

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:

Brezočnik, S., 2016. Pregled in uporaba metod določanja sintetičnega histograma padavin. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 59 str.

Datum arhiviranja: 25-05-2016

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:

Brezočnik, S., 2016. Pregled in uporaba metod določanja sintetičnega histograma padavin. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 59 pp.

Archiving Date: 25-05-2016

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 VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

SAMO BREZOČNIK

**Pregled in uporaba metod določanja sintetičnega histograma
padavin**

Diplomska naloga št.: 276/VKI

**Review and application of methods for developing synthetic
hyetograph**

Graduation thesis No.: 276/VKI

Mentor:
doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 4. 4. 2016

»Ta stran je namenoma prazna«

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **SAMO BREZOČNIK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»**Pregled in uporaba metod določanja sintetičnega histograma padavin**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 4. 4. 2016,

Samo Brezočnik

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	556.12(043.2)
Avtor:	Samo Brezočnik
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Naslov:	Pregled in uporaba metod določanja sintetičnega histograma padavin
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	59 str., 9 pregl., 60 sl., 14 en.
Ključne besede:	padavine, sintetični histogram padavin, projektne padavine, hidrološko modeliranje

IZVLEČEK

V prvem delu diplomske naloge so predstavljene različne metode določanja sintetičnega histograma padavin, ki se v svetu uporabljajo najpogosteje. Na kratko je povzeta teorija statistične analize padavinskih dogodkov in statistična orodja, ki jih potrebujemo pri določanju sintetičnega histograma padavin. Predstavljene so krivulje intenziteta-trajanje-povratna doba (ITP) in Huffove krivulje, ki jih potrebujemo pri določanju sintetičnih histogramov padavin.

V praktičnem delu diplomske naloge so narejeni primeri različnih sintetičnih histogramov padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z uporabo različnih metod za določanje projektnih padavin, nakar smo le-te uporabili za izračun visokovodnih valov s programom HEC-HMS za porečje Velunje. Predstavljen je tudi vpliv izbire časovnega intervala in vpliv postavitve konice padavin pri določanju sintetičnega histograma na rezultate modeliranja površinskega odtoka.

Analiza rezultatov je pokazala razlike med posameznimi metodami. Ugotovili smo razlike med konico površinskega odtoka, časom pojava le-te ter volumnom odtoka. Pri metodah, pri katerih lahko določimo časovni interval, izbira le tega ni imela velikega vpliva na celoten površinski odtok. Ugotovili smo tudi, da lahko pri metodah, ki omogočajo izbiro postavitve konice vrha histograma padavin, vplivamo na pojav konice hidrograma odtoka.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.12(043.2)
Author:	Samo Brezočnik
Supervisor:	Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
Title:	Review and application of methods for developing synthetic storm hyetographs
Document type:	Graduation thesis – University studies
Notes:	59 p., 9 tab., 60 fig., 14 eq.
Key words:	Rainfall, synthetic hyetograph, design rainfall, , hydrological modeling

ABSTRACT

The first part of this thesis presents the most used synthetic hyetograph methods worldwide. A short summary of statistical analysis of precipitation events is made and the statistical tools needed for designing synthetic hyetographs are presented. The term project storm as well as the IDF and Huff curves are introduced.

In the practical part of this thesis synthetic hyetograph were made using different methods for rainfall station Šmartno pri Slovenj Gradcu. They were then used in HEC-HMS hydrological model for computing flood waves of the Velunja River. The influence of the selected time interval and the position of the peak of the precipitation is also presented.

Results show the differences among considered methods. Differences in peak discharge, time to peak and runoff volume were demonstrated. Methods having the option of choosing the time interval gave similar results for different time intervals. On the other hand, results show that changing the time of the peak of the hyetograph can significantly influence on the time and the peak of the runoff hydrograph.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorici prof. dr. Mojci Šraj. Posebej se zahvaljujem tudi družini za izkazano podporo tekom študija.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Cilj diplomske naloge	1
2	PADAVINE	2
2.1	Nastanek in vrste padavin	2
2.2	Merjenje količine in intenzitete padavin	3
2.3	Histogram padavin	4
2.4	Povratna doba	6
2.5	ITP krivulje	6
2.6	Huffove krivulje	9
2.7	Faktor napredovanja nevihte r	10
2.8	Padavinske izgube in model SCS	12
2.9	Hidrogram odtoka	14
2.9.1	Snyderjev sintetični hidrogram enote	15
3	PROJEKTNE PADAVINE	16
3.1	Sintetični histogram padavin	16
3.2	Metode določanja sintetičnega histograma padavin	16
3.2.1	Metode izpeljane z uporabo statistične analize padavinskih dogodkov	17
3.2.1.1	Metoda trikotnega histograma padavin	17
3.2.1.2	Metoda SCS	19
3.2.2	Metode izpeljane z uporabo analize razmerij ITP	24
3.2.2.1	Metoda alternirajočih stolpcev	24
3.3	Vpliv izbranega časovnega intervala na histogram padavin	25
3.3.1	Trikotna metoda	25
3.3.2	Metoda SCS	25
3.3.3	Metoda alternirajočih stolpcev	26
3.4	Vpliv postavitve konice oz. vrha sintetičnega histograma padavin	28
3.4.1	Trikotna metoda	28
3.4.2	Metoda SCS	29
3.4.3	Metoda alternirajočih stolpcev	29
3.5	Programsko orodje HEC-HMS	31

