

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:

Koranter, T., 2014. Analiza vpliva zadrževalnikov visokih voda na hidrogram odtoka: primer zadrževalnika visokih voda nad Poljanami nad Škofjo Loko. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Rusjan, S., somentor Sodnik, J.): 44 str.

Datum arhiviranja:03-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Koranter, T., 2014. Analiza vpliva zadrževalnikov visokih voda na hidrogram odtoka: primer zadrževalnika visokih voda nad Poljanami nad Škofjo Loko. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Rusjan, S., co-supervisor Sodnik, J.): 44 pp.

Archiving Date: 03-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVA IN
OKOLJSKEGA INŽENIRSTVA

Kandidat:

TILEN KORANTER

ANALIZA VPLIVA ZADRŽEVALNIKOV VISOKIH VODA NA HIDROGRAM ODTOKA: PRIMER ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NAD POLJANAMI NAD ŠKOFJO LOKO

Diplomska naloga št.: 23/B-VOI

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FLOOD CONTROL RESERVOIRS ON RUNOFF HYDROGRAPH: EXAMPLE OF FLOOD CONTROL RESERVOIR ABOVE POLJANE NAD ŠKOFJO LOKO

Graduation thesis No.: 23/B-VOI

Mentor:
doc. dr. Simon Rusjan

Predsednik komisije:

Somentor:
asist. mag. Jošt Sodnik

Ljubljana, 11. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Tilen Koranter izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Analiza vpliva zadrževalnikov visokih voda na hidrogram odtoka: primer zadrževalnika visokih voda nad Poljanami nad Škofjo Loko**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 03.09.14

Tilen Koranter

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK: 556.166:627.8(497.4)(043.2)

Avtor: Tilen Koranter

Mentor: doc. dr. Simon Rusjan, univ.dipl.inž.vod. in kom. inž.

Somentor: asist. mag. Jošt Sodnik, univ.dipl.inž.grad.

Naslov: Analiza vpliva zadrževalnikov visokih voda na hidrogram odtoka: primer zadrževalnika visokih voda nad Poljanami nad Škofjo Loko

Tip dokumenta: diplomska naloga – univerzitetni študij

Obseg in oprema: 44 str., 11 preg., 24 sl., 2 pril.

Ključne besede: poplave, zadrževalnik visokih voda, Ločivnica, Poljane nad Škofjo Loko, protipoplavna ureditev, hidrogram odtoka, histogram, HEC-HMS, hidrološki model

Izvleček

Cilj diplomske naloge je določiti vpliv zadrževalnika visokih voda na hidrogram odtoka vodotoka Ločivnica. Zaradi vse večje urbanizacije okolja ter predvsem poplavnih območji se povečuje poplavna ogroženost teh območji in obenem zmanjšujejo možnosti ureditve tega območja. Del naselja Poljan nad Škofjo Loko sega v območje višje poplavne ogroženosti. V študijah protipoplavne ureditve tega območja je kot edini predlagan ukrep, ki bi imel večji učinek na poplavno varnost Poljan, gradnja zadrževalnika visokih voda nad naseljem. Glavni pomen visokovodnega zadrževalnika je učinkovito zmanjševanje poplavnega vala in zagotavljanje poplavne varnosti dolvodnega območja. Suhi zadrževalnik je tip visokovodnega zadrževalnika pri katerem se bazen oziroma območje namenjeno za zadrževanje poplavnega vala napolni le v času visokih voda. V diplomski nalogi je narejen hidrološki model, ki na podlagi padavin, njihove porazdelitve v padavinskem dogodku in sestave terena določi hidrograme površinskega odtoka voda iz povodja Ločivnice. S hidrogrami smo dobili oblike poplavnih valov in njihove konice. Z izbiro projektnega vhodnega hidrograma določene povratne dobe in določitevijo maksimalnega projektnega iztoka iz zadrževalnika smo izračunali potrebne minimalne prostornine visokovodnega zadrževalnika. Narejena je bila analiza vpliva izračunanih prostornin zadrževalnika v primeru dejanskega padavinskega dogodka v preteklosti. Na podlagi terenskega ogleda območja smo podali predlagano lokacijo in izvedbo suhega zadrževalnika visokih voda na vodotoku Ločivnica nad naseljem Poljane nad Škofjo Loko. Ugotovljeno je bilo, da bi predlagan zadrževalnik pozitivno vplival na zadrževanje 100-letne poplavne vode Ločivnice, s tem pa bi se povečala poplavna varnost dolvodno ležečih površin.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.166:627.8(497.4)(043.2)

Author: Tilen Koranter

Supervisor: Assist. Simon Rusjan, Ph. D.

Co-supervisor: Assist. Jošt Sodnik, M. Sc.

Title: Analysis of the influence of flood-control reservoirs on runoff hydrograph: example of the flood-control reservoir above Poljane nad Škofjo Loko

Document Type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 44 p., 11 tab., 24 fig., 2 ann.

Keywords: floods, flood control reservoir, Ločivnica, Poljane nad Škofjo Loko, hydrograph, hydrological model

Abstract

The aim of the thesis was to determine the effect of flood control reservoir on runoff hydrograph of the stream Ločivnica. Increasing urbanization of the environment and particularly flood-prone areas increases the risk of floods in these areas, while reducing the possibility of proper regulation of the area. Part of the town Poljane nad Škofjo Loko extends into the area of higher flood risk. In studies of flood regulation of this area is proposed as the only measure, that would have a greater influence on flood safety of Poljane, would be the construction of flood control reservoir above Poljane. The main importance of the flood control reservoir is an effective reduction of flood wave and flood protection of the downstream areas. Dry flood control reservoir is a type of reservoirs in which the pool or area intended for the retention of flood, fills only during high water. In the thesis we made hydrological model, based on rainfall, its distribution in precipitation event and type of the terrain determines runoff hydrographs from the contribution area of Ločivnica. With hydrographs we determined forms of flood waves and their peak. By selecting the right input hydrograph with certain return period and setting the maximum outflow from the reservoir, we calculated the minimum required volumes of the flood control reservoir. Analysis of the influence of the calculated volumes of the reservoir in case of actual rainfall event in the past, was made. On the basis of field examination of the area, we determined the proposed location and type of construction of a flood control reservoir on the stream Ločivnica above Poljane nad Škofjo Loko. It has been found that the proposed reservoir has a positive influence on the retention of the 100-year flood water of stream Ločivnica, thereby increasing the flood protection of downstream areas.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Simonu Rusjanu iz Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani ter somentorju asist. mag. Joštu Sodniku iz podjetja VGP Kranj d.d..

Zahvalil bi se tudi svojima staršema, ki sta me podpirala in vzpodbujala v času dosedanjega študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Splošno	1
1.2	Cilji in namen diplomske naloge	1
2	PROTIPOPLAVNE UREDITVE	2
2.1	Odtok površinskih voda	2
2.2	Poplave in protipoplavni ukrepi	3
2.2.1	Poplave	3
2.2.2	Protipoplavni ukrepi	4
2.3	Zadrževalniki	5
2.3.1	Delitev zajeznih zgradb	5
2.3.1.1	Delitev glede na tip uporabe	5
2.3.1.2	Delitev glede na način izvedbe spremljajočih konstrukcij (pregrad)	6
2.3.1.3	Delitev glede na tip materiala iz katerega so zgrajene	6
2.3.2	Visokovodni zadrževalniki	6
2.3.3	Princip delovanja suhega visokovodnega zadrževalnika	7
2.3.3.1	Izpust	8
3	VHODNI PODATKI ZA ANALIZO VPLIVA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA HIDROGRAM ODTOKA POVODJA LOČIVNICE	10
3.1	Opis značilnosti povodja vodotoka Ločivnica	10
3.1.1	Topografske karakteristike povodja Ločivnice	11
3.1.2	Programsko orodje SAGA GIS	13
3.2	Opis obstoječe poplavne ogroženosti območji ob vodotoku Ločivnica	13
3.3	Možne ureditve protipoplavnih ukrepov na vodotoku Ločivnica	15
4	MODELIRANJE POVRŠINSKEGA ODTOKA POVODJA LOČIVNICE	17
4.1	Programsko orodje HEC-HMS	17
4.2	Izdelava hidrološkega modela	17

4.3	Padavine.....	18
4.3.1	Določanje sintetičnih razporeditev padavin	19
4.3.1.1	Enakomerna razporeditev trajanja padavin	20
4.3.1.2	Standardne projektne padavine SCS Tip II.....	20
4.3.1.3	Frequency Storm	21
4.4	Padavinske izgube.....	22
4.4.1	Izračun koeficienta CN	22
4.5	Sintetični hidrogrami enote.....	26
4.5.1	SCS HE	26
4.6	Rezultati hidrološkega modela pri stanju brez zadrževalnika	27
5	ANALIZA VPLIVA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA HIDROGRAM	
	ODTOKA.....	31
5.1	Določitev karakteristik zadrževalnika visokih voda	31
5.2	Določitev potrebne prostornine zadrževalnika visokih voda	32
5.3	Vpliv izračunanih prostornin zadrževalnika v primeru dejanskega padavinskega dogodka	34
5.3.1	Ekstremen padavinski dogodek merjen na padavinski postaji Davča.....	34
5.3.2	Ekstremen padavinski dogodek merjen na samodejni postaji Boršt pri Gorenji Vasi.....	36
5.4	SWOT analiza suhega zadrževalnika visokih voda na povodju Ločivnice	38
5.5	Predlagana lokacija zadrževalnika	38
6	ZAKLJUČEK.....	41
	VIRI	43

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: IZRAČUNANI TOPOGRAFSKI PARAMETRI POVODJA	12
PREGLEDNICA 2: VIŠINA EKSTREMNIH PADAVIN ZA POVRATNE DOBE, IZRAČUNANIH PO GUMBELOVI METODI ZA POSTAJO ČRNI VRH NAD POLHOVIM GRADCEM, OBDOBJE MERJENIH PADAVIN: 1976 – 2008 (ARSO, 2009)	19
PREGLEDNICA 3: RABA TAL PRISPEVNEGA OBMOČJA	24
PREGLEDNICA 4: ODTOČNI POTENCIALI ZEMLJINE GLEDE NA VRSTO TAL	25
PREGLEDNICA 5: VREDNOST KOEFICIENTA CN GLEDE NA RAZRED RABE TAL IN ODTOČNI POTENCIAL ZEMLJINE	25
PREGLEDNICA 6: VREDNOSTI PARAMETROV PADAVINSKIH IZGUB PO SCS-METODI ZA POVODJE LOČIVNICE	25
PREGLEDNICA 7: PRIMERJAVA REZULTATOV HIDROLOŠKEGA MODELIRANJA Z UPORABO RAZLIČNIH RAZPOREDITEV SINTETIČNIH PADAVIN RAZLIČNEGA TRAJANJA:	30
PREGLEDNICA 8: REZULTATI IZRAČUNANIH MINIMALNIH POTREBNIH PROSTORNIN ZADRŽEVALNIKA	33
PREGLEDNICA 9: REZULTATI HIDROLOŠKEGA MODELA LOČIVNICE NA PRIMERU EKSTREMNEGA PADAVINSKEGA DOGODKA NA PAD. POSTAJI DAVČA	35
PREGLEDNICA 10: PRIMERJAVA IZRAČUNANIH MINIMALNIH POTREBNIH PROSTORNIN ZADRŽEVALNIKA	36
PREGLEDNICA 11: SWOT ANALIZA PREDLAGANEGA SUHEGA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA POVODJU LOČIVNICE	38

KAZALO SLIK

SLIKA 1: SHEMATIČNI PRIKAZ HIDROLOŠKEGA KROGA (KARAMOUZ IN SOD., 2003)	2
SLIKA 2: POSAMEZNI DELI ODTOKA PADAVIN (BRILLY IN ŠRAJ 2006)	3
SLIKA 3: DELEŽI POSAMEZNIH ODTOKOV NA HIDROGRAMU (BRILLY IN ŠRAJ, 2006)	3
SLIKA 4: HIDROGRAM VTOKA IN IZTOKA IZ ZADRŽEVALNIKA (BRILLY IN ŠRAJ, 2006)	6
SLIKA 5: NAČIN DELOVANJA ZADRŽEVALNIKA Z NENADZOROVANIM IN NADZOROVANIM IZTOKOM (KOCJAN, 2010, PRIREJENO PO MUTH ET AL., 1996)	8
SLIKA 6: ENOSTAVEN ZADRŽEVALNIK (BRILLY IN ŠRAJ, 2006 PRIREJENO PO US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2000)	8
SLIKA 7: LOKACIJA POVODJA LOČIVNICE NA ZEMLJEVIDU SLOVENIJE (HTTP://WWW.HARVARDI.COM/ZEMLJEVIDI/SLOVENIJA_RELIEF.JPG , VIDENO 10.8.14)	10
SLIKA 8: PRISPEVNO OBMOČJE LOČIVNICE Z VODOTOKI	11
SLIKA 9: DMR PRISPEVNE POVRŠINE	12
SLIKA 10: NAKLON RELIEFA PRISPEVNE POVRŠINE	12
SLIKA 11: PRITOK JAZBICA IN ZGORNJI DEL PRISPEVNE POVRŠINE LOČIVNICE (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	13
SLIKA 12: LOČIVNICA V SPODNJEM TOKU, KO TEČE SKOZI NASELJE POLJANE NAD ŠKOFJO LOKO (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	14
SLIKA 13: IZLIV LOČIVNICE V POLJANSKO SORO (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	14
SLIKA 14: BETONSKI MOST ČEZ LOČIVNICO V SLABEM STANJU (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	16
SLIKA 15: LESENI MOST ČEZ LOČIVNICO V SLABEM STANJU (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	16
SLIKA 16: POŠKODOVANA UREDITEV BREŽIN (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	16
SLIKA 17: PREKOMERNA ZARAŠČENOST STRUGE (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	16
SLIKA 18: MREŽA PADAVINSKIH POSTAJ V SLOVENIJI (HTTP://WWW.METEO.SI/ , VIDENO 11.8.14)	18
SLIKA 19: RABA TAL PRISPEVNEGA OBMOČJA	23
SLIKA 20: PEDOLOŠKA KARTA PRISPEVNEGA OBMOČJA	24
SLIKA 21: SKICA PREDLAGANEGA SUHEGA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA	31
SLIKA 22: LOKACIJI IN PROSTORNINI PREDVIDENIH ZADRŽEVALNIKOV V ŠTUDIJI UREDITVE POVODJA POLJANSKE SORO (VGI, 1993)	39
SLIKA 23: PREDLAGANA LOKACIJA SUHEGA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA VODOTOKU LOČIVNICA NAD POLJANAMI NAD ŠKOFJO LOKO	40
SLIKA 24: POGLED NA DEL OBMOČJA PREDLAGANE LOKACIJE ZADRŽEVALNIKA (AVTOR, TERENSKI OGLED, 24.4.2014)	40

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: HISTOGRAM ENAKOMERNE PORAZDELITVE PADAVIN, 24 URNO TRAJANJE PADAVINSKEGA DOGODKA	20
GRAFIKON 2: HISTOGRAM SCS TIP II MODELA PORAZDELITVE PADAVIN, 24 URNO TRAJANJE PADAVINSKEGA DOGODKA	21
GRAFIKON 3: HISTOGRAM FREQUENCY STORM MODELA PORAZDELITVE PADAVIN, 24 URNO TRAJANJE PADAVINSKEGA DOGODKA	21
GRAFIKON 4: PRIMERJAVA HIDROGRAMOV ODTOKA IZ POVODJA BREZ UREJENEGA ZADRŽEVALNIKA PRI 60 MINUTNEM TRAJANJU NEVIHTE	27
GRAFIKON 5: PRIMERJAVA HIDROGRAMOV ODTOKA IZ POVODJA BREZ UREJENEGA ZADRŽEVALNIKA PRI 120 MINUTNEM TRAJANJU NEVIHTE	28
GRAFIKON 6: PRIMERJAVA HIDROGRAMOV ODTOKA IZ POVODJA BREZ UREJENEGA ZADRŽEVALNIKA PRI 360 MINUTNEM TRAJANJU NEVIHTE	28
GRAFIKON 7: PRIMERJAVA HIDROGRAMOV ODTOKA IZ POVODJA BREZ UREJENEGA ZADRŽEVALNIKA PRI 720 MINUTNEM TRAJANJU NEVIHTE	29
GRAFIKON 8: PRIMERJAVA HIDROGRAMOV ODTOKA IZ POVODJA BREZ UREJENEGA ZADRŽEVALNIKA PRI 1440 MINUTNEM TRAJANJU NEVIHTE	29
GRAFIKON 9: IZRAČUNANI HIDROGRAM ODTOKA IZ POVODJA OB PRAVILNEM DELOVANJU ZADRŽEVALNIKA, METODA SCS TIP II	33
GRAFIKON 10: IZRAČUNANI HIDROGRAM ODTOKA IZ POVODJA OB PRAVILNEM DELOVANJU ZADRŽEVALNIKA, METODA FREQUENCY STORM	34
GRAFIKON 12: HISTOGRAM EKSTREMNEGA PADAVINSKEGA DOGODKA ZABELEŽEN 18.9.2007 NA PADAVINSKI POSTAJI DAVČA (HTTP://WWW.ARSO.GOV.SI/VREME/PORO%C4%8DILA%20IN%20PROJEKTI/PADAVINE_18SEP07.PDF)	35
GRAFIKON 13: HIDROGRAM ODTOKA LOČIVNICE NA PRIMERU EKSTREMNEGA PADAVINSKEGA DOGODKA NA PAD. POSTAJI DAVČA	35
GRAFIKON 14: HISTOGRAM POLURNIH PADAVIN ZABELEŽENIH 18.9.2007 NA SAMODEJNI POSTAJI BORŠT PRI GORENJI VASI	37
GRAFIKON 15: HIDROGRAM ODTOKA LOČIVNICE NA PRIMERU PADAVINSKEGA DOGODKA ZABELEŽENEGA NA POSTAJI BORŠT PRI GORENJI VASI	37

1 UVOD

1.1 Splošno

Poplave so naraven pojav, ki z drugimi geološkimi pojavi (erozija, plazovi in podobno) oblikujejo in preoblikujejo zemeljsko površje. Posledice poplav lahko delno spremenimo in ublažimo, pojava samega pa ne moremo preprečiti. Zaradi vse večjih posegov v prostor in zmanjševanja naravnega poplavnega območja se na tem območju povečuje poplavna ogroženost in obenem zmanjšujejo možnosti ureditve območja. Ekstremni padavinski dogodki, katerih posledica so katastrofalne poplave so v zadnjih letih vse pogostejši. Zaradi neprimerne poselitve ogroženih območji in nepravilnega oziroma pomanjkljivega urejanja vodotokov pa je njihov vpliv na varnost ljudi in objektov le še toliko večji.

