

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:

Ivnik Dujovič, G., 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Kozelj, D.): 58 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5913/>

Datum arhiviranja: 19-10-2016

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:

Ivnik Dujovič, G., 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Kozelj, D.): 58 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5913/>

Archiving Date: 19-10-2016

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 PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO

Kandidat:

GREGOR IVNIK DUJOVIČ

RAZBREMENITEV PAKE V VELENJSKO JEZERO

Diplomska naloga št.: 73/B-VOI

**ATTENUATING THE PAKA RIVER INTO VELENJE
LAKE**

Graduation thesis No.: 73/B-VOI

Mentor:

prof. dr. Franc Steinman

Somentor:

asist. dr. Daniel Kozelj

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVEK

Strani z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Gregor Ivnik Dujovič, vpisna številka 26300382, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Razbremenjevanje Pake v Velenjsko jezero**

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani,

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK:	627.8(043.2)
Avtor:	Gregor Ivnik Dujovič
Mentor:	prof. dr. Franc Steinman
Somentor:	asis. dr. Daniel Kozelj
Naslov:	Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	58 str., 11 preg., 42 sl., 9 graf., 33 en.
Ključne besede:	Zadrževanje, razbremenjevanje, hidrogram enote, hidravlične razmere, histogram, HEC-HMS, čas zakasnitve, konica pretoka, bočni preliv

Izveček

V diplomskem delu je bila raziskana ideja zadrževanja Pake v Velenjskem jezeru pri visokovodnem valu s povratno dobo 100 let, saj bi v primeru takega dogodka Šoštanj ponovno trpel hudo gmotno škodo. Velenjsko jezero, ki se napaja iz hudourniških vodotokov gričevja Sopote in Lepene je eno večjih v Sloveniji, zato je bila v naši hipotezi pričakovana zadostna retenzijska sposobnost jezera. V primeru zadrževanja Pake v jezeru bi morali zadržati tudi Sopoto in Lepeno. Predpostavljeno je bilo, da se visokovodna valova Sopote in Lepene pojavita prej, zato bi čimvečji del teh valov odvedli še pred prihodom vala Pake. Za preverbo predpostavke sta bila v programu HEC-HMS 4.1 za povodji Sopote in Lepene, glede na ugotovljene podatke časovnega poteka stoletnih dnevni padavin, topologije, pedologije ter rabe tal, izračunana hidrograma enote, ki sta podala podatke o času pojava konic pretoka, maksimalnem pretoku in volumnu. Hidrogram Pake je bil ob znanem stoletnem pretoku določen z analizo podatkov nihanja gladine ob večjih padavinskih dogodkih v zadnjih dveh letih in pol, odkar so vzpostavili samodejno merjenje na vodomerni postaji Velenje. Hidravlične razmere razbremenjevanja Pake v Velenjsko jezero v takšni meri, ki bi omogočila da se skozi Šoštanj spusti le tak pretok, ki bi ga bila struga zmožna prevajati, so bile izračunane v Excelu in nazorno predstavljene s pomočjo izrisanih grafikonov. Ugotovljeno je bilo, da se določeno količino visokega vala hudournikov lahko odvede še pred prihodom visokega vala Pake ter da je retenzijska zmožnost jezera dovoljšna za obravnavan ukrep. Možnost umestitve ukrepa v prostor je bila prikazana še z izdelavo idejne zasnove razbremenilnega objekta. Na koncu so se določile tudi smernice v morebitnih prihodnjih fazah študije.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 627.8(043.2)
Author: Gregor Ivnik Dujovič
Supervisor: prof. Franc Steinman, Ph.D.
Cosupervisor: asst. prof. Gašper Rak, Ph.D.
Title: Attenuating the Paka River into Velenje Lake
Document Type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 58 p., 11 tab., 42 fig., 9 graph., 33 eq.
Keywords: impoundment, attenuation, unit hydrograph, hydraulic measures, hystograph, HEC-HMS, latency time, peak flow, side weir

Abstract

This diploma thesis explores the idea of impounding water from the Paka River in Lake Velenje in the event of a flood wave with a 100-year return period. If such an event were to take place, Šoštanj would once again be subject to substantial material damage. Lake Velenje, which feeds from torrential waters of the Sopota and Lepena hills, is one of the biggest lakes in Slovenia, so it was expected to have substantial capacity for water retention. If the Paka River were impounded in the lake, the Sopota and Lepena waters would have to be impounded as well. It was assumed that the flood waves from Sopota and Lepena would appear prior to the one from Paka, therefore some water from these waves would be drained before the arrival of the Paka wave. To test this assumption, the program HEC-HMS 4.1 was used to create hydrographs for Sopota and Lepena, which show information about peak flow times, maximum flow, and volume. The hydrographs were calculated using data about the timing of maximum daily precipitation with a 100-year return period that was researched and established within the thesis, as well as data on topology, pedology and soil use. The hydrograph for the Paka River was calculated through analysis of changes in water level during major precipitation events over the past two and a half years since automatic data collection was established at the Velenje gauging station. The hydraulic conditions for attenuating the Paka River into Velenje Lake at a scale that would only send as much water through Šoštanj as the existing stream banks can handle were calculated in Excel and visually presented using plotted graphs. It is established that a certain amount of the flood waves from torrential waters can be drained before the arrival of the flood wave from the Paka River and that, in this case, the retentive capacity of the lake is sufficient for the proposed measure. The possibility of implementing the proposed measure is further demonstrated by creating a conceptual design of the mitigating facility. Finally, guidelines are established for possible further phases of the study.

Kazalo vsebine

1. UVOD	1
2. TEORETIČNE PODLAGE.....	2
2.1 RAZBREMENILNIK.....	2
2.2 PADAVINE IN ODTOKI V HEC-HMS	3
2.2.1 Analiza padavin	4
2.2.2 Odtok s povodij izračunan s numeričnim modelom HEC-HMS	5
2.2.3 Kresnikova metoda	9
2.3 HIDRAVLIČNI IZRAČUN V EXCELU.....	10
2.3.1 Hidravlične razmere v glavni strugi	10
2.3.2 Hidravlične razmere v bočnem prelivu	10
2.3.3 Hidravlične razmere v razbremenilnem koritu	13
2.4 VODNA BILANCA ZA PREREZ P1.....	14
3. PRIMER RAZBREMENJEVANJA PAKE V VELENJSKO JEZERO.....	16
3.1 OPIS VELENJSKEGA JEZERA IN VODOZBIRNIH POVRŠIN	16
3.1.1 Reka Paka	16
3.1.2 Šaleška jezera	18
3.1.3 Sopota.....	22
3.1.4 Lepena	23
3.2 HIDROLOŠKI IN METEOROLOŠKI PODATKI.....	24
3.2.1 Hidrološki podatki	24
3.2.2 Meteorološki podatki.....	25
3.3 HIDRAVLIČNI ROBNİ POGOJI.....	27
4. OBDELAVA IN ANALIZA.....	28
4.1 ZASNOVA ODTOČNEGA REŽIMA	28
4.2 ANALIZA PADAVIN	29
4.2.1 Analiza padavin na povodjih Sopote in Lepene	29
4.2.2 Analiza padavin na povodju Pake	31
4.3 PODATKI O PRETOKIH.....	35
4.3.1 Pretoki Sopote in Lepene v HEC-HMS 4.1	35
4.3.2 Pretoki reke Pake	44
4.4 HIDRAVLIČNE RAZMERE V VELENJSKEM JEZERU IN VODOTOKIH.....	47

4.4.1	Začetne razmere.....	47
4.4.2	Zapiranje zapornice na iztoku iz jezera	48
4.4.3	Popolno zadrževanje.....	49
4.4.4	Praznjenje zadrževalnika	50
4.5	UMESTITEV IN DIMENZIONIRANJE RAZBREMENILNEGA OBJEKTA.....	52
4.5.1	Bočni preliv	53
4.5.2	Razbremenilno korito	54
4.4	GLAVNE UGOTOVITVE.....	55
5.	ZAKLJUČEK	56
VIRI	57

Kazalo slik

Slika 1: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (Šraj, Brilly, 2005)	2
Slika 2: Vodni krog (povzeto po Pidwirny, 2004).....	3
Slika 3: Poenostavljen model hidrološkega kroga v programu HEC HMS (povzeto po Brilly, Šraj, 2005).....	3
Slika 4: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odtoka v odvisnosti od padavin (Brilly, Šraj, 2005).....	7
Slika 5: SCS brezdimenzijski HE (US Army Corps of Engineers, 2000 povzeto po Brilly, Šraj, 2005).....	8
Slika 6: Potek gladine v bočnem prelivu pri mirnem toku (Steinman, 1999)	11
Slika 7: Vodna bilanca za prerez P1 – sprememba odtočnega hidrograma.....	15
Slika 8: Povodja Sopote, Lepene in Pake	16
Slika 9: Povprečni mesečni pretoki Pake na vodomerni postaji Rečica v obdobju 1971 – 2000 (Wikipedia, Pridobljeno 17.4.2016)	18
Slika 10: Škalsko jezero (pritok Lepene), foto: Gregor Ivnik Dujovič, 2016	20
Slika 11: Velenjsko jezero.....	21
Slika 12: Povodje Sopote.....	22
Slika 13: Iztok Sopote v Velenjsko jezero, foto: Gregor Ivnik Dujovič	22
Slika 14: Povodje Lepene	23
Slika 15: Škalsko jezero, foto: Gregor Ivnik Dujovič, 2016	23
Slika 16: Padavine na postaji Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2016).....	26
Slika 17: Zasnova odtočnega režima	28
Slika 18: Raporeditev padavinskih postaj in metoda izohiet.....	30
Slika 19: Val Pake, VP Rečica, 23.9 - 30.9.1973	34
Slika 20: Val Pake, VP Rečica, 7.10 - 14.10.1980	34
Slika 21: Val Pake, VP Rečica, 31.10. - 4.11.1990.....	34
Slika 22: Karta infiltracijske sposobnosti tal (ICPVO, 2010)	35
Slika 23: Razčlenitev na 8 podpovodij ter analiza rabe tal.....	36
Slika 24: Padavinski dogodek s konico pri 75%	37
Slika 25: Izpis povzetih rezultatov v HEC HMS.....	38
Slika 26: Hidrogram Lepene do Škalskega jezera.....	39
Slika 27: Povzeti rezultati Lepene do Škalskega jezera.	39
Slika 28: Preostalo povodje Škalskega jezera	40
Slika 29: Vtok in iztok iz Škalskega jezera	40
Slika 30: Povzeti rezultati Škalskega jezera	41
Slika 31: Iztok Lepene v Velenjsko jezero.....	41
Slika 32: Povzetek rezultatov Lepene do Velenjskega jezera	41
Slika 33: Hidrogram Sopote	42
Slika 34: Povzetek rezultatov za Sopoto	42
Slika 35: Vtok in iztok iz jezera	43
Slika 36: Povzetek rezultat vtoka in iztoka iz Velenjskega jezera	43
Slika 37: Hidrogram Pake glede na analizo hidroloških in meteoroloških podatkov.....	46
Slika 38: Pretok v prerez P1	51
Slika 39: Umestitev objekta v prostor	52
Slika 40: Prečni profil struge	53

Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

Slika 41: Prečni prerez bočnega preliva	54
Slika 42: Razbremenilno korito	54

Kazalo grafikonov

Grafikon 1: Padavine in gladina Pake v Velenju, 21.8.2014.....	32
Grafikon 2: Padavine in gladina Pake v Velenju, 1.9.2014.....	32
Grafikon 3: Padavine in gladina Pake v Velenju, 23.6.2015.....	33
Grafikon 4: Pretočna krivulja Pake na VP Velenje	44
Grafikon 5: Napajanje Velenjskega jezera iz hudourniških vodotokov Sopote in Lepene	47
Grafikon 6: Doganje na zapornici	48
Grafikon 7: Akumuliranje pritokov v jezeru ob zaprtju iztoka iz jezera (5:45 – 9:00)	49
Grafikon 8: Maksimalna retenzija jezera je dosežena na presečišču pritoka Sopote in Lepene ter iztoka iz jezera	50
Grafikon 9: Hidravlično dogajanje polnjenja in praznjenja akumulacije	51

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Šaleška jezera v letih 1978, 1993 in 2009 – osnovni podatki (Jamomerstvo PV 2009, povzeto po študiji Šaleška jezera – vodni vir in razvojni izziv (Šterbenk, Pavšek, 2011)).....	19
Preglednica 2: Maksimalne stoletne padavine na padavinskih postajah	30
Preglednica 3: Maksimalne dnevne padavine na obravnavem območju s povratno dobo 100 let.	31
Preglednica 4: Karakteristike podpovodij	36
Preglednica 5: Hitrost naraščanja pretokov pri padavinah 23.6.2015 ter korelacija naraščanja pri stoletnih padavinah.....	45
Preglednica 6: Hitrost pojemanja pretokov pri padavinskem dogodku 21.9.2014 ter korelacija pojemanja pri stoletnih padavinah	45
Preglednica 7: Skonstruirana konica hidrograma	46
Preglednica 8: Volumen dotok in odtoka v jezero, ter njuna razlika.....	47
Preglednica 9: Vsota dotoka in odtoka v času od 5:15 do 5:45 ter celoten volumen vode v akumulaciji ob 5:45	48
Preglednica 10: Dotoka Lepene in Sopotne ter dotok Pake ter celoten volumen vode v akumulaciji ob 9:00	49
Preglednica 11: Volumen dotoka in iztoka pri odpiranju zapornice, ter vsota akumulirane vode ob 9:45 ...	50

1. UVOD

Nazadnje je Paka poplavlila Šoštanj novembra 2012. Poplavam je sledila hidrološko-hidravlična študija, ki predvideva nekaj manjših vodnogospodarskih ukrepov, s katerim bi zavarovali nekaj najbolj ranljivih odsekov in tako protipoplavno varnost občine Šoštanj znatno povečali. Kljub tem ukrepom pa bi naslednje stoletne vode Šoštanj ponovno hudo poplavile.

Kot obetavna rešitev se na območju Šoštanja in gorvodno Velenja že ponujajo trije možni zadrževalniki visokih voda Pake, to so Šaleška jezera, ena izmed največjih v Sloveniji. Če gremo po vrsti, bomo najprej pretehtali zmožnosti zadrževanja največjega jezera.

Velenjsko jezero že ima dva stalna pritoka, hudourniška vodotoka Sopota in Lepena. V diplomskem delu smo med drugim želeli ugotoviti v kolikšni meri in kako hitro polnita jezero v primeru stoletnega padavinskega dogodka, ki ga je bilo tudi treba še določiti.

Ob poznavanju stoletnega pretoka Pake skozi Velenje, smo hidrograme enote ter čas zakasnitve, želeli definirati s pomočjo preučitve hidroloških in meteoroloških podatkov iz vodomerne postaje Pake v Velenju in padavinskih postaj v okolici Velenja.

V naši hipotezi smo predpostavili, da bo konica pretokov s hudourniških povodij prispela v jezero pred konico Pake s šestkrat večjim povodjem. S tem bi lahko del visokih vod Sopote in Lepene odvedli še pred zaprtjem iztoka iz jezera in tako zmanjšali potreben volumen zadrževane vode v jezeru.

S hidravličnim izračunom želimo ugotoviti sposobnost zadrževanja Lepene, Sopote in Pake v Velenjskem jezeru pri stoletnem dogodku in v primeru zadostne sposobnosti jezera, da prevzame konico visoke vode iz Pake, dimenzionirati razbremenilni objekt in ga na primeren način umestiti v prostor.

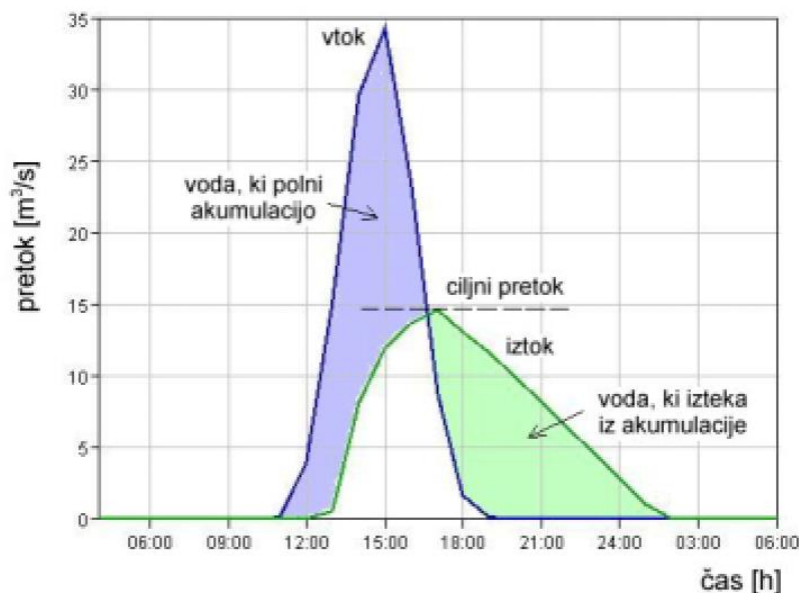
2. TEORETIČNE PODLAGE

2.1 RAZBREMENILNIK

Razbremenilni objekt služi razbremenjevanju reke pri visokovodnem valu, ki se pojavi ob močnih padavinah. Deluje tako, da odvzema viške visoke vode v strugi od glavnega toka vode preko preliva v razbremenilni kanal, po katerem nato voda odteka v zadrževalnik.

Za razbremenilni objekt je primerna taka konstrukcija preliva, ki del vode odvede preko krone, ki je vzporedna (oziroma pod majhnim kotom) s smerjo glavnega toka v strugi. Takemu prelivu rečemo bočni preliv. (Steinman, 1999)

Z odvajanjem presežkov vode v zadrževalnik ter kontroliranim (kasnejšim) spuščanjem iz le tega ublažimo škodljive posledice visokih valov. Odtok je tako bolj uravnovešen, poplave so manjše, minimalni pretoki pa večji. (Brilly, Šraj, 2005)

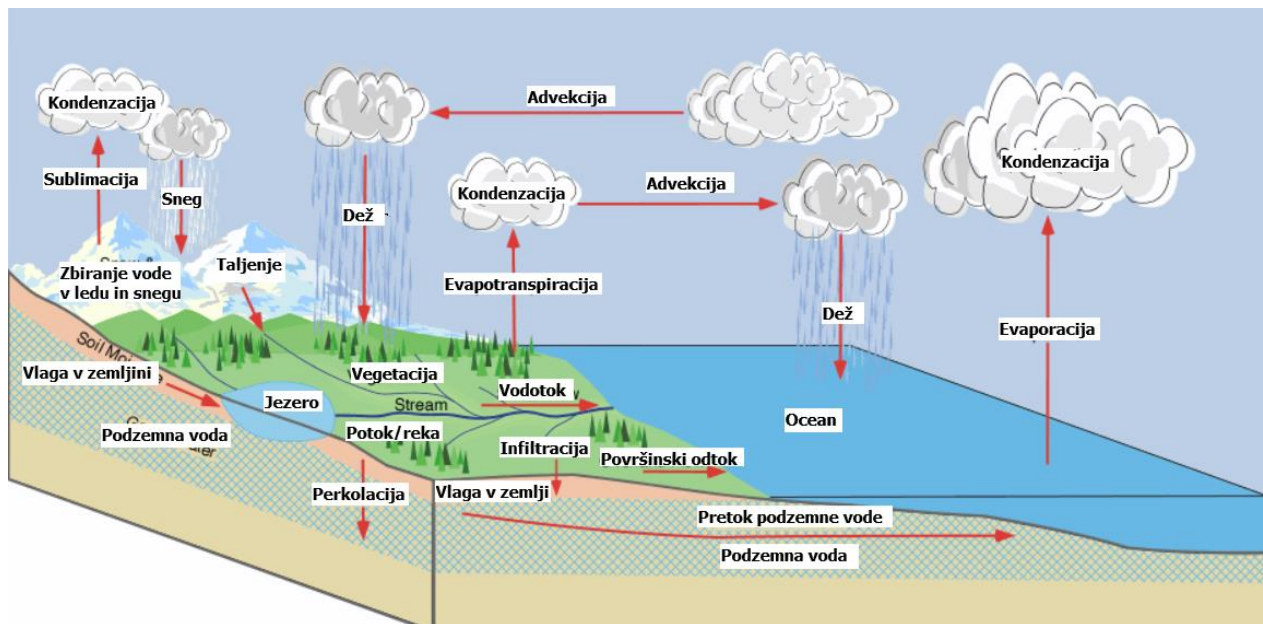


Slika 1: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (Šraj, Brilly, 2005)

Zadrževalnik lahko praznimo kasneje, kot se pojavijo visoke vode. Hitrost in količina odtoka skozi izpust sta odvisna od izvedbe izpusta, ki ga dimenzioniramo na želeni čas in volumen zadrževanja vode. (Brilly, Šraj, 2005)

2.2 PADAVINE IN ODTOKI V HEC-HMS

Splošna enačba vodne bilance temelji na zakonu o ohranitvi mase na določenem območju. Padavine padejo bodisi na tla, na vodno telo ali na rastline. Del padavin se takoj vrne nazaj v ozračju z evapotranspiracijo, del pa pronica v tla, kjer naprej odteče v podtalnico ali drugo vodno telo ali pa se zaradi kapilarnosti vrne nazaj na površino. Preostali del padavin pa predstavlja površinski odtok po povodju.



Slika 2: Vodni krog (povzeto po Pidwirny, 2004)

Splošna enačba vodne bilance na določenem območju:

$$\text{Padavine} + \text{Površinski dotok} + \text{Podzemni dotok} - (\text{Evapotranspiracija} + \text{Površinski odtok} + \text{Podzemni odtok}) = \text{Zadržana voda na območju [mm]}$$

Hidrološki krog je kompleksne sestave in vseh parametrov matematično ni mogoče dovolj natančno opredeliti, zato je matematični model programa HEC HMS nekoliko poenostavljen. (Brilly, Šraj, 2005)



Slika 3: Poenostavljen model hidrološkega kroga v programu HEC HMS (povzeto po Brilly, Šraj, 2005)

2.2.1 Analiza padavin

Osnovni podatek za izračun površinskega odtoka s povodja so padavine. Opišemo jih s histogramom, ki prikazuje višino padavin v času. Določitev sintetičnega histograma izvedemo tako, da najprej izvednotimo maksimalne padavine na obravnavanem območju, nato pa glede na znan histogram z bližnje lokacije koreliramo časovno razporeditev padavin za obravnavano območje.

Količino padavin s povratno dobo 100 let (P100) lahko izračunamo na podlagi verjetnostnih analiz z obravnavo maksimalnih dnevnih padavin v posameznem letu, zabeleženih na bližnjih padavinskih postajah, po Gumbelovi metodi iz leta 1935. Glede na izkušnje stroke maksimalne 24-urne vrednosti padavin s povratno dobo 100 let določimo tako, da po Gumbelovi metodi dobljene vrednosti povečamo od 0 – 20 %. Razlog je v merilnih podatkih dnevnih padavin, ki se odčitavajo ob 7. uri zjutraj in ni nujno, da zajamejo ravno najbolj ekstremen 24-urni interval. (Hozjan, 2016) V našem primeru smo jih povečali za 10 %.

Povratna doba 100 let pomeni, da se tak dogodek zgodi v povprečju enkrat na 100 let. Verjetnost oz. tveganje, da se bo zgodil enkrat v 100 letih, pa je 63,4%.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{100}, \text{ pri čemer je } R \text{ tveganje, } T \text{ pa povratna doba.} \quad (1)$$

2.2.1.1 Gumbelova metoda

Gumbelova dvojna eksponentna porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I je dvoparametrška in asimetrična.

Porazdelitvena funkcija: $F_X(x) = e^{-e^{(x-u)/a}}$ Gostota verjetnosti: $f(x) = \frac{1}{a} e^{-(x-u)/a} e^{-e^{(x-u)/a}}$

$$\sqrt{\frac{(\sum_i^n p - p_{povp})^2}{n}} = \sigma; \quad (2)$$

$$\frac{\sum_i^n p}{n} = p_{povp} \text{ [mm]}; \quad (3)$$

$$Q_{100} = 3.54 * p * \sigma \quad (4)$$

$\sigma = \text{standardna deviacija, } 3.54 = \text{koeficient asimetrije za } Q_{100}$

2.2.1.2 Metoda izohiet

Z metodo izohiet določimo maksimalne 100-letne padavine za obravnavano območje. Izohieta je črta, ki povezuje točke z enako količino padavin.

2.2.1.3 Korelacija časovne razporeditve padavin

S pomočjo histograma maksimalnih 24-urnih padavin s povratno dobo 100 let iz najbližje padavinske postaje, za katero je le-ta že poznan, naredimo korelacijo z vrednostmi maksimalnih stoletnih 24-urnih padavin za obravnavano območje.

2.2.2 Odtok s povodij izračunan s numeričnim modelom HEC-HMS

Za izračun vrednosti teoretičnih visokih vod za obravnavani povodij Sopote in Lepene smo uporabili program HEC-HMS 4.1, ki zna simulirati padavinski odtok s povodij.

2.2.2.1 Opis programa

Na spletni strani organizacije Hydrologic Engineering Center (2016) pojasnjujejo, da so program razvili v Hidrološkem centru Inženirskega korpusa ameriške vojske v Davisu, Kalifornija, pod vodstvom Lea R. Bearda. Prva različica z imenom HEC-1, ki je bila razvita za okolje DOS, je bila predstavljena že leta 1968. Sestavljena je bila iz skupine programov, ki računajo posamezne hidrološke in hidravlične funkcije. Do leta 1998 je program dočakal vrsto korenitih izboljšav in uporabniških poenostavitev. Leta 1998 pa so predstavili prvo različico HEC HMS, ki je bila namenjena delu z okni. Prosta dostopnost, zanesljivost in univerzalnost botrujeta tridesetletnim uspehom programa, ki je danes na voljo v najnovejši različici HEC HMS 4.1. (Brilly, Šraj, 2005)

Program je bil razvit za simulacijo celovitih hidroloških procesov razvejanih povodij. Vsebuje mnoge tradicionalne analitične postopke, kot so hidrogram enote, infiltracijske metode, hidrološko usmerjanje toka... Pa tudi postopke potrebne za kontinuirano simulacijo, ki upoštevajo evapotranspiracijo, taljenje snega in vlažnost tal. Dodatna analitična orodja so namenjena optimizaciji modelov, napovedovanja toka, redukciji krivulj globina-površina, ocenjevanju negotovosti modelov, erozijskemu in sedimentnemu transportu ter kvaliteti vode. Program vsebuje integrirano delovno okolje, ki sestoji iz baze podatkov, orodij za vnos podatkov, za preračunavanje ter za poročanje rezultatov.

2.2.2.2 Izračun

Visokovodne valove s poljubnimi povratnimi dobami izračunamo na osnovi verjetnostne analize padavin in modela. Teorijo izračuna HEC-HMS povzemamo po Brilly, Šraj, 2005.

Povodja razdelimo na manjša, homogena podpovodja. Iztok iz gorvodnega podpovodja postane pritok v podpovodje dolvodno. Metoda propagacije toka v našem izračunu je Musking-Cungova metoda.