4	PODATKI	32
4.1	Vodotok Velunja	32
4.2	Meteorološka postaja Šmarno pri Slovenj Gradcu.....	33
4.3	Vodomerna postaja Gaberke	35
5	DOLOČITEV POVRŠINSKEGA ODTOKA Z MODELOM HEC-HMS ZA RAZLIČNE METODE DOLOČANJA SINTETIČNEGA HISTOGRAMA PADAVIN	37
5.1	Model porečja HEC-HMS.....	37
5.1	Meteorološki model HEC-HMS.....	37
5.2	Kontrolni model HEC-HMS	38
6	REZULTATI POVRŠINSKEGA ODTOKA S PROGRAMOM HEC-HMS	40
6.1	Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,37$	40
6.2	Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,25$	41
6.3	Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,75$	42
6.4	Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,37$ in časovnim intervalom 10 min	43
6.5	Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,37$ in časovnim intervalom 5 min	44
6.6	Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,25$ in časovnim intervalom 10 min	45
6.7	Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,75$ in časovnim intervalom 10 min	46
6.8	Metoda SCS iz 50-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min.....	47
6.9	Metoda SCS iz 10-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min.....	48
6.10	Metoda SCS iz 90-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min.....	49
6.11	Metoda SCS iz 50-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 12 min.....	50
6.12	Vgrajena metoda Frequency Storm.....	50
7	ANALIZA REZULTATOV	53
7.1	Vpliv postavitve konice sintetičnega histograma padavin	54
7.2	Vpliv izbire časovnega intervala.....	54
8	ZAKLJUČKI	55
	VIRI	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste padavin glede na način nastanka (prirejeno po Newman, 2006)	3
Slika 2: Instrumenti za merjenje količine padavin (a: Meteolab, 2014 ; b: VD Zevs, 2011; c: Koniček, 2007).....	3
Slika 3: Primer histograma padavin iz preglednice 3 (prirejeno po Chow in sod., 1988).....	5
Slika 4: ITP krivulje za merilno mesto Ljubljana-Bežigrad (Goranc, 2012).....	7
Slika 5: Primer ITP krivulj za merilno mesto Ljubljana-Bežigrad v dvojni logaritemski skali (Goranc, 2012).....	7
Slika 6: Huffove krivulje za Ljubljano – levo zgoraj so krivulje za prvi kvartil, desno zgoraj za drugi	10
Slika 7: Primer določanja faktorja napredovanja nevihte s pomočjo Huffove krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu za prvi kvartil (Dolšak, 2015).....	11
Slika 8: Vpliv faktorja napredovanja nevihte na časoven potek projektne nevihte (Chin, 2007)	11
Slika 9: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odтока v odvisnosti od	13
Slika 10: Hidrogram odтока (Chow in sod., 1988).....	14
Slika 11: Metoda trikotnega histograma padavin (Chow in sod., 1988)	17
Slika 12: Primer uporabe metode trikotnega histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu	19
Slika 13: Graf verjetnostnih porazdelitev neviht iz prvega kvartila (Chow in sod., 1988)	20
Slika 14: Histogrami neviht prvega kvartila za 10, 50 in 90 % verjetnosti (Chow in sod., 1988)	20
Slika 15: Krivulje prvega kvartila za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu (prirejeno po Dolšak, 2015)	21
Slika 16: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,5	22
Slika 17: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,9	23
Slika 18: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,1	23
Slika 19: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu pridobljen z metodo alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 10 min	25
Slika 20: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, dobljen z metodo SCS iz 50-percentilne krivulje, s časovnim intervalom 12 min	26
Slika 21: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu pridobljen z metodo alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 5 min	27
Slika 22: Primer trikotne metode za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z vrhom pri 25% trajanja nevihte	28

Slika 23: Primer trikotne metode za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z vrhom pri 75% trajanja nevihte	29
Slika 24: Primer histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z uporabo metode alternirajočih stolpcev v vrhom pri 25% trajanja nevihte.....	30
Slika 25: Primer histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z uporabo metode alternirajočih stolpcev v vrhom pri 75% trajanja nevihte.....	30
Slika 26: Reka Velunja (Brezočnik, 2015).....	32
Slika 27: Lokacija obravnavanega porečja Velunje, vodomerne postaje Gaberke in meteorološke postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu (Geopedia, 2015).....	33
Slika 28: Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2011).....	34
Slika 29: ITP krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2012).....	34
Slika 30: Huffove krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu (Dolšak, 2015).....	35
Slika 31: Vodomerna postaja Gaberke (Brezočnik, 2015).....	36
Slika 1: Vhodni podatki modela porečja Velunje za model HEC-HMS (Stanjko, 2015).....	40
Slika 33: Primer ročnega vnosa sintetičnega histograma padavin v meteorološki model HEC-HMS..	38
Slika 34: Vnos časovnih kontrol	38
Slika 35: Nabor izvedenih simulacij površinskega odtoka v HEC-HMS.....	39
Slika 36: Rezultati trikotne metode s faktorjem $r=0,37$	40
Slika 37: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,37$	40
Slika 38: Rezultati trikotne metode s faktorjem $r=0,25$	41
Slika 39: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,25$	41
Slika 40: Rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,37$	42
Slika 41: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,75$	42
Slika 42: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r= 0,37$ in časovnim intervalom 10 min	43
Slika 43: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 10 min.....	43
Slika 44: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 5 min	44
Slika 45: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 5 min.....	44
Slika 46: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=0,25$ in časovnim intervalom 10 min	45
Slika 47: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=0,25$ in časovnim intervalom 10 min.....	45
Slika 48: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=0,75$ in časovnim intervalom 10 min	46
Slika 49: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=0,75$ in časovnim intervalom 10 min.....	46
Slika 50: Rezultati metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	47
Slika 51: Graf rezultatov metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	47
Slika 52: Rezultati metode SCS iz 10-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	48
Slika 53: Graf rezultatov metode SCS iz 10-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	48
Slika 54: Rezultati metode SCS iz 90-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	49
Slika 55: Graf rezultatov metode SCS iz 90-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min.....	49