Poljane nad Škofjo Loko je naselje, katerega del leži na sotočju Ločivnice in Poljanske Sore. To območje je poplavno ogroženo in je bilo v preteklosti že poplavljeno. Za protipoplavno varnost in ureditev tega območja in območja Poljanske Sore, pod katero spada tudi povodje Ločivnice je bilo narejenih že več študij (Petje in Sodnik, 2012), (VGI, 1992), (VGI, 1993) . Edini ukrep, ki bi imel večji učinek na poplavno varnost Poljan bi bilo zmanjšanje pretokov v kritičnem odseku struge, kar bi lahko dosegli le z gradnjo zadrževalnika visokih voda nad naseljem.

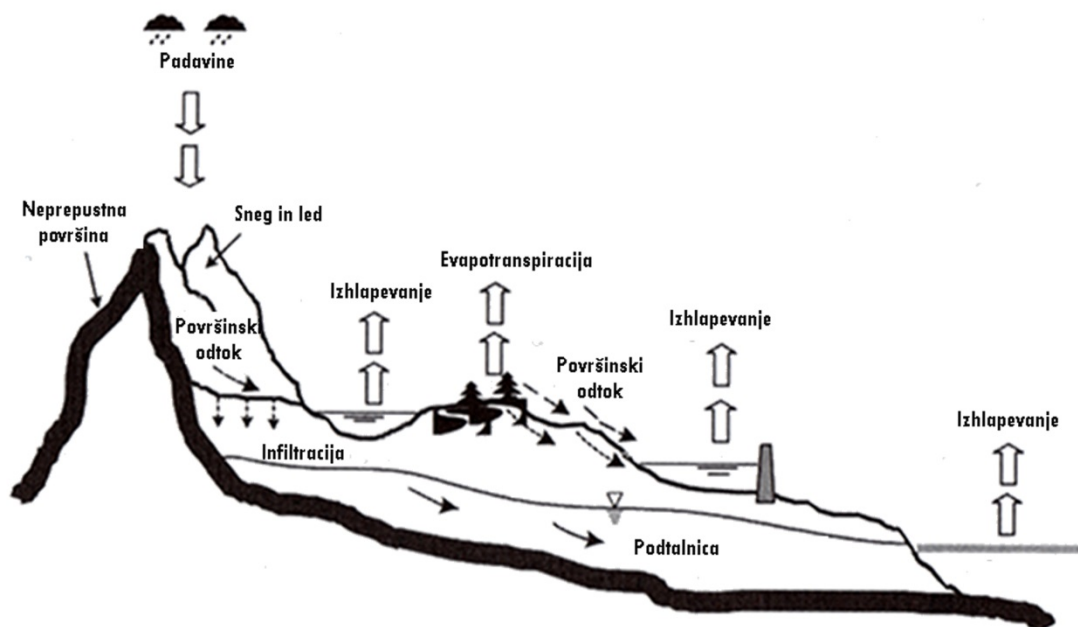
1.2 Cilji in namen diplomske naloge

Cilj diplomske naloge je določiti vpliv zadrževalnika visokih voda na hidrogram odtoka vodotoka Ločivnica. Najprej bodo v nalogi predstavljena teoretična izhodišča o zadrževalnikih voda in hidrološkem modeliranju. Narejen bo pregled obstoječih študij protipoplavnih ureditev obravnavanega območja. Za obravnavano prispevno območje Ločivnice bo izdelan hidrološki model, s katerim bomo poizkušali pridobiti najverjetnejše realne hidrograme odtoka površinskih voda iz povodja. Z izdelavo hidrološkega modela s programom HEC-HMS bomo predstavili, kakšen poplavni val se oblikuje na povodju ob nastopu ekstremnih padavin. Glede na te izračune bo določena minimalna potrebna prostornina zadrževalnika. Narejena bo analiza vpliva predlaganega zadrževalnika na poplavno varnost dovodnih območji in analiza vpliva izračunanih prostornin zadrževalnika v primeru merjenega dejanskega padavinskega dogodka v preteklosti. Na koncu bomo podali predlagano predvideno lokacijo in izvedbo zadrževalnika visokih voda na območju vodotoka Ločivnica.

2 PROTIPOPLAVNE UREDITVE

2.1 Odtok površinskih voda

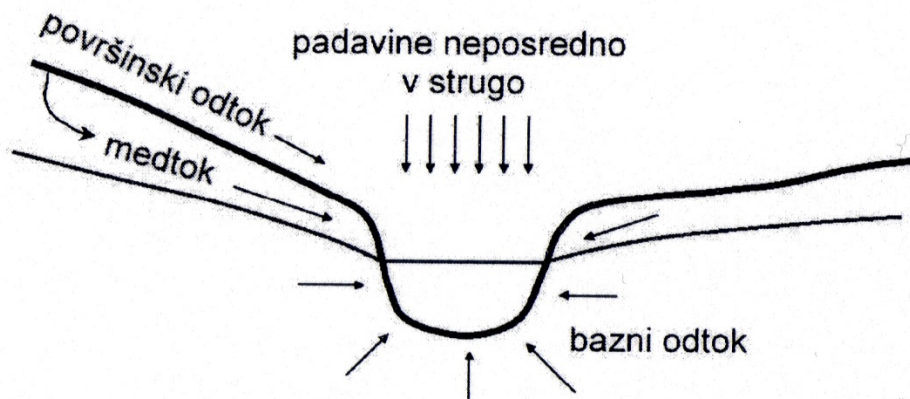
Hidrološki krog je kompleksno zaporedje procesov kroženja vode v naravi (Slika 1). Hidrološki krog je lahko za Zemljo obravnavan kot zaprt sistem, ker je celotna količina vode v krogu konstantna. Pod dobro določenimi pogoji in predpostavkami lahko natančno določimo vpliv karakteristik prispevnega območja na padavine, infiltracijo in evapotranspiracijo. Prispevna površina je neprekinjena površina, s katere se vse površinske vode stekajo v vodno telo površinske vode in vplivajo na njegovo stanje (Bedient et al. 2008).



Slika 1: Shematični prikaz hidrološkega kroga (Karamouz in sod., 2003)

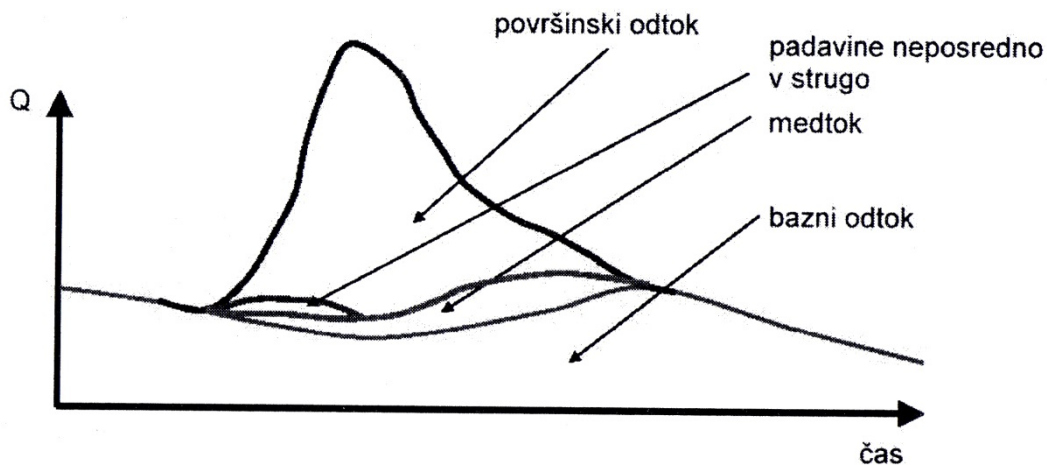
Pomemben del hidrološkega kroga, ki se dogaja na površini Zemlje je odtok površinskih voda. Pojav je dobro viden, nas spremlja v vsakodnevem življenju in ima velik pomen za okolje in gospodarstvo zaradi urejanja in izkoriščanja vodnega režima. Površinski odtok imenujemo del padavin, ki prispejo na površino Zemlje in se ne zadržijo na rastlinah ali v tleh ali izhlapijo temveč odtečejo površinsko in podpovršinsko v vodotoke. Voda teče pod vplivom gravitacije proti najnižji točki določene prispevne površine ali padavinskega območja, opredeljenega s topografskimi in geološkimi lastnostmi (Brilly in Šraj 2005). V primeru, ko je količina padlih padavin na prispevno območje manjša kot je stopnja infiltracije in ko zemljina še ni povsem zasičena bo površinski odtok iz območja enak nič. V nasprotnem primeru, ko je zemljina že zasičena (na primer zaradi prejšnjih padavin) in ko je količina padavin toliko velika, da lahko infiltracijo in evapotranspiracijo zanemarimo, je volumen površinskega odtoka enak volumnu padlih padavin. V večini primerov padejo razmere nekje vmes med tema

mejnima primeroma, takrat moramo natančno izmeriti ali izračunati več komponent hidrološkega kroga, da bi natančno določili odziv prispevnega območja na nek padavinski dogodek (Bedient in sod. 2008). Posamezni deli odtoka padavin so prikazani na sliki 2.



Slika 2: Posamezni deli odtoka padavin (Brilly in Šraj 2006)

Diagram časovnih sprememb pretoka v vodotoku med trajanjem padavin imenujemo hidrogram (Slika 3).



Slika 3: Deleži posameznih odtokov na hidrogramu (Brilly in Šraj, 2006)

2.2 Poplave in protipoplavni ukrepi

2.2.1 Poplave

Poplave so redek in izredno dinamičen pojav, ki so z drugimi geološkimi procesi (npr. plazovi in erozija) oblikovali in še preoblikujejo zemeljsko površje. Poplavna območja so sestavni del

vodotokov, kot del vodnega prostora predstavljajo pomemben vodni ekosistem in pomembno vplivajo na vodni režim, predvsem pri zmanjševanju konic poplavnih valov in bogatenju podtalnice. Poplave, ki so značilne v slovenskem prostoru so: hudourniške poplave, rečne nižinske in kraške poplave ter poplave morja. Za poplavne valove rečnih poplav je značilno hitro naraščanje pretoka vode ob padavinskem dogodku, nato sorazmerno kratkotrajen maksimalni pretok in bolj počasno upadanje (Brilly in sod., 1999).

Verjetnost pojava poplav je določena s soodvisnostjo med pretokom vode in povratno dobo oziroma verjetnostjo. Možnost pojava ali verjetnost pojava je pomembna lastnost poplave pri načrtovanju in dimenzioniranju protipoplavnih ukrepov.

2.2.2 Protipoplavni ukrepi

Pri analizi oziroma izvajanju različnih ukrepov varstva pred poplavami je potrebno upoštevati celovitost vodnega režima in celotno povodje obravnavati kot enoto. Varstvo pred naravnimi nesrečami je gospodarjenje s škodo. Osnovni cilj odločanja pri načrtovanju ukrepov za varstvo pred naravnimi nesrečami, kot so poplave, je lajšanje ogroženosti oziroma zmanjšanje škode. (Brilly in sod., 1999)

Razvrstitev ukrepov varovanja kot so jo zapisali Brilly in sod. (1999):

Ukrepe za preprečevanje škode glede na vrsto posega delimo na:

- **alternativne:** upravno-zakonski ukrepi, prostorsko načrtovanje, prilagojeno poplavam, prepoved gradnje na ogroženih območjih, usklajena intenzivna raba prostora, nezgodno zavarovanje in
- **vodogradbene:** graditev hidrotehničnih objektov, regulacijski posegi ipd..

Glede na način delovanja pa na:

- **aktivne:** vplivamo na obliko in naravo pojava, zmanjšujemo predvsem velikost in trajanje poplavnega vala (akumulacije, pogozdovanje ipd.) in
- **pasivne:** varujemo pred posledicami (nasipi, evakuacija ipd.)

Najučinkovitejši ukrep varovanja in verjetno najbolj ekonomsko sprejemljiv bi bila prepoved gradnje na poplavno ogroženih območjih (alternativni ukrep). Vse strmejšše naraščanje števila prebivalstva posledično povečuje urbano poselitev prostora, zaradi tega v veliko primerih zgolj prepoved gradnje ni zadosti, ali pa je za to že veliko prepozno in so taka območja že gosto naseljena. Zato se na takih območjih za varstvo pred poplavami poslužujemo vodogradbenih ukrepov. Med vodogradbene ukrepe

štejemo visokovodne nasipe, obtočne kanale, kanaliziranje vodotokov, urejanje povirij, urejanje urbanih površin in zadrževalnike.

2.3 Zadrževalniki

Zadrževalnik je tip zajezne zgradbe, pomemben za ohranjanje in zaščito vodnih virov. Zadrževalniki so vrsta vodogradbenih ukrepov za varstvo pred poplavami. Med zajezne zgradbe spadajo (Steinman in Banovec, 2004): dolinske pregrade, visokovodni zadrževalniki, zaježitveni objekti, črpalne akumulacije, prodni lovilci (bazeni), prodne pregrade, zbiralniki vode (ribniki, bazeni). Visokovodni zadrževalniki so objekti, s katerimi lahko ob poplavi zadržimo večje količine vode in na ta način zmanjšamo pretok v strugi vodotoka ter tako ob isti verjetnosti pojava vplivamo na njegov manjši obseg (Brilly in sod., 1999).

2.3.1 Delitev zajeznih zgradb

Zajezne zgradbe lahko razdelimo na več različnih možnih načinov (Dunkin in sod., 1987): glede na tip njihove uporabe, glede na način izvedbe spremljajočih konstrukcij (pregrad) in glede na tip materiala iz katerega so zgrajene.

2.3.1.1. Delitev glede na tip uporabe

Glede na uporabnost jih lahko razdelimo na akumulacijske, usmerjevalne in zadrževalne zajezne zgradbe.

Akumulacijske zajezne zgradbe so zgrajene tako, da akumulirajo vodo v času presežka dotoka vode za uporabo te vode v času primanjkljaja dotoka vode. Te periode časa so lahko sezonske, vsakoletne ali dolgotrajnejše. Akumulacijske zajezne zgradbe lahko nadaljnje delimo glede na namen akumuliranja, kot je na primer dobava pitne ali namakalne vode, rekreacija, ribištvo ali okoljevarstvo in pridobivanje električne energije. Usmerjevalne zajezne zgradbe so v večini namenjene usmerjevanju in prenosu vode v kanale, jarke, ipd. za potrebe namakanja, industrijske ali komunalne rabe. Zadrževalne zajezne zgradbe oz. zadrževalniki visokih voda so zgrajeni zato da minimalizirajo vpliv visokih poplav. Več o različnih tipih zadrževalnikov in načinih njihove uporabe je zapisano v poglavju 2.3.2 (Dunkin in sod., 1987).

V veliko primerih so zajezne zgradbe, običajno pri večjih projektih, zgrajene tako, da služijo večjim različnim namenom uporabnosti. Tak primer je, ko je zadrževalnik visokih voda uporabljen tudi kot rekreacijska površina. Na ta način razpoložljiv prostor kar najbolj izkoristimo.

2.3.1.2. Delitev glede na način izvedbe spremljajočih konstrukcij (pregrad)

Pregrade zajeznih zgradb lahko delimo na prelivne ali neprelivne pregrade.

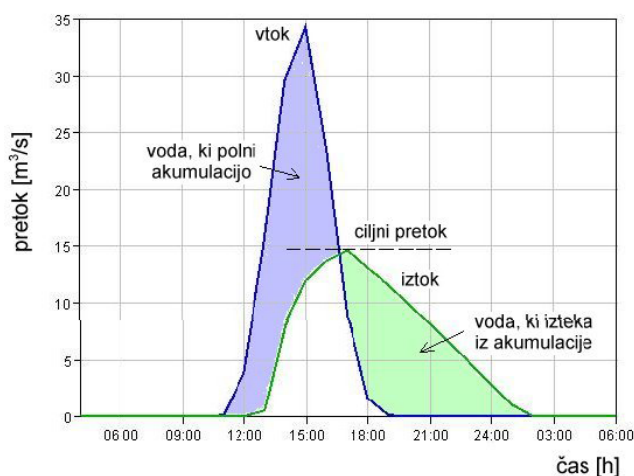
Prelivne pregrade so zgrajene tako, da se voda preliva čez vrh pregrade ali skozi prelivna polja. Beton je najznačilnejši material uporabljen za izgradnjo takih pregrad. Neprelivne pregrade so zgrajene tako, da se voda ne sme prelivati čez pregrado. Zaradi te lastnosti so te pregrade lahko zgrajene iz različnih materialov kot je zemlja ali kamen (Dunkin in sod., 1987).

2.3.1.3. Delitev glede na tip materiala iz katerega so zgrajene

Glede na uporabljen material za izgradnjo zajezne zgradbe so najobičajnejše zemeljske, betonske, kamnite in lesene zajezne zgradbe. Za izgradnjo pa je lahko uporabljenih tudi več materialov hkrati (Dunkin in sod., 1987).

2.3.2 Visokovodni zadrževalniki

Glaven pomen visokovodnega zadrževalnika je učinkovito zmanjševanje poplavnega vala in zagotavljanje poplavne varnosti dolvodnega območja. To so lahko preprosti objekti, kot na primer manjša umetna jezera, planirana ob cestnih prepustih, do velikih objektov in akumulacij, s kontrolnimi objekti, dimenzioniranimi tako, da zadržijo ekstremno veliko količine vode (Ranfl, 2008).



Slika 4: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (Brilly in Šraj, 2006)

Ne glede na njihovo velikost, vsi zadrževalniki služijo istemu namenu. To je zadrževanje odvečnega volumna vode, ki se sprosti med nevihto in tako preprečijo poplavo. Hidrograma vtoka in iztoka sta prikazana na sliki 4. Visokovodne zadrževalnike delimo na dva osnovna tipa: mokre zadrževalnike in suhe zadrževalnike. Suhi zadrževalniki ali manjši vodni zbiralniki, so načrtovani tako, da zadržijo odvečno vodo samo za kratko časovno obdobje, dokler se pretok ne zmanjša in umiri v normalnega. Mokri zadrževalniki oz. akumulacije pa so načrtovani tako, da odtok zadržijo za daljše časovno obdobje. Običajno služijo poleg svoje osnovne funkcije, varovanja pred poplavami, tudi drugim vrstam uporabe, kot je kmetijstvo, rekreacija, preskrba z vodo in energetika. (Bedient in sod., 2008). Pri večnamenskih zadrževalnikih visokih voda pa se največkrat zadovoljevanje različnim zahtevam uporabnosti odraža v zanemarjanju njihove osnovne funkcije varovanja pred poplavami. Večnamenska uporaba lahko privede do konflikta med interesi različnih uporabnikov.