Muskingumov model propagacije toka v rečni strugi uporablja oceno končnih razlik kontinuitetne enačbe:

$$\frac{I_{t+1}+I_t}{2} - \frac{O_{1-t}+O_t}{2} = \frac{S_t+S_{t-1}}{\Delta t} \quad (5)$$

Cunge (1969) je klasično Muskingamovo metodo uporabil kot posebno obliko metode kinematičnih valov, ki temelji na reševanju:

1. kontinuitetne enačbe, ki vključuje stranski vtok q_L

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q_L \quad (6)$$

2. in difuzijske oblike momentne enačbe

$$S_f = S_0 - \frac{\delta y}{\delta x} \quad (7)$$

Prečni prerez struge v Muskingum-Cung-ovem modelu je v našem primeru definiran na običajen način, kar pomeni, da je zagotovljen enostaven opis reprezentativnega prečnega prereza struge. Določene so osnovne dimenzije odseka, hrapavost, energijski padec in dolžina.

Iztok s povodja je razlika padavin in padavinskih izgub in se transformira iz območja kot hidrogram.

Hidrogram enote nam poda podatke o času pojava konic pretoka, maksimalnem pretoku in volumnu, kar je dovolj za večino projektantskih potreb. Za izračun sintetičnega hidrograma enote je bila izbrana SCS metoda.

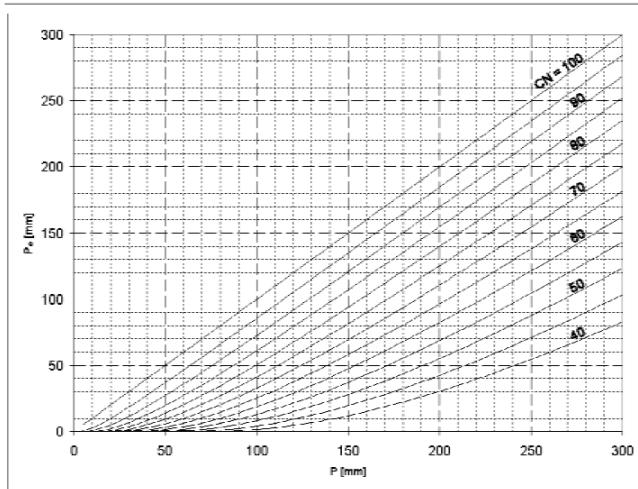
2.2.2.2.1 Izračun odtoka po SCS metodi

Agencija ameriškega ministrstva za kmetijstvo (SCS) je na osnovi empiričnih dokazov klasificirala različne vrste zemljin glede na prepustnost in jih opisala s koeficientom CN, ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine.

Klasifikacija zemljin glede na njihovo prepustnost razlikuje med štirimi hidrološkim skupinami zemljin (A, B, C, D), pri čemer imajo A najnižji in D najvišji odtočni potencial. Odtočne potenciale lahko določimo z analizo infiltracijske karte območja.

Za povodja z več vrstami zemljin in različno rabo tal se enoten CN izračuna kot:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i - CN}{\sum A_i} \quad (8)$$



Slika 4: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odtoka v odvisnosti od padavin (Brilly, Šraj, 2005)

» SCS metoda oceni presežek padavin kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnosti tal. Pri tem uporabi enačbo:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (9)$$

P_e akumulirane učinkovite padavine v času t [mm]

P višina padavin v času t [mm]

I_a začetne izgube še preden pride do infiltracije [mm]

S maksimalno potencialno zadrževanje (retenzija – mera za sposobnost povodja odvzeti in zadržati padavine) [mm]

Iz analiz za manjša eksperimentalna povodja je SCS razvil empirično zvezo med I_a in S .

$$I_a = 0.2 S \quad \ll (\text{Brilly, Šraj, 2005, str. 25}) \quad (10)$$

2.2.2.2.1.1 Sintetični hidrogram

Brilly in Šraj (2005) sta obrazložila SCS hidrogram enote:

» Metoda SCS je parametrična metoda določanja HE (hidrograma enote). SCS HE je brezdimenzijski z enim samim vrhom. Izraža pretok U_t kot razmerje do konic hidrograma enote U_p v odvisno od razmerja časa t in časa pojava T_n . Po SCS metodi sta konica hidrograma enote in čas pojava konice povezana z naslednjo zvezo:

$$U_p = C \frac{A}{T_n} \quad (11)$$

A površina povodja,

C konstanta pretvorbe enot (2.08 za metrični sistem)

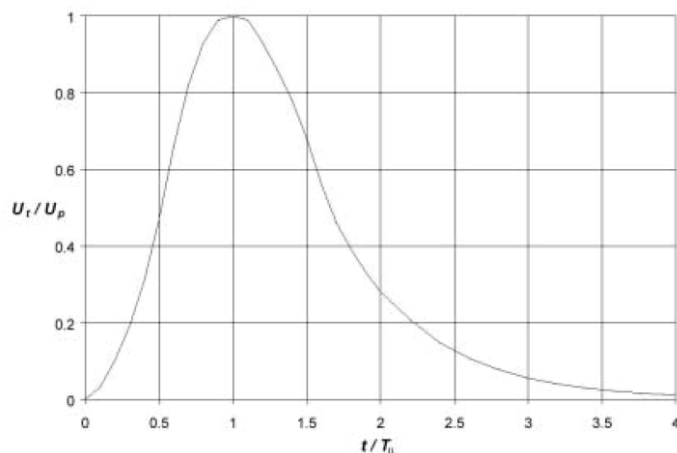
U_p vrh standardnega HE

Čas vrha hidrograma je povezan s trajanjem enote efektivnih padavin:

$$T_n = \frac{\Delta t}{t_p} \quad (12)$$

Δt trajanje efektivnih padavin

t_p čas zakasnitve povodja, definiran kot časovna razlika med masnim težiščem efektivnih padavin in vrha HE



Slika 5: SCS brezdimenzijski HE (US Army Corps of Engineers, 2000 povzeto po Brilly, Šraj, 2005)

Čas koncentracije je čas, potreben da do izhodnega profila povodja priteče voda iz najbolj oddaljenega dela povodja. Ocenimo ga kot:

$$t_p = t_{povr} + t_{plitev} + t_{kanal} \quad (13)$$

- t_{povr} vsota časa potovanja po segmentih površine povodja
 t_{plitev} vsota časa potovanja v plitvih tokovnih segmentih
 t_{kanal} vsota časa potovanja v kanalu

Parameter SCS hidrograma enote je čas zakasnitve:

$$T_n = L^{0.80} \frac{(S_r + 2.54)^{0.7}}{28.14\sqrt{Y}} \quad (14)$$

- T_p čas od težišča histograma efektivnih padavin do vrha enotnega hidrograma [h]
 L hidravlična dolžina povodja [km]
 S_r maksimalna retenzija povodja [mm]
 Y naklon povodja [c%]

Vrednost retenzije se računa neposredno na osnovi koeficienta CN:

$$S_r = \frac{25400 - 254 \text{ CN}}{\text{CN}} \text{ [mm]}, \text{ (za SI merski sistem) } \ll \text{ (str. 66, 67)} \quad (15)$$

Za določitev padavinskega dogodka v HEC-HMS uporabimo model Frequency Storm. Vzamemo najneugodnejši padavinski dogodek (najvišji položaj konice hidrograma) s položajem konice pri 75%.

2.2.3 Kresnikova metoda

Ena izmed možnih enostavnih primerjav količine odtoka stoletnih voda za hudourniška območja je Kresnikova enačba za določanje površinskega odtoka. Empirična enačba je uporabna za povodja, ki so sorodna povodjem, na katerih so bile opravljene raziskave. (Brilly, Šraj, 2005)

$$QQ_{VV100} = \frac{S\alpha^{30}}{0.5 + \sqrt{S}} \quad (16)$$

S = površina povodja [km²]

α = koeficient z vrednostjo od 0.6 do 6

β = koeficient enakomernosti privzet kot konstanta = 0.25

2.3 HIDRAVLICNI IZRAČUN V EXCELU

Hidravlične razmere smo opisali z empiričnimi formulami v programu Microsoft Excel.

2.3.1 Hidravlične razmere v glavni strugi

Povprečno hitrost toka lahko izračunamo po eni izmed najbolj uporabljenih semi-empiričnih enačb enakomernega toka, to je Manningova enačba:

$$\bar{u} = \frac{1}{n_G} R^{2/3} \sqrt{I_0} \quad (17)$$

Gladina trapezne struge pri poznanem pretoku in Manningovem koeficientu hrapavosti n_G se lahko določi s preureditvijo Manningove enačbe s poizkušanjem.

$$SR^{2/3} = \frac{n_G Q}{\sqrt{I_0}} \quad (18)$$

Desni del enačbe ostane konstanten, levi pa predstavlja funkcijo oblike kanala in globine toka. Rešitev h_0 dobimo pri globini, ki izenači oba dela enačbe. (Steinman, 1999)

Manningov koeficient hrapavosti je odvisen od hrapavosti omočenega oboda kanala, ki ga določa agregat v strugi ter stopnja in tip zaraščenosti. Hrapavost povečujejo nenadne spremembe v strugi, kot so spremembe prečnega prereza, močni zavoji ter se spreminja z gladino vode, saj so ob različnih pretokih naštetih vplivi različno močni.

2.3.2 Hidravlične razmere v bočnem prelivu

Steinman je v Hidravliki (1999) pojasnil teorijo o prelivih. Izraz preliv se uporablja za jezovne zgradbe, kjer je kota krone preliva nad gladino spodnje vode. Njegove hidravlične lastnosti so odvisne od dimenzioniranja preliva.

Ločimo prelive s fiksno koto krone in spremenljivo koto krone; to so prelive s hidrometrično opremo (zapornice, zaklopke...) Preliv je lahko ozračen, neozračen ali prisesan, odvisno od ozračenja spodnje konture prelivnega curka. Natočna stena preliva je lahko vertikalna ali nagnjena proti toku oz. s tokom. Geometrija prelivnega rečnega prereza je lahko trikotna, pravokotna, trapezna ali proporcionalna

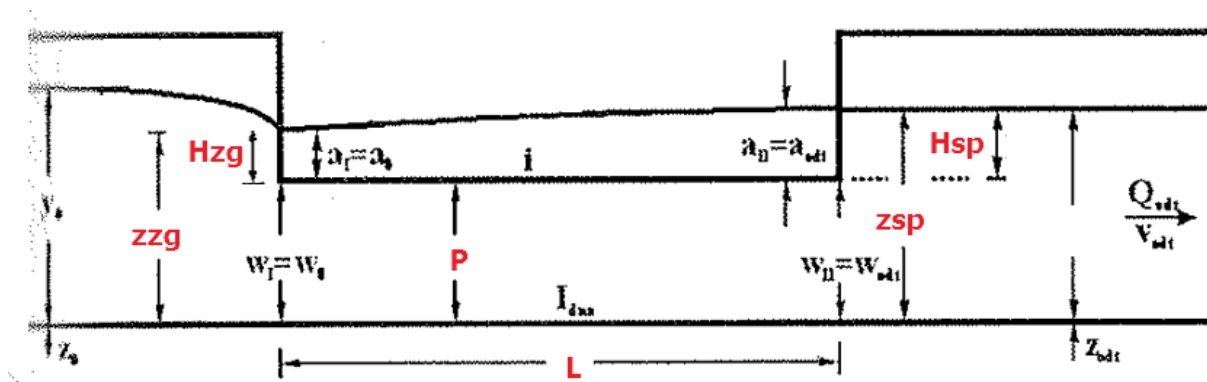
(sestavljene prereze). Najugodnejša oblika preliwa je tista, kjer se pojavlja najmanj odlepljanja toka od konstrukcije oz. vrtnčenja.

» Hidravlične razmere v bočnem prelivu so dokaj komplicirane, zato ni na voljo eksaktnega račun. Ker korito ohranja širino, dobimo v območju vzdolž bočnega preliwa dva poteka gladine, značilna za mirni oz. deroči tok.

Na potek gladine vplivajo različni pojavi, ki so lahko tudi še medsebojno odvisni:

- režim toka: deroči, mirni
- količina odvzema: $0 \leq \frac{Q_{bočno}}{Q_{dotok}} \leq 1$
- širina glavnega korita: $b_{dolvodno} \leq b_{gorvodno}$ in zato: $\frac{E_{gor}}{E_{dol}} \geq 1$
- relativni padec krone preliwa glede na padec glavnega korita ($i_{preliwa} \ll I_{dna}$)
- razmerje prelivne višine z višino jezua (h_{pr} / p)
- razmerje prelivne višine s širino gladine vodnega toka (h_{pr} / b) in razmerje dolžine bočnega preliwa in širine gladine (l / p)
- velikost koeficienta preliwa « (Steinman, 1999, str. 128)

Režim vodotoka je miren, kadar so hitrosti in nakloni struge manjši. Gladina vzdolž bočnega preliwa v tem primeru počasi narašča.



Slika 6: Potek gladine v bočnem prelivu pri mirnem toku (Steinman, 1999)

Razmere v bočnem prelivu pri mirnem toku opisuje Rossertova metoda, ki smo jo povzeli po Steinmanu (1999).

Srednjo prelivno višino izračunamo po enačbi:

$$h_{pr} = (h_{zg} + h_{sp})/2 \quad (19)$$

Uporabimo jo za izračun prelivne količine po enačbi Polenija. Poševni tok vode proti prelivu zajamemo s koeficientom $v = 0.95$.

$$Q_{bočno} = v \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} L h_{pr}^{\frac{3}{2}} \quad (20)$$

Po Rehbocku (1929) koeficient preliva μ za pravokotni preliv izračunamo po enačbi:

$$\mu = \left(0.6035 + 0.0813 \frac{h}{p} + \frac{0.00009}{p} \right) \left(1 + \frac{0.0011}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

h = višina preliva, p = višina čelne stene preliva

Vpliv porazdelitve hitrosti v profilu na začetku in v profilu na koncu bočnega preliva, depresijske krivulje pred bočnim prelivom in zoženja glavnega korita opišemo s koeficientom ξ :

$$\xi = \frac{z_{sp} - z_{zg}}{1.1 \frac{v_{zg}^2}{2g} - 1.1 \frac{v_{sp}^2}{2g} - h_r} \quad (22)$$

$$\text{pri čemer je } h_r = \frac{v_{sred}^2 L}{k_s^2 R_{sred}^3} \quad (23)$$

R_{sred} = Srednji hidravlični radij, k_s = Stricklerjev koeficient trenja

Koeficient ξ je še odvisen od razmerja $\xi = \xi \left(\frac{h_{pr}}{h_{pr} + p} \right)$

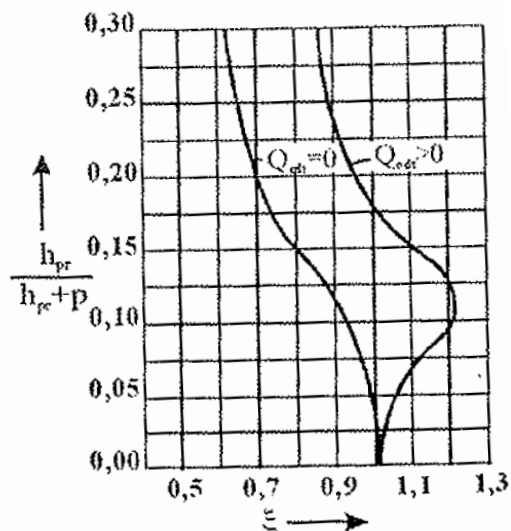


Diagram 1: Koeficient ξ (Steinman, 1999)

Postopek je takšen:

1. Najprej določimo kakšno količino želimo prelivati:

$$Q_{bočno} = Q_{dotok} - Q_{odtok} \quad (24)$$

2. Predpostavimo h_{zg} , ter izračunamo: $h_{sp} = h - p$, $h_{pr} = (h_{zg} + h_{sp})/2$ (25)

3. Iz enačbe $Q_{bočno} = v \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} L h_{pr}^{\frac{3}{2}}$ izrazimo iskano dolžino preliva L [m] (26)

4. Predpostavljena h_{zg} je prava, ko se parametra ξ razlikujeta le za sprejemljivo natančnost.

Itiracijski postopek ponavljamo toliko časa, dokler ne zadostimo 4. točki.

2.3.3 Hidravlične razmere v razbremenilnem koritu

Korito mora biti primernih dimenzij, ter primernege naklona in hrapavosti. Na iztoku mora biti izveden tako, da ne prihaja do vpliva spodnje vode (se ne pojavi zajezba s spodnje strani).

Za izračun povprečne hitrost in pretoka uporabimo Manningovo enačbo:

$$\bar{u} = \frac{1}{n_G} R^{2/3} \sqrt{I_0} \quad (27)$$

$$Q = \frac{1}{n_G} R^{5/3} \sqrt{I_0} \quad (28)$$

Glede na znan pretok, Manningov koeficient, padec korita in naklone brežin s poizkušanjem različnih širin dna in višin korita lahko skonstruiramo kanal primernih dimenzij za dani pretok.

$$SR^{2/3} = \frac{n_G Q}{\sqrt{I_0}} \quad (29)$$

2.4 VODNA BILANCA ZA PREREZ P1

Preko prečnega prereza P1 lahko spustimo le nek določen pretok, ker ga več struga dolvodno ne bi prenesla. Pretok čez obravnavani prerez polnita reka Paka ter iztok iz Velenjskega jezera. Dokler Paka ne naraste do kritične mere, želimo iz jezera odvesti čimvečji del visokih voda hudournikov Sopote in Lepene.

Za pretok na prerezu P1 mora v vsakem trenutku veljati :

$$Q_{P1} = Q_{\text{iztok iz jezera}} + Q_{\text{reka}} \leq Q_{\text{max}} \left(\frac{120 \text{ m}^3}{\text{s}} \right) \quad (30)$$

Iztok iz jezera in razbremenjevanje reke v jezero regulirata avtomatski zapornici.

Retenzijska sposobnost jezera in njegova polnitev v času:

$$V_{\text{jezero max}} = h_{\text{jezero}} * S_{\text{jezero}} \quad (31)$$

$$\Delta V_{\text{jezero}} = \int_0^t Q_{\text{hudourniški pritoki}} dt + \int_0^t Q_{\text{razbremenjevanje reke}} dt - \int_0^t Q_{\text{iztok iz jezera}} dt \quad (32)$$

Volumen pretoka čez prerez P1:

$$\Delta V_{P1} = \int_0^t Q_{\text{iztok iz jezera}} dt + \int_0^t Q_{\text{reka}} dt \quad (33)$$

$$t = 0, \quad Q_{\text{iztok iz jezera}} = \textit{maksimalen možen}, \quad Q_{P1} = Q_{\text{reka}} + Q_{\text{iztok iz jezera}} < Q_{\text{max}}$$

$$t = \text{zapiranje jezera, ko } Q_{P1} \text{ doseže } Q_{\text{max}}, \quad Q_{P1} = Q_{\text{delni iztok iz jezera}} + Q_{\text{reka}} = Q_{\text{max}}$$

$$t = \text{zaprto jezero,} \quad Q_{\text{iztok iz jezera}} = 0, \quad Q_{P1} = Q_{\text{reka max}} = Q_{\text{max}}$$

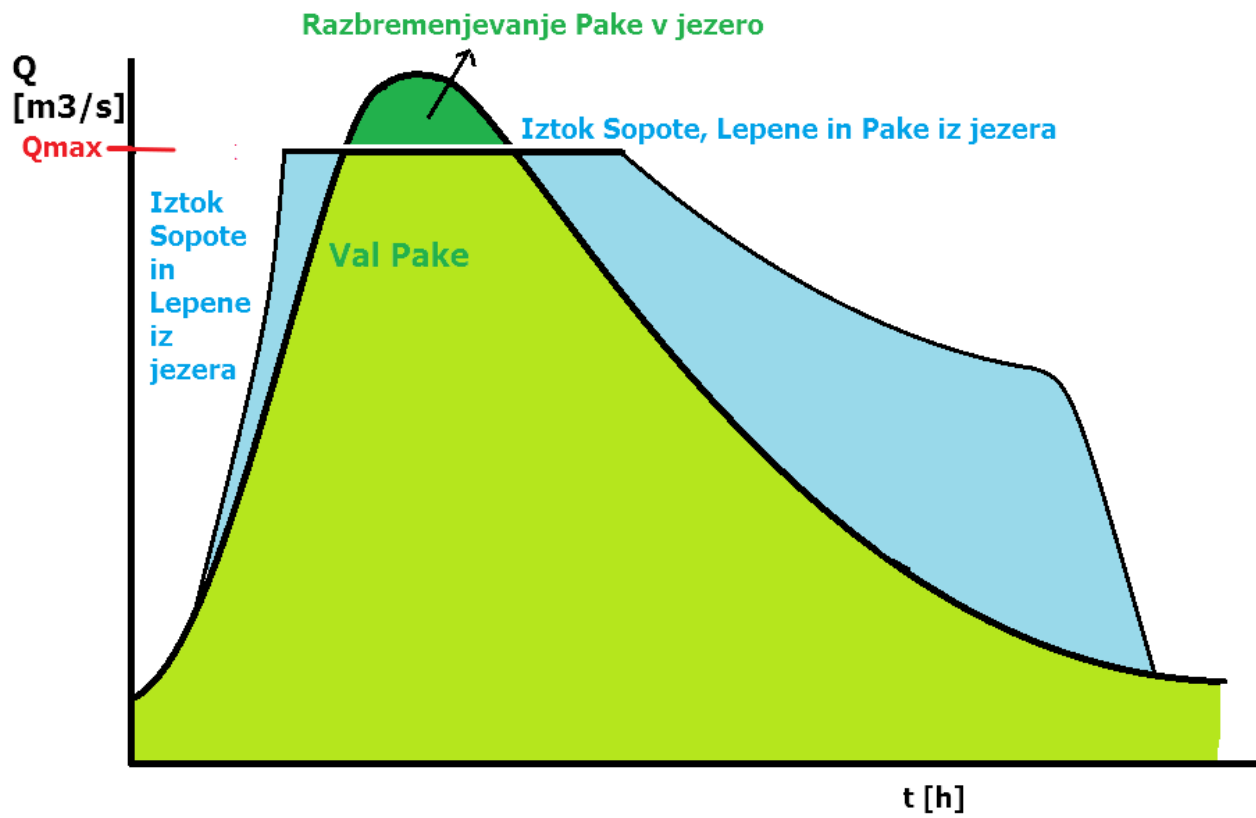
$$Q_{\text{reka max}} = Q_{100} - Q_{\text{razbremenjevanje reke}}$$

$$t = \text{odpiranje jezera, ko se } Q_{\text{reka max}} \text{ spusti pod } Q_{\text{max}},$$

$$Q_{P1} = Q_{\text{delni iztok iz jezera}} + Q_{\text{reka}} = Q_{\text{max}}$$

$$t = \text{odprt iztok iz jezera,}$$

$$Q_{P1} = Q_{\text{iztok iz jezera}} + Q_{\text{reka}} < Q_{\text{max}}$$



Slika 7: Vodna bilanca za prerez P1 – sprememba odtočnega hidrograma

3. PRIMER RAZBREMENJEVANJA PAKE V VELENJSKO JEZERO

3.1 OPIS VELENJSKEGA JEZERA IN VODOZBIRNIH POVRŠIN

Povodja smo določili z analizo kart TTN5 (iz leta 1994), ki smo jih pridobili na strežniku podjetja Eho projekt d.o.o., ki je v preteklosti že opravljal študije na tem območju.



Slika 8: Povodja Sopote, Lepene in Pake

3.1.1 Reka Paka

Na uradnem slovenskem turističnem informacijskem (2016) portalu reko Pako opisujejo kot levi pritok, dolg 40 km. Izvira pod 1455 m visokim pohorskim vrhom Volovica na višini 1280 m, izliva pa se v Rečici ob Paki v severozahodnem delu Spodnje Savinjske doline na višini 305 m.

V slovenski različici spletne enciklopedije Wikipedia (2016) pa je opisana 40 km dolga pot od izvira do izliva Paka, ki neprestano spreminja svoj videz in hidrografske značilnosti. Na začetku se je izdolbla v

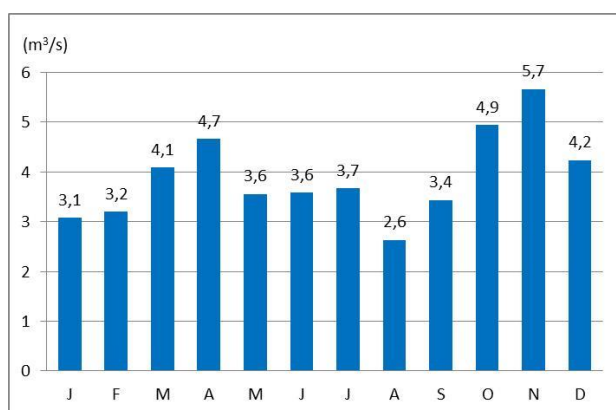
pohorske metamorfne kamnine (blestnik, gnajs) in teče v smeri jugozahoda po značilni pohorski grapi. Iz plitve in z gozdom poraščene doline se pod naseljem Paka strmo spusti za približno 150 metrov. Med Spodnjim in Srednjim Doličem doseže dno podolja, pot se tam obrne proti severozahodu in preide na triasni dolomit. V Srednjem Doliču se ji pridružijo večji pritoki Polenica in Turjščica s Pohorja in Glažarica s Paškega kozjaka, pri Gornjem Doliču pa še Movžanka. Na koncu Gornjega doliča Paka spet zavije nazaj proti jugu skozi kilometer dolgo ozko sotesko Huda luknja iz srednjetriasnega apnenca, med strma gozdnata pobočja Tisnika in Pečovnikovega vrha. Na koncu soteske se dolina spet razširi. Neposeljen strmi gozdnati apnenčasti in dolomitni hrbti Paškega Kozjaka spremljajo reko do širše in gosto poseljene Šaleške doline, ki je glavni vir onesnaženja reke Pake. Skozi Velenje teče v jugozahodni smeri, na južnem robu kotline pa zadene na šoštanjski prelom in se obrne proti severozahodu, kjer nadaljuje pot na robu kotline po industrializirani pokrajini v pustem in neprivlačnem umetnem kanalu (tovarna Gorenje, premogovnik Velenje oziroma jašek Preloge, termoelektrarna Šoštanj) do Šoštanja. Med Velenjem in Šoštanjem so se nekoč v Pako zlivali desni pritoki Lepene, Sopote in Velunje. Sedaj pa se tu nahajajo umetna jezera, ki so posledica ugrezanja površja zaradi rudarjenja. Sopota se izliva neposredno v Velenjsko jezero, Lepena v Škalsko jezero in nato v Velenjsko jezero, Velunja pa v Šoštanjsko jezero in preko kratke jezernice v Pako. Dolvodno od Šoštanja z desne pritečejo vanjo še potoki Klančnica, Toplica in Šentflorjansčica, nato pa se Paka ponovno obrne proti jugu in odteka skozi ozko sotesko Penk iz triasnih dolomitov in oligocenskih andezitnih tufov Skornskega hribovja na zahodni ter Ložniškega gričevja na vzhodni strani. Pri vasi Gorenje se dolina v mehkejših in mlajših kamninah spet razširi in usmeri proti jugovzhodu. V tem delu teče Paka tik mimo Šmartnega ob Paki in se malo naprej pri vasi Rečica ob Paki izlije v Savinjo.

3.1.1.1 Hidrogeografija Pake

Na Wikipediji (2016) so prav tako na kratko obrazložene njene hidrografske značilnosti. Paka ima alpski tip dežno-snežnega režima s prvim viškom novembra (obilne jesenske padavine in manjše izhlapevanje), drugi, manj izrazit višek je v mesecu aprilu. Zlasti izrazit je poletni nižek avgusta, manj izstopa zimski nižek v januarju in februarju, ki je predvsem posledica snežne retinence. Ob vztrajnejših poletnih sušah Paka skorajda presahne, ob poletnih neurjih pa lahko v nekaj urah močno naraste. V obdobju 1971–2000 so na vodomerni postaji v Rečici ob Paki izmerili najmanjši pretok 6. avgusta 1993 (0.34 m³/s), največji pretok pa ob poplavi 25. septembra 1973 (271 m³/s). Na vodomerni postaji v Šoštanju so največji pretok (112 m³/s) izmerili ob poplavi 1. novembra 1990. Kljub precejšnjim strminam na Pohorju in Paškem Kozjaku

ima Paka razmeroma majhen specifični odtok (19.9 l/s/km²), a že veliko nižji odtočni količnik kot naše alpske reke (46.2 %).