Slika 56: Rezultati metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 12 min	50
Slika 57: Graf rezultatov metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom. 12min	50
Slika 58: Vhodni podatki za metodo <i>Frequency Storm</i> za $r= 0,5$	51
Slika 59: Vhodni podatki za metodo <i>Frequency Storm</i> za $r= 0,33$	51
Slika 60: Rezultati metode <i>Frequency Storm</i> za faktor $r = 0,5$	51
Slika 61: Graf rezultatov metode <i>Frequency Storm</i> za faktor $r = 0,5$	52
Slika 62: Rezultati metode <i>Frequency Storm</i> za faktor $r = 0,33$	52
Slika 63: Graf rezultatov metode <i>Frequency Storm</i> za faktor $r = 0,33$	52

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Definicija intenzivnosti padavin (Llasat, 2001)	4
Preglednica 2: Primer podatkov padavinskega dogodka s časovnim intervalom 5 minut (Chow in sod., 1988)	4
Preglednica 3: Povratne dobe za različne objekte (McKinney, 2000)	6
Preglednica 4: Koeficienti c , e in f za padavinske dogodke s povratno dobo 10 let, za nekatera ameriška mesta (Chow in sod., 1988)	9
Preglednica 5: Ekstremne količine padavin za različne povratne dobe in različna trajanja padavin (ARSO, 2012)	18
Preglednica 6: Primer metode alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 10 min za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu	24
Preglednica 7: Primer metode alternirajočih blokov s časovnim intervalom 5 min za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu	26
Preglednica 8: Povzetek rezultatov meritev s merilnega mesta Gaberke za obdobje od 1970 do 2012 (ARSO, 2015; Stanjko, 2015)	35
Preglednica 9: Rezultati največjih pretokov, časa pojava koni in celotnih odtekljih volumnov s porečja Velunje, dobljeni z različnimi metodami izdelave sintetičnega histograma padavin.....	53

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Nalivi so padavine, kjer v relativno kratkem časovnem obdobju pade relativno veliko padavin (dežja). V Sloveniji beležimo glavino nalivov ponavadi v toplejših mesecih leta, saj je takrat največ neviht (ARSO, 2015). Količino padavin v odvisnosti od časa merimo z ombrografii. Za načrtovanje in upravljanje z vodami, določanje poplavnih območij, dimenzioniranje objektov na in ob vodi ipd. pa moramo poleg trajanja in količine padavin poznati tudi pogostost pojava oz. povratno dobo (Dirnbek in Šraj, 2010). Za objekte, kot so odvodniki meteornih voda, prepusti in kanalizacija, so merodajni kratki nalivi (npr. pet-minutni), za druge hidrotehnične objekte pa so po navadi merodajni nalivi daljših trajanj (Llasat, 2001).

Orodje za določanje pogostosti padavin v povezavi z njihovim trajanjem in intenziteto je statistična analiza, pri kateri lahko, če imamo dovolj dobre meritve padavin, izračunamo predvidene vrednosti padavin različnih trajanj v odvisnosti od pogostosti pojava. Vhodni podatki za takšno analizo so podatki o količinah in trajanju padavin, merjeni na kratek časovni interval na klimatoloških postajah. Za slovensko mrežo postaj jih najdemo v meteoroloških letopisih Agencije za okolje Republike Slovenije (ARSO, 2016). Na natančnost analiz vpliva tudi to, kako dolgo se izvaja merjenje padavin. Za učinkovito analizo rabimo časovno obdobje vsaj dvajsetih let (Debo in Reese, 2010). Glavni dve metodi za statistično analizo padavin sta metoda krivulj intenziteta-trajanje-povratna doba (ITP) (ang. *IDF ali Intensity-Duration-Frequency*) in metoda Huffovih krivulj. Prva določa povezavo med količino padavin, njihovim trajanjem in povratno dobo za neko daljše obravnavano obdobje (Goranc, 2012), druga pa se ukvarja z časovno razporeditvijo padavin znotraj posameznega padavinskega dogodka (Dolšak, 2012).

Z obema omenjenima metoda lahko analiziramo padavinske dogodke in s pomočjo rezultatov takih analiz določimo sintetični histogram padavin oz. projektne padavine, ki se uporabljajo za modeliranje visokovodnih valov z določeno povratno dobo in nadalje za dimenzioniranje hidrotehničnih objektov, določanje poplavnih območij, načrtovanje in upravljanje z vodami ipd.

1.1 Cilj diplomske naloge

V tej diplomski nalogi bomo predstavili metode sintetičnih histogramov padavin, ki se v svetu uporabljajo najpogosteje, ugotavljali razlike med metodami in njihov vpliv na rezultate hidroloških modelov. Prikazali bomo tudi vpliv izbire časovnega intervala in postavitve vrha histograma na končen površinski odtok. Vse skupaj bo narejeno za porečje Velunje do vodomerne postaje Gaberke s padavinskimi podatki s padavinske postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu. Kot model bomo uporabili že umerjen hidrološki model HEC-HMS za porečje Velunje (Stanjko, 2015).

