,1	118,9	111,7	96,7	92,3	92,1
5078	hidrološko leto	50	327,8	310,1	281,1	230,9	198,5	170,0
		100	340,2	321,5	291,6	239,1	207,4	179,2
		1000	375,4	353,2	320,5	260,5	232,1	205,8
5130	hidrološko leto	50	69,8	66,8	63,4	56,6	55,5	53,0
		100	71,5	68,0	64,5	57,0	56,6	56,0
		1000	77,0	71,5	67,7	57,5	59,0	64,6
5150	hidrološko leto	50	26,5	25,1	24,4	23,0	23,4	22,1
		100	27,1	25,3	24,7	23,2	23,9	23,0
		1000	28,9	25,9	25,3	23,6	25,2	25,5

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

5240	hidrološko leto	50	24,4	23,3	21,5	20,1	19,7	18,7
		100	25,1	23,8	21,8	20,4	20,2	19,8
		1000	27,1	25,5	22,5	20,9	21,5	23,0
5270	hidrološko leto	50	19,5	19,3	18,7	17,3	14,9	13,2
		100	20,1	20,0	19,2	17,9	15,2	13,4
		1000	21,9	21,9	20,8	19,5	16,1	14,1
5330	hidrološko leto	50	31,7	23,9	14,0	9,9	7,6	5,3
		100	34,7	27,4	15,5	11,0	8,5	5,9
		1000	44,1	41,1	20,5	14,4	12,0	8,0
5500	hidrološko leto	50	55,1	37,3	22,3	14,9	9,5	6,9
		100	59,7	41,3	24,1	15,9	9,9	7,2
		1000	72,9	54,5	29,6	18,6	10,8	7,6
5540	hidrološko leto	50	29,4	21,4	12,8	8,5	6,0	4,2
		100	31,9	23,6	13,6	9,0	6,4	4,4
		1000	40,0	31,2	15,7	10,6	7,4	4,9
5590	hidrološko leto	50	36,6	35,0	31,0	21,1	15,0	10,8
		100	38,9	37,1	32,8	22,1	15,8	11,5
		1000	45,6	43,4	38,0	24,6	18,1	13,6
5800	hidrološko leto	50	33,7	25,1	19,7	17,1	15,3	13,3
		100	39,3	27,6	21,0	17,9	15,9	14,0
		1000	63,9	36,7	24,9	20,2	17,2	15,7
5820	hidrološko leto	50	71,0	64,1	44,3	32,5	29,7	23,6
		100	74,4	68,7	46,7	33,8	31,8	25,2
		1000	83,7	83,5	53,8	37,2	38,3	29,9
5880	hidrološko leto	50	91,0	91,7	92,4	91,5	88,9	76,4
		100	94,1	94,9	96,4	95,6	94,5	81,4
		1000	103,5	104,6	108,6	107,5	112,2	97,0
6020	koledarsko leto	50	55,9	34,7	22,6	16,3	12,0	9,3
		100	68,6	41,4	26,7	19,2	13,8	10,4
		1000	128,7	70,4	44,1	31,7	21,3	14,7
6060	koledarsko leto	50	325,9	223,2	142,2	96,8	68,4	52,7
		100	362,5	248,9	159,0	107,4	74,5	56,4
		1000	493,7	342,4	222,3	147,1	95,8	68,3
6200	hidrološko leto	50	989,4	602,2	364,3	235,3	160,5	117,9
		100	1135,8	672,3	395,8	251,5	169,7	123,9
		1000	1711,2	923,1	496,1	300,0	196,4	140,8
6210	hidrološko leto	50	1008,2	596,5	381,3	237,5	166,2	127,5
		100	1153,4	655,2	416,3	253,1	174,9	134,6
		1000	1731,2	852,6	533,8	301,0	199,9	156,0
6240	hidrološko leto	50	167,9	85,1	47,7	30,4	20,2	14,4
		100	198,4	97,5	53,4	33,4	21,7	15,3
		1000	320,6	144,0	73,1	43,3	26,3	18,1
6280	koledarsko leto	50	30,1	21,6	12,3	7,6	4,8	3,6
		100	36,4	25,3	13,6	8,1	5,1	3,8
		1000	64,8	40,7	17,8	9,7	6,0	4,6
6300	hidrološko leto	50	137,7	62,3	33,2	18,4	11,9	8,6
		100	190,0	77,1	39,0	20,5	12,8	9,2
		1000	531,8	147,8	63,3	28,1	15,8	11,2