2.3.3 Princip delovanja suhega visokovodnega zadrževalnika

Suhi zadrževalnik je tip visokovodnega zadrževalnika pri katerem se bazen oziroma območje namenjeno za zadrževanje poplavnega vala napolni le v času visokih voda. Drugače je to območje suho. Njegov koncept torej temelji na zadrževanju poplavnega vala v retenzijskem prostoru, s čimer dolvodno preprečimo razlivanje vode izven bregov struge vodotoka.

Matematično lahko tak proces opišemo z enodimenzijsko aproksimacijo kontinutetne enačbe, ki se glasi (Brilly in Šraj, 2006):

$$I_{pov} - O_{pov} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

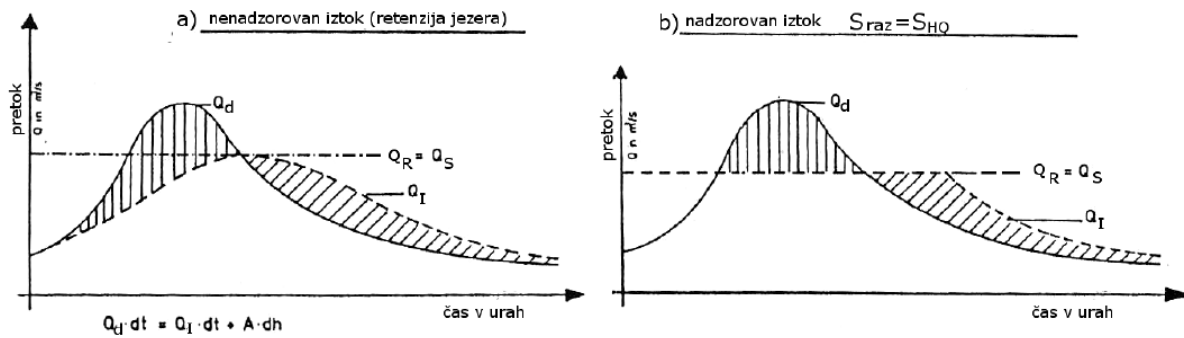
Kjer je:

I_{pov} - povprečni vtok,

O_{pov} - povprečni iztok,

ΔS - sprememba v skladiščenju.

Na spremembo v skladiščenju oz. spremembo zadrževanega volumna ΔS vplivajo predvsem oblika zadrževalnega bazena ter hidravlične karakteristike pretočnosti izpustnega dela. Glede na izpust oz. dušenje poplavne konice ločimo med zadrževalnikom s prostim oz. nenadzorovanim iztokom in zadrževalnikom z nadzorovanim iztokom.



Slika 5: Način delovanja zadrževalnika z nenadzorovanim in nadzorovanim iztokom (Kocjan, 2010, prirejeno po Muth et al., 1996)

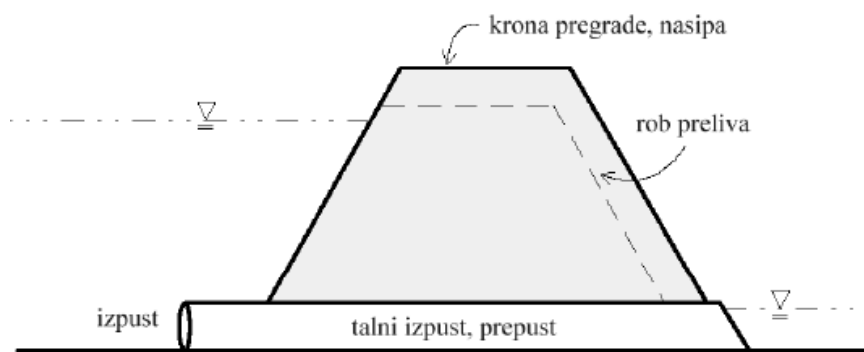
a) Nenadzorovan iztok

Pri zadrževalniku s prostim izpustom je iztok v funkciji z višino zajezbe in pa hidravličnimi karakteristikami prepustne naprave. Tu govorimo predvsem o blaženju visokovodne konice (Kocjan, 2010).

b) Nadzorovan iztok

Ko je količina poplavne vode enaka razpoložljivemu zadrževalnemu prostoru $S_{raz} = V_{HQ}$ (S_{raz} - prostor za poplavno akumulacijo, V_{HQ} - volumen visokovodnega pretoka), je to projektna situacija za dimenzioniranje zadrževalnika. Pri zadrževalnikih z nadzorovanim izpustom je celoten proces potovanja visokovodnega vala skozi zadrževalni prostor odvisen od projektnega iztoka $Q_{i,max}$ ter načina regulacije izpusta. Pri tem je pomembna izbira projektnega vhodnega hidrograma določene povratne dobe in pa določitev maksimalnega iztoka $Q_{i,max}$, ki oblikuje obratovna pravila iztočnega hidrograma. Izpustna naprava (oziroma več naprav hkrati) s pomočjo regulacijskega mehanizma v času koničnega pretoka prepušča dolvodno maksimalni neškodljivi pretok.

2.3.3.1. Izpust



Slika 6: Enostaven zadrževalnik (Brilly in Šraj, 2006 prirejeno po US Army Corps of Engineers, 2000)

Pretočno kapaciteto talnega izpusta izračunamo po naslednji formuli (Beard in sod., 1979):

$$Q = C * A * \sqrt{2 * g * H}$$

C – pretočni koeficient (0,55)

A – površina odprtine

H – razlika med višino statične vode v akumulaciji in dnom pregrade

g – gravitacijski pospešek

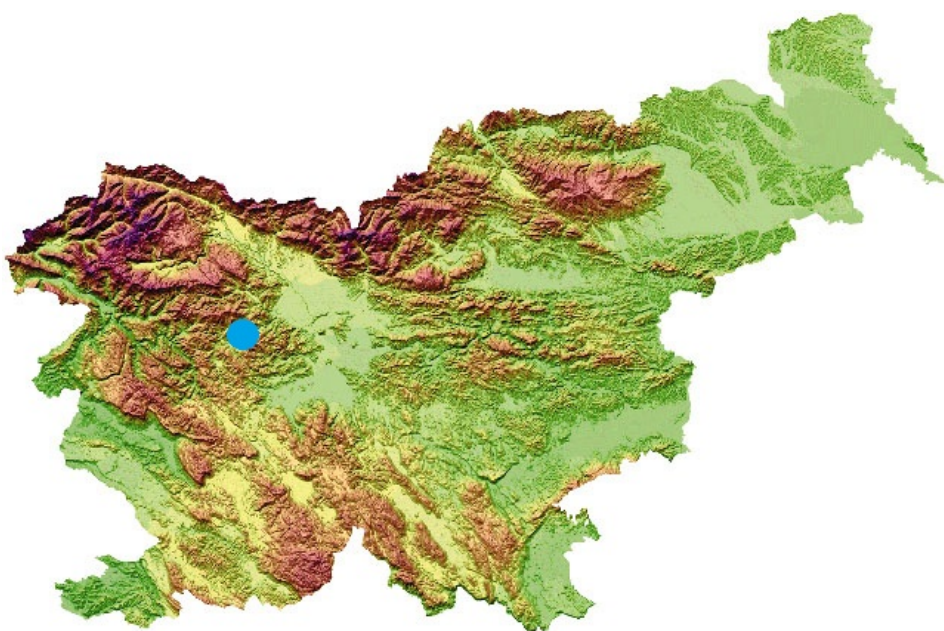
Pretočni koeficient dobimo iz hidravličnih knjig, narejeni pa morajo biti tudi preizkusi še posebej v posebnih pogojih, kjer imamo kritične pretočne razmere (Beard in sod., 1979).

Iz te enačbe lahko pri znanem maksimalnem pretoku Q , ki ga nam narekuje prevodnost struge dolvodno od pregrade, določimo potrebno površino odprtine prepusta preko katerega je urejen izpust (iztok) iz zadrževalnika.

3 VHODNI PODATKI ZA ANALIZO VPLIVA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA HIDROGRAM ODTOKA POVODJA LOČIVNICE

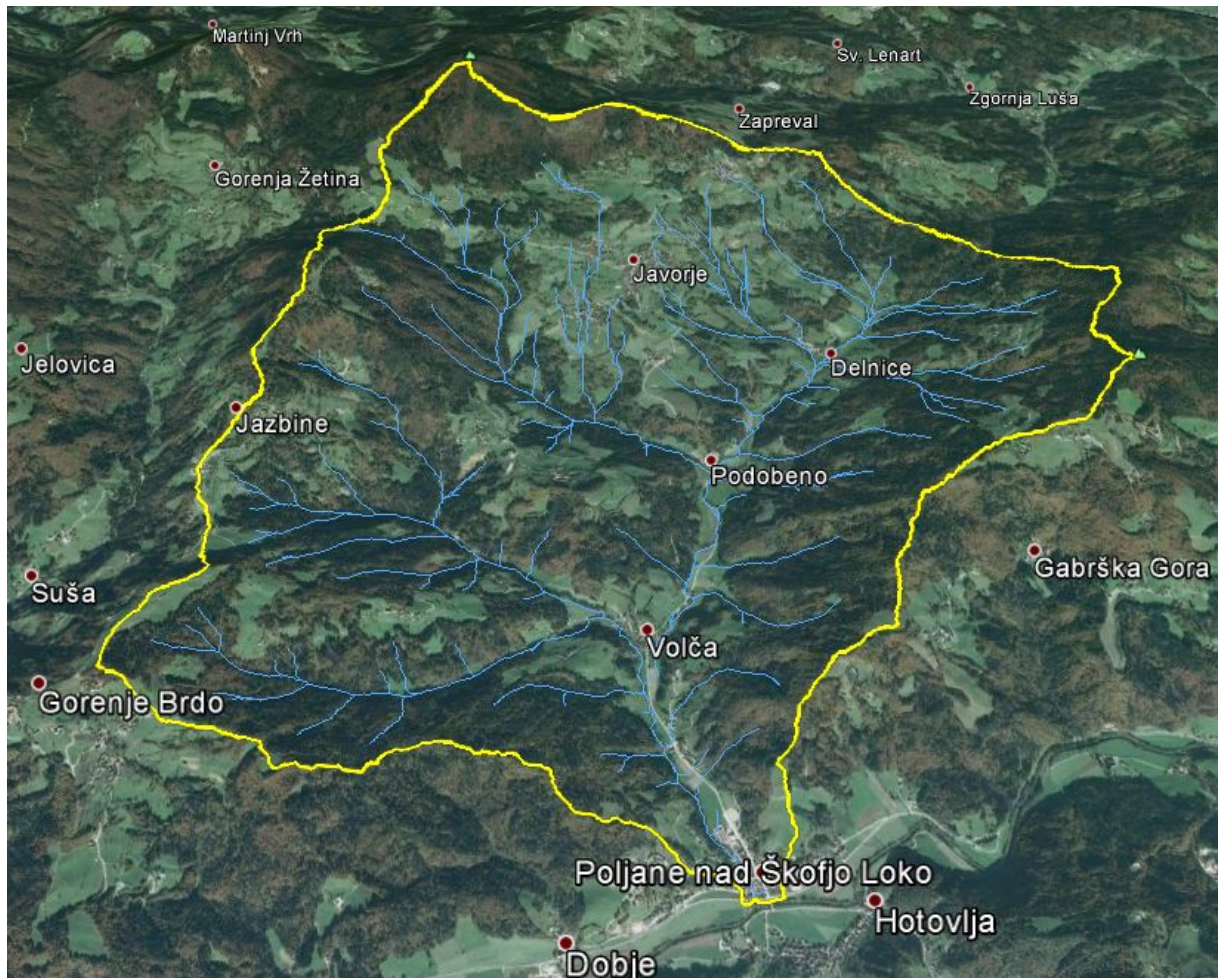
3.1 Opis značilnosti povodja vodotoka Ločivnica

Potok Ločivnica izvira v Škofjeloškem hribovju blizu vasi Javorje, ki se nahaja približno 7 km severno od naselja Poljane nad Škofjo Loko. Ločivnica je levi pritok Poljanske Sore v katero se izliva v naselju Poljane nad Škofjo Loko. Večji pritoki Ločivnice so Jazbica, Kebrovec, Sevnščica in Delniščica.



Slika 7: Lokacija povodja Ločivnice na zemljevidu Slovenije

(http://www.hervardi.com/zemljevidi/slovenija_relief.jpg, videno 10.8.14)

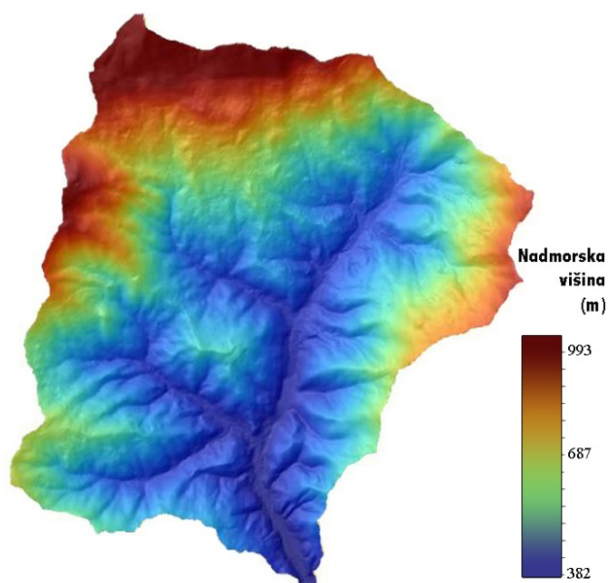


Slika 8: Prispevno območje Ločivnice z vodotoki

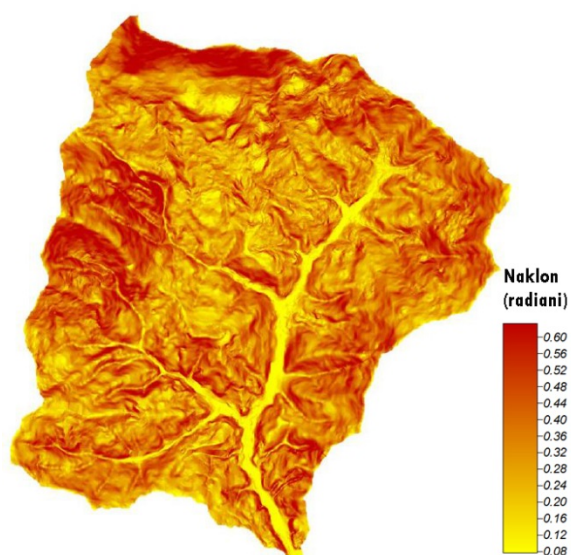
3.1.1 Topografske karakteristike povodja Ločivnice

Topografske karakteristike (površina, nagib, ipd.) povodja Ločivnice so bile določene s programskim orodjem SAGA GIS in na podlagi Digitalnega modela reliefa (DMR) Slovenije.

Prispevno območje Ločivnice zajema na severu južno pobočje Starega vrha, na vzhodu zahodna pobočja Gabrške gore ter na zahodu Malenski vrh. Hidrografska mreža je razvejana. Nadmorska višina se giblje med 382 m v naselju Poljane do 993 m, na pobočju Starega vrha. Površina prispevnega območja je 20,17 km². Povprečni naklon površja je 354,75 ‰.



Slika 9: DMR prispevne površine



Slika 10: Naklon reliefa prispevne površine

Preglednica 1: Izračunani topografski parametri povodja

Povodje	Površina (km ²)	S (povp. naklon [‰])	L [km]	L _{ca} [km]
Ločivnica	20,17	354,75	6,289	3,739

Kjer je:

L - dolžina vodotoka od iztočnega profila do konca roba povodja [km]

L_{ca} - dolžina vodotoka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližja težišču vodotoka [km]

3.1.2 Programsko orodje SAGA GIS

SAGA je odprtokodni geografski sistem, ki podpira vektorske in rasterske podatkovne formate. Dobra lastnost programa je njegova uporabnost tako za tiste, ki se prvič srečajo z GIS (geografski informacijski sistem) področjem in za tiste, ki želijo izvajati zahtevne GIS analize. Vsebuje veliko zbirko geoznanstvenih algoritmov in je predvsem močno orodje za analize digitalnih modelov višin (DMV) in digitalnih modelov reliefa (DMR). Je program, ki združuje močna orodja za geografske analize in intuitiven ter uporabniku prijazen GUI (grafični uporabniški vmesnik). Prav tako lahko uporabnik razvije svoje module in jih enostavno implementira v program. Slabi in pomanjkljivi dokumentaciji lahko pripisujemo vzrok slabe prepoznavnosti SAGA-e med uporabniki GIS programskega orodja (Stavbar, 2011).

3.2 Opis obstoječe poplavne ogroženosti območji ob vodotoku Ločivnica

V občini Gorenja vas-Poljane spada Ločivnica med potoke, ki bi pri padavinah z daljšo povratno dobo (50, 100 let ali več) poplaveli večje površine. V zgornjem delu vodotoka je ogrožena kmetijska pokrajina v spodnjem delu veliko stanovanjskih hiš in ostalih delov naselja Poljane.



Slika 11: Pritok Jazbica in zgornji del prispevne površine Ločivnice (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)



Slika 12: Ločivnica v spodnjem toku, ko teče skozi naselje Poljane nad Škofjo Loko (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)



Slika 13: Izliv Ločivnice v Poljansko Soro (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)

Leta 2012 je podjetje VGP d.d. Kranj izdelalo elaborat poplavne nevarnosti središča Poljan nad Škofjo Loko, katerega investitor je bila občina Gorenja vas-Poljane (Petje in Sodnik, 2012). Gledano iz stališča poplavne ogroženosti ljudi in stanovanjskih objektov je to najbolj ogroženo območje na povodju Ločivnice. Maksimalen pretok vodotoka v tem območju, ki ne povzroča poplavljanja, je tisti pretok na katerega bi moral biti dimenzioniran predlagan zadrževalnik visokih voda na Ločivnici.

Prevodnost struge na tem odseku je kritična. Če vzamemo nizek nivo Poljanske Sore, prevaja pretoke okoli 38 m³/s. S hidravlično ureditvijo struge, bi se dala ta prevodnost dodatno izboljšati. Na visoke vode Ločivnice predvsem v spodnjem delu obravnavanega območja središča Poljan, vplivajo predvsem visoke vode Poljanske Sore (Petje in Sodnik, 2012).

Rezultati elaborata poplavne nevarnosti so pokazali, da Ločivnica poplavlja že pri 10-letnih visokih vodah. Višina gladine poplavnih voda pri teh vodah pa je odvisna tudi od gladine Poljanske Sore (ki verjetno povzroči zajezbo). Pri 100-letnem pretoku Ločivnice sta poplavljeni levi in desni breg na celotnem obravnavanem območju. Območje poplavljanja pri 100-letnem in 500-letnem pretoku se bistveno ne poveča, le gladina poplavljanja je večja za okoli 30-50 cm.