Glede poplav Paka sicer ni tako nevarna kot njene bližnje sosede (Mislinja, Savinja, Hudinja), toda vseeno zna pokazati svoj hudourniški značaj. Zaradi velikih gozdnih posek na območju njenih pritokov je v 19. stoletju pogosto poplavljala. Obnovitev gozdne odeje in delna regulacija struge sta poplavno delovanje Pake omilili. Najhujše poplave v prejšnjem stoletju sicer pomnijo iz leta 1954, in sicer 5. julija, ko je poplavilo ves osrednji del Velenja in večji del Šoštanja. Kjer je danes Titov trg v Velenju, je bilo do 80 cm vode. Kljub regulacijam je poplavila tudi 1. novembra 1990, ko je silovit dotok vode zajezil narasle vode desnih pritokov Šentflorjanščice in Toplice, tako da je poplavilo več stanovanjskih hiš. Zadnje poplave pa pomnimo iz 5. novembra 2012, ko so bile poškodovane brežine, poplavljenih je bilo tudi nekaj površin v Velenju. Največji izmerjeni pretok je tega dne znašal v Šoštanju 85.6 m³/s.



Slika 9: Povprečni mesečni pretoki Pake na vodomerni postaji Rečica v obdobju 1971 – 2000 (Wikipedia, Pridobljeno 17.4.2016)

Vodnogospodarski inštitut Ljubljana je leta 1992 dokončal hidrološko študijo Koncept ureditve Savinje, kjer so navedli, da po SCS metodi znašajo stoletne vode Pake v Velenju 130 m³/s.

3.1.2 Šaleška jezera

Izvor Šaleških jezer je na spletni strani Mestne občine Velenje (2016) pojasnjen kot posledica izkopavanja lignita, ki ga v Šaleški dolini izkoriščajo že sto trideset let: ‘*Premogovniške ugreznine so nastale sredi kotlinskega dna Šaleške doline, ki je bilo pred tem v veliki meri v kmetijski rabi, delno pa seveda tudi poseljeno. Tam, kjer so danes jezera, je bilo več podeželskih naselij, ki so delno ali v celoti izginila (Škale, Družmirje, Preloge). Podoba doline se zaradi premogovništva še vedno spreminja, prav tako se spreminjajo tudi Šaleška jezera. Tako je zelo pomembno, da ob podatkih o jezerih (velikost, globina, kakovost) navajamo*

tudi letnico, na katero se nanašajo. Prostornina ugrezninske kotanje leta 2005 presega 120 milijonov m³ in zavzema dobrih 6 km² površine. Najgloblje dele te kotanje je napolnila voda in nastala so tri jezera, ki predstavljajo približno tretjino prostornine (več kot 46 mio m³) in prav tako tretjino površine ugreznine (2,1 km²). Jezera, ki jih napajajo potoki, so dobila imena po naseljih, ki so se morala umakniti ojezerjevanju (Škalsko, Družmirsko), oziroma po mestu, ki je zaradi premogovništva postalo objezersko naselje (Velenjsko). ‘‘

Preglednica 1: Šaleška jezera v letih 1978, 1993 in 2009 – osnovni podatki (Jamomerstvo PV 2009, povzeto po študiji Šaleška jezera – vodni vir in razvojni izziv (Šterbenk, Pavšek, 2011))

Podatki / Jezero	Velenjsko			Družmirsko			Škalsko		
	1978	1993	2009	1978	1993	2009	1978	1993	2009
Leto									
Površina (ha)	85,4	117,4	142,4	11,4	34,6	71,6	7,9	16,5	16,7
Prostornina (mio m ³)	13,0	20,9	32,3	0,7	7,2	19,2	0,4	1,0	1,0
Največja globina (m)	36,3	51,2	55,6	19,5	61,2	85,9	15,5	17,4	19,2
Povprečna globina (m)	15,2	17,7	22,7	5,9	20,7	26,8	5,5	5,8	5,5

3.1.2.1 Škalsko jezero

Škalsko jezero je najmanjše in prvo jezero, nastalo v zgornjem delu spodnjega toka Lepene. Oblikovalo se je že pred drugo svetovno vojno, takoj po njej je obsegalo nekaj več kot 5 ha, danes pa obsega 17 ha. Njegova oblika je dokončna, saj je izkopavanje na tem območju zaključeno. Izliva se v Velenjsko jezero. Kota ojezeritve je 6.5 m višje od Velenjskega, kar pomeni 373.0 m n.v. Raba jezera je predvsem ribištvo ter sprehajalno – konjeniško rekreacijsko območje. (Skutnik, 2010)



Slika 10: Škalsko jezero (pritoak Lepene), foto: Gregor Ivnik Dujovič, 2016

3.1.2.2 Velenjsko jezero

Opis Velenjskega jezera na spletni strani Mestne občine Velenje (2016):

'' Velenjsko jezero je s površino blizu 1,435 km² in s prostornino 30,5 milijonov m³ (podatki z leta 2010) največje v dolini in med večjimi v Sloveniji. Njegovo pojezerje obsega več kot 20 km², na njem pa živi približno 1500 prebivalcev. Jezero je dolgo 1,4 km in široko 1,3 km. Z globino 54 m je globlje od Blejskega (31 m) in Bohinjskega jezera (45 m), po površini je praktično enako kot Blejsko jezero, vsebuje pa dobra dva milijona kubičnih metrov več vode. Najhitreje se je večal od sredine 60-ih let. V sredini 80-ih let se je naglo večanje umirilo. Leta 2000 je imel površino 135 ha in prostornino 25.000.000 m³ prostornine.

Jezerski breg je slabo razčlenjen, zato je jezero skoraj pravilne pravokotne oblike, njegov obseg je dobrih 5 km. Večina obrežja je že delno ali povsem umirjena, saj je izkopavanje premoga zelo intenzivno le še pod zahodnim bregom, kjer ugreznino sproti zasipavajo z elektrofiltrskim pepelom. Pepel je stranski produkt sežiganja premoga v Termoelektrarni Šoštanj. Vsako leto ga nastane okoli 800.000 ton, v

preteklosti je bil glavni razlog za onesnaženje Velenjskega jezera. Zasipavanje ugreznine ob njem je pomembno tudi zato, ker s tem hkrati gradijo nasip oziroma vzdržujejo pregrado med Velenjskim in Družmirskim jezerom ter ohranjajo prečno povezavo čez kotlinsko dno in s tem oporo severnemu in južnemu obrobju doline.

Velenjsko jezero ima dva pritoka, Lepeno, ki pred tem napaja že Škalsko jezero, in Sopoto. Njegovo padavinsko zaledje meri 20,4 km². Več kot polovica odpade na škalsko pojezerje, medtem ko obsega porečje Sopote, ki je neposredno zaledje Velenjskega jezera, le dobrih 7,5 km². Preostali del pojezerja predstavlja neposredni jezerski breg. Lepena prispeva letno 5,2 milijona m³ vode (ko od dotokov Škalskega jezera, Lepene, manjših pritokov in jamske vode odštejemo izhlapevanje), Sopota 3,6 milijona m³ (1980-1991, HMZ), s padavinami pa neposredno na jezero letno pade 1,6 milijona m³ (1961-1990, HMZ). Če za pojezerje znotraj ugrezninskega območja uporabimo odtočni količnik 0,48, s površine 1,3 km² priteče letno še skoraj 0,8 milijona m³ vode. Tako v jezero letno priteče več kot 11 milijonov m³ vode, vendar je to glede na prostornino jezera malo, saj se jezerska voda teoretično zamenja šele v slabih treh letih. Če odštejemo izhlapevanje, letno iz jezera steče v Pako 10 milijonov m³ vode. ”



Slika 11: Velenjsko jezero

Iztok iz jezera se regulira z zaklopko. Dogovorjena kota ojezeritve je 366.0 m n.v. – 366.60 m n.v. Raba jezera je predvsem rekreacijsko turistična. (Skutnik, 2010)

3.1.3 Sopota

Sopota je manjši hudourniški vodotok gričevlja s površino povodja 7.8 km². Struga je naravna, mestoma zaraščena z nizkim rastjem. V Velenjsko jezero se izliva na severni strani. Izvira pod Graško goro in Plešivcem ter teče skozi nestrnjeno naselje Škale. Povodje je gozdno in travnato. Iztok Sopote v Velenjsko jezero je urejen tako, da ob večjih pretokih ne pride do zajezitve ob izlivu. (Skutnik, 2010)



Slika 12: Povodje Sopote



Slika 13: Iztok Sopote v Velenjsko jezero, foto: Gregor Ivnik Dujovič

3.1.4 Lepena

Lepena se izliva v Škalsko jezero in preko povezovalnega kanala nadaljuje pot v Velenjsko jezero. Izvira pod vrhovoma Pivnik in Smodivnik. Povodje je pravtako gričevnato, poraslo z gozdovi in travniki. Struga poteka skozi nestrjnjeni naselji Škalske Cirkovce in Hrastovec. Površina povodja do Škalskega jezera znaša 8.3 km². Če upoštevamo še preostalo povodje, ki se naprej izliva preko Škalskega jezera v Velenjsko znaša površina celotnega povodja 10.9 km². (Skutnik, 2010)



Slika 14: Povodje Lepene



Slika 15: Škalsko jezero, foto: Gregor Ivnik Dujovič, 2016

3.2 HIDROLOŠKI IN METEOROLOŠKI PODATKI

Hidrološke in meteorološke podatke smo posebej zbrali za povodji Sopote in Lepene ter za povodje Pake. Za povodji Sopote in Lepene nas zanimajo predvsem podatki za določitev časovne razporeditve maksimalnih dnevnih. Na povodju Pake pa nas zanimajo zvezni padavinski podatki samodejnih merilnih postaj, ki bi jih primerjali z zveznimi podatki nihanja gladin Pake ter tako določili hidrogram ter čas zakasnitve Pake pri stoletnih padavinah.

3.2.1 Hidrološki podatki

Hidrološke podatke smo razdelili na tiste, ki smo jih potrebovali za analiziranje in definiranje nihanja gladin pri visokem valu Pake ter na tiste, ki se tičejo pretokov Sopote in Lepene.

3.2.1.1 Hidrološki podatki Pake

Hidrološki podatki nihanja gladin reke Pake na vodomerni postaji (VP) Velenje smo pridobili od dr. Mire Kobold (Pridobljeno 16.8.2016), ki ima pravico dostopa do podatkov na Uradu za hidrologijo in stanje okolja. Samodejna vodomerna postaja podatke beleži vsakih 10 minut od 6.1.2014 dalje, ko je bila postavljena. Iz teh podatkov smo izbrali tri dogodke z najvišjo gladino, in sicer za dni 21.8.2014, 1.9.2014 in 23.6.2015. Podatki se nahajajo v prilogah.

Stoletni pretok Pake v Velenju smo povzeli iz hidrološke študije Koncept ureditve Savinje, ki jo je izdelal Vodnogospodarski inštitut Ljubljana (Burja, Anzeljc, 1992) in znaša **130** m³/s. Prevodnost struge skozi Šoštanj smo privzeli, glede na hidrološko-hidravlično študijo Šoštanj, ki jo je izvedlo projektansko podjetje Eho projekt d.o.o. (Lajevc, 2014), ki glede na 1D model v HEC RAS-u navaja, da bi z nekaj manjšimi vodnogospodarskimi ukrepi struga prevajala 120 m³/s.

Za boljši vpogled v samo nihanje Pake smo analizirali še visoke valove Pake na vodomerni postaji Rečica za nekaj ekstremnih dogodkov iz hidrološke študije Savinje (Burja, Anzeljc, 1992). Paka do VP Rečica ima s površino 198.4 km² trikrat večje povodje kot Paka do Lepene. Q100 po tej študiji znaša 277 m³/s.

3.2.1.2 Hidrološki podatki Sopote in Lepene

Za potrebe primerjave rezultatov našega računa s HEC HMS so pravtako primerni podatki s hidrološke študije Savinje (Burja, Anzeljc, 1992), kjer so uporabili matematični model HEC 1.

Tako izrednotena vrednost pretoka za Sopoto Q100 v študiji znaša **44** m³/s. Vrednost pretoka za Lepeno do Škalskega jezera Q100 pa znaša **45** m³/s.

3.2.2 Meteorološki podatki

V hidrološki študiji Savinje (Burja, Anzeljc, 1992) so opisane ekstremne padavine na Savinji:

Poplave na Savinji povzročajo njenih pritokih (Paka) povzročajo močne padavine predvsem poleti in jeseni. Lokacija padavin ob poletnih situacijah ni predvidljiva. Značilne so konveksne padavine, kjer je intenziteta padavin zelo neenakomerno porazdeljena in različna od primera do primera. Jeseni je ob močnih frontalnih orografskih padavinah razporeditev količine padavin bolj določena. Te nastajajo ob gorskih pregradah in so lahko zelo obilne. Na povodju Savinje, kamor spada reka Paka, je maksimum padavin v Savinjskih Alpah, lahko se pojavi še sekundarni maksimum na področju Menine. Količina padavin nad vzhodnim porečjem Savinje je približno trikrat manjša od največjih vrednosti v Kamniških Alpah.

3.2.2.1 Maksimalne dnevne padavine s povratno dobo 100 let

Meteorološke podatke za določitev maksimalne 24-urne vrednosti 100-letnih padavin (P100) na povodjih Sopote in Lepene z metodo izohiet, smo pridobili iz arhiva meteoroloških podatkov za klimatološke, padavinske in samodejne postaje, ki se nahajajo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za Okolje (2016). Izbrali smo 6 najbližjih padavinskih postaj z ombrometrom z dovolj arhiviranih podatkov. Te postaje so Šoštanj, Velenje, Zgornji razbor, Šmartno pri Slovenj gradcu, Mislinja in Vojnik. Podatki se nahajajo v prilogah.

V hidrološki študije Savinje (Burja, Anzeljc, 1992) za Velenje navajajo kot stoletne dnevne padavine količino **144.9** mm, glede na podatke iz let 1923 – 1997.

3.2.2.2 Histogram padavin s povratno dobo 100 let

Histogram maksimalnih 24-urnih padavin s povratno dobo 100-let za samodejno postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu za potrebe korelacije histograma padavin za obravnavano območje smo prav tako pridobili s spletne strani ARSO (2016).

Postaja: ŠMRTNO PRI SLOVENJ GRADCU **Obdobje: 1970 - 2012**

Višina padavin (mm)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA							
	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	8	10	12	14	15	17	19	mm
10 min	12	16	19	23	25	28	32	mm
15 min	15	21	24	29	32	35	40	mm
20 min	17	24	28	34	38	42	48	mm
30 min	20	28	33	39	44	49	55	mm
45 min	23	31	37	44	50	55	62	mm
60 min	24	34	40	47	53	59	66	mm
90 min	28	37	43	51	57	63	71	mm
120 min	30	40	46	54	60	65	73	mm
180 min	35	44	51	59	65	71	78	mm
240 min	38	48	54	62	68	74	82	mm
300 min	42	51	57	64	70	76	83	mm
360 min	44	53	59	67	72	78	85	mm
540 min	51	61	68	76	83	89	97	mm
720 min	55	68	76	87	94	102	112	mm
900 min	60	74	84	97	106	115	127	mm
1080 min	63	79	90	103	113	123	136	mm
1440 min	70	88	101	116	127	139	154	mm

Slika 16: Padavine na postaji Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2016)

3.2.2.3 Padavinski dogodki na povodju Pake

Iz arhiva meteoroloških podatkov za samodejne postaje na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (2016), smo izvozili podatke o polurnih količinah padavin iz samodejnih postaje Mislinja, Šmartno pri Slovenj Gradcu in Rogla, za tiste dni, ko so je gladina vodotoka najbolj dvignila. Pregledali smo tudi radarske posnetke teh dogodkov, ki se nahajajo na spletni strani Pro-vreme.net (2016.) Podatki in radarski posnetki se nahajajo v prilogah.

3.3 HIDRAVLIČNI ROBNI POGOJI

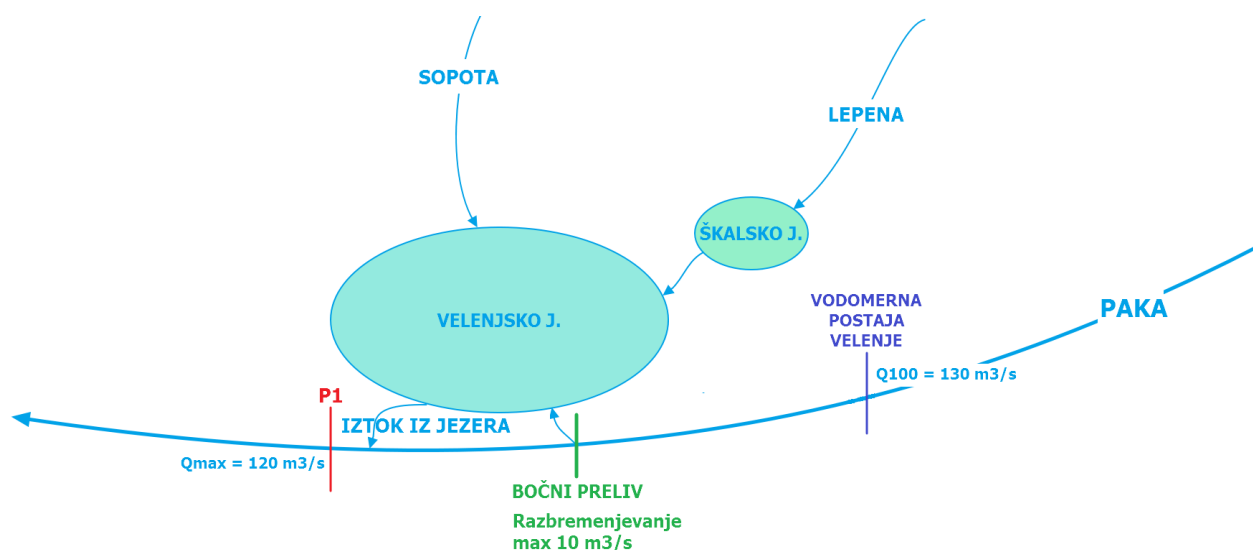
Dogovorjeno največje nihanje Velenjskega jezera je določeno med kotama 366.00 in 366.60 (tj. 0.60 m). Leta 2014 je glede na zadnje državne ortofoto posnete, ki so na voljo na spletni strani Atlas okolja, Agencije Republike Slovenije za Okolje (2016), površina jezera znašala 145 ha. Retenzijska sposobnost jezera po zadnjih podatkih tako znaša 870.000 m³.

Pri modeliranju smo se oprli na dejstvo, da se skozi mesto Šoštanj spusti takšen pretok Pake, ki ga bo korito (z izjemo območja pred zoženjem doline) lahko še prevajalo z manjšimi vodnogospodarskimi ukrepi na strugi Pake. V hidrološko-hidravlični študiji Šoštanj (Lajevc, 2012) se je izkazalo, da je v tem primeru pretok $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ možno odvajati po koritu Pake dolvodno. Po ugotovitvah Burje in Anzeljca (1992) stoletni pretok Pake v Velenju znaša $130 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pomeni, da moramo med poplavnim valom razbremenjevati v jezero maksimalno $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Jezero bosta ta čas polnila tudi hudourniška pritoka Lepena in Sopota.

4. OBDELAVA IN ANALIZA

4.1 ZASNOVA ODTOČNEGA REŽIMA

Idejo ukrepa razbremenjevanja reke Pake v Velenjsko jezero povzemamo iz hidrološke-hidravlične študije Šoštanj, ki jo je izvedlo projektantsko podjetje Eho projekt d.o.o. Razbremenjevanje je bilo načelno omenjeno že v ekološki študiji Šaleška jezera – vodni vir in razvojni izziv, ki jo je izdelal Erico d.o.o. iz Velenja (Šterbenk, Pavšek, 2011) in študiji Strokovne podlage s področja upravljanja z vodami za območje OPPN Pesje, ki jo je izvedlo podjetje Hidrosvet d.o.o. iz Celja (Skutnik, 2010).



Slika 17: Zasnova odtočnega režima

Preko prečnega prereza P1 lahko spustimo le nek maksimalen določen pretok ($120 \text{ m}^3/\text{s}$), ker ga več struga dolvodno ne prevaja.

Za vsak časovni korak poznamo pritek iz hudourniških povodij v jezera ter iztoke iz jezer. Jezero mora biti pred padavinskim dogodkom na najnižji koti gladine. Iztok iz jezera lahko reguliramo z zapiranjem zapornice. Z dimenzioniranjem pravega bočnega preлива z zapornico na Paki pa lahko kontroliramo še dodatni pritek v jezero z razbremenilnega objekta, ki bo odvajal viške vode iz bližnje rečne struge v primeru ekstremnih padavinskih dogodkov.

Visokovodni val iz hudourniških povodij sorazmerno kmalu steče v jezero. Čim večji del teh visokih valov želimo odvesti iz jezera še preden pride visoki val reke Pake. Visoki val Lepene bo v določeni meri zakasnil pretok zaradi potovanja čez Škalsko jezero, od koder se izliva v Velenjsko jezero.

V trenutku ko vsota pretokov Pake in iztoka iz jezera doseže maksimalni projektiran pretok na prerezu P1 ($Q=120 \text{ m}^3/\text{s}$), se začne avtomatska zapornica na iztoku iz jezera zapirati. To pomeni, da iztok iz jezera manjšamo sorazmerno z naraščanjem gladine Pake. Ko ta naraste do mejne vrednosti zapornico zapremo, bočni preliv pa ostali višek vode odvede po razbremenilnem kanalu v jezero. Jezero mora ta čas zadržati prostornino vseh pritokov. Ko se nivo vode začne spet spuščati, se lahko zapornico na jezeru spet počasi odpira ter na koncu spet vzpostavi dogovorjen najnižji nivo gladine jezera (366.00 n.m.v.).

Pretoke nad stoletnimi bi morali kljub ukrepu odvajati po strugi Pake. Torej ostaja ti. preostalo tveganje.

4.2 ANALIZA PADAVIN

Padavine smo posebej analizirali za območje Sopote in Lepene ter za povodje Pake, saj nas na povodjih Sopote in Lepene zanima časovna razporeditev stoletnih dnevni padavin, pri Paki pa nas zanima čas zakasnitve.

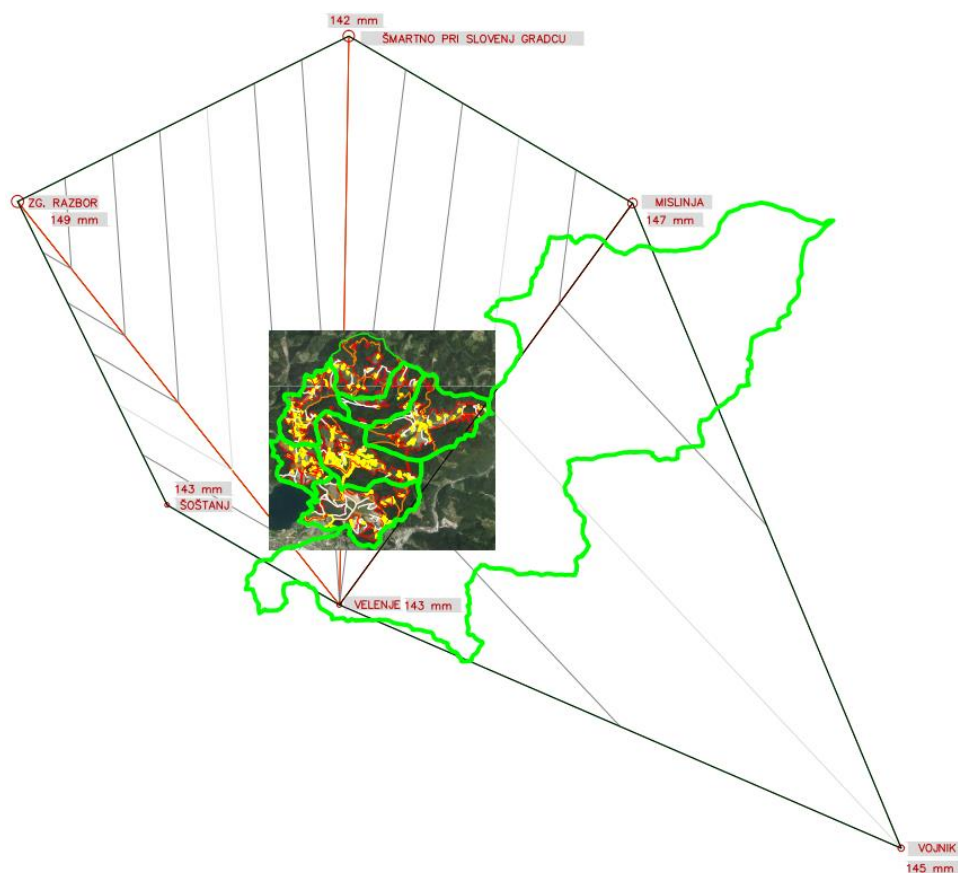
4.2.1 Analiza padavin na povodjih Sopote in Lepene

Za povodji Sopote in Lepene želimo ugotoviti časovno razporeditev maksimalnih dnevni padavin s povratno dobo 100 let. Po Gumbelovi metodi smo za postaje Šoštanj, Velenje, Zgornji razbor, Šmartno pri Slovenj gradcu, Mislinja in Vojnik določili maksimalne 24-urne vrednosti padavin s povratno dobo 100 let glede na dolgoletne podatke ekstremnih padavin, ki so jih zbrale. Vrednosti so povečane za 10 %.

Preglednica 2: Maksimalne stoletne padavine na padavinskih postajah

POSTAJA	n.m.v.	GKY	GKX	Maks. Padavine [mm]
ŠOŠTANJ	368	504020	136920	153
VELENJE	415	508651	134241	143
ZGORNJI RAZBOR	864	500000	145072	149
ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU	444	508906	149513	142
MISLINJA	589	516534	145027	147
VOJNIK	273	523753	127701	145

Po metodi izohiet smo določili maksimalno dnevno količino padavin za naše območje, ki znaša **143 mm**. To se tudi ujema s hidrološko študijo Savinje (Burja, Anzeljc, 1992), ki za Velenje navaja maksimalno količino padavin 144.9 mm



Slika 18: Raporeditev padavinskih postaj in metoda izohiet

S pomočjo časovne razporeditve padavin iz padavinske postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu smo naredili korelacijo z vrednostmi maksimalnih 24-urnih padavin za povratno dobo 100 let za obravnavano območje.

Razmerje padavin: **143** (P100 po metodi izohiet) / **139** (P100 Slovenj Gradec) = **1.0288**

Preglednica 3: Maksimalne dnevne padavine na obravnavem območju s povratno dobo 100 let.