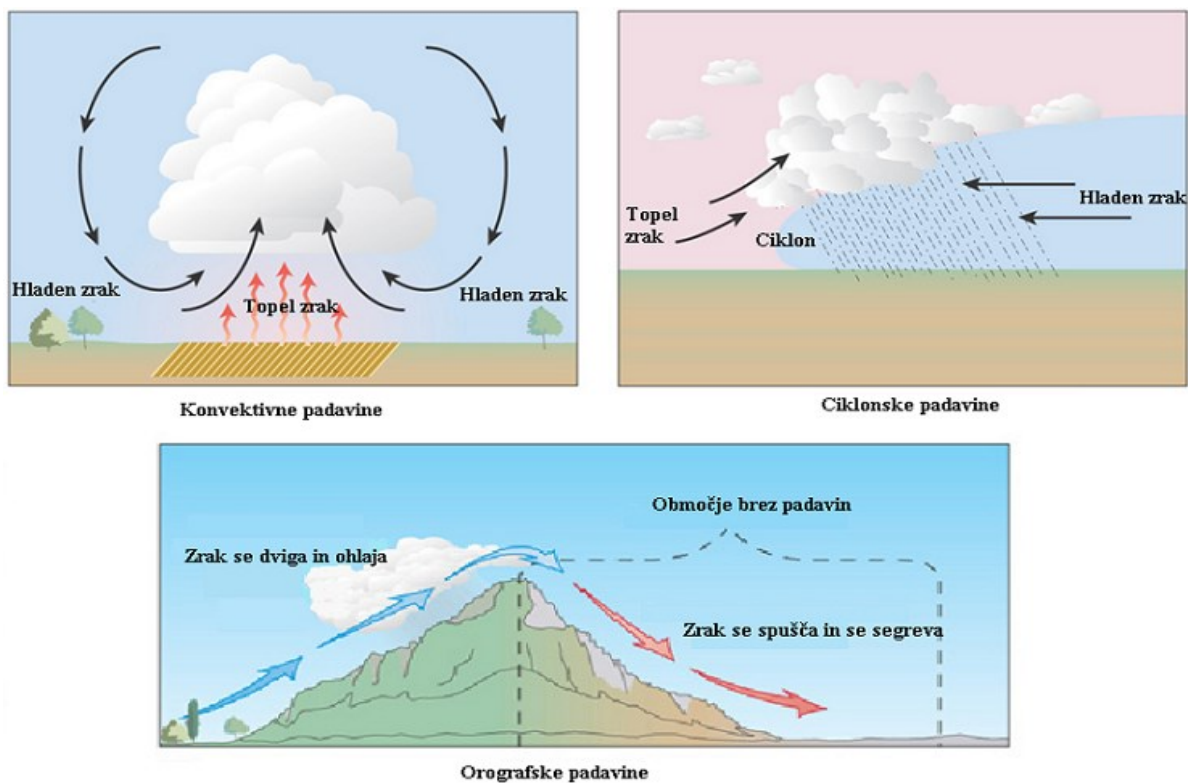
2 PADAVINE

2.1 Nastanek in vrste padavin

Padavine nastanejo kot posledica kondenziranja vodne pare v višjih delih ozračja. Ko se relativno topel in vlažen zrak dviga, se pri tem tudi ohlaja in tako se vodni hlapi kondenzirajo v vodne kapljice. Ko so le te dovolj velike, sila gravitacije povzroči, da padejo proti tlam in ta proces imenujemo padavine. Poznamo več vrst padavin, najpogostejše med njimi so: dež, sneg, toča, rosa in slana. Padavine ločimo tudi glede na vrsto nastanka, poznamo konvektivne, orografske in ciklonske padavine (Reynolds, 2004).

Kondenzacija se pojavi v atmosferi okoli zelo majhnih delcev (10^{-3} – $10 \mu\text{m}$) ali aerosolov. Aerosoli so delci praha ali soli. Z potekom kondenzacije kapljice rastejo in ko dosežejo dovoljšno velikost (približno 0.1 mm), padejo proti tlam. Med tem nekaj kapljic izhlapi v atmosfero, nekaj se jih zmanjša zaradi izhlapevanja, nekaj pa jih zraste zaradi trkov med sabo in agregacije (Mays, 2011).

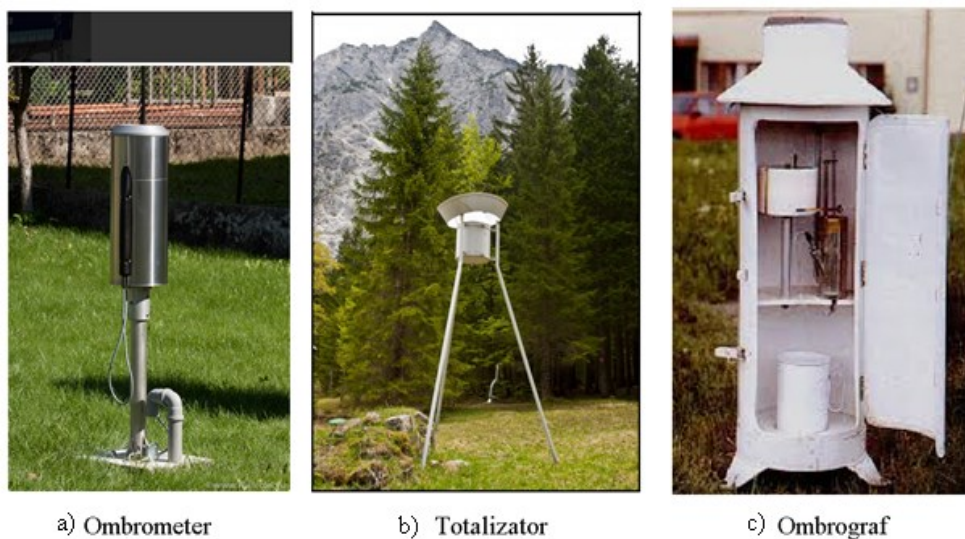
Padavine se razlikujejo po vrsti nastanka. Poznamo ciklonske, orografske in konvektivne padavine, katerih nastanek prikazuje slika 1. Konvektivne padavine (deževne in snežene plohe in nevihte) nastanejo kot posledica dviganja toplega in vlažnega zraka. Ko se zrak z dviganjem ohlaja se pojavlja kondenzacija in tako nastanejo padavine. Konvektivne padavine so lokalne in lahko zelo intenzivne. Ciklonske nevihte se pojavijo pri prehodu tople ali hladne fronte, pri čem se topli zrak, ki je lažji, dvigne nad hladnega. To povzroča kondenzacijo in povzroča dolgotrajne in zmerne padavine. Ciklonske padavine delimo na frontalne in nefrontalne. Orografske padavine nastanejo zaradi reliefne raznolikosti zemeljskega površja. Nastanejo pri lokalnem dviganju mas zraka ob pobočju hribov ali gora. Ko dosežejo določeno višino se vodna para kondenzira v kapljice kar povzroči padavine (Reynolds, 2004).