Analiza poplavne nevarnosti v elaboratu je bila narejena s podatki hidrološke študije povodja Poljanske Sore, ki jo je leta 1992 izdelal VGI (Vodno gospodarski inštitut). Q_{100} določen v tej študiju in uporabljen v elaboratu je znašal 112 m³/s. Ker je bila študija narejena na podlagi starejših podatkov o padlih padavinah na prispevno območje, smo se odločili, da se za analizo vpliva zadrževalnika visokih voda nad Poljanami nad Škofjo Loko izdelava nova hidrološka študija in določijo novi projektni pretoki za dimenzioniranje zadrževalnika.

3.3 Možne ureditve protipoplavnih ukrepov na vodotoku Ločivnica

Ker je struga v spodnjem delu, zlasti v območju središča Poljan utesnjena med obstoječe objekte in infrastrukturo je njeno prevodnost težko povečati. Poplavno varnost tega območja bi se deloma lahko izboljšalo z nadvišanjem zidu oz. gradnjo masivne ograje ob strugi ali z ureditvijo iztoka Ločivnice v Poljansko Soro. Taka primera ureditve sta bila obravnavana tudi v prej omenjenem elaboratu. Rezultati so prikazali, da se s temi ukrepi (nadvišanje zidov in ureditev sotočja) poplavna nevarnost zmanjša zelo malo. Edini predlagan ukrep, ki bi imel večji učinek na poplavno varnost Poljan, bi bil zmanjšanje pretokov, kar se da doseči z gradnjo zadrževalnika visokih voda nad naseljem.

Opravljen je bil terenski ogled prispevnega območja z načrtom pregleda dejanskega stanja območja vodotoka. Na sliki 14 in 15 vidimo, da se gorvodno od naselja Poljane nahajajo mostovi, ki so v

slabem stanju in bi v primeru porušitve ob visokih vodah povečali poplavno ogroženost dolvodno. Prav tako so v slabem stanju zaščitne brežine, vidne na sliki 16. Pred vtokom v naselje Poljane pa je območje struge močno poraščeno z grmičevjem in drevjem, kar dodatno zmanjša prevodnost struge in poveča možnostčasne zaježitve zaradi plavja v potoku (slika 17).



Slika 14: Betonni most čez Ločivnico v slabem stanju (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)



Slika 15: Leseni most čez Ločivnico v slabem stanju (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)



Slika 16: Poškodovana ureditev brežin (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)



Slika 17: Prekomerna zaraščenost struge (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)

Ker dodatne hidravlične ureditve struge in njene prevodnosti niso predvidene smo glede na obstoječe stanje kot maksimalen pretok visokih voda, ki ga struga v kritičnem delu na povodju še prevaja, vzeli $38 \text{ m}^3/\text{s}$ iz elaborata poplavne nevarnosti središča Poljan nad Škofjo Loko. Ta pretok nam je služil kot merodajen podatek za izračun dimenzij prepusta iz zadrževalnika in potrebne prostornine zadrževalnika.

4 MODELIRANJE POVRŠINSKEGA ODTOKA POVODJA LOČIVNICE

4.1 Programsko orodje HEC-HMS

Računalniški program za modeliranje površinskega odtoka HEC-HMS, ki je prilagojen delu z okni je nadomestil starejšo različico programa HEC-1 in vključuje marsikatero izboljšavo glede na njegovega predhodnika. Program HEC-1, ki so ga razvili že leta 1986 in je bil prilagojen za DOS okolje, je eden najbolj znanih programov za simulacijo padavinskega odtoka iz povodja. Leta 1998 ga je nadomestil, oziroma je na trg prišel program HEC-HMS. Program HEC-HMS je razvil Hidrološki center (HEC) ameriške vojske in je prav tako kot njegov predhodnik v osnovi namenjen modeliranju padavinskega odtoka iz povodij. HEC-HMS omogoča vnos vhodnih podatkov z uporabo podatkovnih baz ali pa jih lahko uporabnik vnese ročno. Vključuje tako naravni kot umetni odtok iz povodij, kot zaloge vode na velikih rečnih povodjih ter poplave. V programu izračunane hidrograme lahko uporabimo neposredno ali v povezavi z drugo primerno programsko opremo za različne študije, kot so napovedovanje poplav in vodnih zalog, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad in prepustov, študije vpliva bodoče urbanizacije in podobno (Brilly in Šraj, 2006), (Bedient in sod., 2008).

Program HEC-HMS je zasnovan na matematičnih odnosih, ki so namenjeni predstavitvi posameznih meteoroloških pojavov ter hidroloških in hidravličnih procesov, ki zajemajo odnos med padavinami in odtokom. Ti procesi so ločeni na padavine, zadržane in infiltrirane padavine, bazni odtok in transformacijo.

4.2 Izdelava hidrološkega modela

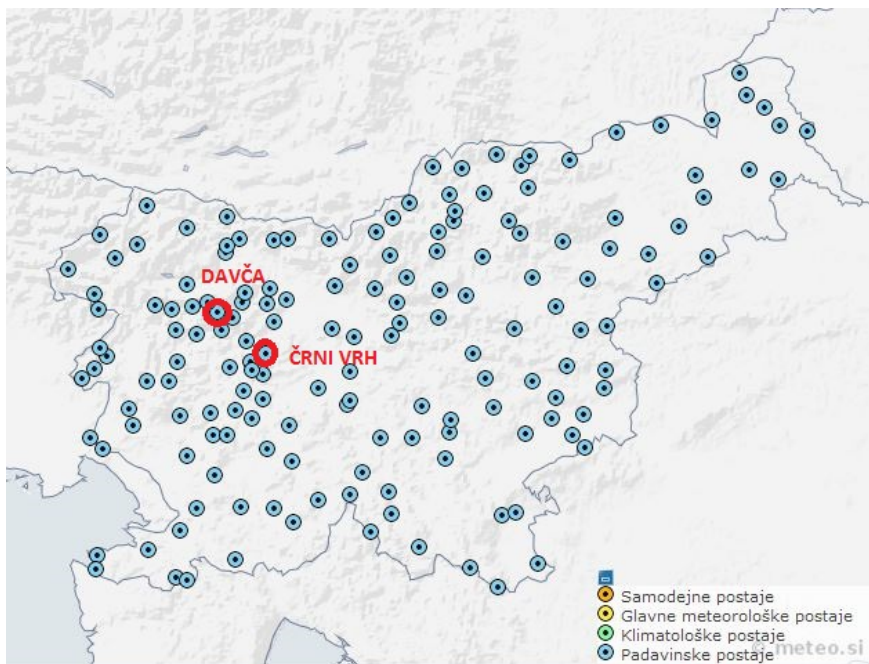
Hidrološki model v programu HEC-HMS je sestavljen iz treh modelov: model povodja, meteorološki model in kontrolni model. Pomembno je zaporedje vnosa podatkov.

V modelu povodja so shranjeni fizični podatki, ki opisujejo povodje in podatki o povezanosti samega sistema. Shema povodja sestavljajo elementi, kot so podpovodje, vozlišče, potovanje, akumulacija, izvir, ponor in razcep. Pri vsakem elementu podpovodja imamo tri ločene procese: padavinske izgube, transformacija padavin v odtok in bazni odtok. Padavine, ki padejo na površino in se ne infiltrirajo do podpovršinskih slojev (efektivne padavine), predstavljajo neposredni odtok po strugah do iztoka iz podpovodja. V meteorološkem modelu obravnavamo padavinski dogodek, da bi izračunali hidrogram odtoka. Na voljo je več različnih možnosti podajanja padavinskega dogodka. Kontrolni model pa določa časovni okvir računske simulacije – začetek in konec simulacije ter računski interval. Rezultati so podani v grafični in tabelarični obliki.

4.3 Padavine

Osnovni podatek za izračun površinskega odtoka je histogram padavin. Podatki o količini padlih padavin in trajanju padavinskega dogodka so osnovni vhodni podatek meteorološkega modela v programu HEC-HMS. Padavine lahko določimo sami ali pa jih določi program na podlagi dobljenih podatkov o padavinah. Histogram padavin lahko pridobimo iz izmerjenih podatkov o padlih padavinah ali pa je sintetičen. Sintetične padavine se uporabljajo pri analizah za potrebe planiranja in projektiranja (med drugimi tudi za dimenzioniranje zadrževalnika) (Feldman, 2000).

V hidrološkem modelu Ločivnice bomo uporabili padavine, ki so na podlagi zgodovinskega vzorca že preračunane za posamezne povratne dobe in bodo v meteorološki model vnesene kot sintetične padavine z določeno povratno dobo. Povodju Ločivnice sta najbližji avtomatski padavinski postaji z merodajnimi podatki: meteorološka postaja Davča in meteorološka postaja Črni Vrh nad Polhovim Gradcem (slika 18).



Slika 18: Mreža padavinskih postaj v Sloveniji (<http://www.meteo.si/>, videno 11.8.14)

Merodajnejši so statistični podatki o ekstremnih padavinah meteorološke postaje Črni Vrh nad Polhovim Gradcem, ker so se tu meritve z ombrografom opravljale daljše časovno obdobje kot na postaji Davča (Črni vrh: 1976-2008, Davča 1999-2008). Pri interpretaciji izračunanih vrednosti moramo upoštevati obdobje meritev; čim daljše je to obdobje, tem boljše so ocene za daljše povratne dobe. Poleg tega pa je postaja Črni Vrh nekoliko bližje prispevnemu območju.

Preglednica 2: Višina ekstremnih padavin za povratne dobe, izračunanih po Gumbelovi metodi za postajo Črni Vrh nad Polhovim Gradcem, Obdobje merjenih padavin: 1976 – 2008 (ARSO, 2009)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA								
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	4	8	11	12	15	16	18	20	mm
10 min	6	12	15	17	20	22	24	27	mm
15 min	7	15	19	22	25	28	31	34	mm
20 min	9	17	22	25	29	32	35	39	mm
30 min	10	20	26	30	35	39	43	48	mm
45 min	14	24	31	36	42	46	51	57	mm
60 min	18	26	33	38	44	49	53	59	mm
90 min	19	30	38	43	50	54	59	66	mm
120 min	22	34	43	49	56	62	68	75	mm
180 min	24	39	50	57	66	72	79	87	mm
240 min	29	43	55	62	72	79	86	95	mm
300 min	29	47	59	68	78	86	94	104	mm
360 min	30	50	63	72	83	92	100	111	mm
540 min	33	57	72	81	93	102	111	123	mm
720 min	36	65	81	91	105	115	124	137	mm
900 min	37	72	92	105	121	133	145	161	mm
1080 min	41	77	98	112	129	143	156	173	mm
1440 min	51	83	106	121	140	154	167	186	mm

4.3.1 Določanje sintetičnih razporeditev padavin

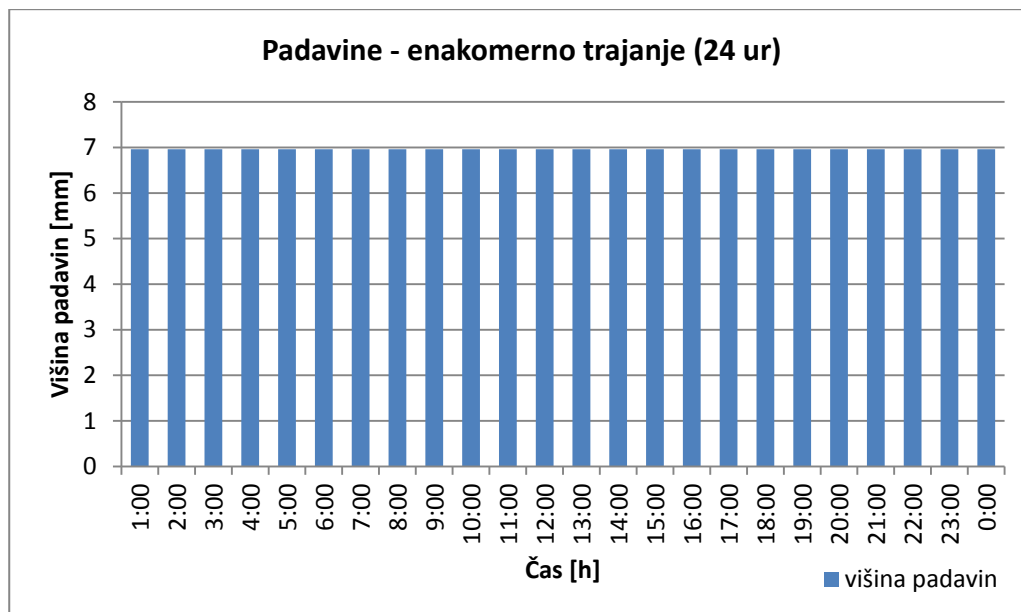
Za primerno analizo vpliva zadrževalnika visokih voda na hidrogram odtoka iz povodja in določitev maksimalnih pretokov odtoka (Q_{100}) je potrebno iz merodajnih podatkov določiti realno najkritičnejši padavinski dogodek (nevitho), ki nam da maksimalne projektne vrednosti. HEC-HMS ima vgrajene naslednje standardne postopke za določanje sintetičnih razporeditev padavin:

- Višina in časovna razporeditev hipotetičnih padavin, ki jo definira uporabnik.
- Standardne projektne padavine (SPS)
- HEC-HMS standardna razporeditev padavin na osnovi pogostosti pojava (z določeno povratno dobo)

Odločili smo se, da naredimo primerjavo izračunov pretokov s tremi različnimi metodami: enakomerno trajanje padavin (a), SCS Tip II (b) ter Frequency Storm (c). Izračuni so narejeni za različna trajanja padavinskega dogodka (nevihte), za 1, 2, 3, 6, 12 in 24 urno trajanje padavin. Kot primeri izračunanih histogramov, so pod opisi postopkov grafično prikazani histogrami različnih porazdelitev 24 urnega trajanja padavinskega dogodka.

4.3.1.1 Enakomerna razporeditev trajanja padavin

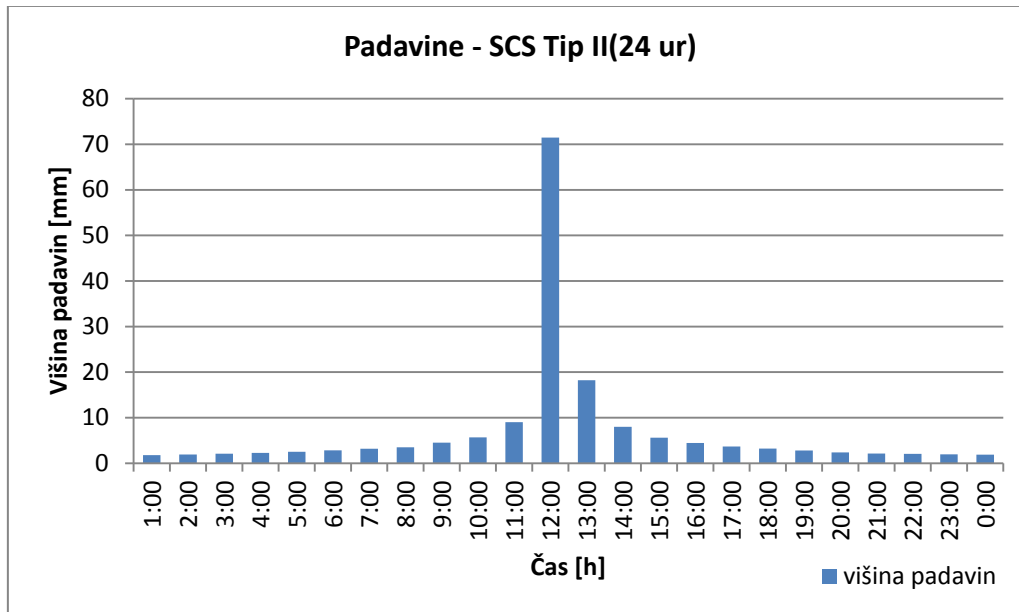
Pri postopku, ko uporabnik sam definira časovno razporeditev in trajanje hipotetičnih padavin smo se odločili za enakomerno razporeditev trajanja padavin. Višina padlih padavin je določena iz preglednice 2. Enakomerno trajanje padavin v celotnem padavinskem dogodku je sicer malo verjetno, vendar služi kot osnova za primerjavo z drugimi metodami in razporeditvami padavin.



Grafikon 1: Histogram enakomerne porazdelitve padavin, 24 urno trajanje padavinskega dogodka

4.3.1.2 Standardne projektne padavine SCS Tip II

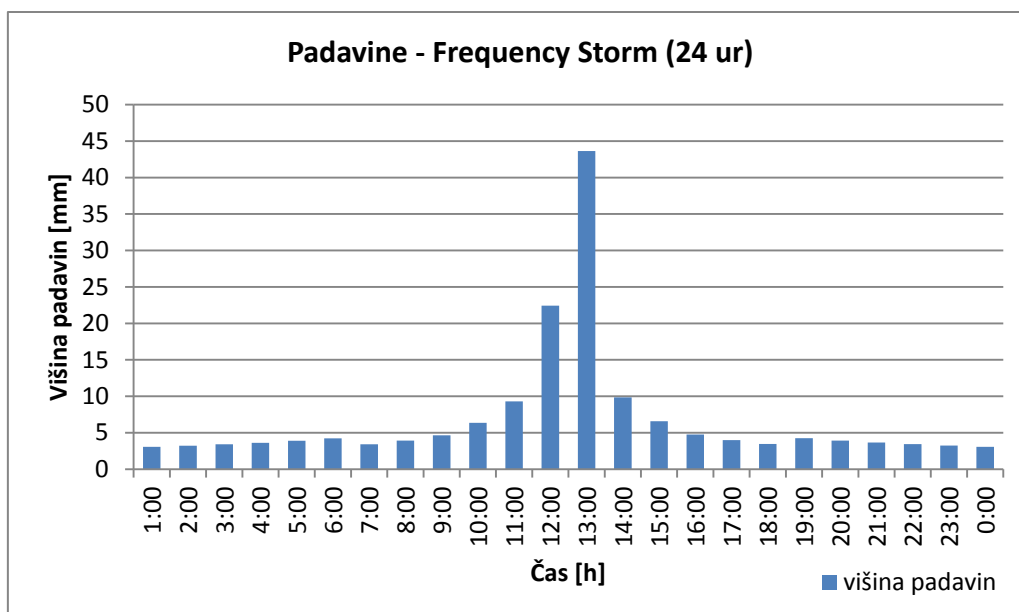
Metoda SCS spada med najbolj znane metode izdelave sintetičnega histograma padavin. Razvita je bila v ZDA in temelji na krivuljah intenziteta-trajanje-pogostost. Metoda SCS je primerna tako za majhna kot velika povodja. V ZDA imajo izdelane štiri regionalne tipe porazdelitev padavin, tipične za določena območja, ki omogočajo hidrologom hitro in enostavno izdelavo sintetičnih histogramov (Dirnbek in Šraj, 2010). Izbrali smo model porazdelitve SCS Tip II, ker naj bi se v Evropi ta tip krivulje najpogosteje uporabljal in ker je ta tip najpogostejši tudi v ZDA. Krivulje so natančno določene za območja v ZDA, zato lahko pri uporabi te metode pričakujemo manjše odstopanje od realnih višin padlih padavin.