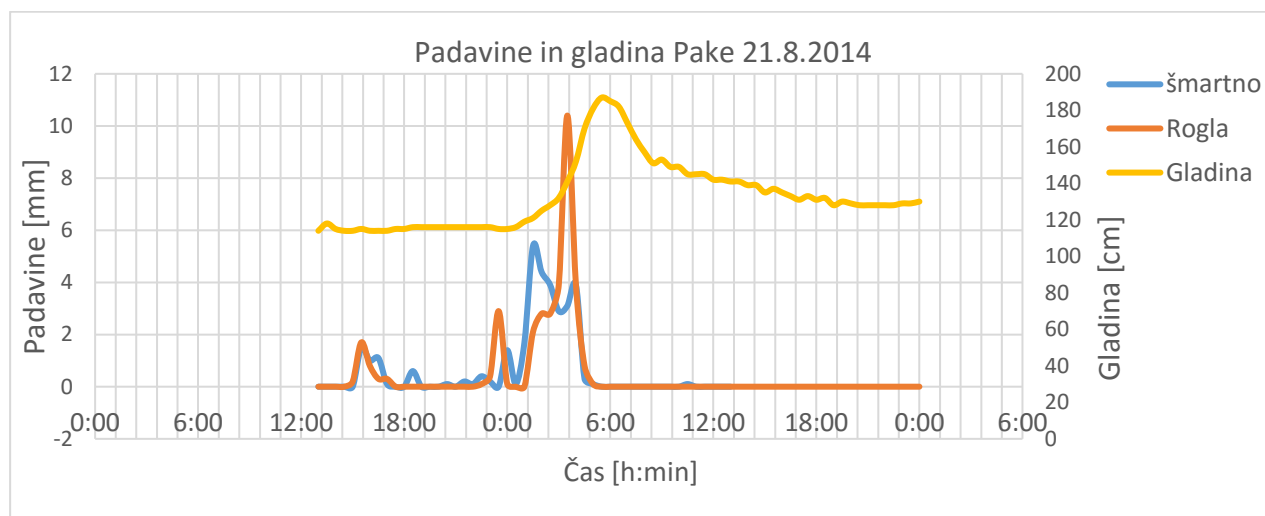
Čas	P100 [mm] Slovenj Gradec	P100 izračunan [mm]
5 min	17	17.49
15 min	35	36.01
1 h	59	60.7
2 h	65	66.87
3 h	71	73.04
6 h	78	80.24
12 h	102	104.94
1 dan	139	143

4.2.2 Analiza padavin na povodju Pake

Zanima nas odvisnost nihanja gladine Pake od padavin. In sicer za izračun potrebujemo čas zakasnitve reke Pake in čas trajanja konice pretoka. Pridobljene hidrološke podatke na postaji Velenje, ki se beležijo od 6.1.2014 dalje, smo primerjali s podatki bližnjih samodejnih meteoroloških postaj Velenje, Šmartno pri Slovenj Gradcu in Rogla, ki beležijo padavine vsake pol ure. V arhivu ARSO za merilno postajo Velenje so bili na voljo le podatki z dne 1.9.2014. Pregledali smo tudi radarske posnetke teh dogodkov.

4.2.2.1 Padavine in nivo gladine Pake v Velenju, 21.8.2014

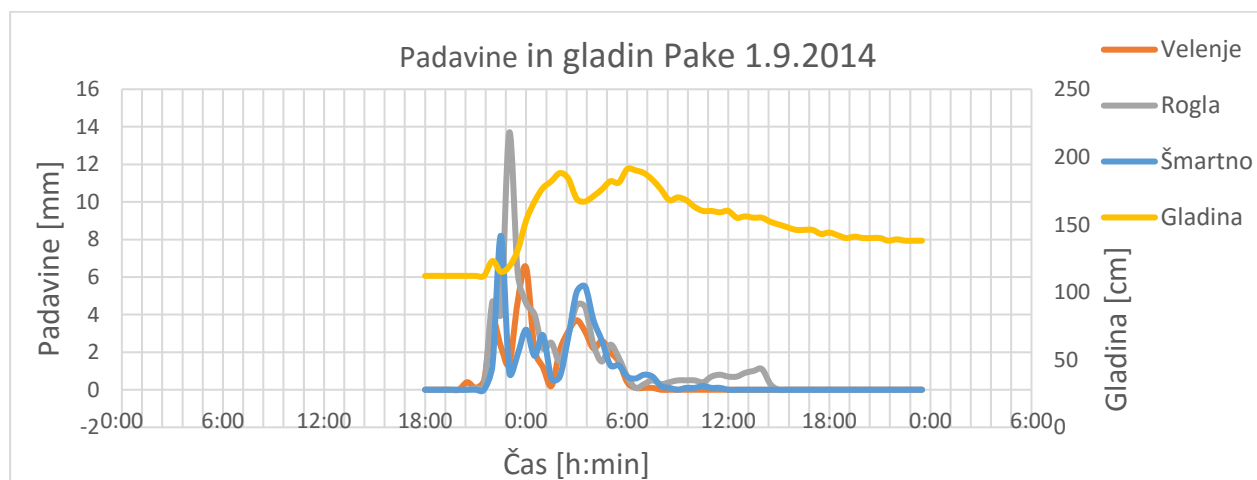
Čas zakasnitve tega dne je bil približno 2.5 ure. Na radarskem posnetku je razvidno, da je nevihta prišla z zahoda. Kar se tiče časa zakasnitve bi bilo najbolj neugodno, če bi nevihta najprej zajela zgornji del povodja Pake in šele nato prispela do povodij Sopote in Lepene. Najbolj neugodna smer prihoda nevihte je tako iz severovzhoda.



Grafikon 1: Padavine in gladina Pake v Velenju, 21.8.2014

4.2.2.2 Padavine in nivo gladine Pake v Velenju, 1.9.2014

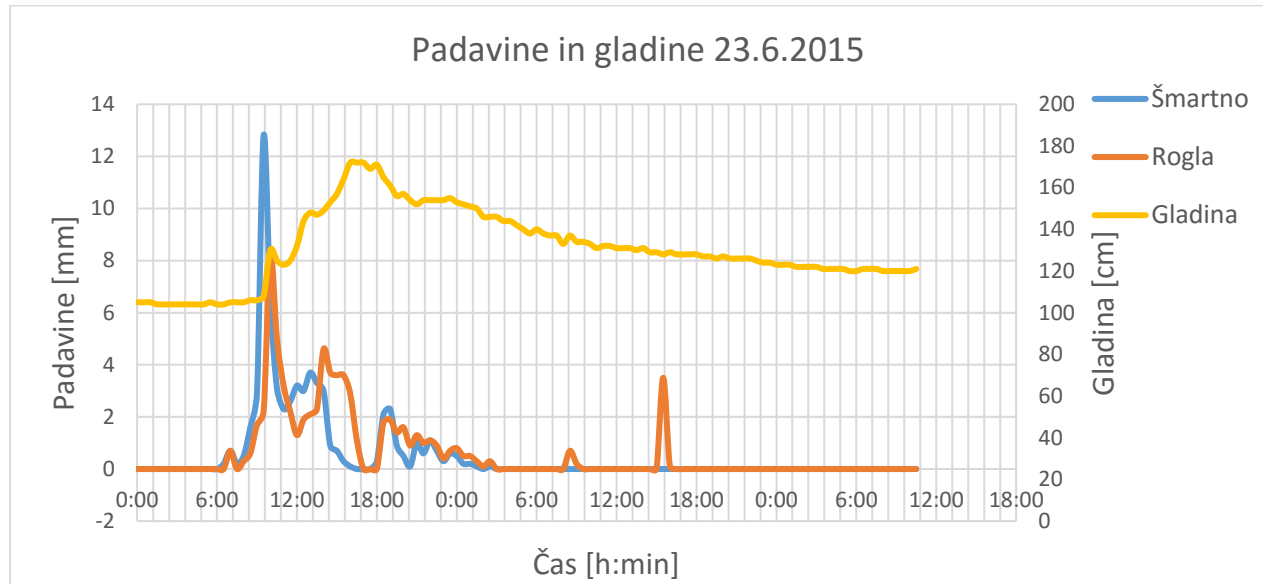
Čas zakasnitve reke Pake do Velenja je bil ta dan cca. 3 ure. Nevihta je prišla z smeri severozahoda.



Grafikon 2: Padavine in gladina Pake v Velenju, 1.9.2014

4.2.2.3 Padavine in nivo gladine Pake v Velenju, 23.6.2015

Čas zakasnitve tega dne je bil cca. 3 ure. Nevihta je prišla z severozahoda.



Grafikon 3: Padavine in gladina Pake v Velenju, 23.6.2015

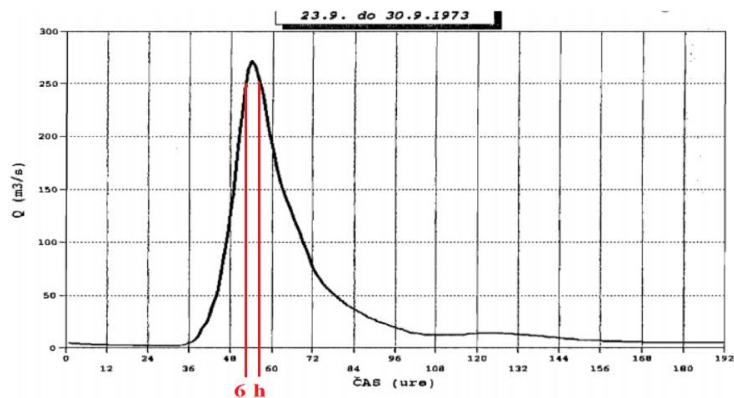
4.2.2.4 Analiza visokih valov Pake v preteklosti

V hidrološki študiji Savinje (Burja, Anzeljc, 1992) se nahajo tudi podatki valov Pake na vodomerni postaji Rečica. Kot uporaben podatek se nam je zdel čas trajanja konice (zgornjih 10 %) hidrograma. Paka do VP Rečica ima s površino 198.4 km² trikrat večje povodje kot Paka do Lepene. Q100 po tej študiji znaša 277 m³/s.

23.9.1973 je bil primarni center padavin nad povodjem Drete (enodnevne padavine 160mm), sekundarni center pa nad povodjem Ložnice in Pake, kjer so enodnevne padavine dosegle več kot 120 mm. Dvodnevne padavine v primarnem centru so nanesele več kot 240 mm in v sekundarnem več kot 160 mm. Povratna doba znaša $T = 50 - 100$ let oz. $25 - 50$ let za sekundarni center. Padavine so padle na razmočena tla. Čas trajanje konice (zgornjih 10 %) je bil približno 6 h.

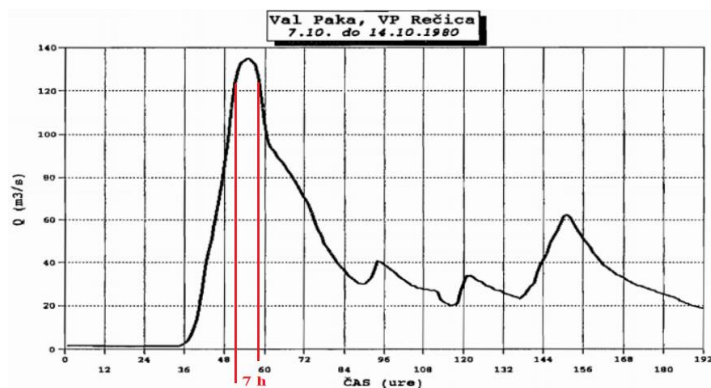
Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.



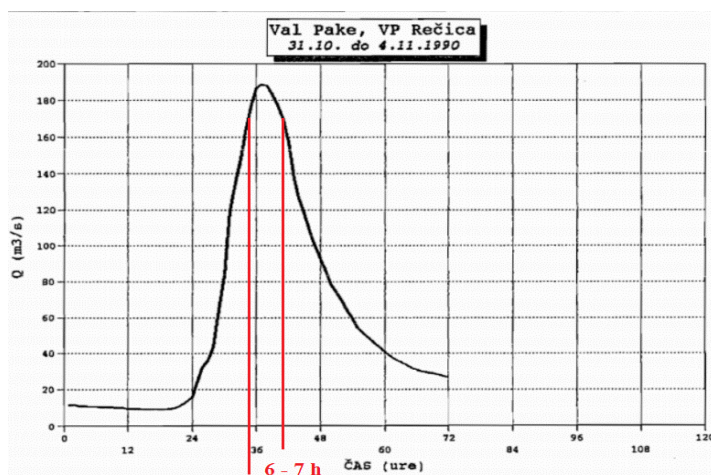
Slika 19: Val Pake, VP Rečica, 23.9 - 30.9.1973

8.10.1980 je vrh konice (zgornjih 10 %) visokega vala trajal približno 7 h.



Slika 20: Val Pake, VP Rečica, 7.10 - 14.10.1980

1.11.1990 je vrh konice (zgornjih 10 %) visokega vala trajal približno 6 - 7 h.



Slika 21: Val Pake, VP Rečica, 31.10. - 4.11.1990

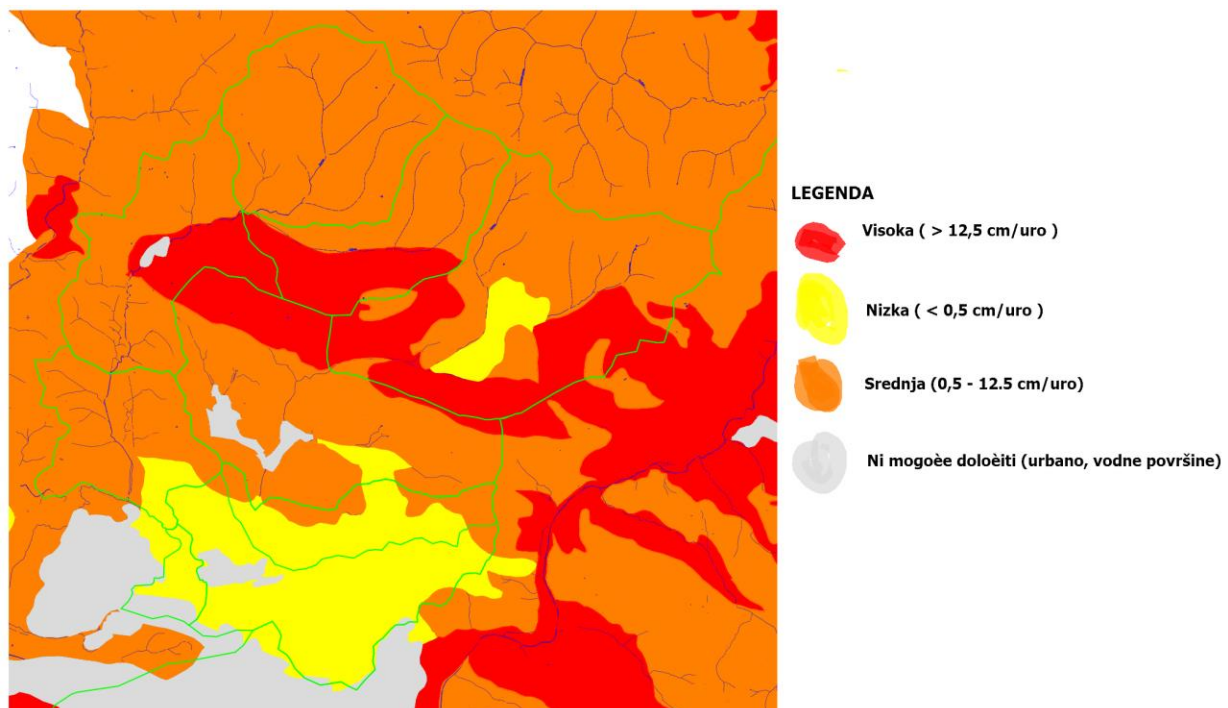
4.3 PODATKI O PRETOKIH

S pomočjo programa HEC-HMS 4.1 smo izračunali obširne podatke o pretokih Sopote in Lepene za vsakih 15 minut. Hidrogram Pake smo skonstruirali sami glede na analizirane hidrološke in meteorološke podatke in tako pridobili podatke o pretokih.

4.3.1 Pretoki Sopote in Lepene v HEC-HMS 4.1

Hidrografske značilnosti Sopote in Lepene smo razdelili na več podpovodij. Topografijo smo analizirali na osnovi TTN5 (1994). Odočni potencial hidrološke skupine zemljin smo določili na podlagi karte infiltracijske sposobnosti tal. Rabo tal smo določili z analizo najnovejših ortofoto posnetkov (2014) in povodja razdelili na gozdne površine, travnike, ceste, makadamske ceste in naselja.

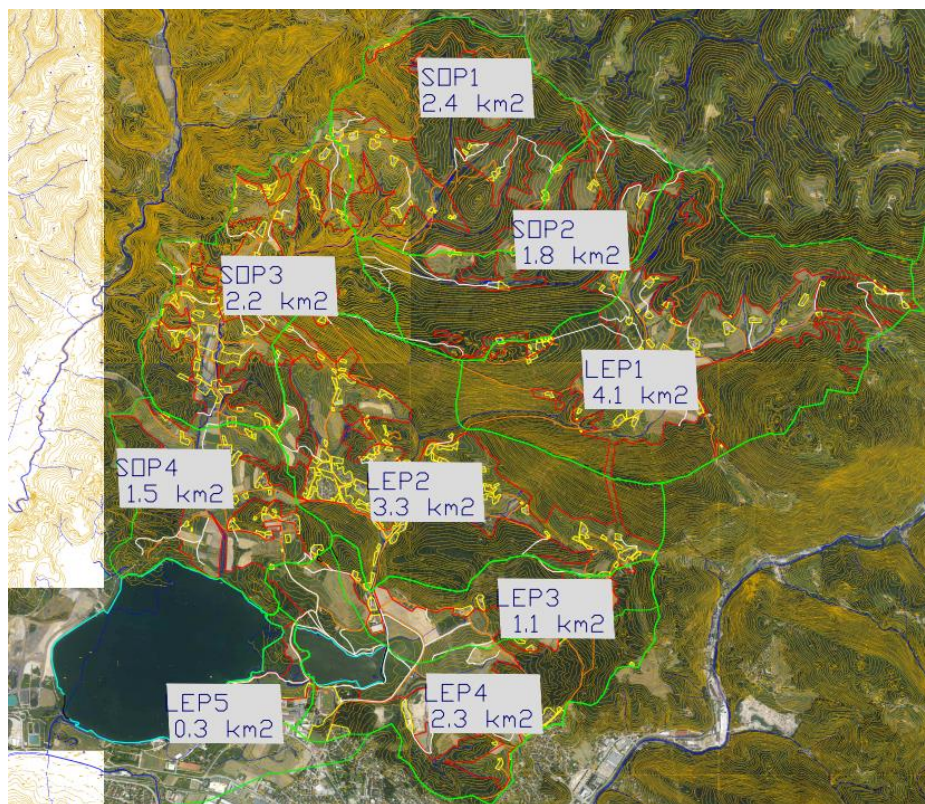
V programu Excel je bil, na osnovi teh podatkov in že opisanih enačb po SCS metodi, izračunan čas zakasnitve T_p .



Slika 22: Karta infiltracijske sposobnosti tal (ICPVO, 2010)

Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

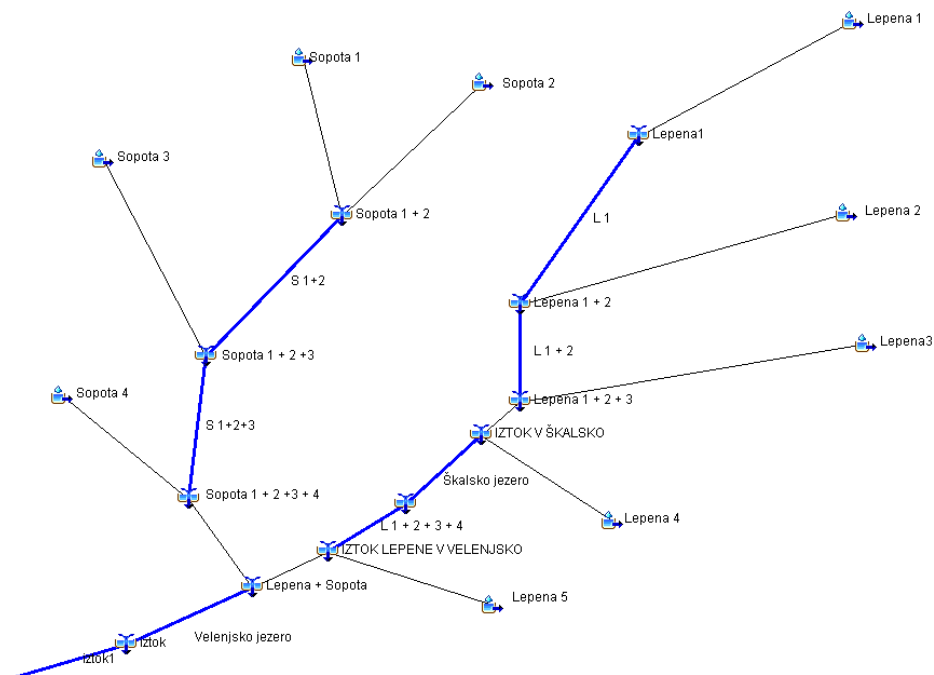


Slika 23: Razčlenitev na 8 podpovodij ter analiza rabe tal

Preglednica 4: Karakteristike podpovodij

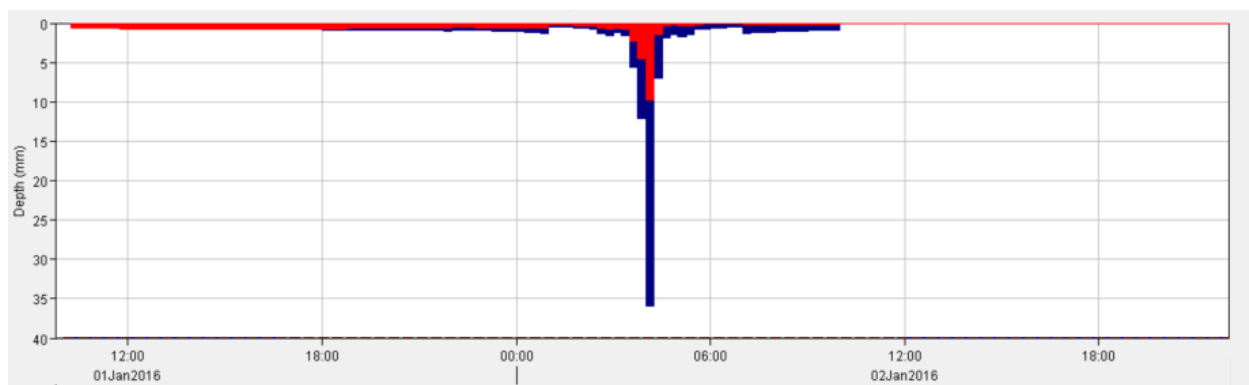
	Hidravlična dolžina povodja	Maks. retenzija povodja	Naklon povodja	Površina	CN	Ia	Najvišja točka	Najnižja točka	T_p
Simbol	L (km)	Sr	Y [%]	F (km ²)			[m]	[m]	[min]
Sopota 1	2.1	168.5	15.14	2.39	60.12	33.70	778	460	44.11
Sopota 2	2.7	237.7	11.52	1.77	51.66	47.54	791	480	68.75
Sopota 3	2.6	163.3	12.50	2.17	60.86	32.67	725	400	50.75
Sopota 4	1.5	150.9	8.20	1.46	62.73	30.19	490	367	38.46
Lepena 1	3.6	144.9	12.56	4.05	63.68	28.97	922	470	61.13
Lepena 2	2.2	185	17.36	3.32	57.86	37.00	780	398	40.65
Lepena 3	2	84.1	10.6	1.08	75.12	16.8	585	30.52	30.52
Lepena 4	2.2	84.7	10.1	2.33	74.99	16.9	595	373	33.90
Lepena 5	0.5	80.36	6.6	0.3	75.97	16.0	400	367	12.45

Podatke (površina, CN, Ia, Tp) smo nato vnesli v matematični model HEC-HMS. Izbran Manningov koeficient na osnovi ogleda je bil 0.035.



Slika 5: Model povodja do obravnavane lokacije v HEC-HMS 4.1

Padavinski dogodek smo vnesli v program in predpostavili začetek 1.1.2016 ob 10. uri. Konica padavin (37.4 mm) se pojavi 2.1.2016, ob 4:15 zjutraj.



Slika 24: Padavinski dogodek s konico pri 75%

Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

Ko smo vnesli vse potrebne vhodne podatke smo uporabili funkcijo Compute. Izpis rezultatov je obsežen.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Lepena 1	4.050	22.1	02Jan2016, 05:15	50.02
Lepena1	0.000	0.0	01Jan2016, 10:00	n/a
L 1	4.050	21.8	02Jan2016, 05:15	50.02
Lepena 2	3.320	18.7	02Jan2016, 04:45	38.47
Lepena 1 + 2	7.370	37.4	02Jan2016, 05:00	44.82
L 1 + 2	7.370	37.0	02Jan2016, 05:00	44.84
Lepena3	1.080	12.3	02Jan2016, 04:45	75.64
Lepena 1 + 2 + 3	8.450	46.9	02Jan2016, 05:00	48.78
Lepena 4	2.330	26.7	02Jan2016, 04:45	75.23
IZTOK V ŠKALSKO	10.780	70.8	02Jan2016, 04:45	54.49
Škalsko jezero	10.780	54.2	02Jan2016, 05:00	52.35
po škalskem jezero	10.780	54.2	02Jan2016, 05:00	52.35
L 1 + 2 + 3 + 4	10.780	54.1	02Jan2016, 05:00	52.38
Lepena 5	0.300	5.4	02Jan2016, 04:15	77.71
IZTOK LEPENE V VELENJSKO	11.080	54.9	02Jan2016, 05:00	53.06
Sopota 1	2.385	14.7	02Jan2016, 04:45	42.89
Sopota 2	1.770	4.9	02Jan2016, 05:15	27.29
Sopota 1 + 2	4.155	18.4	02Jan2016, 05:00	36.25
S 1+2	4.155	18.1	02Jan2016, 05:00	36.26
Sopota 3	2.170	12.2	02Jan2016, 05:00	44.37
Sopota 1 + 2 + 3	6.325	30.3	02Jan2016, 05:00	39.04
S 1+2+3	6.325	29.4	02Jan2016, 05:00	39.07
Sopota 4	1.415	10.3	02Jan2016, 04:45	48.23
Sopota 1 + 2 + 3 + 4	7.740	38.7	02Jan2016, 05:00	40.75
Lepena + Sopota	18.820	93.6	02Jan2016, 05:00	48.00
Velenjsko jezero	18.820	32.0	02Jan2016, 06:15	43.88
iztok	18.820	32.0	02Jan2016, 06:15	43.88
iztok1	18.820	30.4	02Jan2016, 06:15	43.33

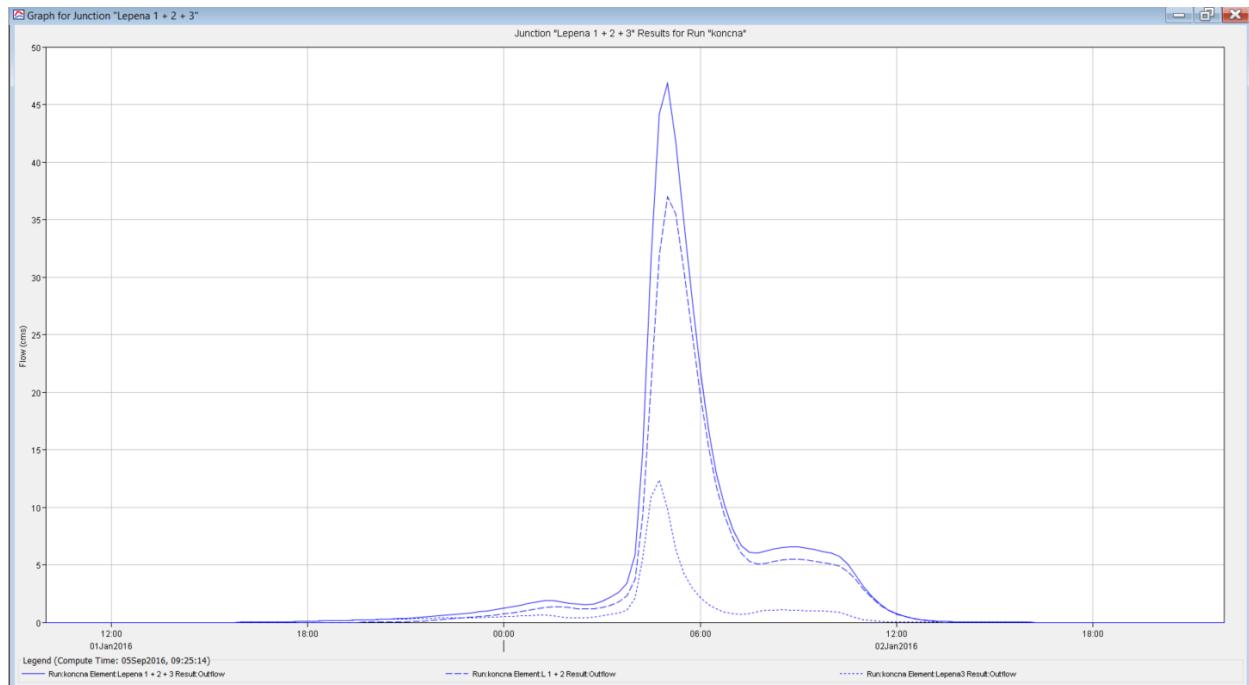
Slika 25: Izpis povzetih rezultatov v HEC HMS

4.3.1.1 Lepena

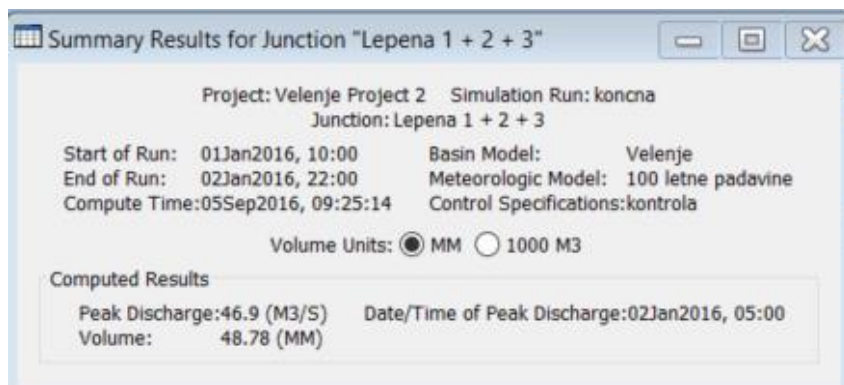
Maksimalen pretok po SCS metodi v programu HEC-HMS za Lepeno do Škalskega jezera znaša **Q100 = 46.9 m³/s** in se pojavi 2.1.2016 ob 5. uri zjutraj.