Slika 2: Vrste padavin glede na način nastanka (prirejeno po Newman, 2006)

2.2 Merjenje količine in intenzitete padavin

Količino padavin merimo v milimetrih. En milimeter pomeni, da je na območju enega kvadratnega metra padel 1 liter vode. Za merjenje padavin uporabljamo različne naprave. Poznamo tri osnovne tipe instrumentov: ombrometer, totalizator in ombrograf (slika 2).



Slika 3: Instrumenti za merjenje količine padavin (a: Meteolab, 2014 ; b: VD Zevs, 2011; c: Koníček, 2007)

Ombrometer uporabljamo za merjenje padavin v krajših časovnih obdobjih, običajno za obdobje enega dneva. Totalizator je v bistvu ombrometer z večjo posodo, uporablja se na odročnih področjih, zajame pa lahko tudi večmesečno količino padavin. Poznamo še ombrograf, to je ombrometer opremljen za sprotno beleženje padavin. Vse te naprave označujemo z izrazom dežemer (Reynolds, 2004).

Intenziteta padavin nam pove količino padavin v nekem časovnem intervalu, npr. minuta, ura, itd. (Mikoš in sod. 2003). Tako za intenziteto padavin poznamo več različnih enot, npr. mm/h, mm/min, itd.

Španski Državni inštitut za meteorologijo je nekaj let nazaj definiral več različnih intenzivnosti padavin kot je prikazano v preglednici 1. Ta preglednica velja za državo Španijo, klasifikacija intenzivnosti se po svetu razlikuje.

Preglednica 1: Definicija intenzivnosti padavin (Llasat, 2001)

Rahel dež (ang . <i>light rainfall</i>)	$I \leq 2$ mm/h
Zmerne padavine (ang. <i>moderate rainfall</i>)	$2 < I \leq 15$ mm/h
Močne padavine (ang. <i>heavy rainfall</i>)	$15 < I \leq 30$ mm/h
Zelo močne padavine (ang. <i>very heavy rainfall</i>)	$30 < I \leq 60$ mm/h
Naliv (ang. <i>torrential rainfall</i>)	$I > 60$ mm/h

2.3 Histogram padavin

Rezultate merjenja padavin predstavimo v obliki histograma. Histogram je graf padavin pri katerem je na vertikalni osi količina padavin [mm], na horizontalni osi pa čas t , razdeljen na intervale, npr. 5 min. Podatki o padavinah se merijo na klimatoloških in padavinskih postajah, V Sloveniji za to skrbi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Preglednica 2 je primer podatkov nekega padavinskega dogodka, merjenega na 5-minutne časovne intervale, histogram tega dogodka pa je prikazan na sliki 3.

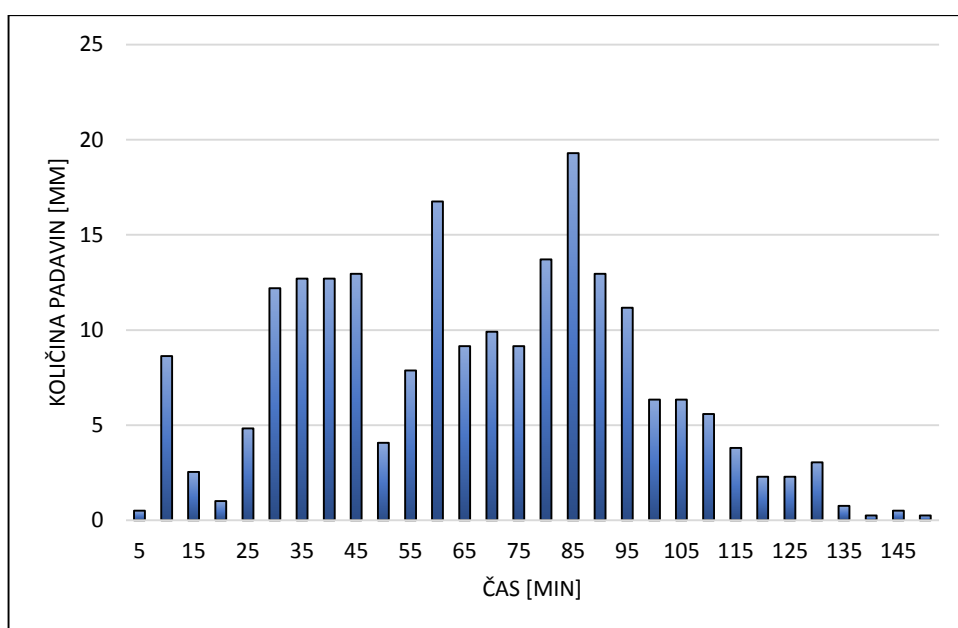
Preglednica 2: Primer podatkov padavinskega dogodka s časovnim intervalom 5 minut (Chow in sod., 1988)

t [min]	P [mm]	t [min]	P [mm]
5	0,508	80	13,716
10	8,636	85	19,304
15	2,54	90	12,954
20	1,016	95	11,176

...se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 2

25	4,826	100	6,35
30	12,192	105	6,35
35	12,7	110	5,588
40	12,7	115	3,81
45	12,954	120	2,286
50	4,064	125	2,286
55	7,874	130	3,048
60	16,764	135	0,762
65	9,144	140	0,254
70	9,906	145	0,508
75	9,144	150	0,254



Slika 4: Primer histograma padavin iz preglednice 3 (prirejeno po Chow in sod., 1988)

Manjši kot je merjen časovni interval, bolj natančen je histogram. Histogram padavin časovno zavzema celoten padavinski dogodek. Prikazuje koliko padavin je padlo v določenem časovnem intervalu in kdaj je padla glavnina padavin.