Grafikon 2: Histogram SCS Tip II modela porazdelitve padavin, 24 urno trajanje padavinskega dogodka

4.3.1.3 Frequency Storm

Metoda, ki razporeditev padavin v padavinskem dogodku zmodelira iz podatkov o pogostosti pojava, je metoda Frequency Storm. V model je potrebno vnesti le količino verjetnih padavin za določeno povratno dobo glede na čas trajanja padavin. Položaj pojava konice padavin je bil v vseh primerih izbran na 50 % časa padavinskega dogodka.



Grafikon 3: Histogram Frequency Storm modela porazdelitve padavin, 24 urno trajanje padavinskega dogodka

4.4 Padavinske izgube

Za izračun padavinskih izgub na povodju smo v programu HEC-HMS izbrali SCS model padavinskih izgub. Ta metoda daje ob dokaj nezahtevni uporabi zadosti točne podatke, da jih lahko kakovostno uporabimo v hidroloških modelih. Izračun padavinskih izgub po tej metodi temelji na klasifikaciji različnih vrst zemljine glede na njihovo prepustnost. Lastnosti zemljine so opisane s koeficientom CN, ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine (priloga A1) (Brilly in Šraj, 2006).

SCS metoda oceni presežek padavin kot funkcijo celotnih padavin, vrste tal, rabe tal in vlažnosti tal. Pri tem uporabimo enačbo:

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Kjer je:

Pe - akumulirane efektivne padavine v času t [mm],

P - višina padavin v času t [mm],

I_a - začetne izgube [mm],

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

Iz analiz za manjša eksperimentalna povodja je Agencija ameriškega ministrstva (SCS) razvila empirično zvezo med I_a in S :

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Tako lahko kumulativne efektivne padavine v času t zapišemo kot:

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} [mm]$$

Maksimalno zadrževanje S in karakteristike povodja so povezani z parametrom CN:

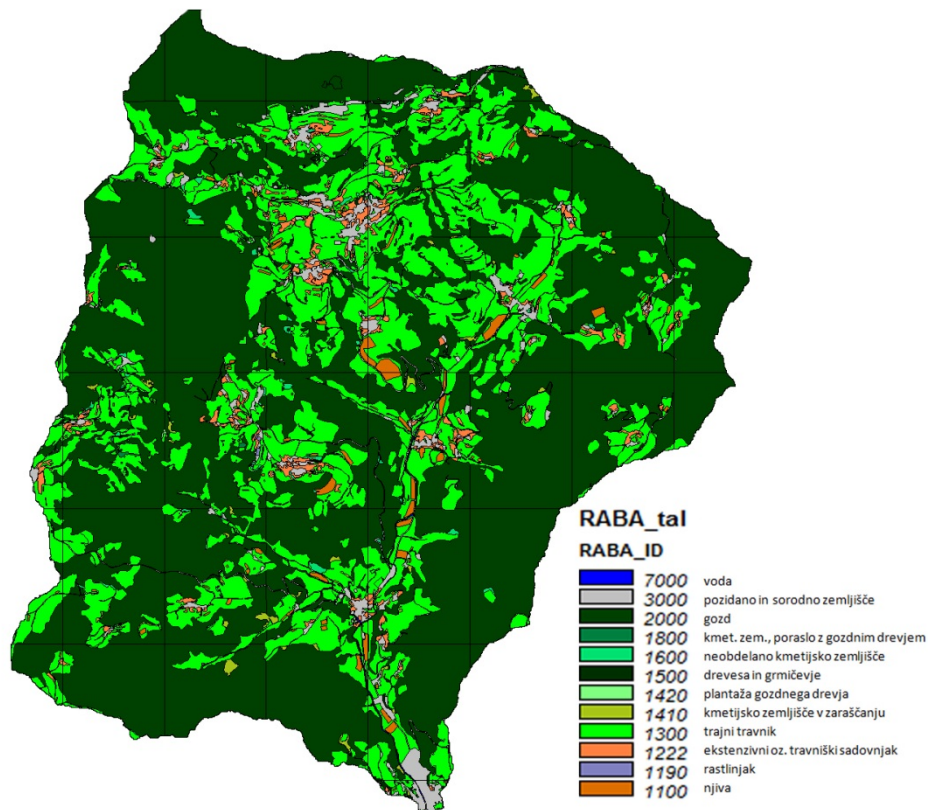
$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} [mm]; SI \text{ merski sistem}$$

4.4.1 Izračun koeficienta CN

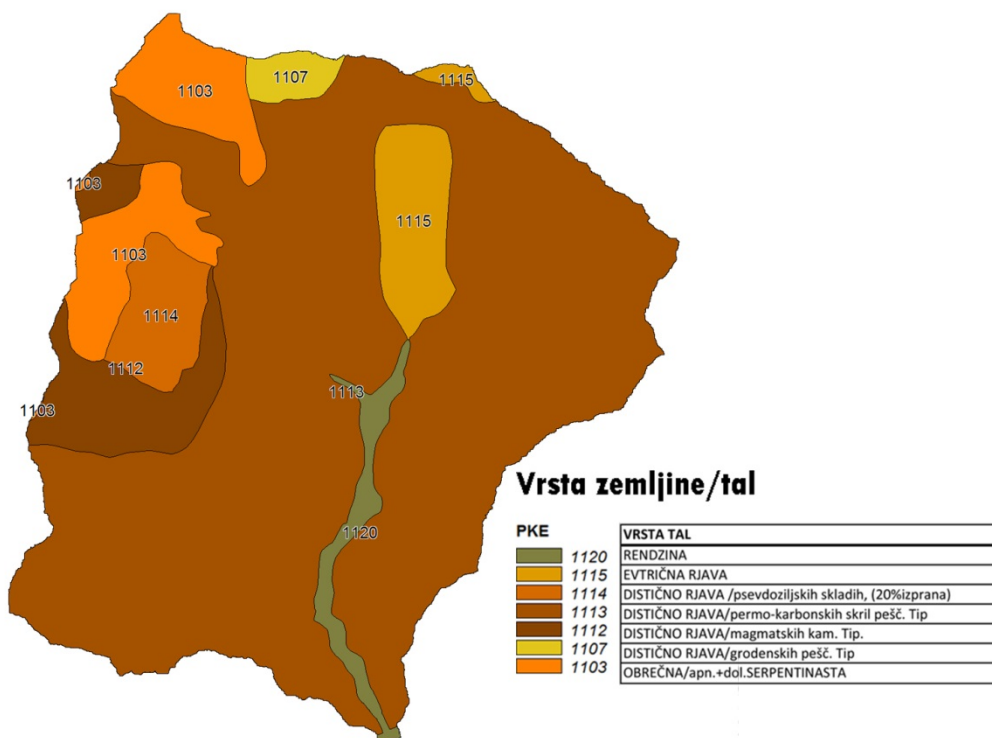
CN za povodja ocenimo s pomočjo tabel kot funkcijo rabe in vrste tal (priloga A) ter predhodne vlažnosti (priloga B). Za povodja z več vrstami zemljin in različno rabo tal se enoten CN izračuna kot:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{\sum A_i}$$

Podatke o rabi in vrsti tal na prispevnem območju smo pridobili na strani Ministrstva za kmetijstvo in okolje (MKO). Za obdelavo podatkov smo uporabili programsko orodje SAGA GIS.



Slika 19: Raba tal prispevnega območja



Slika 20: Pedološka karta prispevnega območja

Iz slike 19 je razvidno, da je na povodju Ločivnice 12 različnih vrst rabe tal. Prevladujoča raba je gozd. Zaradi preglednosti pri nadaljnji obdelavi podatkov, smo jih razdelili v štiri razrede: kmetijsko zemljišče, gozd, urbana raba in vodne površine. Klasifikacija in delež posamezne vrste rabe sta prikazana v preglednici 3.

Preglednica 3: Raba tal prispevnega območja

ID	RABA	KLASIFIKACIJA	ODSTOTEK [%]
1100	njiva	KMETIJSKO ZEMLJIŠČE	2,92
1190	rastlinjak		
1222	ekstenzivni oz. travniški sadovnjak		
1300	trajni travnik	GOZD	93,09
1410	kmetijsko zemljišče v zaraščanju		
1420	plantaža gozdnega drevja		
1500	drevesa in grmičevje		
1600	neobdelano kmetijsko zemljišče		
1800	kmetijsko zemljišče, poraslo z gozdnim drevjem		
2000	gozd		
3000	pozidano in sorodno zemljišče	URBANE POVRŠINE	3,90
7000	voda	VODA	0,10
			100,00

Iz slike 20 pa je razvidno, da je na povodju Ločivnice 7 različnih vrst tal. Vsakemu od teh razredov je pripisan ustrezen odtočni potencial zemljine (preglednica 4, opis potenciala je v prilogi A)

Preglednica 4: Odtočni potenciali zemljine glede na vrsto tal

ID_NAME	VRSTA TAL	ODTOČNI POTENCIAL	Delež zemljine na povodju [%]
1103	RENDZINA	C	9,53
1107	EVTRIČNA RJAVA	C	
1112	DISTIČNO RJAVA /psevdoziljskih skladih, (20%izprana)	B	88,06
1113	DISTIČNO RJAVA/permo-karbonskih skril pešč. Tip	B	
1114	DISTIČNO RJAVA/magmatskih kam. Tip.	B	
1115	DISTIČNO RJAVA/grodenskih pešč. Tip	B	
1120	OBREČNA/apn.+dol.SERPENTINASTA	D	2,41
			100

V naslednjem koraku smo vsakemu razredu rabe tal pripisali odtočni potencial in vrednost koeficienta CN (preglednica 5). Za določitev posameznih vrednosti koeficienta CN smo vzeli vrednosti prevladujoče rabe tal, glede na preglednice v prilogi B. Določeni so bili dobri hidrološki pogoji. Glede na delež vrste rabe tal na povodju in skupne vrednosti CN smo izračunali CN CELOTNEGA PRISPEVNEGA OBMOČJA. Ta je: **CN = 62,99**.

Preglednica 5: Vrednost koeficienta CN glede na razred rabe tal in odtočni potencial zemljine

KLASIFIKACIJA VRSTE TAL	ODTOČNI POTENCIAL ZEMLJINE			Koeficient CN
	B	C	D	
KMETIJSKO ZEMLJIŠČE	72	80	83	
GOZD	60	73	79	
URBANE POVRŠINE	85	90	92	
VODA	100	100	100	

Izračunane vrednosti padavinskih izgub in koeficienta CN prikazuje spodnja preglednica:

Preglednica 6: Vrednosti parametrov padavinskih izgub po SCS-metodi za povodje Ločivnice

Povodje	CN	S [mm]	Ia [mm]
Ločivnica	63,00	149,1893	29,83786

4.5 Sintetični hidrogrami enote

Program HEC-HMS lahko transformira učinkovite padavine v površinski odtok na dva načina, z empiričnimi modeli in konceptualnimi modeli. Ko želimo oceniti povezavo med površinskim odtokom in učinkovitim padavinami brez opazovanja notranjih proces se poslužujemo empirični modelov. Empirični modeli so vsi modeli hidrogramov enote. Pozorni moramo biti na omejen fizikalni pomen enačb in parametrov v empiričnem modelu (Brilly in Šraj, 2006).

Metode sintetičnih hidrogramov enote spadajo med empirične metode modeliranja površinskega odtoka. Uporabljamo jih takrat, ko ne razpolagamo z meritvami ali pa te niso dovolj točne, da bi lahko oblikovali hidrogram enote po postopku z merjenimi podatki padavin. Ponavadi razpolagamo samo z dnevnimi opazovanji, takrat hidrogram rekonstruiramo s postopki za konstrukcijo sintetičnega hidrograma. Vrsto sintetičnega hidrograma, ki ga želimo uporabiti, določimo na osnovi primernih vhodnih podatkov. (Brilly, 2006) Za modeliranje površinskega odtoka iz povodja Ločivnice smo zaradi relativno enostavne uporabnosti, zadovoljevanja danim pogojem modela in natančno določenih topografskih karakteristik povodja ter koeficienta CN, izbrali metodo SCS HE.

4.5.1 SCS HE

Spodnje besedilo je povzeto po priročniku za Modeliranje površinskega odtoka, avtorjev Brilly M. in Šraj M.. (2006).

Metoda SCS je parametrična metoda določanja HE (hidrograma enote). Metoda temelji na osnovi povprečij HE, ki so določeni iz merjenih padavin in odtoka za večje število manjših kmetijskih povodij v ZDA.

Določanje parametrov SCS HE za vnos v model HEC-HMS:

Parameter SCS hidrograma enote je čas zakasnitve (T_p). Čas zakasnitve je čas od težišča histograma učinkovitim padavin do vrha enotnega hidrograma. Za čas zakasnitve je SCS podal enačbo:

$$T_p = L^{0,8} \cdot \frac{(S_r + 25,4)^{0,7}}{28,14 \cdot \sqrt{Y}} [h]$$

Kjer so:

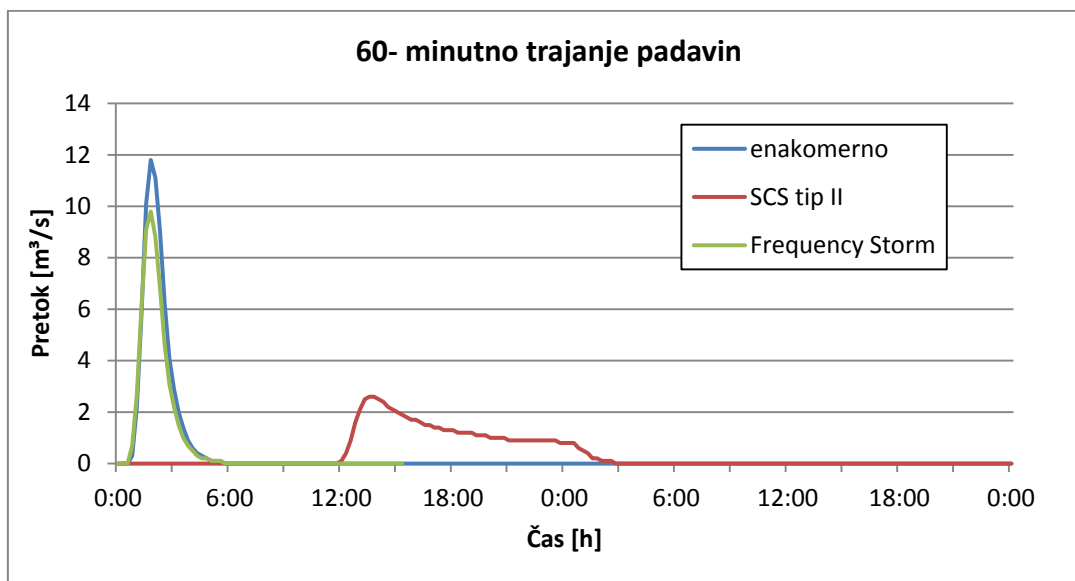
- L - hidravlična dolžina povodja [km],
- S_r - maksimalna retenzija povodja [mm],
- Y - naklon povodja [%].

Maksimalna retenzija je bila izračunana že v poglavju 4.1. Ostale vrednosti smo vzeli iz preglednice 1. Tako je bil izračunan čas zakasnitve povodja, ki je: $T_p = 0,964$ h, oziroma **57,83 minut**.

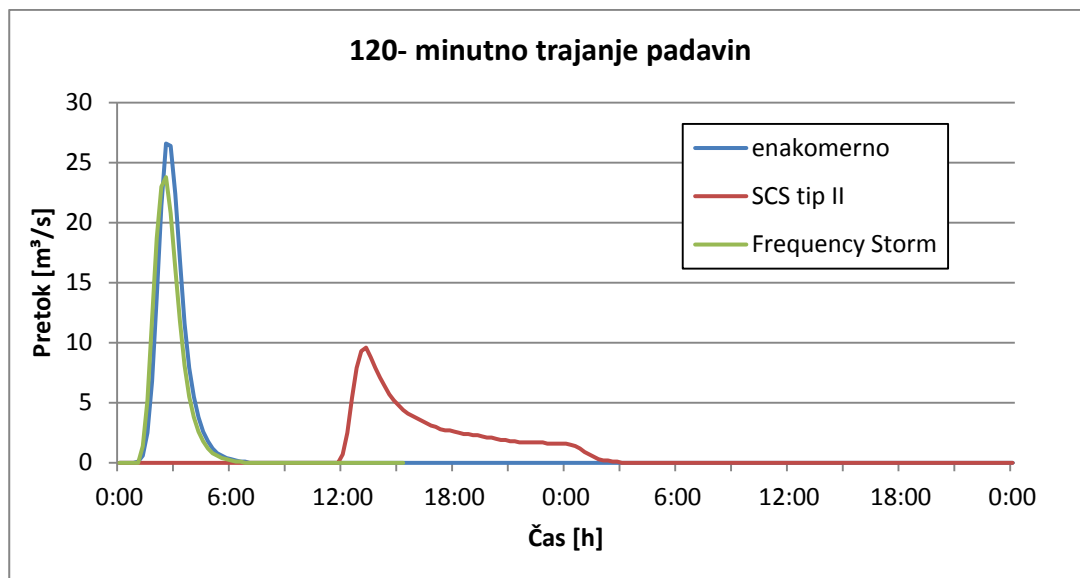
4.6 Rezultati hidrološkega modela pri stanju brez zadrževalnika

Rezultati hidrološkega modela so hidrogrami simulacij različnih trajanj padavin in metod porazdelitev. Hidrogrami so izračunani na podlagi histogramov določenih v poglavju 4.3.1. Izračuni so narejeni za različna trajanja padavinskega dogodka (nevihte), za 1, 2,3,6,12 in 24 urno trajanje padavin, s tremi različnimi metodami: enakomerna porazdelitev, SCS Tip II in Frequency Storm. V kontrolnem model programa HEC-HMS je bil določen 48 urni časovni okvir računske simulacije ter računski interval na 15 minut.