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

6340	hidrološko leto	50	145,2	86,3	49,7	30,6	17,7	12,7
		100	176,3	99,4	55,9	33,1	18,5	13,3
		1000	312,9	146,8	77,1	40,0	20,5	14,7
6350	koledarsko leto	50	6,2	3,1	1,7	1,0	0,6	0,4
		100	7,6	3,5	1,9	1,1	0,6	0,4
		1000	14,1	5,4	2,6	1,4	0,7	0,4
6400	koledarsko leto	50	5,5	3,5	1,8	1,1	0,7	0,5
		100	6,1	4,1	2,1	1,2	0,7	0,6
		1000	8,3	6,7	3,0	1,7	0,9	0,8
6420	hidrološko leto	50	13,0	9,8	6,6	4,8	3,3	2,4
		100	15,0	10,9	7,2	5,5	3,7	2,8
		1000	21,6	13,8	8,6	7,5	4,9	3,7
6550	hidrološko leto	50	118,9	77,5	44,5	28,1	18,4	13,5
		100	139,0	89,6	49,2	30,7	19,6	14,3
		1000	221,1	137,6	64,8	39,6	23,3	16,9
6630	hidrološko leto	50	73,6	37,7	21,4	12,7	8,5	5,6
		100	85,0	42,0	23,6	13,6	9,1	5,9
		1000	130,0	56,7	30,8	16,4	11,2	6,5
6691	hidrološko leto	50	54,0	26,3	13,8	7,7	4,7	3,1
		100	69,5	31,4	15,4	8,3	5,1	3,3
		1000	141,0	50,6	20,6	10,1	5,9	3,6
6720	hidrološko leto	50	97,9	58,8	35,7	23,0	15,4	11,4
		100	112,1	64,6	38,7	24,8	16,2	12,1
		1000	167,9	83,9	48,5	30,7	18,3	14,2
6760	hidrološko leto	50	26,9	17,3	10,3	6,3	3,8	2,6
		100	29,5	19,6	11,6	6,9	4,0	2,8
		1000	37,8	28,5	16,3	8,7	4,6	3,3
6770	hidrološko leto	50	142,5	57,6	28,5	14,8	8,7	4,9
		100	186,5	71,7	35,2	17,9	10,1	5,3
		1000	414,6	135,0	66,3	31,1	15,7	6,8
6790	hidrološko leto	50	48,3	38,8	23,4	14,9	9,8	7,1
		100	53,2	43,9	26,1	16,0	10,4	7,5
		1000	69,1	63,7	36,0	19,4	12,0	8,5
6835	hidrološko leto	50	64,0	29,8	17,9	12,1	8,2	6,4
		100	72,6	32,7	19,5	13,3	8,9	6,9
		1000	104,6	42,4	24,6	17,6	11,3	8,5
7030	hidrološko leto	50	82,5	69,8	61,0	45,8	32,7	25,1
		100	87,8	72,8	63,2	48,3	34,1	26,3
		1000	104,3	80,9	68,6	55,3	37,6	29,7
7040	hidrološko leto	50	197,6	174,8	148,7	110,0	79,1	59,7
		100	213,2	186,4	157,9	118,6	83,6	63,2
		1000	265,9	222,5	185,3	147,3	96,8	73,4
7110	hidrološko leto	50	305,9	286,3	240,6	204,0	151,7	122,4
		100	327,4	305,3	249,1	214,3	157,4	128,4
		1000	404,1	371,8	272,1	245,3	173,3	146,3
7160	hidrološko leto	50	400,0	376,9	333,7	266,1	202,2	158,3
		100	411,1	388,1	346,9	277,6	211,4	166,7
		1000	439,2	417,1	383,2	309,0	237,4	191,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