Če imamo merjene podatke za preteklih 20 ali 25 let, lahko s pomočjo statistične in verjetnostne analize padavin določamo sintetične padavinske dogodke (Chow in sod., 1988).

Vloga histograma padavin pri hidrološkem projektiranju: Analiza frekvence padavin, skupna količina padavin, sintetični histogram padavin, časovna razporeditev padavin, modeliranje površinskega odtoka, hidrogram odtoka (Cheng, 2008)

2.4 Povratna doba

Povratna doba nekega dogodka je povprečni interval časa, v katerem bo dogodek dosežen ali presežen (Brilly in Šraj, 2005). Na primer, povratna doba 10 let pomeni, da se bo nek dogodek najverjetneje zgodil enkrat v 10 letih oz. 100 krat v obdobju tisoč let. V hidrologiji povratno dobo označujemo z veliko tiskano črko T . Verjetnost dogodka z povratno dobo 10 let je 10 %, kot kaže enačba (Brilly in Šraj, 2005).

$$T = \frac{1}{1-P(\text{Pneg})} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ let} \quad (1)$$

Pri projektiranju hidrotehničnih objektov ni ekonomično niti praktično možno dimenzioniranje na maksimalne pretoke, ki se lahko pojavijo na določenem povodju, zato vpeljemo projektno frekvenco ali povratno dobo padavinskega dogodka in pretoka. Izbrana povratna doba nam poda informacijo o tveganju za pojav ekstremnega padavinskega dogodka ali pretoka. Povratne dobe pri hidroloških objektih se določajo glede na pomembnost in velikost objekta, ter glede na geografske in klimatološke značilnosti območja, kjer bo objekt stal (Debo in Reese, 2010). Povratne dobe za različne objekte prikazuje preglednica 3.

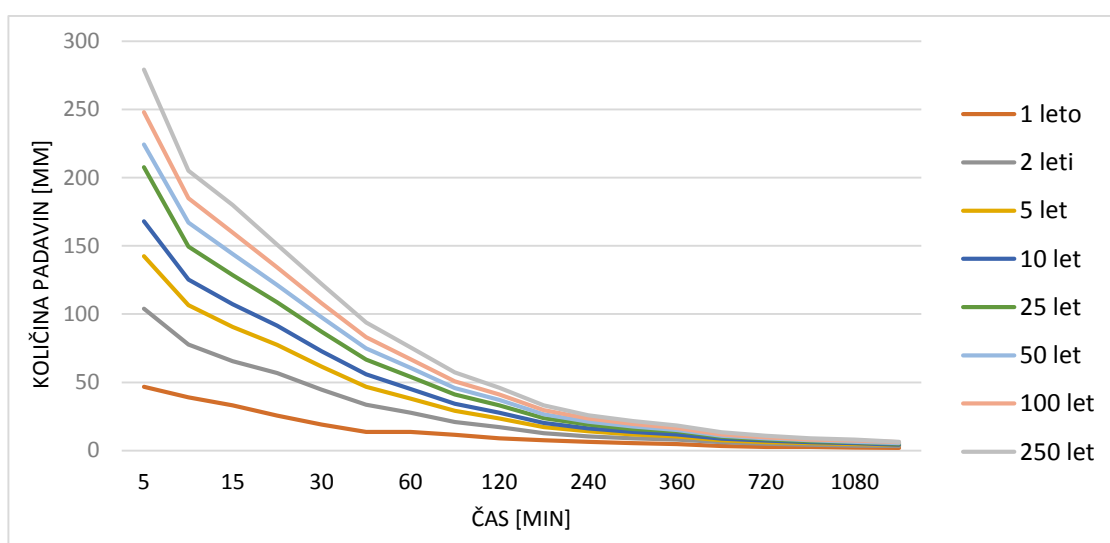
Preglednica 3: Povratne dobe za različne objekte (McKinney, 2000)

Povratna doba v letih	Objekti
1-100	Cestni prepusti, majhni mostovi, odvodniki meteorne in kanalizacijske vode, majhni jezi
100-500	Veliki nasipi, srednje veliki jezi