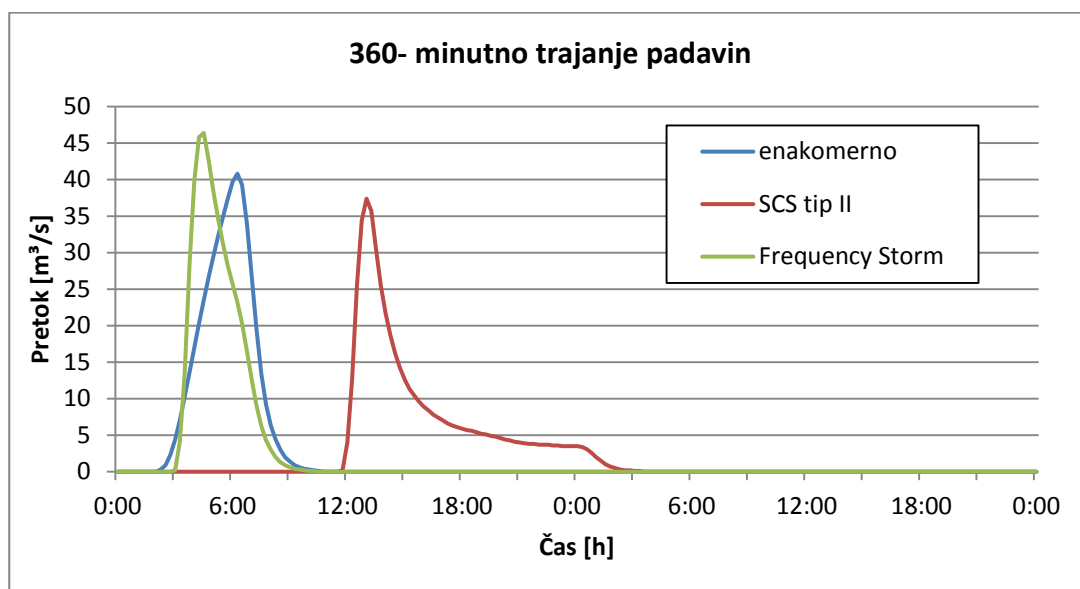
Izračunani hidrogrami in tabelarično predstavljeni maksimalni odtoki iz povodja:



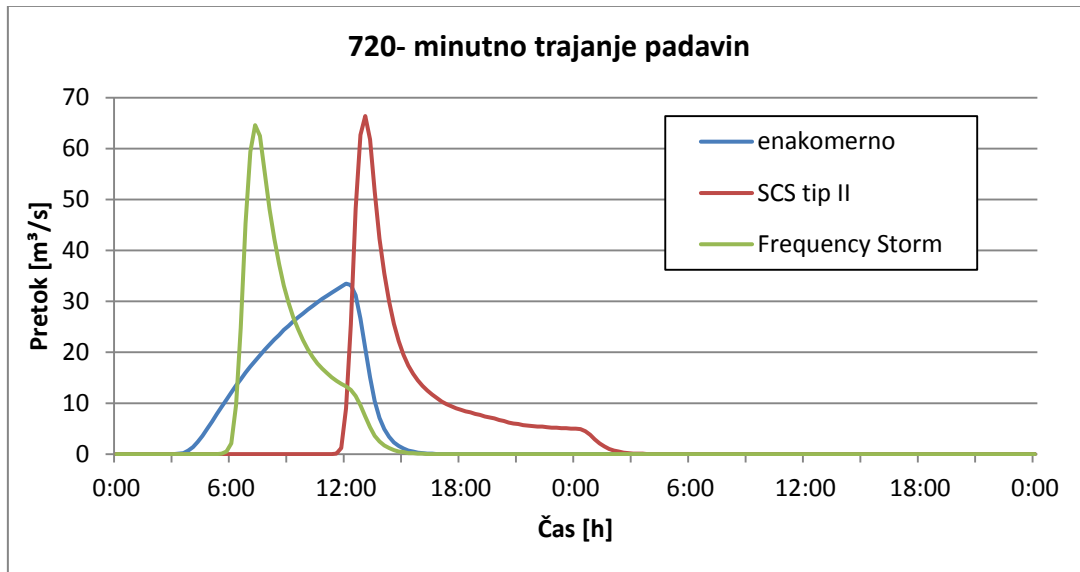
Grafikon 4: Primerjava hidrogramov odtoka iz povodja brez urejenega zadrževalnika pri 60 minutnem trajanju nevihte



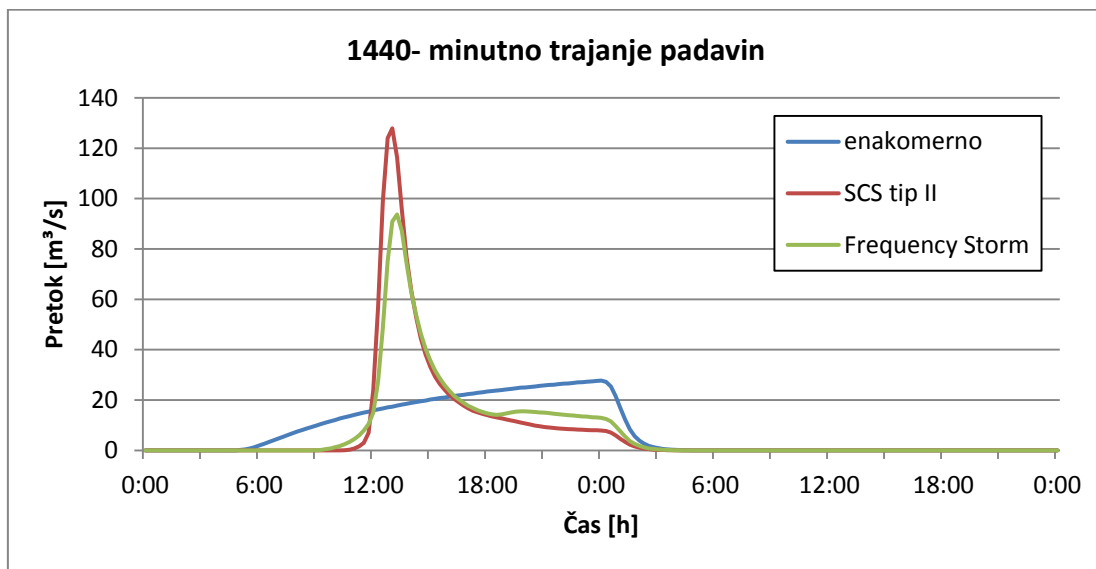
Grafikon 5: Primerjava hidrogramov odtoka iz povodja brez urejenega zadrževalnika pri 120 minutnem trajanju nevihte



Grafikon 6: Primerjava hidrogramov odtoka iz povodja brez urejenega zadrževalnika pri 360 minutnem trajanju nevihte



Grafikon 7: Primerjava hidrogramov odtoka iz povodja brez urejenega zadrževalnika pri 720 minutnem trajanju nevihte



Grafikon 8: Primerjava hidrogramov odtoka iz povodja brez urejenega zadrževalnika pri 1440 minutnem trajanju nevihte

Cilj primerjave je določiti maksimalno prostornino (V) in maksimalni odtok (Q_{100}) iz povodja, ter s tem določiti projektne vrednosti dimenzioniranja potrebne prostornine zadrževalnika. V preglednici 7 so tabelarično predstavljeni maksimalni pretoki (Q_{max}), volumen odtoka in čas pojava konice padavinskega dogodka.

Preglednica 7: Primerjava rezultatov hidrološkega modeliranja z uporabo različnih razporeditev sintetičnih padavin različnega trajanja:

Porazdelitev padavin	Trajanje padavin s 100-letno povratno dobo (min)								
	60/1h			120/2h			360/6h		
	<i>enakom.</i>	<i>SCS tip 2</i>	<i>Freq. (50%)</i>	<i>enakom.</i>	<i>SCS tip 2</i>	<i>Freq. (50%)</i>	<i>Enakom.</i>	<i>SCS tip 2</i>	<i>Freq. (50%)</i>
Qmax (m ³ /s)	11,8	2,6	9,8	26,6	9,6	23,8	40,8	37,4	46,4
Volumen odtoka (m ³)	62800	62800	52800	156800	156800	142600	452900	452700	432500
Čas pojava konice	1:45	13:30	1:45	2:30	13:15	2:30	6:15	13:00	4:30

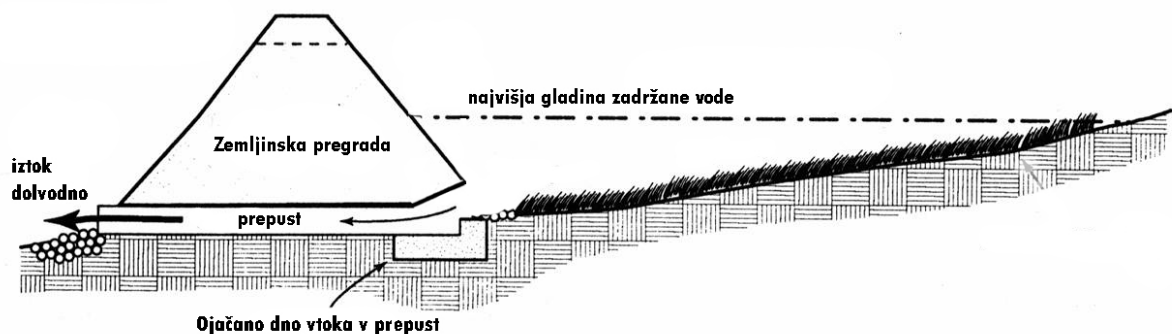
Porazdelitev padavin	Trajanje padavin s 100-letno povratno dobo (min)					
	720/12h			1440/24h		
	<i>enakom.</i>	<i>SCS tip 2</i>	<i>Freq. (50%)</i>	<i>enakom.</i>	<i>SCS tip 2</i>	<i>Freq. (50%)</i>
Qmax (m ³ /s)	33,5	66,4	64,6	27,7	127,9	93,7
Volumen odtoka (m ³)	734400	734900	713700	1325800	1325200	1300900
Čas pojava konice	12:00	13:00	7:15	24:00	13:00	13:15

Iz rezultatov vidimo, da enakomerna porazdelitev pri daljšem trajanju padavinskega dogodka močno podceni odtok iz povodja. Pri tej metodi so opazne bistveno nižje konice odtokov napram drugima dvema metodama (preglednica 7). Tak rezultat je bil pričakovan, saj sta že Lombourne in Stephenson pokazala, da uporaba enakomerno porazdeljenih padavin (pravokotne oblike) podcenjuje konico in volumen projektnega hidrograma (Dirnbek, 2010). Metoda porazdelitve SCS Tip II najprej pri eno urnem in dve urnem trajanju padavin verjetno nekoliko podceni količino padlih padavin glede na drugi dve metodi (grafikon 4 in 5). Pri 12 in 24 urnem trajanju pa je opazno, da metoda verjetno nekoliko preceni količino padlih padavin, saj kot lahko vidimo iz izračunanega histograma padavin (grafikon 2), v času konice največjih padavin, količina padavin preseže 1 urno intenziteto padavin s 100-letno povratno dobo izračunanih za bližnjo padavinsko postajo (preglednica 2). Ta rezultat sicer ni napačen, saj metoda tako določi ekstremen pojav, ki bi se lahko zgodil na obravnavanem povodju, je pa tu vprašanje verjetnosti takšnega dogodka. Pri metodi Frequency Storm zgoraj opisanih odstopanj od verjetnih realnih rezultatov ni moč opaziti.

5 ANALIZA VPLIVA ZADRŽEVALNIKA VISOKIH VODA NA HIDROGRAM ODTOKA

5.1 Določitev karakteristik zadrževalnika visokih voda

Predlagan je suhi zadrževalnik visokih voda na katerem bi bila zgrajena zemljinska pregrada. Izpust iz zadrževalnika bi bil urejen z okroglim prepustom na dnu pregrade. Skica zadrževalnika je vidna na sliki 21. Razlog za izbiro takšnega tipa zadrževalnika je, da suhi zadrževalnik in zemljinska pregrada pomenita manjšo degradacijo okolja in potencialno boljšo vključenost v okolje. V času ko zadrževanje visokih voda ni potrebno in je zadrževalni prostor prazen se to območje lahko uporablja za druge sekundarne namene, kot je živinoreja. Seveda je tu treba opozoriti, da brez primerne vzdrževanja zadrževalnega prostora, kot je odstranjevanje večje grmovne in drevesne vegetacije, zadrževalnik ne bo služil svojemu namenu skladno s projektiranimi zahtevami.



Slika 21: Skica predlaganega suhega zadrževalnika visokih voda

Prepust mora biti urejen tako, da v času nizkih/srednjih pretokov normalno prepušča pretoke dolvodno in omogoča popolno izpraznjenje suhega zadrževalnika. Pretok, na katerega dimenzioniramo maksimalen iztok iz zadrževalnika in karakteristike prepusta smo določili v poglavju 3.3. in znaša 38 m³/s. Za potrebe dimenzioniranja prepusta smo predpostavili, da bi bila razlika med višino statične vode v akumulaciji in dnem pregrade v zadrževalniku 20 m (H).

Potrebno površino odprtine talnega izpusta smo izračunali po enačbi, ki smo ja zapisali v poglavju 2.3.3.1. Za pretočni koeficient je bila določena vrednost, $C = 0,55$. Pretočna kapaciteta talnega izpusta: $Q = 38 \text{ m}^3/\text{s}$. Izračunana potrebna površina odprtine je znašala 3,49 m². Iz katere je po spodnji enačbi določen minimalen premer (D) cevnege prepusta.

$$D = \frac{A \cdot 4}{\pi}$$

Kjer je:

D - premer cevnega prepusta

A - površina odprtine

Izračunani minimalni premer cevnega prepusta po zgornji enačbi je, $D = 2,1\text{m}$. Ker je to razmeroma velik premer za cevni prepust in zaradi standardiziranih dimenzij cevnih prepustov, bi bilo bolj smiselno v pregrado umestiti dva cevna prepusta, premera 120 cm.

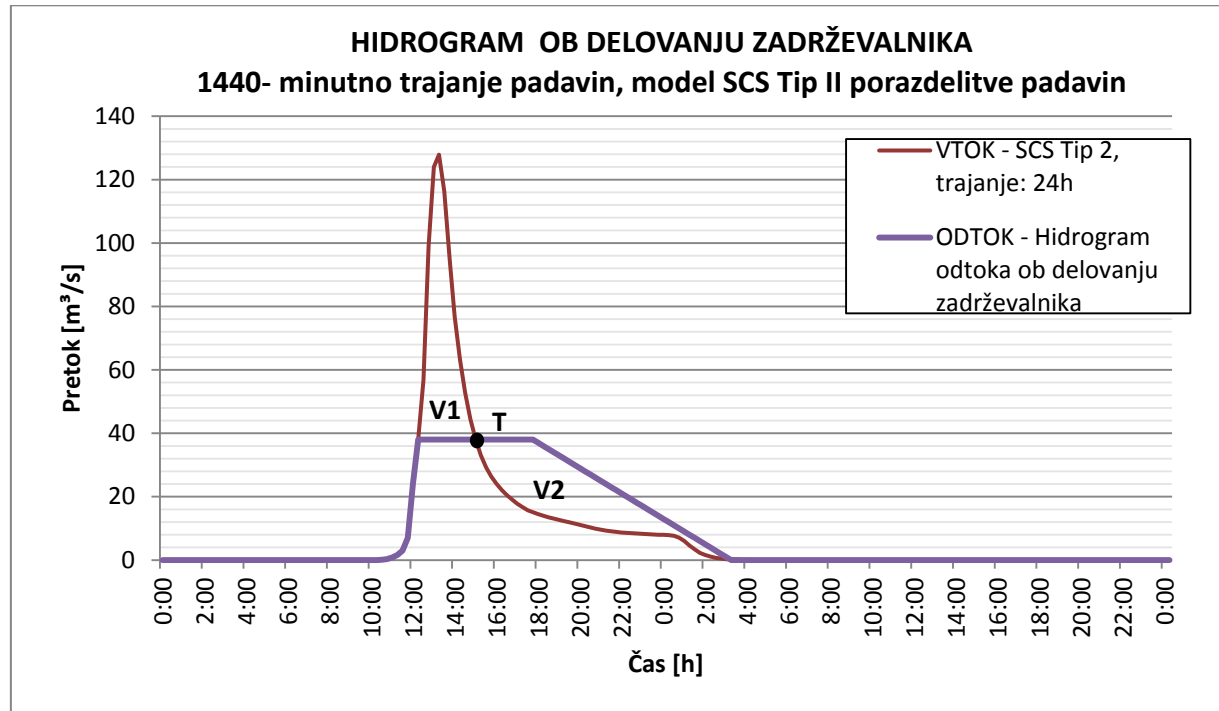
5.2 Določitev potrebne prostornine zadrževalnika visokih voda

Glede na rezultate hidrološkega modela izračunane z različnimi metodami v poglavju 4.6, smo se odločili potrebno prostornino zadrževalnika določiti iz hidrograma, izdelanega na podlagi histogramov določenih z metodo SCS Tip II, saj je pri tej metodi padavinski dogodek s trajanjem 24 ur tisti, ki doseže najvišjo konico maksimalnega pretoka iz povodja. 24 urno trajanje padavinskega dogodka smo izbrali zaradi tega, ker pri vseh treh metodah s takim trajanjem padavinskega dogodka dobimo največje volumne odtoka in največje maksimalne pretoke iz povodja. Za primerjavo se je potrebna prostornina zadrževalnika izračunala tudi za hidrogram s 24 urnim padavinskim dogodkom, izdelanim z metodo Frequency Storm.