Rezultate smo primerjali še s Kresnikovo metodo ter z rezultati hidrološke študije Savinje (Burja, Anzeljc, 1992):

- Q100 Lepene do Škalskega jezera (F = 8.3 km²) po Kresniku znaša **39.33 m³/s** ($\alpha = 0.50$).
- Burja, Anzeljc (1992) navajata izračunan pretok v modelu HEC1 za Lepeno do Škalskega jezera **Q100 = 45 m³/s**.



Slika 26: Hidrogram Lepene do Škalskega jezera

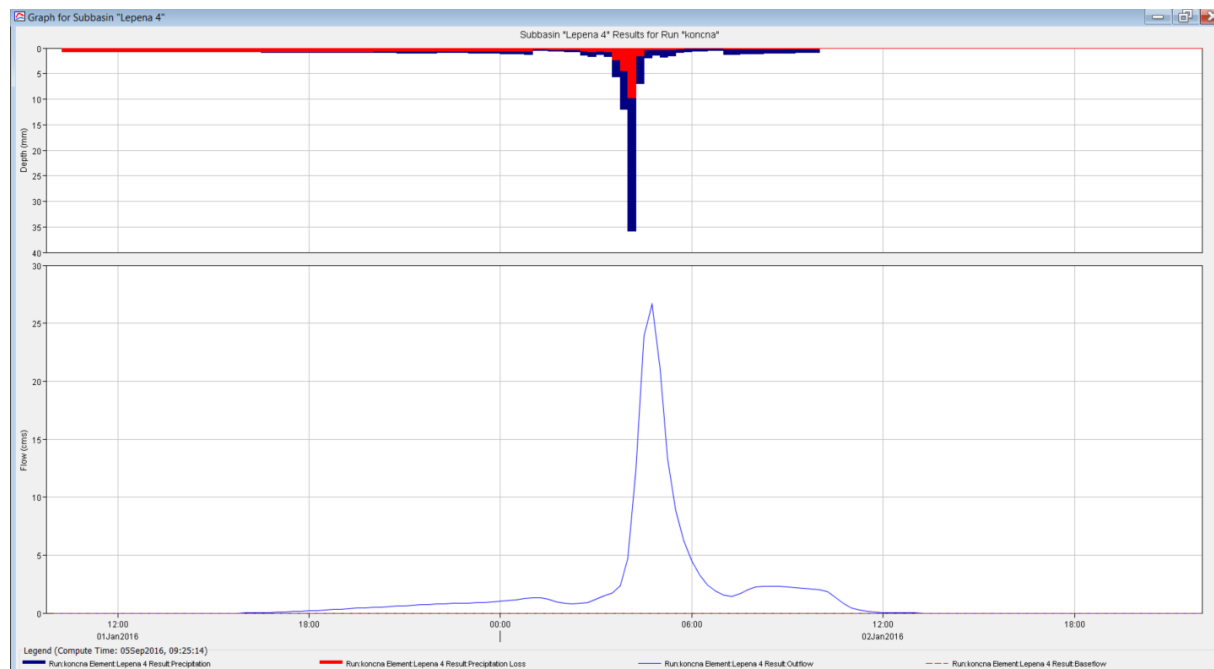


Slika 27: Povzeti rezultati Lepene do Škalskega jezera.

Želeli smo zajeti še preostalo povodje Škalskega jezera (*Lepena 4*), v katerem smo upoštevali še padavine, ki padejo na jezero. To smo naredil tako, da smo povodje povečali za površino jezera (0.17 km²) ter upoštevali nično izgubo padavin. Povodje s površino 2.3 km² ni zanemarljivo, saj konica pretoka Q100 znaša 26.7 m³/s.

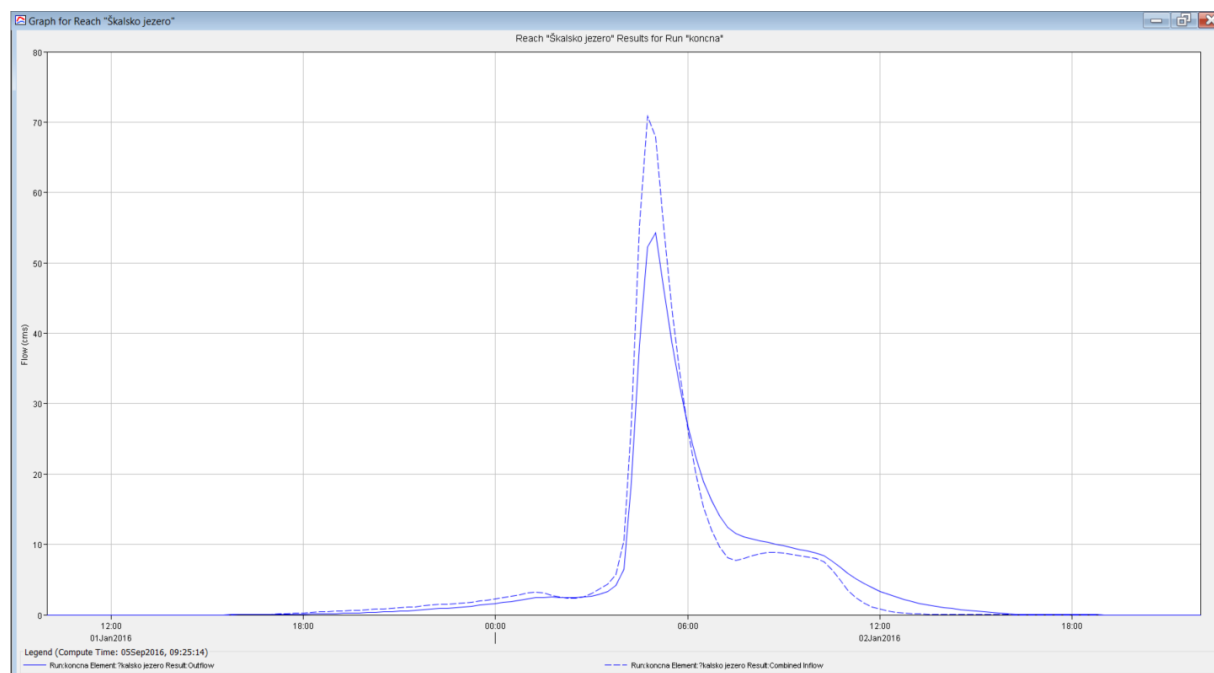
Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.



Slika 28: Preostalo povodje Škalskega jezera

Propagacijo vala skozi Škalsko jezero smo modelirali z modelom struge širine in dolžine jezera in z naklonom struge 0.0001 ter z Manningovim koeficientom 0.030. Jezero deluje kot blag zadrževalnik, konica iztoka iz jezera znaša 54.2 m³/s.

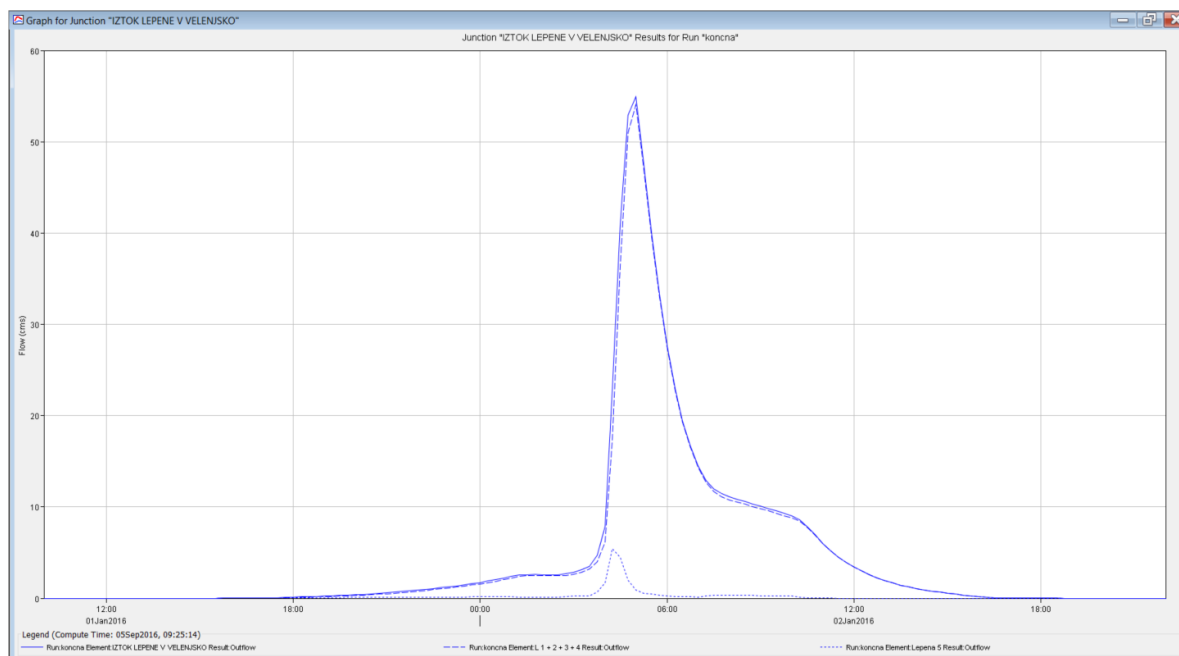


Slika 29: Vtok in iztok iz Škalskega jezera



Slika 30: Povzeti rezultati Škalskega jezera

Po iztoku iz Škalskega jezera smo zajeli še majhno prispevno območje s površino 0.3 km². Maksimalen pretok Lepene v Velenjsko jezero tako znaša 54.9 m³/s, 2.1.2016 ob 5.uri zjutraj.



Slika 31: Iztok Lepene v Velenjsko jezero



Slika 32: Povzetek rezultatov Lepene do Velenjskega jezera

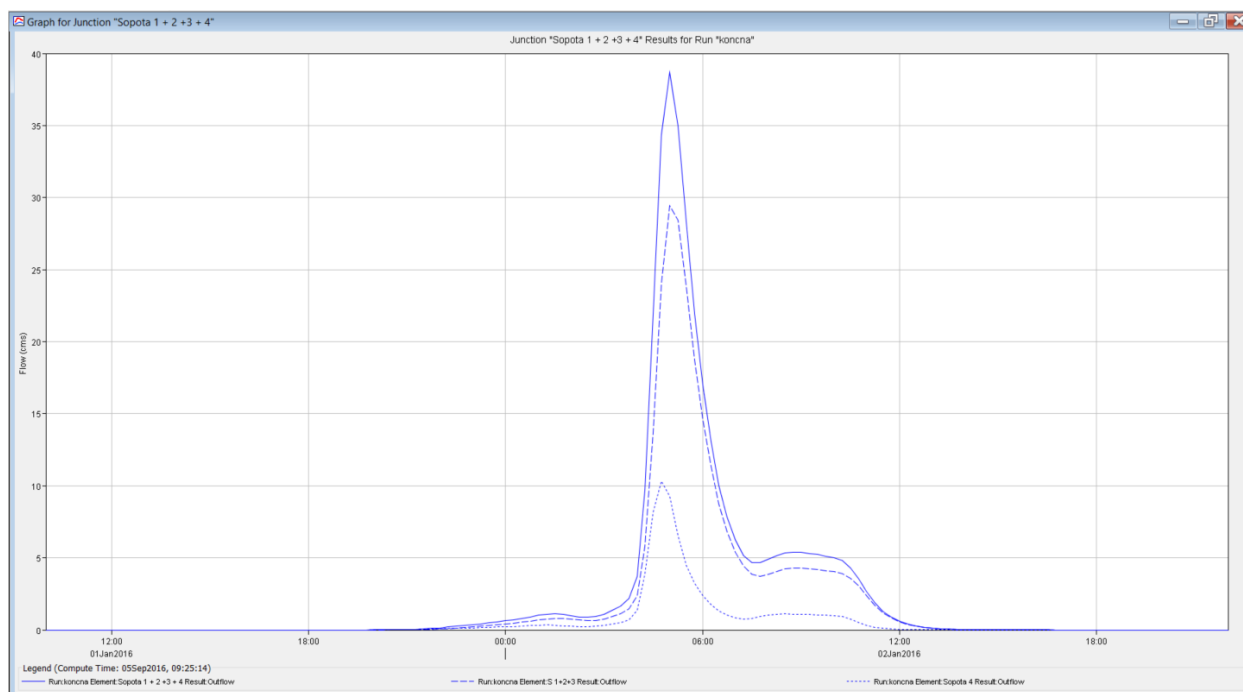
Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

4.3.1.2 Sopota

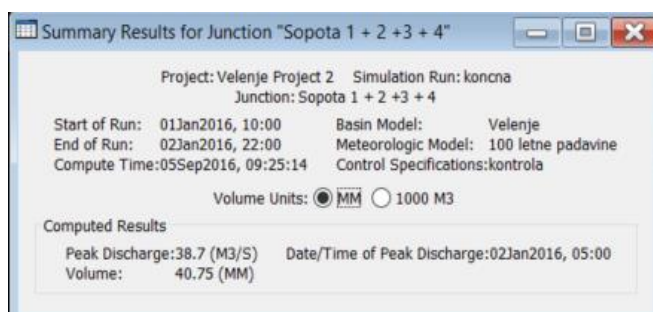
Maksimalen pretok po SCS metodi v programu HEC-HMS za Sopoto do Velenjskega jezera znaša **Q100 = 38.7 m³/s** in se pojavi 2.1.2016 ob 5. uri zjutraj.

Rezultate smo primerjali še s Kresnikovo metodo ter z rezultati hidrološke študije Savinje (Burja, Anzeljc, 1992):

- Q100 Sopote po Kresniku znaša **37.62 m³/s** ($\alpha = 0.50$).
- Burja, Anzeljc (1992) navajata izračunan pretok v modelu HEC1 za Sopoto do Škalskega jezera **Q100 = 44 m³/s**.



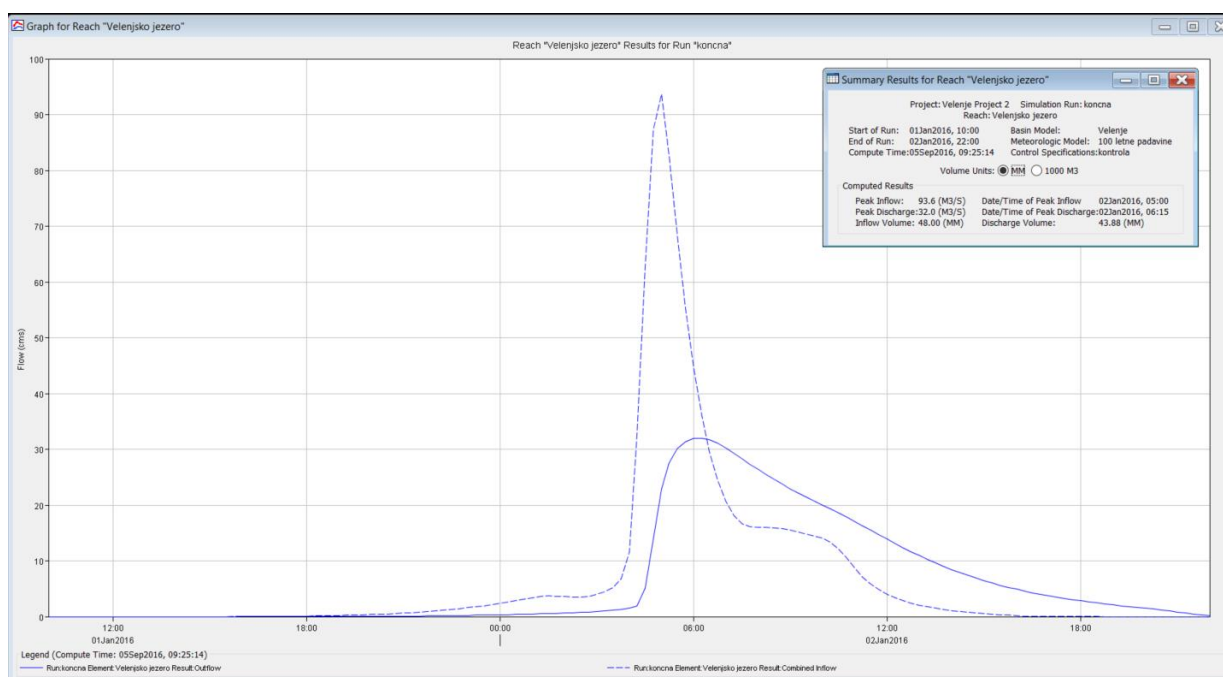
Slika 33: Hidrogram Sopote



Slika 34: Povzetek rezultatov za Sopoto

4.3.1.3 Velenjsko jezero

Propagacijo vala skozi Velenjsko jezero smo, zaradi pomanjkanja boljših podatkov o akumulaciji, simulirali z modelom struge dolžine in širine jezera in z minimalnim naklonom (0,0001) ter Manningovem koeficientu 0.030. Konica iztoka, ki znaša 32 m³/s, nastopi uro in pol po konici pritoka (6:15), ki znaša 93.6 m³/s. Jezero glede na naš model močno zadrži pretok, kar pomeni, da bomo pri računanju hidravličnih razmer na varni strani, saj bomo pred visokim valom Pake odvedli lahko le manjši delež visokega vala Sopote in Lepene.



Slika 35: Vtok in iztok iz jezera



Slika 36: Povzetek rezultat vtoka in iztoka iz Velenjskega jezera

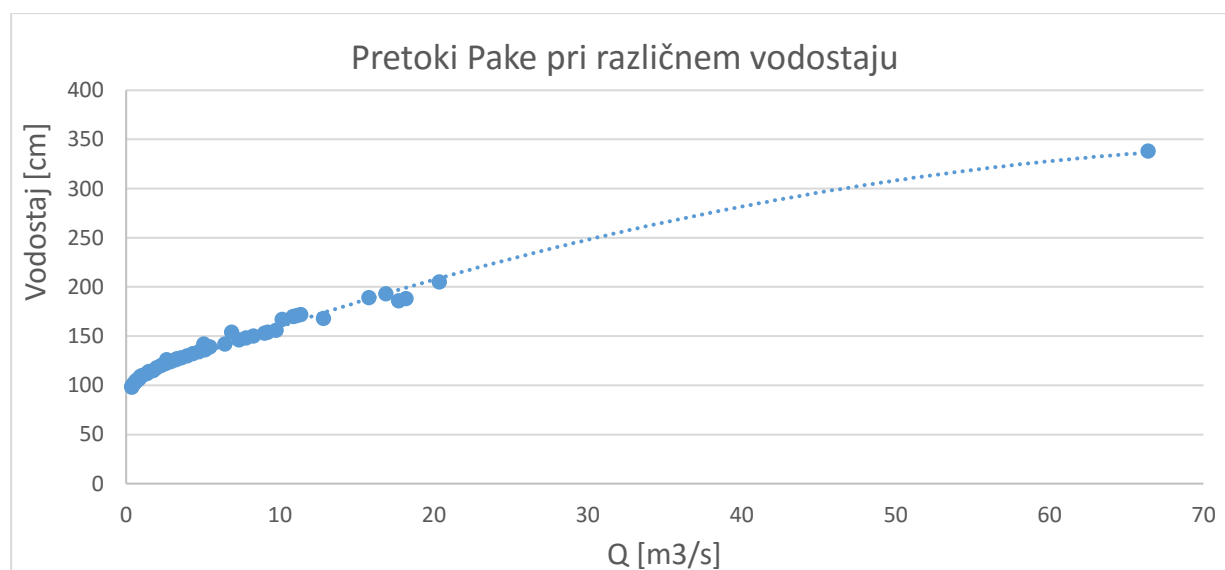
4.3.2 Pretoki reke Pake

Pri analizi štirih večjih padavinskih dogodkov v zadnjih dveh letih in pol (od 6.1.2014 dalje) je bil najkrajši čas zakasnitve 2.5 h. Zaradi varnostnega faktorja smo predpostavili, da je čas zakasnitve reke Pake pri konstrukciji hidrograma le dve uri.

Čas trajanja konice večjih poplavnih dogodkov na vodomerni postaji Rečica, kjer je povodje trikrat večje, je znašal od 6 – 7 h. Najdaljše trajanje konice visokih pretokov v Velenju po našem mnenju pri takem dogodku ne traja več kot 3h.

Pri oblikovanju hidrograma smo želel čimbolj posnemati dejanski val Pake. Oprli smo se na podatke nihanja Pake pri čimbolj podobnem padavinskem dogodku (dogodek z izrazito konico). Pri naraščujočem delu hidrograma smo se oprli na dogodek 23.6.2015, ko so se je nevihta sunkovito pojavila. Pri pojemajočem delu pa smo upoštevali dogodek 21.9.2014, ko so padavine naglo prenehale.

Ker smo imeli na voljo samo desetminutne podatke nihanj gladin teh dogodkov, smo najprej ugotovili odvisnost nihanja gladin od pretokov. Podatke ekstremnih vrednosti gladin in pretokov VP Velenje od leta 2010 smo uredili po vrsti in tako za vsako gladino določil vrednost pretoka. Na spletni strani Agencije Republike Slovenije za Okolje (2016) so na voljo podatki od leta 1953, vendar jih nismo uporabili, ker so se od takrat hidravlične razmere (izvedba regulacije...) preveč spremenile.



Grafikon 4: Pretočna krivulja Pake na VP Velenje

Polinomsko enačbo korelacije med pretoki in gladinami je izračunal program Excel.

$$y = 0.0006x^2 - 0.0037x - 6.2956, y = \text{pretok}, x = \text{vodostaj}$$

Tabela odvisnosti pretokov od gladin se nahaja med prilogami.

Preglednica 5: Hitrost naraščanja pretokov pri padavinah 23.6.2015 ter korelacija naraščanja pri stoletnih padavinah

Čas [min]	ΔQ [m ³ /s] 23.6.2015	ΔQ_{100} m ³ /s]
0	0.00	0.00
30	0.71	15.53
60	1.44	31.47
90	2.77	60.39
120	4.36	95.00

KORELACIJA 21.78

Preglednica 6: Hitrost pojanja pretokov pri padavinskem dogodku 21.9.2014 ter korelacija pojanja pri stoletnih padavinah

Čas [min]	ΔQ [m ³ /s] 21.9.2014	ΔQ_{100} [m ³ /s]
0	9.35	88.82
30	8.02	76.22
60	6.93	65.85
90	7.29	69.26
120	6.58	62.49
150	6.58	62.49
180	5.88	55.90
210	5.88	55.90
240	5.88	55.90
270	5.38	51.08
300	5.38	51.08
330	5.21	49.49
360	5.21	49.49
390	4.88	46.36
420	4.88	46.36
450	4.23	40.23
480	4.55	43.27
510	4.23	40.23

KORELACIJA 9.50

Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.

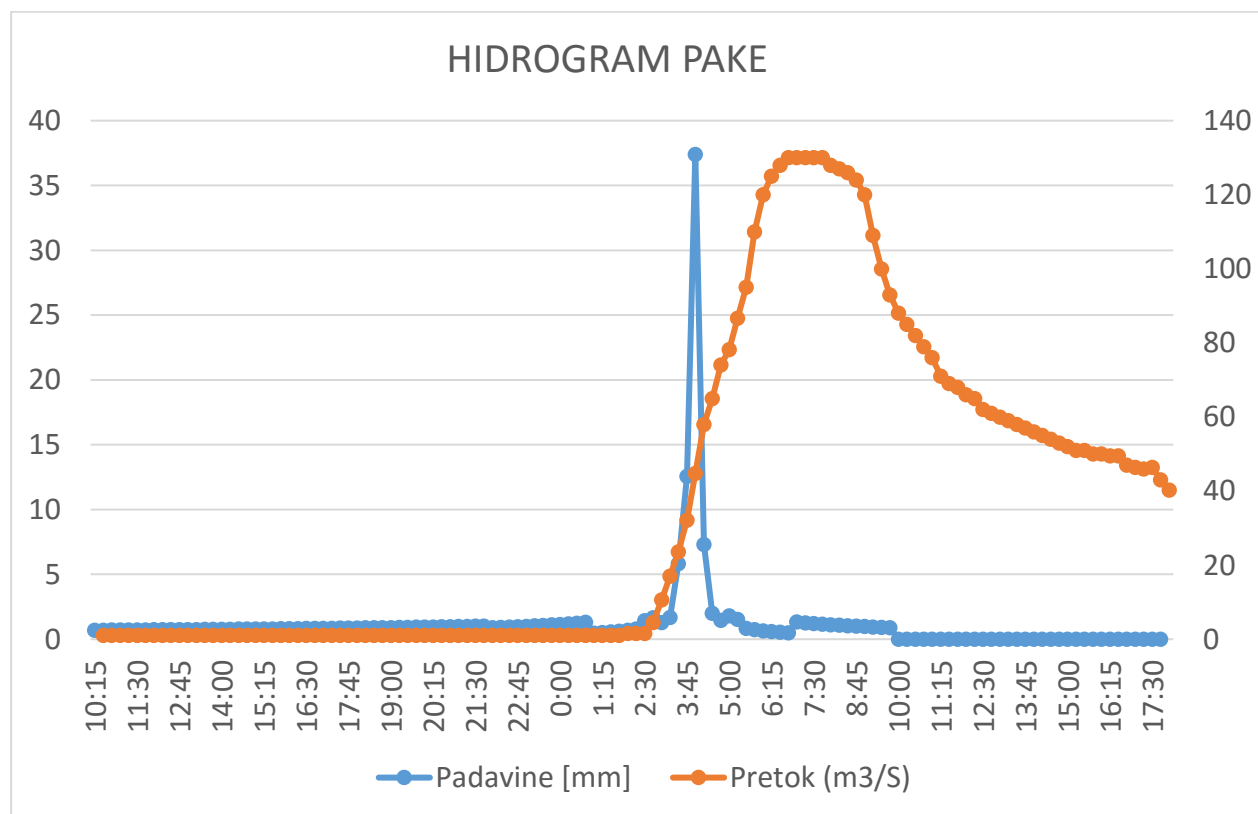
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

Za potrebe izračuna nas najbolj zanima konica hidrograma. Zaradi varnosti izračuna smo trajanje konice precej povečali. Maksimalni pretok 130 m³/s tako traja uro in 15 minut.