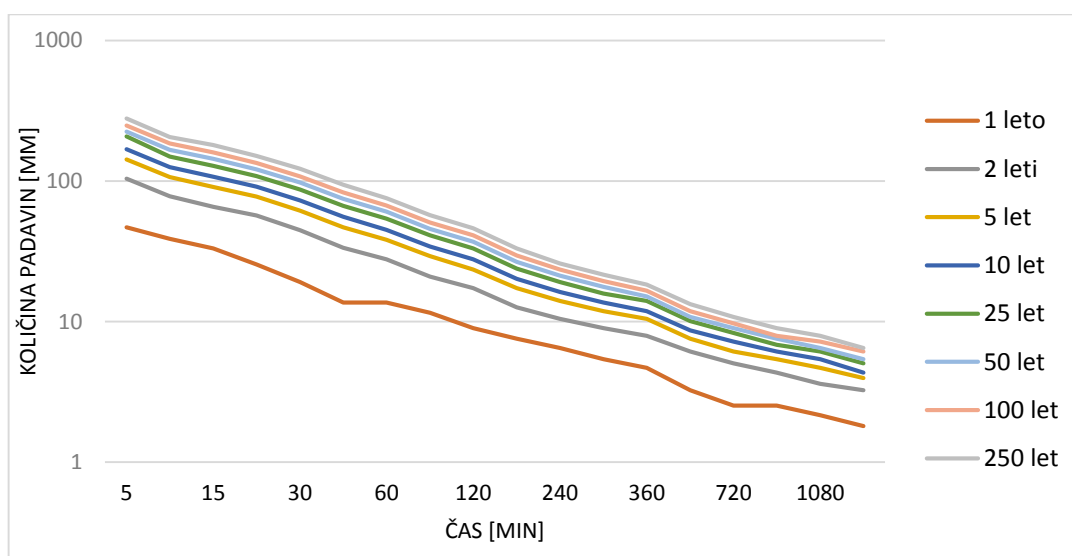
2.5 ITP krivulje

Ime ITP (intenziteta – trajanje – povratna doba) krivulje izhaja iz angleškega imena IDF (intensity – duration – frequency) krivulj. ITP krivulje so orodje, s katerim analiziramo padavinske dogodke na določenem geografskem območju. Z analiziranjem preteklih padavinskih dogodkov lahko ugotovimo različne povratne dobe padavinskih dogodkov. Najpogostejše povratne dobe prikazane na ITP krivuljah so 2, 5, 10, 25, 50 in 100 let. Te krivulje uporabljamo za projektiranje hidrotehničnih objektov pod predpostavko, da bo vzorec in pojav padavin v prihodnosti podoben kot v preteklosti (Goranc, 2012).

Intenziteta, trajanje in povratna doba so parametri, ki sestavljajo ITP graf. ITP krivuljo ustvarimo s statistično in verjetnostno analizo merjenih podatkov s posameznega geografskega območja oz. za posamezno mersko postajo, npr. ITP krivulja za Ljubljano (slika 4). Intenziteta padavin ITP krivulje je povprečna količina padavin, ki pade v določenem časovnem intervalu. Običajno je izražena v mm/h. Posamezne krivuljena grafu predstavljajo verjetnost, npr. 10-letna črta predstavlja padavinske dogodke, ki imajo verjetnost ponovitve povprečno enkrat na 10 let. Pomembno je vedeti da ITP krivulje predstavljajo rezultat statistične analize, ne pa dejanske prihodnje nevihte (Goranc, 2012). Iz grafa ITP krivulj intenzitete padavin lažje odčitamo, če graf zrišemo na dvojni logaritemski skali, kot kaže slika 5 (Soro in sod., 2010).



Slika 5: ITP krivulje za merilno mesto Ljubljana-Bežigrad (Goranc, 2012)



Slika 6: Primer ITP krivulj za merilno mesto Ljubljana-Bežigrad v dvojni logaritemski skali (Goranc, 2012)

Uporaba ITP krivulj je postala standardna praksa zadnjih desetletij za projektiranje kanalizacijskih sistemov in drugih hidrotehničnih objektov. ITP razmerja nam povedo povprečno intenziteto padavinskega dogodka, glede na izbrano trajanje in povratno dobo. Pri uporabi ITP krivulj za namene projektiranja moramo poznati še pomemben člen, in sicer čas koncentracije. Čas koncentracije je čas, ko najbolj oddaljena točka porečja prispeva padavinsko vodo v iztočni profil (Brilly in Šraj, 2006). Tako je pri času koncentracije za kanalizacijske sisteme to čas, ki poteče, da se meteorne vode zberejo v kanalizacijskem sistemu in čas potovanja meteornih voda po kanalizacijskem sistemu do točke projektiranja. Če je trajanje nevihte enako ali večje od časa koncentracije, potem se pozna prispevek celotnega gorvodnega območja. Trajanje nevihte enako času koncentracije imenujemo kritično trajanje nevihte. Čas koncentracije in s tem povezano kritično trajanje nevihte sta določena za vsako merjeno točko posebej. Za neko povodje ne moramo določiti univerzalnega časa koncentracije, saj je ta odvisen od tega, kjer se točka projektiranja v porečju nahaja. Za lokacije bolj gorvodno so kritična kratka trajanja neviht, za tiste bolj dolvodno pa daljša trajanja neviht (Willems, 2000).

ITP krivulje so rezultat statističnih analiz preteklih padavinskih dogodkov, za njihovo izdelavo pa obstajajo tudi empirične enačbe. Poznamo več takšnih empiričnih enačb, ki se uporabljajo po svetu: enačba Sherman, enačba Bernard, enačba Talbot ali Steel in McGhee, enačba Kimijima, enačba Ichikuro, enačba Gert in sod., enačba Mc Cuen, enačba Chen, enačba Wenzel, enačba Lee in sod., enačba Heo in sod., enačba Koutsoyiannis in sod., enačba Ram Babu in sod., enačba Kothyari & Garde (Goranc, 2012). Seveda so te enačbe, predvsem pa njihovi parametri, prirejene za točno določene regije.

Te metode so povečini razlikujejo po tem, kateri parametri lokalnega značaja so uporabljeni. Začetne empirične oblike so te parametre označevale z a , b in e . Pri projektiranju histogramov padavin nam npr. lahko pride prav Wenzelova enačba (enačba 2), ki ima obliko (Goranc, 2012):

$$I = \frac{c}{(T_d^e + f)} \quad (2)$$

Pri čemer je:

I intenziteta padavin,

T_d trajanje padavin,

c, e in f parametri, odvisni od lokacije in povratne dobe.