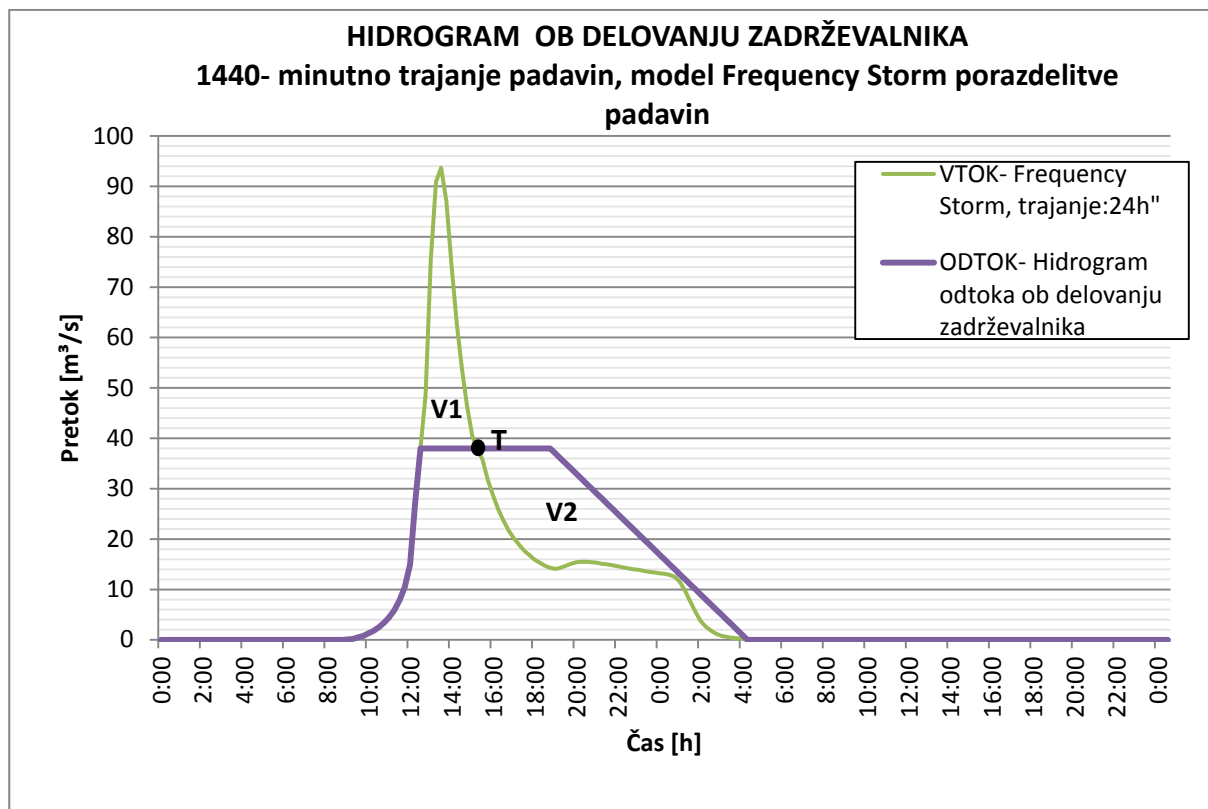
V času koničnega pretoka znaša maksimalni dovoljeni pretok, ki dolvodno ne povzroča poplavljanja, $38\text{ m}^3/\text{s}$. Zadrževalnik mora biti dimenzioniran in načrtovan tako, da se zadrževalni prostor začne polniti takrat, ko visoke vode presežejo vrednost $38\text{ m}^3/\text{s}$. Prikaz delovanja zadrževalnika je viden na grafikonih 9 in 10. Zadrževalnik doseže koto maksimalne zajeze takrat, ko je vtok zopet enak iztoku oziroma, ko iztočni hidrogram seka vtočnega pri točki T (grafikon 9). V tem hipu dosežemo koto največje zajeze ter največjo količino vode, ki jo zadržimo ob prehodu 100-letnega hidrograma s konstantnim reguliranim iztokom $38\text{ m}^3/\text{s}$. Ker je sedaj dotok manjši od iztoka, poteka praznjenje zadrževalnika oz. reguliran iztok skozi prepust. Zadrževalnik je popolnoma izpraznjen, ko je površina $V1$ enaka površini $V2$ (grafikon 9). Za določitev natančnega poteka krivulje praznjenja zadrževalnega bazena bi morali poznati podrobne karakteristike delovanja prepusta. Predpostavili smo reguliran odtok skozi prepust in prikazali kako bi se v idealnih razmerah zadrževalni bazen praznil. Delovanje zadrževalnika je na isti način prikazano na grafikonu 10, pri modelu Frequency Storm porazdelitve padavin, le da je v tem primeru potrebna prostornina zadrževalnika manjša. Iz rezultatov, ki so podani v preglednici 8 vidimo, da je pri hidrogramu izdelanem z metodo SCS Tip II potrebna skoraj še enkrat večja prostornina zadrževalnega prostora, kot pri metodi Frequency Storm.

Preglednica 8: Rezultati izračunanih minimalnih potrebnih prostornin zadrževalnika

Hidrogram	Minimalna potrebna prostornina zadrževalnika [m ³]
SCS Tip II	429120
Frequency Storm	259296



Grafikon 9: Izračunani hidrogram odtoka iz povodja ob pravilnem delovanju zadrževalnika, metoda SCS Tip II



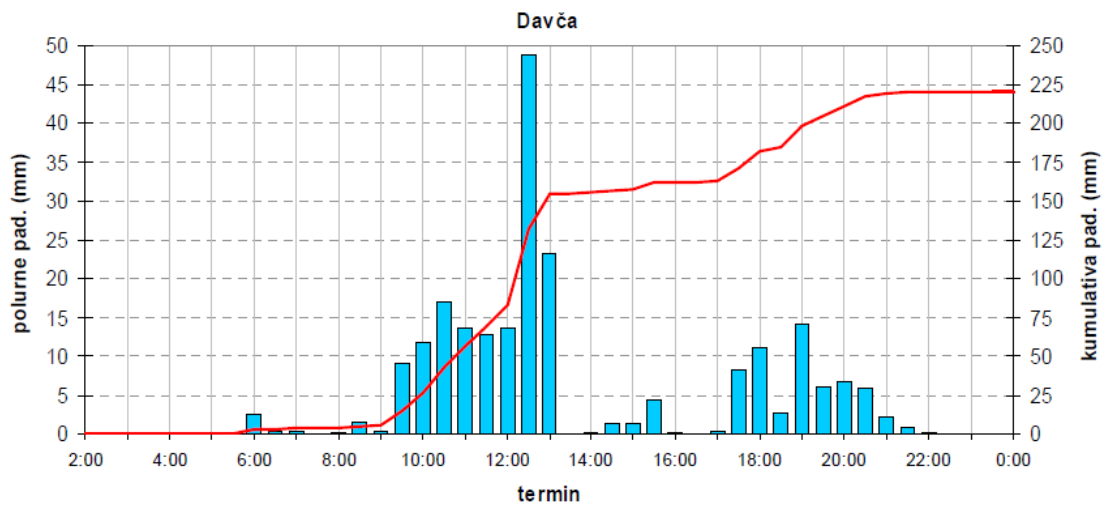
Grafikon 10: Izračunani hidrogram odtoka iz povodja ob pravilnem delovanju zadrževalnika, metoda Frequency Storm

5.3 Vpliv izračunanih prostornin zadrževalnika v primeru dejanskega padavinskega dogodka

Da bi preverili vpliv izračunanih prostornin zadrževalnika na dejanski padavinski dogodek, ki se je zgodil v preteklosti in za katerega obstajajo merjeni podatki padavin smo iz spletnih strani ARSO pridobili histograme padavin, ki so se na bližnjem območju (porečju hudournika Davča) zgodile septembra 2007. Obravnavali smo padavinski dogodek, ki je 18.9. 2007 na območju Železnikov povzročil ekstremne poplave.

5.3.1 Ekstremen padavinski dogodek merjen na padavinski postaji Davča

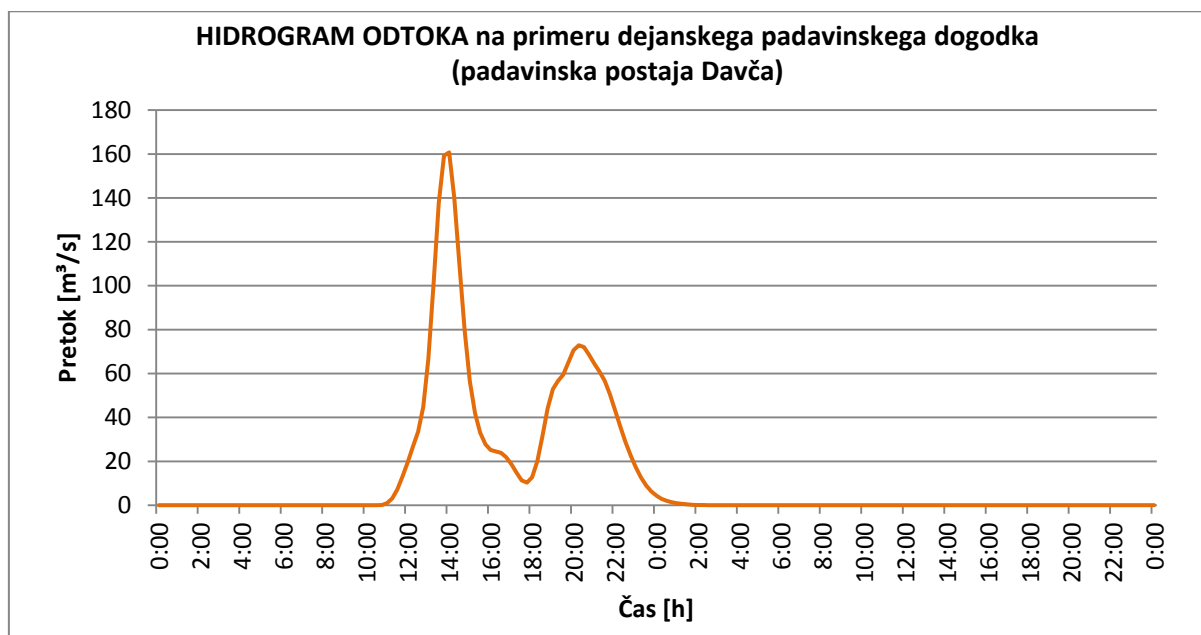
Najprej smo pridobili podatke, o padavinah za najbližjo postajo temu dogodku, padavinsko postajo Davča (grafikon 11). Na tej padavinski postaji je ta dan količina padavin močno preseгла 100-letno povratno dobo. Predpostavili smo, da bi se tak, sicer zelo ekstremen, lokalni in malo verjeten, padavinski dogodek zgodil na celotni površini prispevnega območja Ločivnice. V programu HEC-HMS je bil izdelan hidrogram padavinskega dogodka (grafikon 12).



Grafikon 11: Histogram ekstremnega padavinskega dogodka zabeležen 18.9.2007 na padavinski postaji Davča (http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/padavine_18sep07.pdf)

Preglednica 9: Rezultati hidrološkega modela Ločivnice na primeru ekstremnega padavinskega dogodka na pad. postaji Davča

Površina padavinskega dogodka (min)	100% (20,17 km ²)
Qmax (m³/s)	160,7
Volumen odtoka (m³)	2214600
Čas pojava konice	14:00



Grafikon 12: Hidrogram odtoka Ločivnice na primeru ekstremnega padavinskega dogodka na pad. postaji Davča

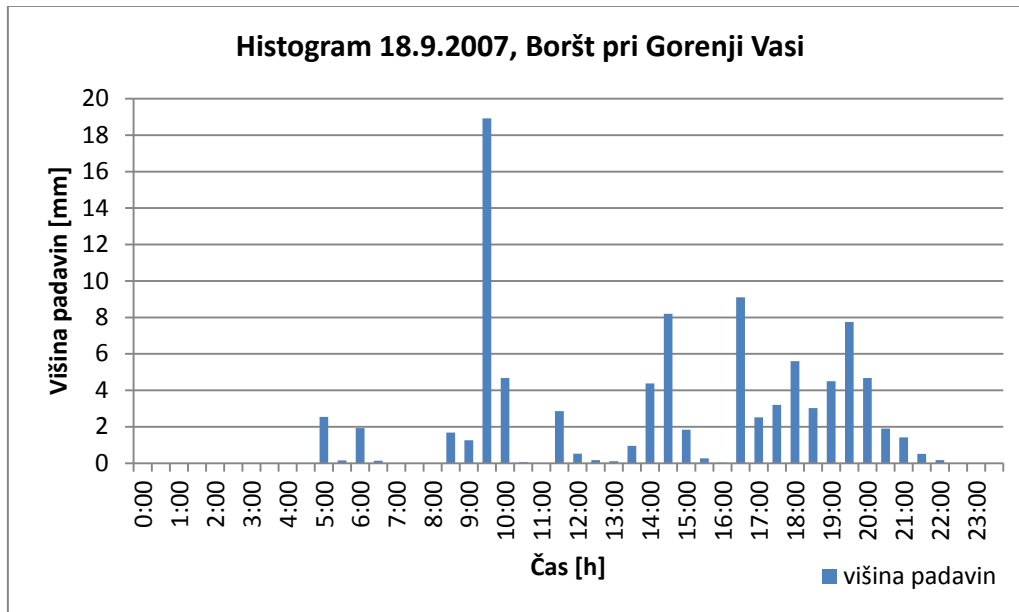
V primeru takega ekstremnega padavinskega dogodka, bi bila potrebna minimalna prostornina v zadrževalniku 876348 m^3 , kar je nekaj več kot dvakrat večja potrebna zadrževalna prostornina, ki je bila izračunana v primeru hidrograma izračunanega po metodi SCS Tip II. V tem primeru prej dimenzioniran zadrževalnik nebi zadostoval za popolno protipoplavno zaščito dolvodnega območja. Treba bi bilo povečati hidravlično prevodnost struge v njenem kritičnem odseku. S tem bi se povečal maksimalni dovoljeni pretok, ki dolvodno od zadrževalnika ne povzroča poplavljanja. Iztok zadrževalnika bi dimenzionirali tako, da bi dolvodno spuščal nov maksimalni dovoljeni pretok. Da bi se volumen potrebne zadržane vode v tem primeru spustil pod 429120 m^3 , kot je prostornina zadrževalnika v primeru metode SCS Tip II, bi bilo potrebno prevodnost struge v kritičnem območju povečati na $65 \text{ m}^3/\text{s}$. Takrat bi prostornina potrebne zadržane vode znašala predvideno okoli 415000 m^3 .

Preglednica 10: Primerjava izračunanih minimalnih potrebnih prostornin zadrževalnika

Hidrogram	Minimalna potrebna prostornina zadrževalnika [m^3]
Ekstrem. Pad. Davča	876348
SCS Tip II	429120

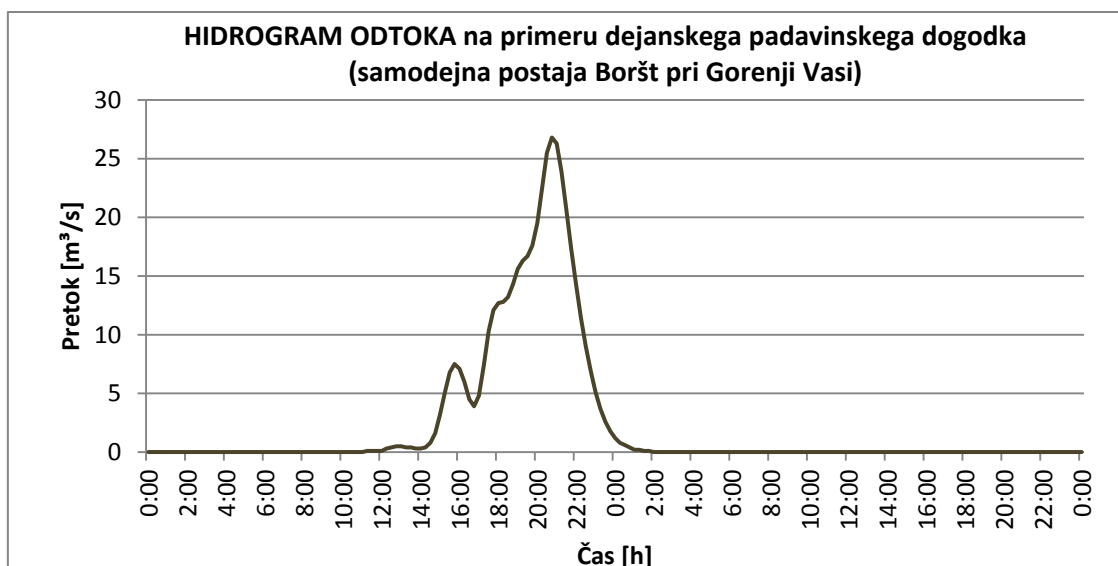
5.3.2 Ekstremen padavinski dogodek merjen na samodejni postaji Boršt pri Gorenji Vasi

Samodejna meteorološka postaja Boršt pri Gorenji Vasi, ki je od povodja Ločivnice oddaljena le nekaj kilometrov, od leta 2005 meri med drugim tudi polurne vrednosti količine padlih padavin na bližnjem območju. S spletne strani: <http://www.meteo.si/>, Agencije republike Slovenije za okolje smo pridobili podatke o količini in razporeditvi padlih padavin v času, ko je padavinska postaja Davča zabeležila ekstremen padavinski dogodek. Izdelan histogram padavin je podan spodaj.



Grafikon 13: Histogram polurnih padavin zabeleženih 18.9.2007 na samodejni postaji Boršt pri Gorenji Vasi

V programu HEC-HMS je bil izdelan hidrogram padavinskega dogodka za povodje Ločivnice (grafikon 14). Predpostavljeno je bilo, da padavinski dogodek obsega celotno prispevno površino. Iz hidrograma lahko vidimo, da je konica odtoka pri 26,8 m³/s. Kar pomeni, da se v primeru takšnega padavinskega dogodka na Povodju Ločivnice in izračunane prostornine celotnega odtoka predlagana zadrževalnika nebi začela polniti. Ker je prevodnost struge v kritičnem območju večja od konice odtoka bi celotno količino padavin brez poplavljanja prevajala struga v takšnem stanju kot je sedaj.



Grafikon 14: Hidrogram odtoka Ločivnice na primeru padavinskega dogodka zabeleženega na postaji Boršt pri Gorenji Vasi

5.4 SWOT analiza suhega zadrževalnika visokih voda na povodju Ločivnice

SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats) analiza oziroma PSPN matrika v slovenski terminologiji je analiza, ki zajema štiri aspekte: prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti. Analiza je hitra in izjemno koristna, nudi nam podporo oz. usmeritev pri strateških odločitvah.