Preglednica 7: Skonstruirana konica hidrograma

Čas [h:min]	Pretok [m ³ /s]
5:30	110
5:45	120
6:00	125
6:15	128
6:30	130
6:45	130
7:00	130
7:15	130
7:30	130

Čas [h:min]	Pretok [m ³ /s]
7:45	128
8:00	127
8:15	126
8:30	124
8:45	120
9:00	115
9:15	109
9:30	105



Slika 37: Hidrogram Pake glede na analizo hidroloških in meteoroloških podatkov.

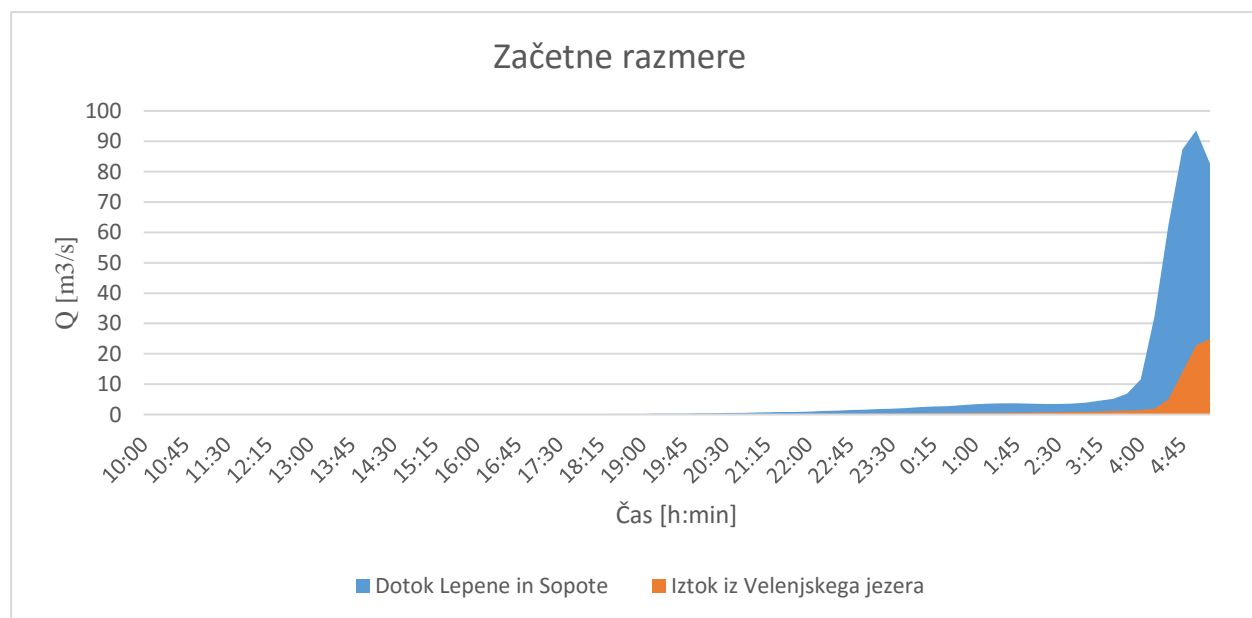
4.4 HIDRAVLIČNE RAZMERE V VELENJSKEM JEZERU IN VODOTOKIH

Hidraulične razmere pri stoletnih pretokih Sopote, Lepene in Pake smo razdelili na več faz, ki se tičejo obratovanja zapornic na iztoku iz jezera ter na bočnem prelivu.

4.4.1 Začetne razmere

Gladino jezera pred padavinami vzdržujemo na najnižji koti gladine. Predpostavimo da se padavinski dogodek začne 1.1.2016 ob 10. uri zjutraj. Konica nevihte se pojavi naslednji dan ob 4:15 zjutraj.

Iz jezera želimo pred prihodom visokega vala Pake odvesti čimvečji del visokih valov Sopote in Lepene, ki imata ob 5. uri, 2.1.2016, največji pritok v jezero (skupaj 93.6 m³/s). Iztok iz jezera znaša v tem času 22.8 m³/s. Ob 5:15 h zjutraj reka Paka naraste do te mere, da na prečnem prerezu P1 vsota pretoka Pake in iztoka iz jezera že doseže maksimum ($Q_{Paka} + Q_{Jezero} = 120$ m³/s). S tem začetne razmere končajo.



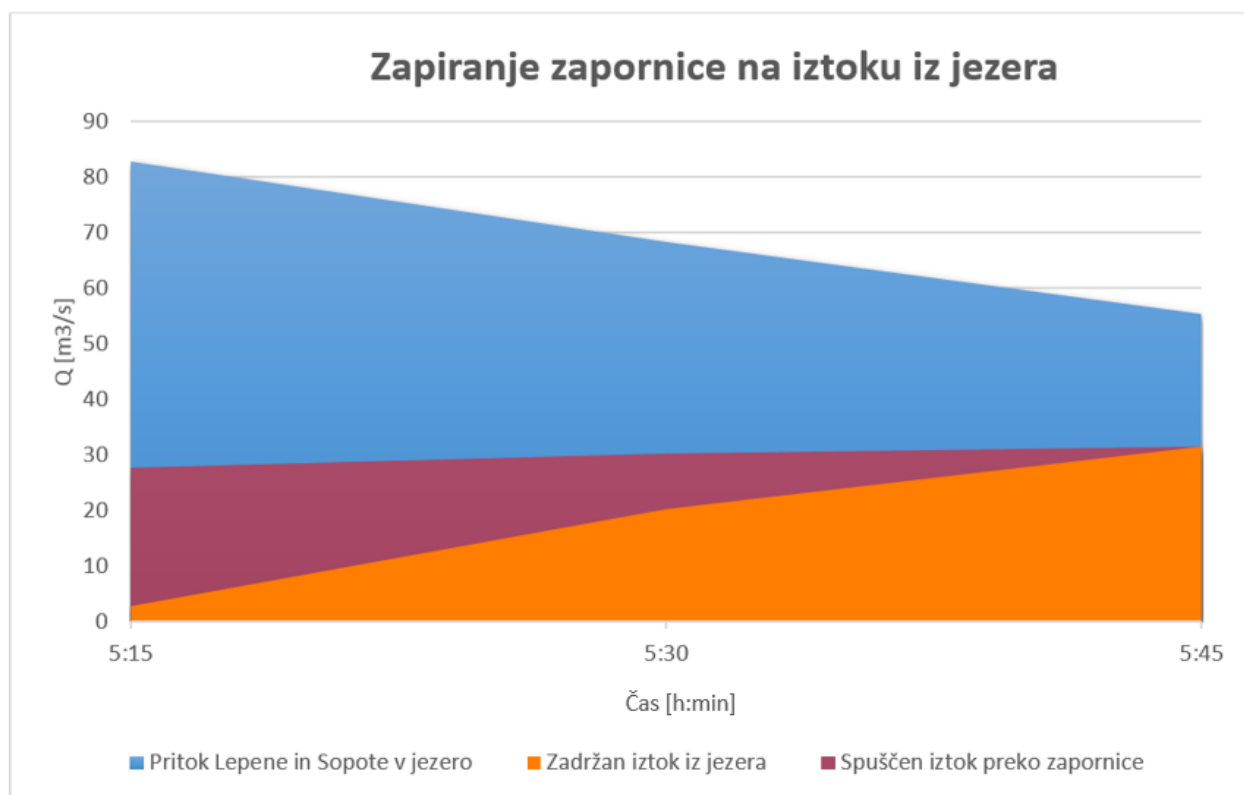
Grafikon 5: Napajanje Velenjskega jezera iz hudourniških vodotokov Sopote in Lepene

Preglednica 8: Volumen dotok in odtoka v jezero, ter njuna razlika

	V [m ³]
Vdot	367200
Vodt	63900
ΔV	303300

4.4.2 Zapiranje zapornice na iztoku iz jezera

Avtomatska zapornica na iztoku iz jezera se začne zapirati, tako da odvaja iz jezera takšno količino, da je vsota pritokov Pake in jezera vseskozi 120 m³/s. Čas trajanja zapiranja znaša pol ure. V času zapiranja tako lahko iz jezera izpustimo 20250 m³, še dodatnih 177165 m³ pa se v tem času akumulira v jezero.



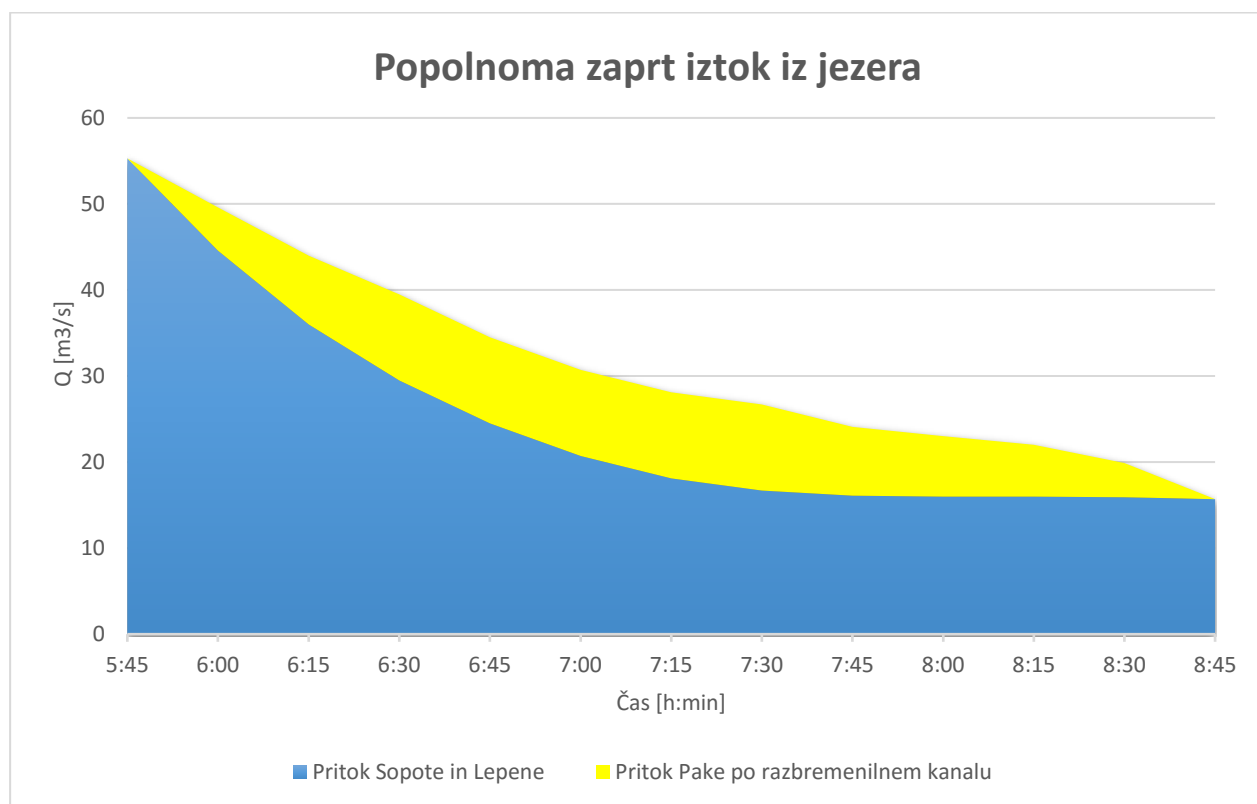
Grafikon 6: Doganje na zapornici

Preglednica 9: Vsota dotoka in odtoka v času od 5:15 do 5:45 ter celoten volumen vode v akumulaciji ob 5:45

	Q [m ³]
Vdot	177165
Vodt	20250
ΔV	156915
sumV	480465

4.4.3 Popolno zadrževanje

Ko Paka doseže maksimalen pretok po strugi (120 m³/s), se vzpostavi razbremenjevanje Pake v Velenjsko jezero preko bočnega preliva. Konica maksimalnega pretoka traja 3 h, maksimalno razbremenjevanje Pake pa znaša 10 m³/s. V jezero iz Pake tako odvedemo 79200 m³ vode. Med popolno zaporo hudournika jezero napolnita s 339840 m³.



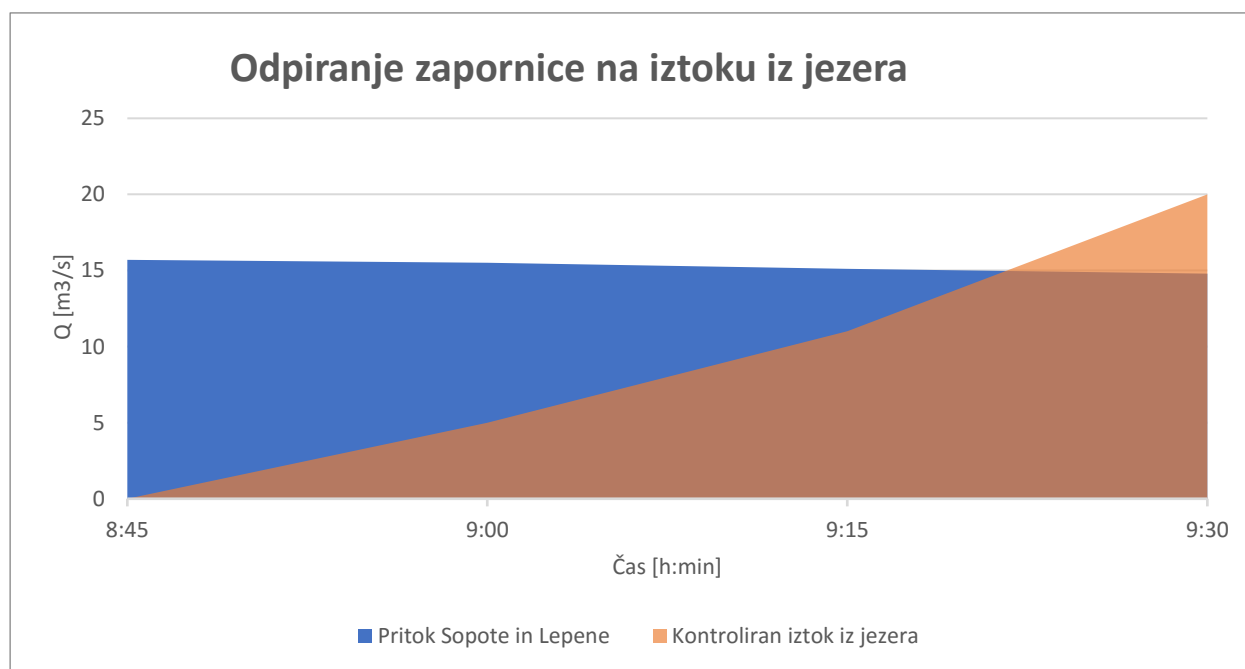
Grafikon 7: Akumuliranje pritokov v jezeru ob zaprtju iztoka iz jezera (5:45 – 9:00)

Preglednica 10: Dotoka Lepene in Sopote ter dotok Pake ter celoten volumen vode v akumulaciji ob 9:00

	Q [m ³]
VdotH	260640
VdotP	79200
ΔV	339840
sumV	820305

4.4.4 Praznjenje zadrževalnika

Praznjenje Velenjskega jezera se kot polnjenje izvaja tako, da je vsota iztoka iz jezera in pritoka Pake maksimalno 120 m³/s. Toliko kot se zmanjša pretok reke Pake v času, toliko se lahko odpre zapornica na iztoku iz jezera. V času spuščanja zapornice se iz Lepene in Sopote v jezero steče še 41265 m³ vode, čez zapornice pa se jih iz jezera sprosti 23400 m³.

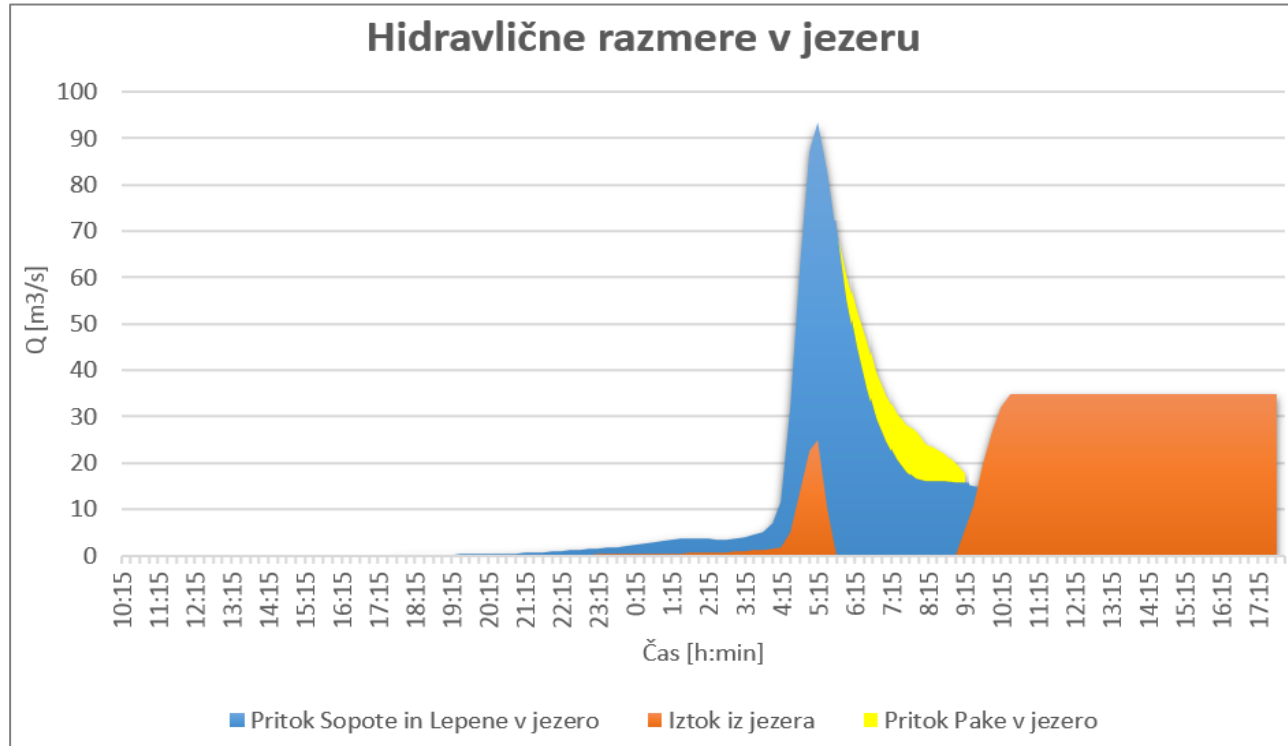


Grafikon 8: Maksimalna retenzija jezera je dosežena na presečišču pritoka Sopote in Lepene ter iztoka iz jezera

Preglednica 11: Volumen dotoka in iztoka pri odpiranju zapornice, ter vsota akumulirane vode ob 9:45

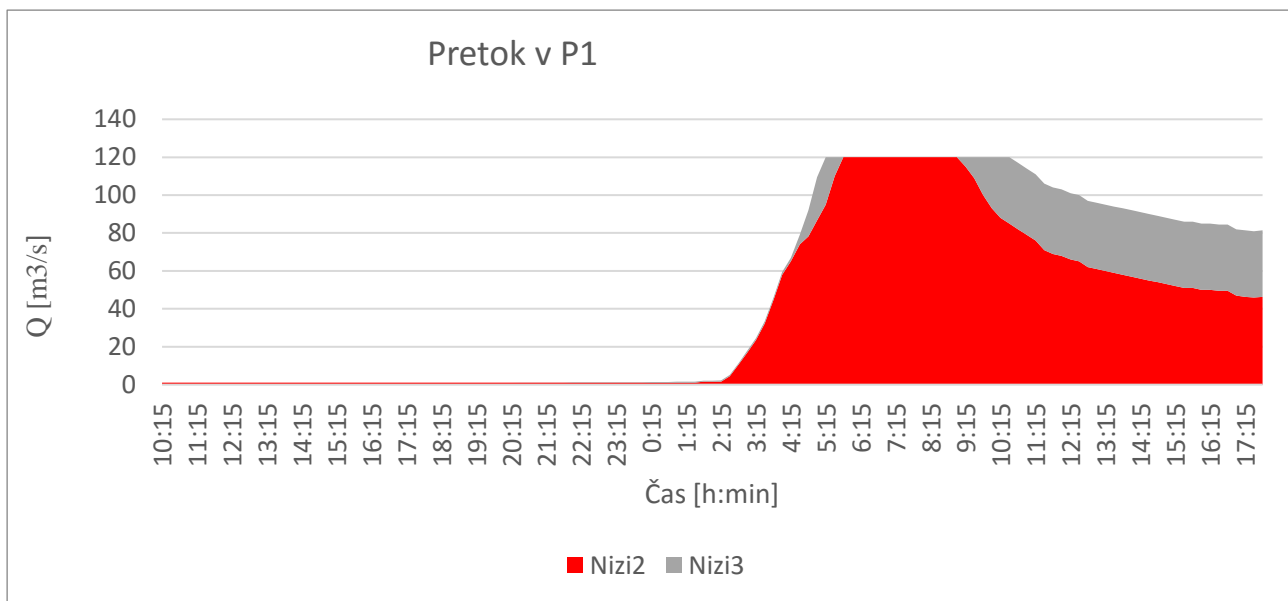
	Q [m ³]
Vdot	41265
Vodt	23400
ΔV	17865
sumV	838170

Po 4h urah in pol maksimalnega pretoka po strugi reke Pake čez prerez P1, okoli 9:20 retenzija jezera doseže maksimum. Ob 9:30 je volumen zadržane vode v jezeru 838170 m³, ob 9:45 pa se že zmanjša na 830160 m³ m³. Interpolirana vrednost ob 9:20 znaša 838620 m³. Hitrost odvajanja zadržane vode bo odvisna od dimenzioniranja iztoka iz jezera ter zapornice. Mi smo predpostavili max. iztok 35 m³/s.



Grafikon 9: Hidravlično dogajanje polnjenja in praznjenja akumulacije

Po danem izračunu je največja retenzija v jezeru 838620 m^3 vode, retenzijska sposobnost jezera pa je 870000 m^3 . Račun se torej izide.



Slika 38: Pretok v prerezu P1

Pretok v prerezu P1 ne preseže 120 m^3/s . Maksimalen pretok v prerezu P1 traja 5h (5:15 – 10:15).

4.5 UMEŠTITEV IN DIMENZIONIRANJE RAZBREMENILNEGA OBJEKTA

Razbremenilni objekt sestoji iz bočnega preliva, ki odvzema vodo iz struge ter iz razbremenilnega korita, ki to vodo odvaja v jezero. Celoten razbremenilni objekt bi po naši variant posegel v zemljišča katastrske občine 964-Velenje, s parcelnimi številkami 951/3, 952, 953/2, 3613 (struga), 1163/2, 949/2, 950/4, 3602/21, 956/4, 956/3, 3640/3 (cesta), 3556/5 (cesta), 957/1, 957/2, 960/1, 3609/20, 3609/21, 3609/22, 1019/1, 967/1, 969/2, 973/2, 1025/1, 1025/2 (pot ob jezeru), 1042, 1043 (jezero). Zemljiške parcele na območju so sicer precej razdrobljene, toda večinoma v lasti Premogovnika Velenje.

Razbremenilni objekt prečka vročevod, ki bi ga bilo ob izvedbi treba malce prestaviti. Ceste Simona Blatnika, Rudniške ceste ter sprehajalne poti ob jezeru, ki jih razbremenilni kanal prečka bi dobile ustrezne premostitve. Pod premostitvijo bi izvedli korito enakih dimenzij, kot osnovno korito. Višina korita pod premostitvijo bi bila 1.3 m, zaradi 0.5 m varnostnega nadvišanja.

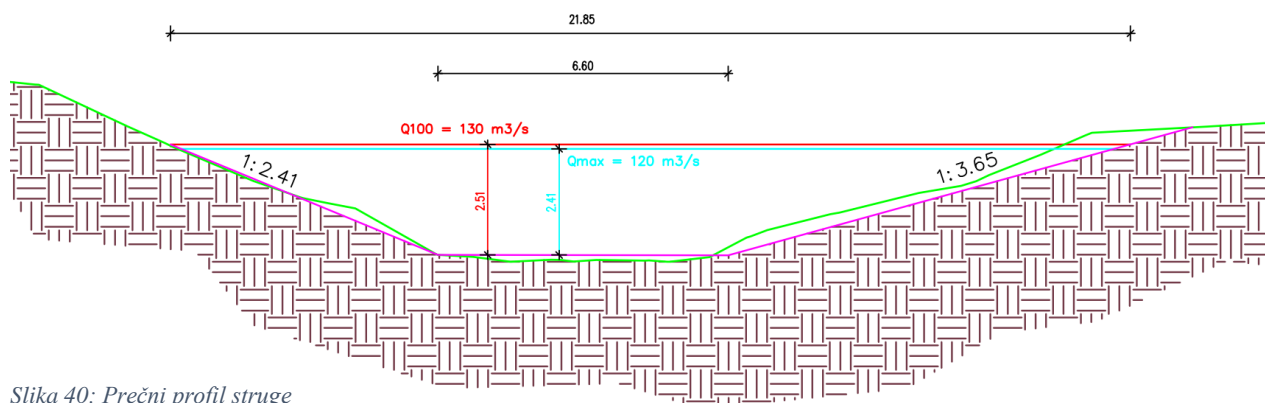


Slika 39: Umestitev objekta v prostor

4.5.1 Bočni preliv

Prečni profil Pake, kamor bi umestili bočni preliv, smo izvozili iz lidarskega posnetka (2015). Posnetki so na voljo od leta 2015 in se nahajajo na posebni spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje. Strugo smo poenostavili tako, da smo jo opisali s čimbolj prilegajočim trapezom. Širina dna struge znaša 6.60 m, naklona brežin sta 1:2.41 ter 1:3.65.