7220	hidrološko leto	50	45,2	27,4	14,8	9,8	6,5	4,7
		100	50,3	30,5	15,9	10,4	6,7	4,9
		1000	68,9	41,7	19,3	12,1	7,3	5,4
7310	hidrološko leto	50	15,5	11,4	7,6	5,0	3,6	2,9
		100	18,5	13,3	8,5	5,5	3,9	3,1
		1000	31,6	21,0	11,8	6,9	4,5	3,7
7340	hidrološko leto	50	35,4	30,9	25,7	20,0	14,8	11,9
		100	41,6	35,2	28,4	21,7	15,6	12,5
		1000	70,7	53,7	38,6	27,2	17,6	14,1
7380	hidrološko leto	50	42,0	30,8	18,4	11,7	8,0	6,0
		100	45,2	33,5	19,7	12,5	8,5	6,3
		1000	55,1	41,7	23,8	14,6	9,7	7,0
7441	hidrološko leto	50	16,7	11,2	6,2	4,4	3,2	2,3
		100	18,1	12,3	6,5	4,7	3,4	2,4
		1000	22,6	15,9	7,2	5,4	3,7	2,6
8031	koledarsko leto	50	226,3	148,7	97,5	71,7	50,9	37,0
		100	260,5	169,5	109,5	80,3	55,2	39,2
		1000	396,2	251,5	155,2	112,7	69,6	45,9
8060	koledarsko leto	50	413,7	282,0	196,1	148,2	109,0	77,3
		100	451,1	306,0	212,6	165,5	121,1	81,6
		1000	571,7	383,3	265,0	230,4	167,2	94,4
8080	koledarsko leto	50	553,3	409,5	261,0	194,5	142,7	102,4
		100	606,9	452,1	284,9	215,4	157,4	108,1
		1000	789,6	601,4	366,2	291,5	211,8	125,3
8180	hidrološko leto	50	1918,2	1339,6	807,8	545,1	411,9	293,0
		100	2152,5	1528,0	892,5	598,2	455,2	315,7
		1000	2976,7	2253,4	1185,2	780,8	610,5	389,2
8240	koledarsko leto	50	137,1	77,3	49,7	34,8	26,4	20,5
		100	182,1	91,8	55,9	37,9	28,2	21,5
		1000	465,2	158,0	79,5	48,2	33,7	24,8
8270	koledarsko leto	50	166,4	80,6	41,9	25,7	16,8	11,8
		100	204,6	93,2	46,0	28,2	18,0	12,3
		1000	389,4	143,6	59,8	36,7	21,8	13,9
8330	koledarsko leto	50	115,3	92,4	74,2	48,3	34,2	26,8
		100	123,6	103,9	87,9	55,1	37,4	28,7
		1000	149,1	148,1	151,6	83,3	48,9	34,8
8350	hidrološko leto	50	232,4	160,5	96,4	65,9	45,1	32,1
		100	250,3	175,8	104,2	71,2	48,6	34,2
		1000	304,8	226,6	128,6	87,7	59,4	40,4
8400	hidrološko leto	50	426,9	274,9	156,9	99,5	76,6	57,9
		100	477,7	303,7	166,5	102,7	80,8	61,8
		1000	670,0	405,8	193,6	109,8	92,2	73,4
8450	hidrološko leto	50	569,9	380,5	219,3	152,2	103,8	76,1
		100	619,7	419,0	235,8	164,7	110,8	80,3
		1000	773,0	547,1	285,9	204,3	131,9	91,9
8480	hidrološko leto	50	80,4	41,9	23,7	15,0	10,8	8,2
		100	90,3	45,7	25,5	15,8	11,4	8,5
		1000	123,7	57,2	31,1	18,0	12,8	9,5

se nadaljuje ...

... nadaljevanje

8500	hidrološko leto	50	146,8	91,5	55,3	36,7	27,8	21,8
		100	162,8	101,1	59,6	38,8	29,6	23,3
		1000	217,1	134,2	72,9	44,8	35,2	28,1
8545	hidrološko leto	50	6,0	3,1	1,9	1,4	1,1	0,8
		100	6,7	3,4	1,9	1,6	1,2	0,9
		1000	8,9	4,0	2,2	2,0	1,7	1,2
8560	hidrološko leto	50	72,8	63,8	43,0	30,4	24,4	18,0
		100	76,9	68,3	45,6	31,9	25,8	18,6
		1000	89,7	83,5	53,8	36,3	30,1	20,5
8590	hidrološko leto	50	262,4	204,3	133,1	92,2	69,1	52,4
		100	288,2	222,9	143,0	98,3	74,0	55,8
		1000	381,6	286,0	174,1	116,5	89,0	65,8
8601	hidrološko leto	50	345,3	265,3	184,1	126,1	92,6	67,3
		100	371,2	286,2	199,9	136,9	101,0	72,5
		1000	453,6	352,7	251,2	171,3	128,9	88,6
8630	hidrološko leto	50	46,7	38,6	24,7	17,8	12,8	9,3
		100	48,9	42,1	26,6	19,3	13,8	9,8
		1000	54,9	53,6	33,0	24,6	17,0	11,4
9050	hidrološko leto	50	247,8	147,8	94,1	62,8	50,3	35,9
		100	273,4	161,5	101,5	66,6	54,4	38,4
		1000	356,6	206,3	124,2	76,7	66,8	45,4
9210	hidrološko leto	50	65,4	52,6	38,6	30,5	22,6	16,4
		100	70,2	56,8	41,1	33,0	24,7	17,7
		1000	85,1	70,7	48,5	40,8	31,7	21,9

PRILOGA C: KARTA VODOMERNIH POSTAJ VKLJUČENIH V ANALIZO