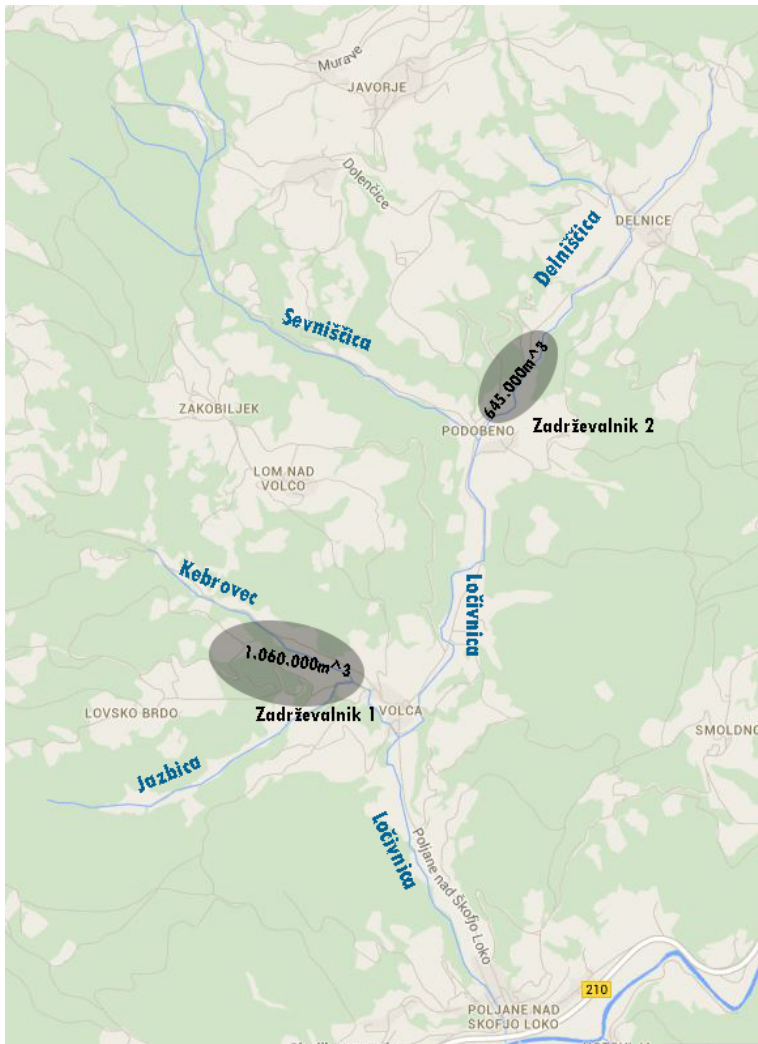
Preglednica 11: SWOT analiza predlaganega suhega zadrževalnika visokih voda na povodju Ločivnice

Prednosti	Slabosti	Priložnosti	Nevarnosti
Pozitivni vpliv na protipoplavno varnost.	Relativno veliki stroški izgradnje objekta za manjšo občino.	Sonaravno urejanje prostora suhega zadrževalnika.	Nepravilno delovanje, upravljanje zemljišč
Manjša degradiranost naravnega okolja kot pri drugih vrstah akumulacij in protipoplavnih posegov v okolje.	Poseg v prostor in odkup potrebnih zemljišč.		Nenatančno dimenzioniranje zaradi pomanjkljivih vhodnih podatkov (poddimenzioniranje, predimenzioniranje)
Zaščita obstoječih objektov dolvodno in pridobljen varen prostor za gradnjo drugih objektov oz. širitev naselja.	Manjša degradacija naravnega okolja.		Porušitev
Ob izgraditvi zadrževalnika ni potrebno izvesti večjega hidravličnega urejanja struge v središču naselja. Ni degradacije obstoječega vaškega središča.			
Pozitivni vpliv na visoke vode Poljanske Sore.			

5.5 Predlagana lokacija zadrževalnika

V hidrološki študiji ureditve povodja Selške in Poljanske Sore, ki jo je leta 1993 izdelal Vodnogospodarski inštitut sta bila na povodju Ločivnice predvidena dva zadrževalnika in sicer na Kebrovcu nad naseljem Volča (zadrževalnik 1) in na Delniščici med naseljema Podobeno in Delnice (zadrževalnik 2). Lokaciji predvidenih zadrževalnikov sta prikazani na sliki 22. Skupna prostornina zadrževalnikov znaša okoli 1.700.000 m³. Predvideno je bilo, da bi zadrževalnika s tako prostornino zadržala skoraj vso vodo do predvidenega profila pregrade, kar bi pomenilo trajno ojezeritev struge na teh območjih. Da bi zadostili tem pogojem bi morali biti pregradi zadrževalnikov zelo veliki. Za

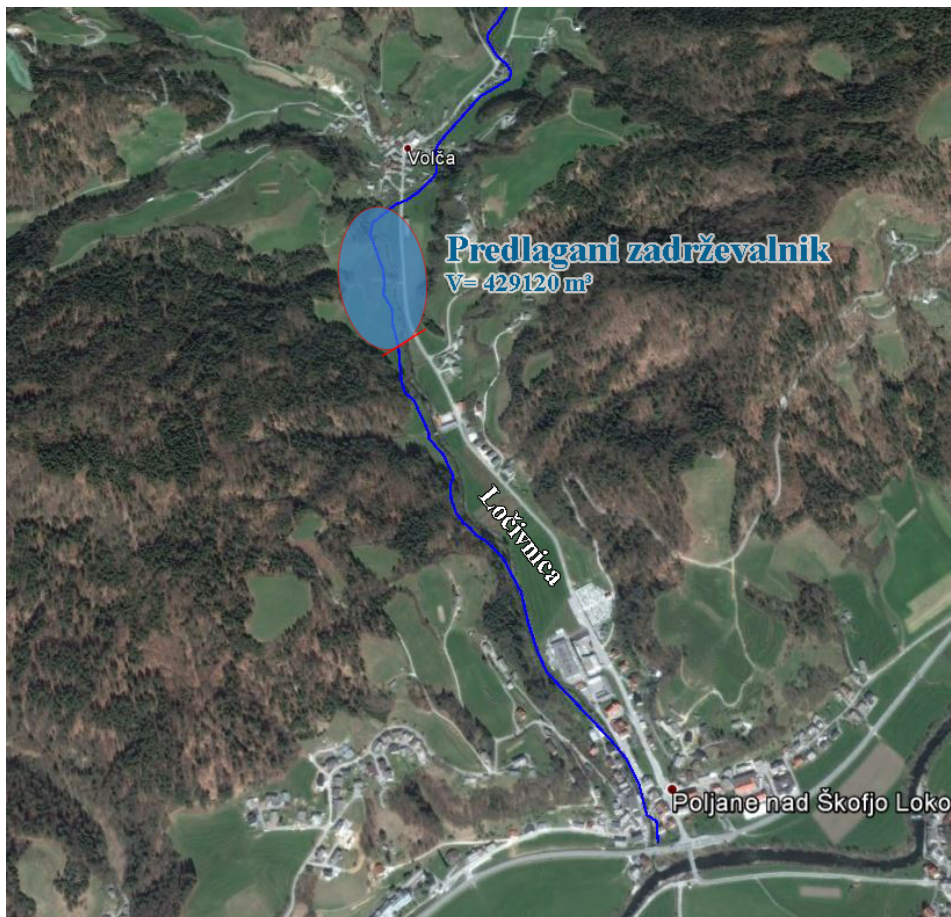
zagotovitev potrebnega zadrževalnega prostora pa bi bil potreben velik poseg v okolje in odkup večjih površin primernih zemljišč. Zgraditev takih objektov bi bil verjetno tudi velik finančni zalogaj za relativno majhno občino.



Slika 22: Lokaciji in prostornini predvidenih zadrževalnikov v študiji ureditve povodja Poljanske Sore (VGI, 1993)

V primeru predlaganega suhega zadrževalnika visokih voda v tej diplomski nalogi, z minimalno prostornino zadrževalnega prostora 429120 m^3 , pa bi v predlaganem zadrževalniku zadržali zgolj konico poplavnega vala, ki bi v nasprotnem primeru dolvodno povzročal poplavljanje izven obstoječe struge. S tem zagotovimo protipoplavno varnost območji dolvodno od zadrževalnika z relativno majhnim potrebnim minimalnim zadrževalnim prostorom. Kar pomeni manjši poseg v okolje ter lažjo umestitev objekta v prostor. Predlagana je zgraditev enega zadrževalnika, ki bi bil lociran med vasjo Volča (kjer se v Ločivnico iztekata še zadnja dva večja pritoka) in naseljem Poljane nad Škofjo Loko.

Zaradi primernejše konfiguracije terena in zgrajenih stanovanjskih in drugih objektov dolvodno je predlagana lokacija zadrževalnika in pregradnega objekta bližje vasi Volča (slika 23).



Slika 23: Predlagana lokacija suhega zadrževalnika visokih voda na vodotoku Ločivnica nad Poljanami nad Škofjo Loko



Slika 24: Pogled na del območja predlagane lokacije zadrževalnika (Avtor, terenski ogled, 24.4.2014)

6 ZAKLJUČEK

Del naselja Poljan nad Škofjo Loko, ki leži na sotočju Ločivnice in Poljanske Sore je izpostavljeno večji poplavni ogroženosti. Zaradi goste poselitve ni veliko protipoplavnih ukrepov, ki bi bili primerni kot ustrezni ukrepi varovanja tega območja pred poplavami. Tako so že avtorji preteklih študij predlagali kot edini ukrep, ki bi imel večji učinek na zmanjšanje pretokov v kritičnem odseku struge in s tem na poplavno varnost Poljan, izgradnjo enega ali več zadrževalnikov. V diplomski nalogi smo skušali določiti vpliv zadrževalnika visokih voda na hidrogram odtoka vodotoka Ločivnica. Določili smo minimalno potrebno prostornino zadrževalnika in ga zgolj grobo lokacijsko umestili v prostor na podlagi terenskega ogleda in podatkov iz drugih študij. Cilj diplomske naloge je bil izdelati strokovno študijo za izgradnjo zadrževalnika nad naseljem Poljane nad Škofjo Loko.

Za izdelavo hidrološkega modela povodja Ločivnice je bilo najprej potrebno določiti vhodne podatke. Topografske karakteristike povodja smo določili s programskim orodjem SAGA GIS. Rezultati topografskih karakteristik so skoraj popolnoma skladni s podatki izračunanimi v študijah ureditve povodja Poljanske Sore, ki jo je izdelal VGI leta 1993. Osnovni podatek za izračun površinskega odtoka in izdelavo hidrološkega modela so histogrami padavin. Histograme padavin z različnimi padavinskega dogodka in intenzitet smo izdelali z različnimi modeli vgrajenimi v programu HEC-HMS. Rezultati hidrološkega modela so hidrogrami simulacij različnih trajanj padavin in metod porazdelitve padavin znotraj padavinskih dogodkov. Pri rezultatih nekaterih modelov smo opazili manjše odstopanje od verjetnih količin in porazdelitev realnih padavin. Glede na analizo rezultatov hidrološkega modela izračunanih z različnimi metodami, smo se odločili potrebno prostornino zadrževalnika določiti iz hidrograma, izdelanega na podlagi histogramov določenih z metodo SCS Tip II. Iz elaborata poplavne nevarnosti središča Poljan (Petje in Sodnik, 2012), smo pridobili podatke o maksimalni prevodnosti struge Ločivnice v kritičnem odseku. Glede na te podatke so bile izračunane minimalne potrebne prostornine zadrževalnika. Za poenostavljeno ponazoritev delovanja zadrževalnika smo predpostavili, da naj bo predlagani zadrževalnik deloval kot suhi zadrževalnik visokih voda z zemljinsko pregrado in talnim izpustom (prepustom). Za natančno umestitev v prostor takega zadrževalnika bi bilo potrebno določiti natančnejše karakteristike zadrževalnika, med drugim tudi način regulacije talnega izpusta, ter narediti podrobnejše geološke analize predvidenih območji.

Rezultati analize vpliva zadrževalnika na hidrogram odtoka vodotoka Ločivnica so pokazali, da bi imela izgradnja zadrževalnika pozitivne učinke na zagotavljanje varnosti ogroženega območja Poljan nad Škofjo Loko. Zgrajeni zadrževalnik pa nebi imel le lokalnega vpliva na poplavno varnost, temveč bi v kombinaciji z drugimi protipoplavnimi ureditvami pozitivno vplival tudi na izboljšanje protipoplavne varnosti dolvodno vzdolž struge Poljanske Sore. Predlagani suhi visokovodni zadrževalnik napram drugim možnim protipoplavnim ukrepom, kot so mokri zadrževalniki

(akumulacije) in večji nasipi pomeni tudi manjšo degradacijo naravnega okolja. Opozoriti pa je potrebno, da je pri analizi oziroma izvajanju različnih ukrepov varstva pred poplavami potrebno upoštevati celovitost vodnega režima in celotno povodje obravnavati kot enoto. V primeru zagotavljanja poplavne varnosti Poljan, bi lahko varnost poleg izgradnje zadrževalnika povečali tudi s pravilnim in pogostejšim vzdrževanjem struge vodotoka in območji ob njem (npr. odstranjevanje zarastja v strugi, obnova poškodovanih mostov in brežin).

VIRI

ARSO. 2009. Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi, http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf: ARSO.: 17 str.

Beard L., in R., L. 1979. Flood control by reservoirs, Army Corps of Engineers, Institute for water resource, hidrologic Engineering Center

Bedient, P. B., Huber, W. C. in Vieux, B. E. 2008. Hydrology and floodplain analysis, Upper Saddle River: Prentice Hall.: 795 str.

Brilly, M., Mikoš, M. in Šraj, M. 1999. Vodne ujme : varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije : univerzitetni učbenik, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.

Dirnbek, L., Šraj, M. 2010. Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka = Hydrological modelling: The influence of precipitation hydrograph on runoff hydrograph, Gradbeni vestnik 59, 3: 48-56.

Dunkin W.C., Huntley C.W., Hokenstrom J.C. in sodelavci. 1987. Design of small dams, A Water Resources Technical Publication: 827 str.

Feldman, A. D. 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Tehnični priročnik: 149 str.

Kocjan, M. 2010. Ureditev suhega zadrževalnika in vodotoka Pešnice na območju Šentjurja : diplomska naloga = Design of retention area and regulation of Pešnica stream in the Šentjur region, , Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 73 str.

Petje, U., Sodnik, J. 2012. Elaborat poplavne nevarnosti: OPPN za ureditev vaškega jedra Poljan nad Škofjo Loko, Kranj: VGP d.d. Kranj.

Ranfl, M. 2008. Poplave v urbanem okolju - zadrževanje voda z zadrževalniki : seminarska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 44 str.

Stavbar, G. 2011. Pregled odprtokodnih programov za obdelavo lidarskih podatkov, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 106 str.

Steinman, F., Banovec, P. 2004. Hidrotehnika : vodne zgradbe I : š. 1. 2004/2005, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 117 str.

VGI (Vodnogospodarski inštitut). 1992. Sora Hidrološka študija, Ljubljana: Vodnogospodarski inštitut: 31 str.

VGI (Vodnogospodarski inštitut). 1992. Sora Koncept ureditve povodja, Ljubljana: Vodnogospodarski inštitut: 41 str.

PRILOGE

PRILOGA A: SCS KLASIFIKACIJA ZEMLJIN, 1 str.

PRILOGA B: VREDNOSTI KOEFICIENTOV CN, 3 str.

PRILOGA A: SCS KLASIFIKACIJA ZEMLJIN

SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine.

Skupina zemljine	opis	Stopnja izgub (mm/hr)
A	Nizek odtočni potencial. Zemljina ima tudi, če je nasičena, visoko stopnjo infiltracije. Globoke, dobro drenirane zemljine z zmerno teksturo (pesek, globoka rečna naplavina)	7.5 – 11.5
B	Povprečni do nizek odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, povprečno stopnjo infiltracije vode. Pltve rečne naplavine, peščena ilovica z zmerno prepustnostjo.	3.85 – 7.5
C	Visok do zmeren odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, nizko stopnjo infiltracije vode. Glinena ilovica, plitva peščena ilovica, zemljine z nizko vsebnostjo organskih snovi in zemljine z običajno visoko vsebnostjo gline	1.3 – 3.85
D	Visok odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, zelo nizko stopnjo infiltracije vode. Zemljine z visoko gladino talne vode, z glinastim slojem ali neprepustnim slojem na površini ali tik pod površino, zaslanjena zemljišča ipd. Zemljine imajo zelo nizko stopnjo prepustnosti.	0.00 – 1.3

PRILOGA B: VREDNOSTI KOEFICIENTOV CN

Koeficienti CN za urbanizirane površine (Brilly in Šraj, 2006, prirejeno po US Army Corps of Engineers, 2000)

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<i>Odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, pokopališča itd.)</i>					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 % do 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
<i>Neprepustne površine</i>					
tlakovane površine, strehe, ceste		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z robniki in kanaliziranimi odtoki		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z odprtimi kanali		83	89	92	93
makadamske ceste (pesek)		76	85	89	91
neobdelane poti (zemlja)		72	82	87	89
<i>Urbana območja</i>					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
<i>Stanovanjske površine</i>					
povprečna velikost parcele do 500 m ²	65	77	85	90	92
povprečna velikost parcele 1000 m ²	38	61	75	83	87
povprečna velikost parcele do 1300 m ²	30	57	72	81	86
povprečna velikost parcele do 2000 m ²	25	54	70	80	85
povprečna velikost parcele do 4000 m ²	20	51	68	79	84
povprečna velikost parcele do 8000 m ²	12	46	65	77	82

PRILOGA B2: VREDNOSTI KOEFICIENTOV CN

Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (Brilly, 2006, prirejeno po USACE, 2000)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<i>Ledina, neobdelan svet</i>					
gola zemljina	-	77	86	91	94
delno poraščena zemljina (ostanki posevkov)	slabi ¹	76	85	90	93
	dobri ²	74	83	88	90
<i>Poljščine v vrsti</i>					
v ravni vrsti	slabi	72	81	88	91
	dobri	67	78	85	89
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	71	80	87	90
	dobri	64	75	82	85
po plastnicah	slabi	70	79	84	88
	dobri	65	75	82	86
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	69	78	83	87
	dobri	64	74	81	85
po plastnicah in na terasah	slabi	66	74	80	82
	dobri	62	71	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	65	73	79	81
	dobri	61	70	77	80
<i>Nizka žita</i>					
v ravni vrsti	slabi	65	76	84	88
	dobri	63	75	83	87
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	64	75	83	86
	dobri	60	72	80	84
po plastnicah	slabi	63	74	82	85
	dobri	61	73	81	84
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	62	73	81	84
	dobri	60	72	80	83
po plastnicah in na terasah	slabi	61	72	79	82
	dobri	59	70	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	60	71	78	81
	dobri	58	69	77	80
<i>Gosto sejane stočnice ali kolobarjeni travnik</i>					
v ravni vrsti	slabi	66	77	85	89
	dobri	58	72	81	85
po plastnicah	slabi	64	75	83	85
	dobri	55	69	78	83
po plastnicah in na terasah	slabi	63	73	80	83
	dobri	51	67	76	80

¹ Slabi hidrološki pogoji – določeni faktorji zmanjšujejo infiltracijo in s tem povečujejo površinski odtok.² Dobri hidrološki pogoji – določeni faktorji povečujejo infiltracijo nad povprečno in s tem zmanjšujejo površinski odtok.

Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (Brilly, 2006, prirejeno po USACE, 2000)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
Pašnik, prerija	slabi	68	79	86	89
	povprečni	49	69	79	84
	dobri	39	61	74	80
Travnik, košen	-	30	58	71	78
Grmičevje	slabi	48	67	77	83
	povprečni	35	56	70	77
	dobri	30	48	65	73
Gozd v kombinaciji s travo (plantaže, sadovnjaki)	slabi	57	73	82	86
	povprečni	43	65	76	82
	dobri	32	58	72	79
Gozd	slabi	45	66	77	83
	povprečni	36	60	73	79
	dobri	30	55	70	77
Kmetija s poslopjem, podeželsko cesto in okoliškimi parcelami	-	59	74	82	86