Glede na znan pretok, Manningov koeficient (0.030), padec korita (0.66 % v Velenju na dolžini 1 km do razbremenilnega objekta) ter širino dna in naklona brežin smo s preureditvijo Manningove enačbe s poizkušanjem različnih globin v koritu določili višino gladine pri danem pretoku. Pri pretoku $Q_{100} = 130$ m³/s je višina gladine v strugi 2.51 m, pri pretoku $Q_{max} = 120$ m³/s pa 2.41 m. Če odvedemo 10 m³/s gladino torej znižamo za 10 cm.

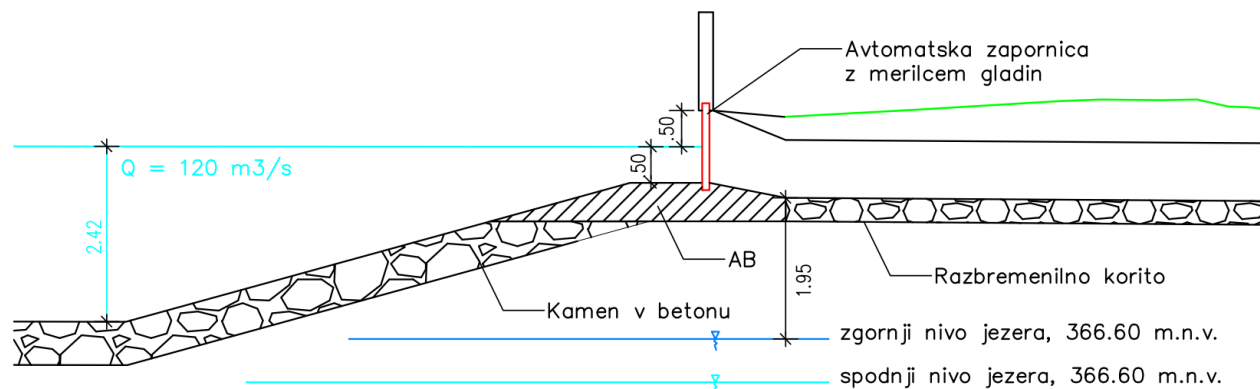


Slika 40: Prečni profil struge

Po Rossertovi metodi smo dimenzionirali bočni preliv. Odločili smo se za pravokotni preliv višine 0.50 m, saj bi bilo 0.10 m premalo za pretok, ki ga moramo odvesti. Višina čelne stene preлива tako znaša 1.91 m. Koeficient preлива μ po Rehbocku (1929) znaša 0.62. Glede na postopek Rosserta smo privzemali zgornjo prelivno višino, dokler se nista parametra ξ glede na Rossertov diagram ujemala.

$$\xi = \frac{z_{sp} - z_{zg}}{1.1 \frac{v_{zg}^2}{2g} - 1.1 \frac{v_{sp}^2}{2g} - h_r} = 0.967 \text{ ter } \xi = \xi \left(\frac{h_{pr}}{h_{pr} + p} \right) = 0.14$$

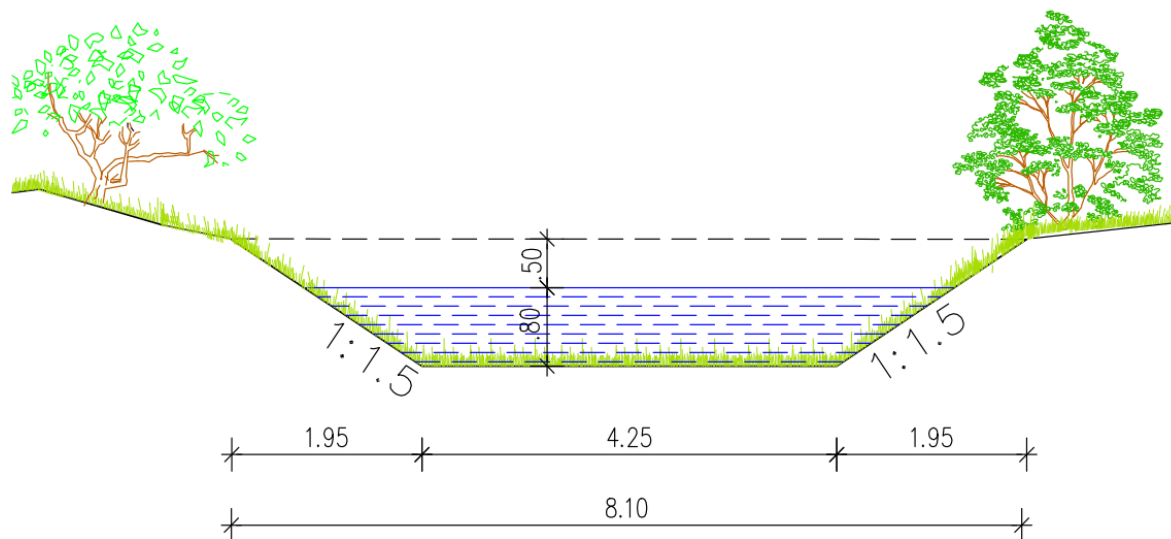
Zgornja prelivna višina tako znaša 0.20 m, spodnja pa 0.40 m. Povprečna višina je torej 0.30 m, kar pomeni, da mora biti bočni preliv dolg 35 m. Bočni preliv bi deloval tako, da ko bi gladina dosegla kritično mejo (2.41 m = 120 m³/s), bi se zapornica začela odpirati, tako da bi se vzdrževala stalna gladina 2.41 m. Ko bi Paka dosegla maksimalen pretok (130 m³/s) bi se zapornica odprla do konca in glede na naš izračun odvedla 10 m³/s po bočnem prelivu. Zapornico smo zaradi varnostnega nadvišanja 0,5 m predimenzionirali.



Slika 41: Prečni prerez bočnega preliva

4.5.2 Razbremenilno korito

Razbremenilno korito smo pravtako dimenzionirali s poskušanjem poiskati rešitev preurejene Manningove enačbe. Korito se izvede sonaravno, z dnom struge širine 4.25 m in nakloni brežin 1:1.5. Globina vode v kanalu naj bo 0.80 m, varnostno nadvišanje do vrha brežine je 0.50 m. Manningov koeficient za urejen kanal znaša 0.025. Brežine so zatravljene. Dolžina kanala znaša 287.5 m. Padeč na tej dolžini znaša 1.95 m, in sicer od višinske kote 368.55 m do kote izliva 366.60 m, ki je zgornja meja gladine jezera. Padeč nivelete torej znaša 0.68 %. Glede na dane dimenzije maksimalni pretok v kanalu znaša 10.17 m³/s, povprečna hitrost vode pa 2.23 m/s, pri kateri naj bi bilo travna ruša dovolj odporna proti eroziji.



Slika 42: Razbremenilno korito

4.4 GLAVNE UGOTOVITVE

Po študiji Savinje (Burja, Anzeljc, 1992) so stoletne visoke vode na prerezu P1 154 m³/s, saj upoštevajo še pritek Sopote in Lepene iz Velenjskega jezera. Glede na te podatke smo torej konico pretoka po Paki zmanjšali za 34 m³/s. Leta 1992 je bila površina Velenjskega jezera sicer skoraj 30 ha manjša, torej je bil tudi čas propagacije vala skozi jezero krajši.

Naš račun je vseboval dve konzervativni predpostavki, in sicer čas zakasnitve Pake je bil le dve uri, konica hidrograma pa je trajala 3 ure. Kljub temu nam je uspelo zadržati visoki val Pake in v jezeru obdržati še 31380 m³ rezervne prostornine. To pomeni, da bi ob še počasnejši propagaciji vala skozi Velenjsko jezero oz. ob manjšem zamiku med konicama hudournikov in konico Pake pred popolno zaporo iztoka morali odvesti le 37830 m³ vode valov Lepene in Sopote, namesto 84150 m³ (63900 m³ + 20250 m³), kot jih je bilo predvideno v našem izračunu. To in dejstvo, da retenzijska sposobnost Škalskega jezera s površino 17.6 ha in dovoljenim nihanjem gladine 0.60 m znaša 105600 m³ v katerem bi lahko dodatno zadrževali Lepeno potrjuje, da je razbremenjevanje Pake v Velenjsko jezero možno.

Dimenzioniranje bočnega preлива in razbremenilnega kanala je dovolj natančno, da smo potrdili možnost umestitve v prostor in določili deležnike, ki jih umestitev zadeva.

Visoke vode nad Q100 bi morale kljub ureditvi odtekati po strugi Pake, razen če bi ugotovili, da je možnost dviga gladine Velenjskega jezera še večja. To vprašanje je že deloma predmet občinske politike urejanja prostora. Po hidrološko-hidravlični študiji Šoštanj (Lajevec, 2012) bi bilo s hidravličnega vidika možno jezero napolniti do kote 373.1 m..n.v.

5. ZAKLJUČEK

Hidravlični izračun je pokazal, da je možno razbremeniti reko Pake pri stoletnih vodah, v meri, ki bi omogočila znatno zmanjšanje ostalih omilitvenih ukrepov dolvodno. V naslednji fazi bi bilo smiselno v program HEC-HMS vnesti še povodje Pake in tako dobiti bolj natančne podatke o času zakasnitve in trajanju konice pretoka pri stoletnih dogodkih.

Celoten model Velenjskega jezera s pritoki in odtoki ter strugo Pake v Velenju bi bilo treba natančneje poračunati s programom HEC-RAS, ki se uporablja za modeliranje 1D vodnega toka po naravnih in umetnih kanalih oz. še bolje z 2D modeli, ki jih računajo programi kot so Mikeflood in drugi. Glede na bolj natančne podatke bo možno še natančneje dimenzionirati bočni preliv ter razbremenilni kanal. Nezanemarljiv vidik razbremenjevanja je tudi biokemijski vpliv izlivanja visokih voda Pake v jezera, ki bi ga tudi bilo treba detajlno preučiti in poiskati najboljše možnosti.

Naslednji pritok Pake predstavlja Velunja, ki se izliva vanjo preko Družmirskega jezera. Študija VGI navaja, da naj bi pretok Q_{100} Pake po izlivu pritoka Velunja znašal $208 \text{ m}^3/\text{s}$. Zato je v prihodnosti smiselno preučiti še sposobnost retenzije Družmirskega jezera, katerega dogovorjeno nihanje znaša kar 2.0 m in ki se mu površina zaradi rudarjenja najbolj naglo povečuje. Od leta 1993, ko je znašala 34.6 ha, se je povečala na 71.6 ha v letu 2009, danes pa obsega že več kot 75 ha.

VIRI

- Atlas okolja. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016.
<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx> (Pridobljeno 28.8.2016)
- Brilly, M., Šraj. M., 2005. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.
- Brilly, M., Šraj. M., 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.
- Burja, D., Anzeljc, D. 1992. Koncept ureditve Savinje. Hidrološka študija. Ljubljana, Ministrstvo za varstvo okolja in urejanje prostora: 29 f
- Hozjan, M. 2016. Izračun maksimalnih dnevnih padavin po Gumbelovi metodi. Osebna komunikacija. (14.9.2016)
- Hydrologic Engineering Center. 2016.
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hm> (Pridobljeno 17.4.2016)
- Karta infiltracijske sposobnosti tal. ICPVO: infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, Ljubljana. GURS Geodetska uprava RS, marec 2010.
- Lajevec, D. 2014. Hidrološko-hidravlična študija in karte poplavne in erozijske nevarnosti za Občino Šoštanj. Šoštanj, Občina Šoštanj: 51 f
- Lidar. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016.
http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso (Pridobljeno 18.4.2016)
- Paka. Uradni slovenski turistični portal. 2016.
http://www.slovenia.info/si/reka-potok/Reka-Paka.htm?reka_potok=14281&lng=1 (Pridobljeno 17.4.2016)
- Paka. Wikipedia. 2016.
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Paka> (Pridobljeno 17.4.2016)
- Pidwirny, M. 2004. Vodni krog. Physicalgeography.net. 2016.
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html> (Pridobljeno 26.8.2016)
- Radarski posnetki. Pro-vreme.net. 2016
<http://radarska.meteocenter.eu> (Pridobljeno 22.8.2016)
- Povratne dobe za ekstremne padavine. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016.

Ivnik Dujovič, G. 2016. Razbremenitev Pake v Velenjsko jezero.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.

http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/precip_return_periods_newer/ (Pridobljeno 6.4.2016)

Skutnik, B. 2010. Strokovne podlage s področja upravljanja z vodami za območje OPN Mestne občine Velenje. Velenje, Mestna Občina Velenje: 25 str.

Steinman, F., 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

Šaleška jezera. Mestna občina Velenje. 2016.
<http://www.velenje.si/za-obiskovalce/naravna-in-kulturna-dediscina/jezera> (Pridobljeno 18.4.2016)

Šterbenk, E. (odg. nos.), Pavšek, Z. (sod.) idr. 2011. Šaleška jezera – vodni vir in razvojni izziv. Velenje, Mestna občina Velenje idr.: 246 str.
<http://arhiva.velenje.si/www3/Datoteke/2011/Šaleška%20jezera%20Vodni%20vir%20in%20razvojni%20izziv,%20Erico%202011-05.pdf> (Pridobljeno 16.3.2016)

Vremenski portal. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. 2016.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/> (Pridobljeno 15.3.2016, 20.8.2016)

TTN 5. Ministrstvo za okolje in prostor, GURS Geodetska Uprava Republike Slovenije, 1994

PRILOGE

Priloga A: Podatki padavinskih postaj za potrebe določitve maksimalnih dnevnih padavin

Priloga B: Podatki VP Velenje (gladine in pretoki)

Priloga C: Zabeleženo nihanje gladin Pake ob večjih padavinah

Priloga D: Padavine pri zabeleženih nihanjih gladin in radarski posnetki

Priloga A: Podatki padavinskih postaj za potrebe določitve maksimalnih dnevnih padavin

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Velenje

VELENJE		(lon=15.1, lat=46.4, viš=415m)			
letnica	višina [mm]	čas	letnica	višina [mm]	čas
1961	74.4	10/19/61	1985	60.4	09/04/85
1962	56.4	07/29/62	1986	74	06/15/86
1963	70.1	08/29/63	1987	89	08/05/87
1964	70.7	10/25/64	1988	63.6	06/06/88
1965	59.6	07/05/65	1989	62.8	07/04/89
1966	65.1	07/18/66	1990	52.5	07/11/90
1967	46	09/09/67	1991	60	10/19/91
1968	52.8	12/19/68	1992	68.7	10/30/92
1969	78.8	05/20/69	1993	57.6	10/22/93
1970	55.3	08/09/70	1994	46.5	09/10/94
1971	45.2	07/19/71	1995	57.1	09/15/95
1972	59.8	11/16/72	1996	52.8	06/22/96
1973	104.6	09/25/73	1997	64.7	08/18/97
1974	77.6	10/05/74	1998	110	11/05/98
1975	61.3	07/01/75	1999	56	05/21/99
1976	53.4	10/31/76	2000	41.7	09/01/00
1977	54.3	08/22/77	2001	46.2	09/09/01
1978	90.5	09/28/78	2002	49	06/29/02
1979	68.3	07/01/79	2003	46.6	10/05/03
1980	120.4	10/09/80	2004	46.1	06/21/04
1981	64.6	06/17/81	2005	45.5	02/07/05 27/11/05
1982	77	09/08/82	2010	103.4	09/18/10

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Šoštanj

ŠOŠTANJ		(lon=15.1, lat=46.4, viš=368m)
letnica	višina [mm]	čas
1961	71.1	10/19/61
1962	64.7	09/08/62
1963	67.2	08/29/63
1964	68.2	10/25/64
1965	67.2	07/05/65
1966	38.4	12/03/66
1967	43.4	03/29/67
1968	42.4	05/22/68
1969	72.6	08/22/69
1970	54	07/01/70
1971	42.2	07/19/71
1972	49	08/20/72
1973	120.2	09/25/73
1974	69	10/05/74
1975	54.5	07/01/75
1976	56.1	07/28/76
1977	40.2	11/14/77
1978	72.9	09/28/78
1979	69.5	11/16/79
1980	99.2	10/09/80
1981	45.8	24/09/81 19/07/81
1982	66.4	05/11/82

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Zgornji Razbor

ZGORNJI RAZBOR		(lon=15, lat=46.5, viš=864m)				
letnica	višina [mm]	čas	letnica	višina [mm]	čas	
1961	94.1	10/19/61	1990	100.3	11/01/90	
1962	100.4	09/08/62	1991	58.9	11/05/91	
1963	66.7	08/29/63	1992	91.1	10/18/92	
1964	106.2	10/09/64	1993	73.5	10/22/93	
1965	57.4	07/05/65	1994	68.2	06/13/94	
1966	70.5	12/03/66	1995	78.2	07/16/95	
1967	66.1	11/06/67	1996	71.3	02/20/96	
1968	46.8	05/22/68	1997	69.7	11/08/97	
1969	81.2	07/08/69	1998	81.2	08/28/98	
1970	126.6	07/16/70	1999	64.7	07/23/99	
1971	43.7	08/09/71	2000	69.4	07/09/00	
1972	80.9	08/20/72	2001	63.7	09/15/01	
1973	107.3	09/25/73	2002	57	08/12/02	
1974	53.5	09/11/74	2003	65.6	07/29/03	
					23/05/04	
1975	69.8	07/01/75	2004	47.6	26/06/04	
1976	67.1	10/31/76	2005	71.6	07/06/05	
1977	43.7	11/14/77	2006	45.7	10/04/06	
1978	70.6	09/28/78	2007	72.3	09/19/07	
1982	106.4	11/14/82	2008	63.6	06/06/08	
1983	90.4	10/12/83	2009	64.5	08/04/09	
1984	79.3	09/24/84	2010	81.2	09/18/10	
1985	65.1	06/09/85	2011	60.9	10/08/11	
1986	79.4	11/24/86	2012	96.4	05/13/12	
1987	70.5	07/14/87	2013	67	/	
1988	85.9	09/14/88	2014	68	/	
1989	78.5	07/04/89				

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Šmartno pri Slovenj gradcu

ŠMARTNO PRI SLOVENJ GRADCU		(lon=15.1, lat=46.5, viš=444m)				
letnica	višina [mm]	čas	letnica	višina [mm]	čas	
1961	87.5	10/19/61	1989	60.7	07/04/89	
1962	94.1	09/08/62	1990	68.5	11/01/90	
1963	78.2	08/29/63	1991	61.1	06/28/91	
1964	83.2	10/25/64	1992	72.5	12/06/92	
1965	65.3	08/25/65	1993	55.8	10/22/93	
1966	56.5	12/03/66	1994	86.1	06/13/94	
1967	62.4	06/29/67	1995	60.5	08/29/95	
1968	46	12/19/68	1996	63.4	02/20/96	
1969	69.9	07/08/69	1997	66.7	09/14/97	
1970	78.3	07/16/70	1998	86.1	11/05/98	
1971	44.7	08/09/71	1999	67.1	07/23/99	
1972	58.8	07/11/72	2000	75.6	08/06/00	
1973	119	09/25/73	2001	64	09/15/01	
1974	53.2	10/21/74	2002	57.2	08/06/02	
1975	57.2	07/01/75	2003	78.1	07/29/03	
1976	54.6	07/28/76	2004	56.3	06/26/04	
1977	42	04/09/77	2005	59.3	11/27/05	
1978	62.2	09/28/78	2006	49	09/16/06	
1979	69.7	11/16/79	2007	87.3	09/19/07	
1980	128.7	10/09/80	2008	46.4	08/24/08	
1981	54	07/19/81	2009	71.4	09/05/09	
1982	66.4	09/08/82	2010	79.3	09/18/10	
1983	71.6	10/12/83	2011	60.5	08/09/11	
1984	69.9	09/24/84	2012	78.2	09/13/12	
1985	58.8	06/09/85	2013	49.5	/	
1986	53.8	10/24/86	2014	62.6	/	
1987	73.8	08/05/87	2015	65.9	/	
1988	82.8	09/14/88				

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Mislinja

MISLINJA		(lon=15.2, lat=46.4, viš=589m)			
letnica	višina [mm]	čas	letnica	višina [mm]	čas
1961	87.4	10/19/61	1989	77.6	09/28/89
1962	56.6	05/21/62	1990	79.1	11/01/90
1963	52.4	08/29/63	1991	70.4	07/29/91
1964	85.1	10/09/64	1992	79.6	10/30/92
1965	68.9	07/05/65	1993	52.6	10/22/93
1966	62.1	07/18/66	1994	59.1	04/02/94
1967	73.4	06/01/67	1995	68.6	09/15/95
1968	54.7	09/05/68	1996	65.3	02/20/96
1969	75.4	08/22/69	1997	59.2	09/14/97
1970	69.1	10/21/70	1998	125.3	11/05/98
1971	49.1	11/20/71	1999	66.3	05/21/99
1972	95.7	08/20/72	2000	46.8	08/06/00
1973	111.8	09/25/73	2001	54.3	09/15/01
1974	60.3	10/21/74	2002	48.7	08/12/02
1975	66.7	07/01/75	2003	50.3	11/02/03
1976	48.6	04/27/76	2004	60.9	06/26/04
1977	42.6	08/22/77	2005	73.4	07/02/05
1978	57.4	09/28/78	2006	43.7	03/11/06
1979	56.8	11/16/79	2007	104.3	09/19/07
1980	113.2	10/09/80	2008	60.7	07/14/08
1981	60.6	07/19/81	2009	108.6	09/05/09
1982	65.4	07/18/82	2010	87.6	09/18/10
1983	59.4	10/12/83	2011	57.6	10/08/11
1984	52.8	09/24/84	2012	90.4	11/06/12
1985	62.1	11/11/85	2013	58.9	/
1986	69.7	10/24/86	2014	69.2	/
1987	70.8	08/05/87	2015	67.9	/
1988	58.1	08/22/88			

Preglednica maksimalnih 24-urnih padavin na padavinski postaji Vojnik

VOJNIK		(lon=15.3, lat=46.3, viš=273m)			
letnica	višina [mm]	čas	letnica	višina [mm]	čas
1961	68	/	1988	71.5	/
1962	64.5	/	1989	71.1	/
1963	65.1	/	1990	65.7	/
1964	87	/	1991	74	/
1965	75	/	1992	58.5	/
1966	54.8	/	1993	42	/
1967	52.6	/	1994	43	/
1968	53	/	1995	65	/
1969	85.8	/	1996	59	/
1970	50.1	/	1997	68	/
1971	46.1	/	1998	104.7	/
1972	55	/	1999	77.1	/
1973	77.5	/	2000	47.2	/
1974	64.9	/	2001	41.2	/
1975	43.7	/	2002	57.7	/
1976	46.2	/	2003	39.2	/
1977	55	/	2004	51.2	/
1978	66.5	/	2005	50.1	/
1979	48.7	/	2006	47.3	/
1980	75.3	/	2007	149.7	/
1981	54.1	/	2008	84	/
1982	45.4	/	2009	62.3	/
1983	59	/	2010	90.1	/
1984	47.5	/	2011	51	/
1985	44	/	2012	66.5	/
1986	78.8	/	2014	58.6	/
1987	92.5	/	2015	86.8	/

Priloga B: Podatki VP Velenje (gladine in pretoki)

Preglednica podatkov pretočne krivulje Pake na VP Velenje

vodostaj [cm]	pretok [m ³ /s]
98	0.364
99	0.367
100	0.411
102	0.509
103	0.564
104	0.622
105	0.685
106	0.831
109	0.931
110	1.064
112	1.357
114	1.463
115	1.768
118	1.982
120	2.271
122	2.572
126	2.642
124	2.899
126	3.237
127	3.289
128	3.589
130	3.956
132	4.336

vodostaj [cm]	pretok [m ³ /s]
134	4.729
142	5.046
136	5.134
139	5.43
142	6.419
154	6.855
146	7.327
148	7.794
150	8.27
153	8.997
154	9.213
156	9.74
167	10.136
170	10.85
171	11.092
172	11.337
168	12.823
189	15.766
193	16.877
186	17.708
188	18.189
205	20.342
338	66.409

Priloga C: Zabeleženo nihanje gladin Pake ob večjih padavinah

Preglednica nihanja gladin 21.8.2014

Čas	Gladina [cm]
8/20/2014 13:00	114
8/20/2014 13:30	118
8/20/2014 14:00	115
8/20/2014 14:30	114
8/20/2014 15:00	114
8/20/2014 15:30	115
8/20/2014 16:00	114
8/20/2014 16:30	114
8/20/2014 17:00	114
8/20/2014 17:30	115
8/20/2014 18:00	115
8/20/2014 18:30	116
8/20/2014 19:00	116
8/20/2014 19:30	116
8/20/2014 20:00	116
8/20/2014 20:30	116
8/20/2014 21:00	116
8/20/2014 21:30	116
8/20/2014 22:00	116
8/20/2014 22:30	116
8/20/2014 23:00	116
8/20/2014 23:30	115
8/21/2014 0:00	115
8/21/2014 0:30	116
8/21/2014 1:00	119
8/21/2014 1:30	121
8/21/2014 2:00	125
8/21/2014 2:30	128
8/21/2014 3:00	132
8/21/2014 3:30	141
8/21/2014 4:00	152
8/21/2014 4:30	170
8/21/2014 5:00	181
8/21/2014 5:30	187
8/21/2014 6:00	185
8/21/2014 6:30	182

Čas	Gladina [cm]
8/21/2014 7:00	173
8/21/2014 7:30	164
8/21/2014 8:00	157
8/21/2014 8:30	151
8/21/2014 9:00	153
8/21/2014 9:30	149
8/21/2014 10:00	149
8/21/2014 10:30	145
8/21/2014 11:00	145
8/21/2014 11:30	145
8/21/2014 12:00	142
8/21/2014 12:30	142
8/21/2014 13:00	141
8/21/2014 13:30	141
8/21/2014 14:00	139
8/21/2014 14:30	139
8/21/2014 15:00	135
8/21/2014 15:30	137
8/21/2014 16:00	135
8/21/2014 16:30	133
8/21/2014 17:00	131
8/21/2014 17:30	133
8/21/2014 18:00	131
8/21/2014 18:30	132
8/21/2014 19:00	128
8/21/2014 19:30	130
8/21/2014 20:00	129
8/21/2014 20:30	128
8/21/2014 21:00	128
8/21/2014 21:30	128
8/21/2014 22:00	128
8/21/2014 22:30	128
8/21/2014 23:00	129
8/21/2014 23:30	129
8/22/2014 0:00	130

Preglednica nihanja gladin 1.9.2014

Čas	Gladina [cm]
<i>31/8/2014 18:00</i>	112
<i>31/8/2014 18:30</i>	112
<i>31/8/2014 19:00</i>	112
<i>31/8/2014 19:30</i>	112
<i>31/8/2014 20:00</i>	112
<i>31/8/2014 20:30</i>	112
<i>31/8/2014 21:00</i>	112
<i>31/8/2014 21:30</i>	112
<i>31/8/2014 22:00</i>	123
<i>31/8/2014 22:30</i>	115
<i>31/8/2014 23:00</i>	119
<i>31/8/2014 23:30</i>	131
<i>1/9/2014 0:00</i>	153
<i>1/9/2014 0:30</i>	167
<i>1/9/2014 1:00</i>	177
<i>1/9/2014 1:30</i>	182
<i>1/9/2014 2:00</i>	188
<i>1/9/2014 2:30</i>	184
<i>1/9/2014 3:00</i>	169
<i>1/9/2014 3:30</i>	167
<i>1/9/2014 4:00</i>	171
<i>1/9/2014 4:30</i>	176
<i>1/9/2014 5:00</i>	182
<i>1/9/2014 5:30</i>	181
<i>1/9/2014 6:00</i>	191
<i>1/9/2014 6:30</i>	190
<i>1/9/2014 7:00</i>	188
<i>1/9/2014 7:30</i>	183
<i>1/9/2014 8:00</i>	176
<i>1/9/2014 8:30</i>	168

Čas	Gladina [cm]
<i>1/9/2014 9:00</i>	170
<i>1/9/2014 9:30</i>	168
<i>1/9/2014 10:00</i>	163
<i>1/9/2014 10:30</i>	160
<i>1/9/2014 11:00</i>	160
<i>1/9/2014 11:30</i>	159
<i>1/9/2014 12:00</i>	160
<i>1/9/2014 12:30</i>	155
<i>1/9/2014 13:00</i>	156
<i>1/9/2014 13:30</i>	155
<i>1/9/2014 14:00</i>	155
<i>1/9/2014 14:30</i>	152
<i>1/9/2014 15:00</i>	150
<i>1/9/2014 15:30</i>	148
<i>1/9/2014 16:00</i>	146
<i>1/9/2014 16:30</i>	146
<i>1/9/2014 17:00</i>	146
<i>1/9/2014 17:30</i>	143
<i>1/9/2014 18:00</i>	144
<i>1/9/2014 18:30</i>	142
<i>1/9/2014 19:00</i>	140
<i>1/9/2014 19:30</i>	141
<i>1/9/2014 20:00</i>	140
<i>1/9/2014 20:30</i>	140
<i>1/9/2014 21:00</i>	140
<i>1/9/2014 21:30</i>	138
<i>1/9/2014 22:00</i>	139
<i>1/9/2014 22:30</i>	138
<i>1/9/2014 23:00</i>	138
<i>1/9/2014 23:30</i>	138

Preglednica nihanja gladin 23.6.2015

Čas	Gladina [cm]
23/6/2015 0:00	105
23/6/2015 0:30	105
23/6/2015 1:00	105
23/6/2015 1:30	104
23/6/2015 2:00	104
23/6/2015 2:30	104
23/6/2015 3:00	104
23/6/2015 3:30	104
23/6/2015 4:00	104
23/6/2015 4:30	104
23/6/2015 5:00	104
23/6/2015 5:30	105
23/6/2015 6:00	104
23/6/2015 6:30	104
23/6/2015 7:00	105
23/6/2015 7:30	105
23/6/2015 8:00	105
23/6/2015 8:30	106
23/6/2015 9:00	106
23/6/2015 9:30	108
23/6/2015 10:00	130
23/6/2015 10:30	125
23/6/2015 11:00	123
23/6/2015 11:30	125
23/6/2015 12:00	132
23/6/2015 12:30	144
23/6/2015 13:00	148
23/6/2015 13:30	147
23/6/2015 14:00	149
23/6/2015 14:30	153
23/6/2015 15:00	157
23/6/2015 15:30	164
23/6/2015 16:00	172
23/6/2015 16:30	172
23/6/2015 17:00	172
23/6/2015 17:30	169
23/6/2015 18:00	171

Čas	Gladina [cm]
23/6/2015 18:30	165
23/6/2015 19:00	161
23/6/2015 19:30	156
23/6/2015 20:00	157
23/6/2015 20:30	154
23/6/2015 21:00	152
23/6/2015 21:30	154
23/6/2015 22:00	154
23/6/2015 22:30	154
23/6/2015 23:00	154
23/6/2015 23:30	155
24/6/2015 0:00	153
24/6/2015 0:30	152
24/6/2015 1:00	151
24/6/2015 1:30	150
24/6/2015 2:00	146
24/6/2015 2:30	146
24/6/2015 3:00	146
24/6/2015 3:30	144
24/6/2015 4:00	144
24/6/2015 4:30	142
24/6/2015 5:00	140
24/6/2015 5:30	138
24/6/2015 6:00	140
24/6/2015 6:30	138
24/6/2015 7:00	137
24/6/2015 7:30	137
24/6/2015 8:00	133
24/6/2015 8:30	137
24/6/2015 9:00	134
24/6/2015 9:30	134
24/6/2015 10:00	133
24/6/2015 10:30	131
24/6/2015 11:00	132
24/6/2015 11:30	132
24/6/2015 12:00	131
24/6/2015 12:30	131

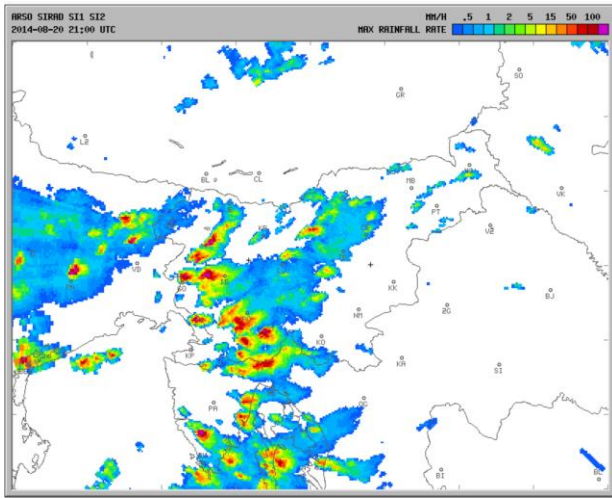
Čas	Gladina [cm]
24/6/2015 13:00	131
24/6/2015 13:30	130
24/6/2015 14:00	131
24/6/2015 14:30	129
24/6/2015 15:00	129
24/6/2015 15:30	128
24/6/2015 16:00	129
24/6/2015 16:30	128
24/6/2015 17:00	128
24/6/2015 17:30	128
24/6/2015 18:00	128
24/6/2015 18:30	127
24/6/2015 19:00	127
24/6/2015 19:30	126
24/6/2015 20:00	127
24/6/2015 20:30	126
24/6/2015 21:00	126
24/6/2015 21:30	126
24/6/2015 22:00	126
24/6/2015 22:30	126
24/6/2015 23:00	126
24/6/2015 23:30	122
25/6/2015 0:00	122
25/6/2015 0:30	122
25/6/2015 1:00	122
25/6/2015 1:30	121
25/6/2015 2:00	121
25/6/2015 2:30	121
25/6/2015 3:00	121
25/6/2015 3:30	120
25/6/2015 4:00	120
25/6/2015 4:30	121
25/6/2015 5:00	121

Priloga D: Padavine pri zabeleženih nihanjih gladin in radarski posnetki

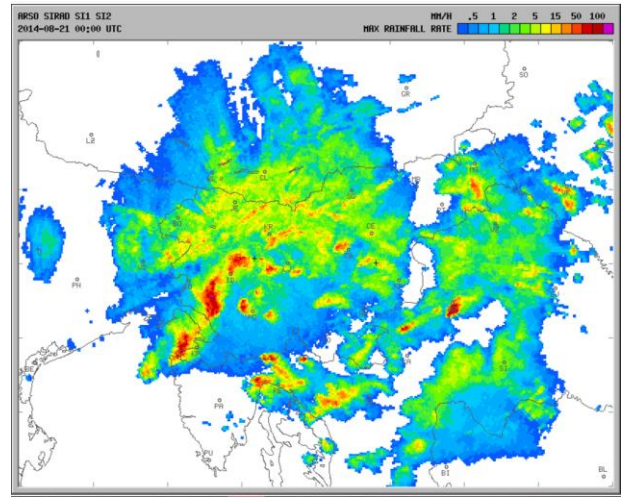
Preglednica padavin 21.8.2014

Čas	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
8/20/2014 13:00	0	0
8/20/2014 13:30	0	0
8/20/2014 14:00	0	0
8/20/2014 14:30	0	0
8/20/2014 15:00	0	0.2
8/20/2014 15:30	1.5	1.7
8/20/2014 16:00	1	0.8
8/20/2014 16:30	1.1	0.3
8/20/2014 17:00	0.1	0.3
8/20/2014 17:30	0	0
8/20/2014 18:00	0	0
8/20/2014 18:30	0.6	0
8/20/2014 19:00	0	0
8/20/2014 19:30	0	0
8/20/2014 20:00	0	0
8/20/2014 20:30	0.1	0
8/20/2014 21:00	0	0
8/20/2014 21:30	0.2	0
8/20/2014 22:00	0.1	0
8/20/2014 22:30	0.4	0.1
8/20/2014 23:00	0.2	0.4
8/20/2014 23:30	0	2.9
8/21/2014 0:00	1.4	0.1
8/21/2014 0:30	0.1	0
8/21/2014 1:00	1.7	0
8/21/2014 1:30	5.4	2.1
8/21/2014 2:00	4.4	2.8
8/21/2014 2:30	3.9	2.8
8/21/2014 3:00	2.9	3.9
8/21/2014 3:30	3.1	10.4
8/21/2014 4:00	3.9	3.9
8/21/2014 4:30	0.3	0.8
8/21/2014 5:00	0.1	0.1
8/21/2014 5:30	0	0
8/21/2014 6:00	0	0
8/21/2014 6:30	0	0

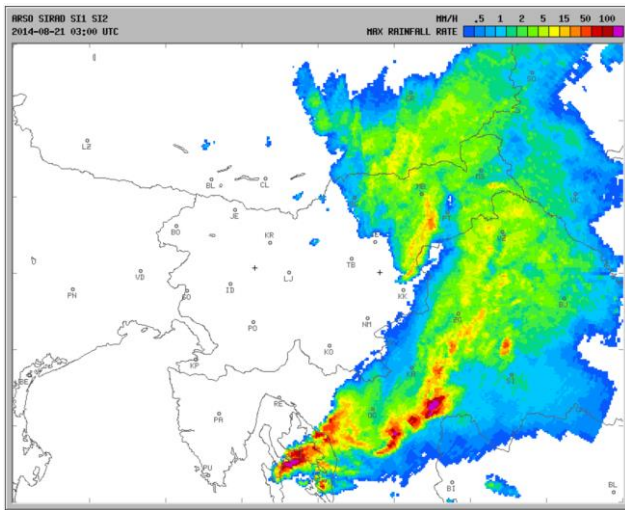
Čas	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
8/21/2014 7:00	0	0
8/21/2014 7:30	0	0
8/21/2014 8:00	0	0
8/21/2014 8:30	0	0
8/21/2014 9:00	0	0
8/21/2014 9:30	0	0
8/21/2014 10:00	0	0
8/21/2014 10:30	0.1	0
8/21/2014 11:00	0	0
8/21/2014 11:30	0	0
8/21/2014 12:00	0	0
8/21/2014 12:30	0	0
8/21/2014 13:00	0	0
8/21/2014 13:30	0	0
8/21/2014 14:00	0	0
8/21/2014 14:30	0	0
8/21/2014 15:00	0	0
8/21/2014 15:30	0	0
8/21/2014 16:00	0	0
8/21/2014 16:30	0	0
8/21/2014 17:00	0	0
8/21/2014 17:30	0	0
8/21/2014 18:00	0	0
8/21/2014 18:30	0	0
8/21/2014 19:00	0	0
8/21/2014 19:30	0	0
8/21/2014 20:00	0	0
8/21/2014 20:30	0	0
8/21/2014 21:00	0	0
8/21/2014 21:30	0	0
8/21/2014 22:00	0	0
8/21/2014 22:30	0	0
8/21/2014 23:00	0	0
8/21/2014 23:30	0	0
8/22/2014 0:00	0	0



20.8.2014, 23:00 h CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



21.8.2014, 2:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)

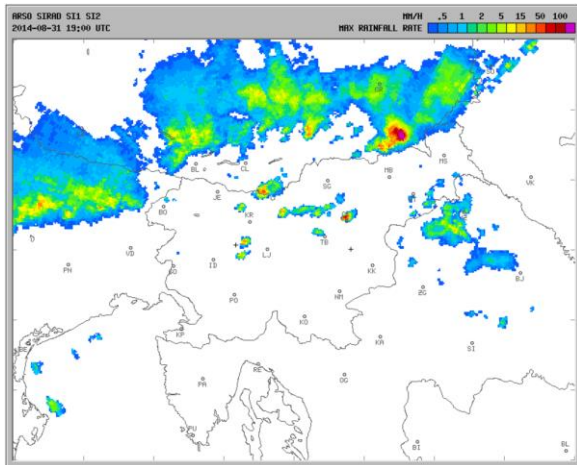


21.8.2014, 5:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)

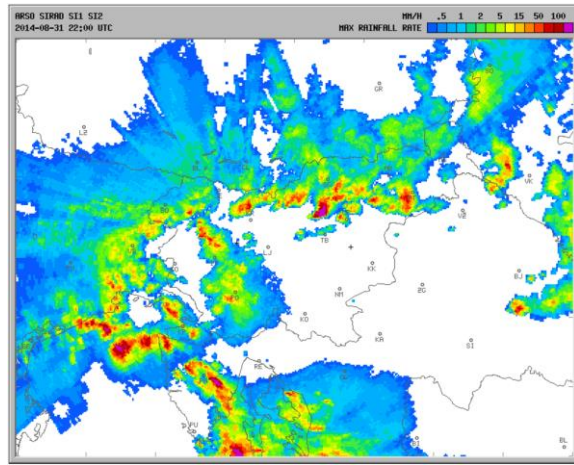
Preglednica padavin 1.9.2014

Čas	Velenje [mm]	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
8/31/2014 18:00	0	0	0
8/31/2014 18:30	0	0	0
8/31/2014 19:00	0	0	0
8/31/2014 19:30	0	0	0
8/31/2014 20:00	0	0	0
8/31/2014 20:30	0.4	0	0
8/31/2014 21:00	0.1	0	0.1
8/31/2014 21:30	0.5	0	0.2
8/31/2014 22:00	3.6	1.3	4.7
8/31/2014 22:30	2.3	8.2	4
8/31/2014 23:00	1.4	0.9	13.7
8/31/2014 23:30	4.7	1.9	6.2
9/1/2014 0:00	6.5	3.2	4.6
9/1/2014 0:30	2.1	1.8	4
9/1/2014 1:00	1.2	2.9	2.2
9/1/2014 1:30	0.2	0.6	2.5
9/1/2014 2:00	2.1	0.7	1.5
9/1/2014 2:30	3.1	2.8	2.9
9/1/2014 3:00	3.7	5.2	4.5
9/1/2014 3:30	3.1	5.5	4.4
9/1/2014 4:00	2.2	3.7	2.4
9/1/2014 4:30	2.6	2.6	1.5
9/1/2014 5:00	2	1.3	2.4
9/1/2014 5:30	1.5	1.3	1.7
9/1/2014 6:00	0.4	0.7	0.7
9/1/2014 6:30	0.1	0.6	0.1
9/1/2014 7:00	0.1	0.8	0.3
9/1/2014 7:30	0.1	0.7	0.5
9/1/2014 8:00	0	0.2	0.3
9/1/2014 8:30	0	0.1	0.4

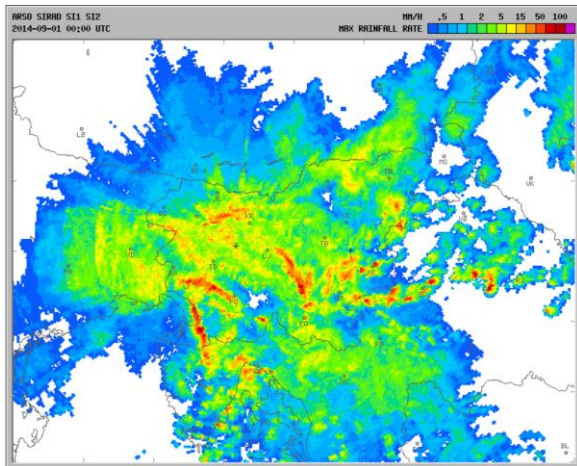
Čas	Velenje [mm]	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
9/1/2014 9:00	0	0	0.5
9/1/2014 9:30	0	0.1	0.5
9/1/2014 10:00	0	0.1	0.5
9/1/2014 10:30	0	0.2	0.4
9/1/2014 11:00	0	0.1	0.7
9/1/2014 11:30	0	0.1	0.8
9/1/2014 12:00	0	0	0.7
9/1/2014 12:30	0	0	0.7
9/1/2014 13:00	0	0	0.9
9/1/2014 13:30	0	0	1
9/1/2014 14:00	0	0	1.1
9/1/2014 14:30	0	0	0.3
9/1/2014 15:00	0	0	0
9/1/2014 15:30	0	0	0
9/1/2014 16:00	0	0	0
9/1/2014 16:30	0	0	0
9/1/2014 17:00	0	0	0
9/1/2014 17:30	0	0	0
9/1/2014 18:00	0	0	0
9/1/2014 18:30	0	0	0
9/1/2014 19:00	0	0	0
9/1/2014 19:30	0	0	0
9/1/2014 20:00	0	0	0
9/1/2014 20:30	0	0	0
9/1/2014 21:00	0	0	0
9/1/2014 21:30	0	0	0
9/1/2014 22:00	0	0	0
9/1/2014 22:30	0	0	0
9/1/2014 23:00	0	0	0
9/1/2014 23:30	0	0	0



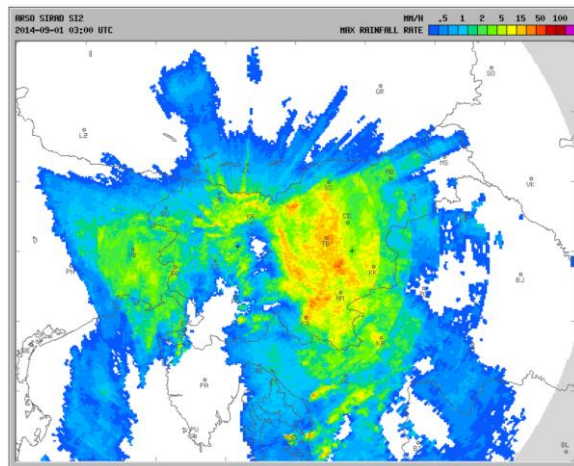
31.8.2014, 21:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



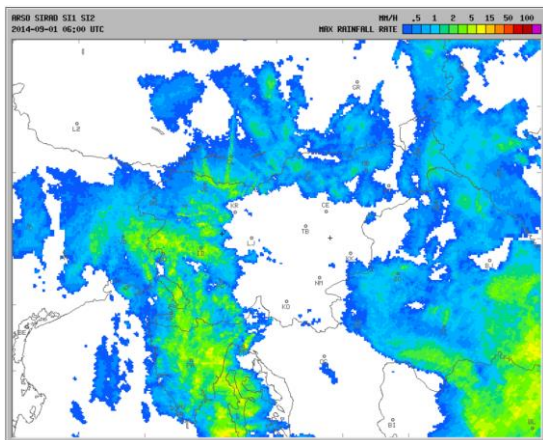
1.9.2014, 0:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



1.9.2014, 2:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



1.9.2014, 5:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



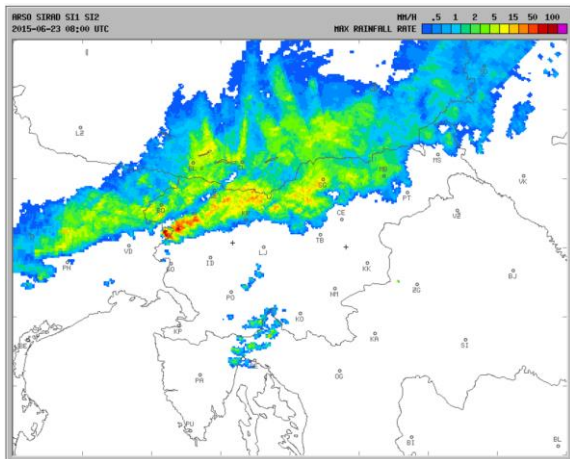
1.9.2014, 8:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)

Preglednica padavin 23.6.2015 **Preglednica padavin**

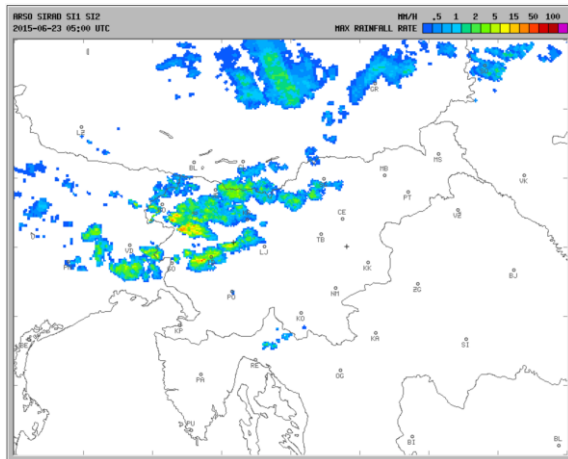
Čas	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
23/6/2015 0:00	0	0
23/6/2015 0:30	0	0
23/6/2015 1:00	0	0
23/6/2015 1:30	0	0
23/6/2015 2:00	0	0
23/6/2015 2:30	0	0
23/6/2015 3:00	0	0
23/6/2015 3:30	0	0
23/6/2015 4:00	0	0
23/6/2015 4:30	0	0
23/6/2015 5:00	0	0
23/6/2015 5:30	0	0
23/6/2015 6:00	0	0
23/6/2015 6:30	0.2	0
23/6/2015 7:00	0.7	0.7
23/6/2015 7:30	0.2	0
23/6/2015 8:00	0.5	0.3
23/6/2015 8:30	1.6	0.6
23/6/2015 9:00	2.9	1.7
23/6/2015 9:30	12.8	2.2
23/6/2015 10:00	6.5	8.2
23/6/2015 10:30	3.1	5
23/6/2015 11:00	2.3	3.2
23/6/2015 11:30	2.6	2.2
23/6/2015 12:00	3.2	1.3
23/6/2015 12:30	3	1.9
23/6/2015 13:00	3.7	2.1
23/6/2015 13:30	3.3	2.3
23/6/2015 14:00	3	4.6
23/6/2015 14:30	0.9	3.7
23/6/2015 15:00	0.7	3.6
23/6/2015 15:30	0.3	3.6
23/6/2015 16:00	0.1	2.9
23/6/2015 16:30	0	1.1
23/6/2015 17:00	0	0
23/6/2015 17:30	0	0
23/6/2015 18:00	0.3	0

Čas	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
23/6/2015 18:30	2.1	1.8
23/6/2015 19:00	2.3	1.9
23/6/2015 19:30	0.9	1.4
23/6/2015 20:00	0.5	1.6
23/6/2015 20:30	0.1	0.9
23/6/2015 21:00	1	1.3
23/6/2015 21:30	0.6	1
23/6/2015 22:00	1.1	1.1
23/6/2015 22:30	0.7	0.9
23/6/2015 23:00	0.3	0.4
23/6/2015 23:30	0.6	0.7
24/6/2015 0:00	0.5	0.8
24/6/2015 0:30	0.2	0.5
24/6/2015 1:00	0.2	0.5
24/6/2015 1:30	0.1	0.3
24/6/2015 2:00	0	0.1
24/6/2015 2:30	0.1	0.3
24/6/2015 3:00	0	0
24/6/2015 3:30	0	0
24/6/2015 4:00	0	0
24/6/2015 4:30	0	0
24/6/2015 5:00	0	0
24/6/2015 5:30	0	0
24/6/2015 6:00	0	0
24/6/2015 6:30	0	0
24/6/2015 7:00	0	0
24/6/2015 7:30	0	0
24/6/2015 8:00	0	0
24/6/2015 8:30	0	0.7
24/6/2015 9:00	0	0.2
24/6/2015 9:30	0	0
24/6/2015 10:00	0	0
24/6/2015 10:30	0	0
24/6/2015 11:00	0	0
24/6/2015 11:30	0	0
24/6/2015 12:00	0	0
24/6/2015 12:30	0	0

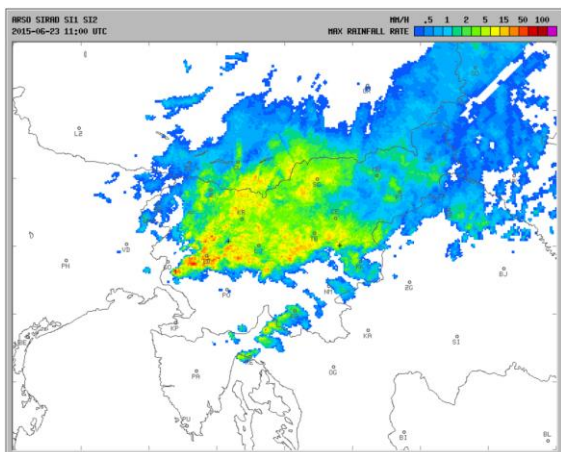
Čas	Šmartno pri Slovenj Gradcu [mm]	Rogla [mm]
24/6/2015 13:00	0	0
24/6/2015 13:30	0	0
24/6/2015 14:00	0	0
24/6/2015 14:30	0	0
24/6/2015 15:00	0	0
24/6/2015 15:30	0	3.5
24/6/2015 16:00	0	0.1
24/6/2015 16:30	0	0
24/6/2015 17:00	0	0
24/6/2015 17:30	0	0
24/6/2015 18:00	0	0
24/6/2015 18:30	0	0
24/6/2015 19:00	0	0
24/6/2015 19:30	0	0
24/6/2015 13:00	0	0
24/6/2015 13:30	0	0
24/6/2015 14:00	0	0
24/6/2015 14:30	0	0
24/6/2015 20:00	0	0
24/6/2015 20:30	0	0
24/6/2015 21:00	0	0
24/6/2015 21:30	0	0
24/6/2015 22:00	0	0
24/6/2015 22:30	0	0
24/6/2015 23:00	0	0
24/6/2015 23:30	0	0
25/6/2015 0:00	0	0
25/6/2015 0:30	0	0
25/6/2015 1:00	0	0
25/6/2015 1:30	0	0
25/6/2015 2:00	0	0
25/6/2015 2:30	0	0
25/6/2015 3:00	0	0
25/6/2015 3:30	0	0
25/6/2015 4:00	0	0
25/6/2015 4:30	0	0
25/6/2015 5:00	0	0



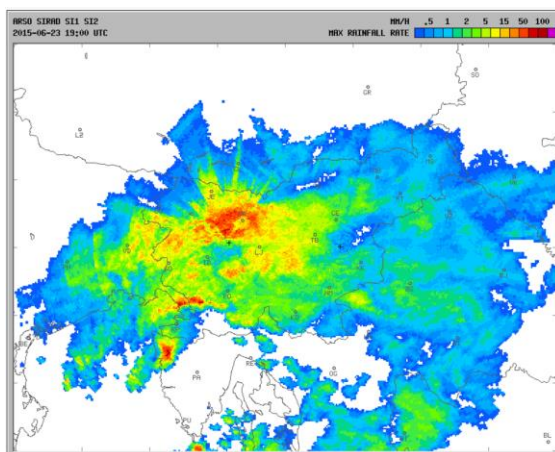
23.6.2015, 2:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



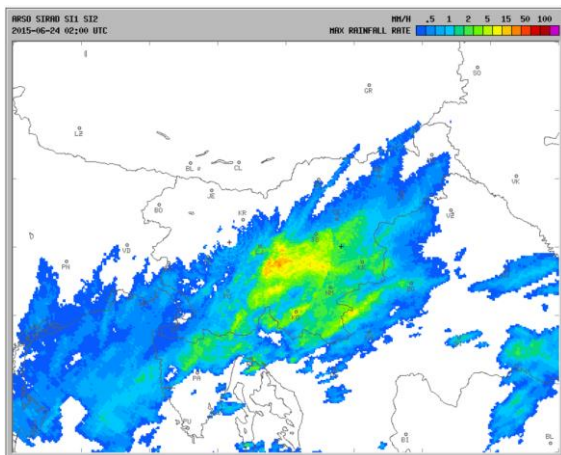
23.6.2015, 7:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



23.6.2015, 13:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



23.6.2015, 21:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)



24.6.2015, 4:00 CET (Pro-vreme.net, Pridobljeno 22.8.2016)