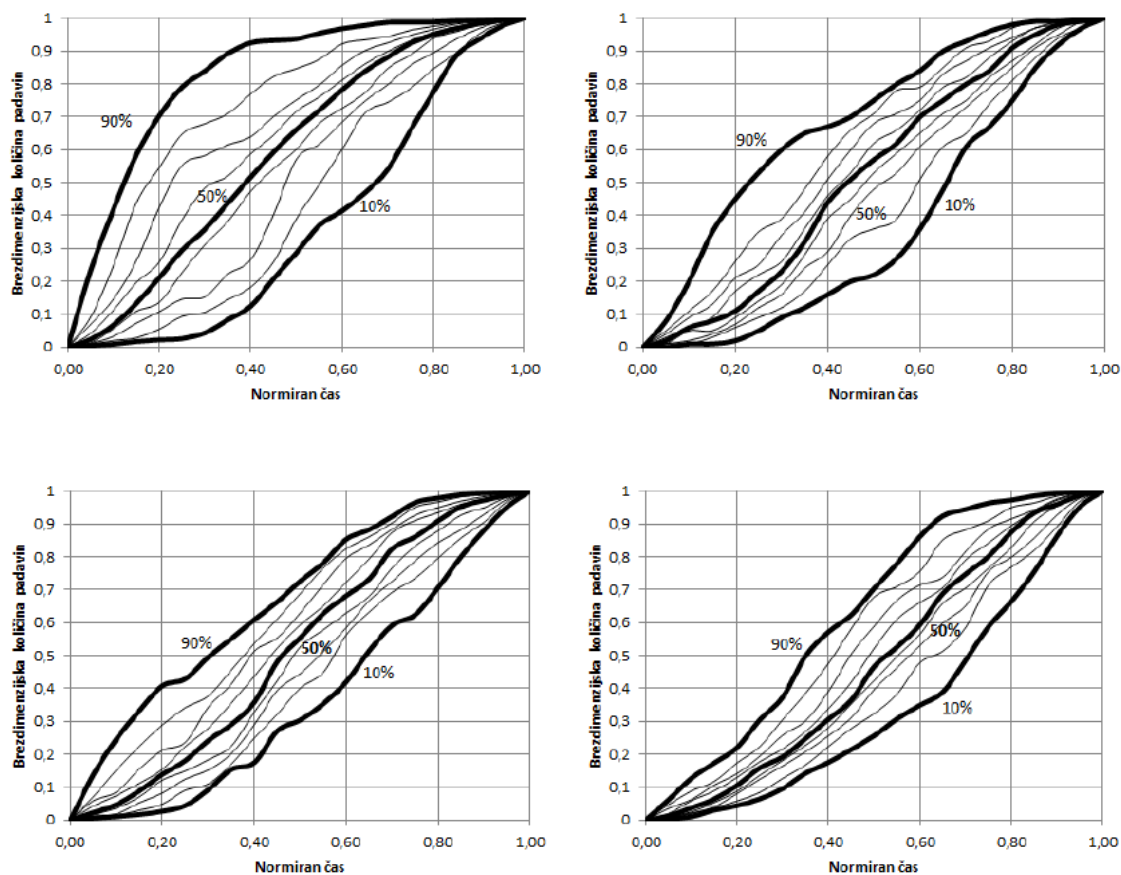
Preglednica 4: Koeficienti c , e in f za padavinske dogodke s povratno dobo 10 let, za nekatera ameriška mesta (Chow in sod., 1988)

Mesto	c	d	e
Atlanta	97,5	0,83	6,88
Chicago	94,9	0,88	9,04
Cleveland	73,7	0,86	8,25
Denver	96,6	0,97	13,9
Houston	97,4	0,77	4,8
Los Angeles	20,3	0,63	2,06

Moderna znanost razvija nove metode ugotavljanja ITP razmerij za optimalno rabo novih metod in trenutnih računalniških programov. Nova ITP razmerja se potem primerjajo s prej obstoječimi sintetičnimi histogrami padavin. Potem lahko izračunamo srednje vrednosti vhodnih podatkov za modele površinskega odtoka, tako imenovane kompozitne projektne nevihte. Te se uporabljajo za različne namene, kot je dimenzioniranje komunalne infrastrukture, hidrološke izračune neviht dolgega trajanja in modeliranje vpliva rezervoarjev za meteorne vode (Willems, 2000)

2.6 Huffove krivulje

Leta 1967 je ameriški znanstvenik Huff izdelal brezdimenzijske kumulativne krivulje za 261 padavinskih dogodkov. Območje merjenja je pokrivalo 49 padavinskih postaj, čas merjenja pa je znašal 12 let. S tem je lahko primerjal intenzitete posameznih neviht. Huff je za izračune uporabil neodvisne padavinske dogodke za katere velja, da pade vsaj 12, 7 mm padavin in da pred in po padavinskem dogodku ni bilo padavin vsaj 6 ur. Nevihte je razdelil na štiri kvartile. Prvi kvartil je obsegal nevihte trajanja do 6 ur, drugi od 6-12 ur, tretji od 12-18 ur, četrti pa nevihte daljše od 18 ur. Za to se je odločil, ker je ugotovil, da se časovna razporeditev padavin spreminja glede na trajanje padavinskega dogodka (Dolšak, 2012). Huffove krivulje so v vsakem kvartilu razdeljene glede na verjetnost, in sicer v vsakem kvartilu je 9 krivulj in sicer od 10 do 90 percentilne. Tako se za eno padavinsko postajo izdelata skupno 36 krivulj (slika 6) (Dolšak, 2012).

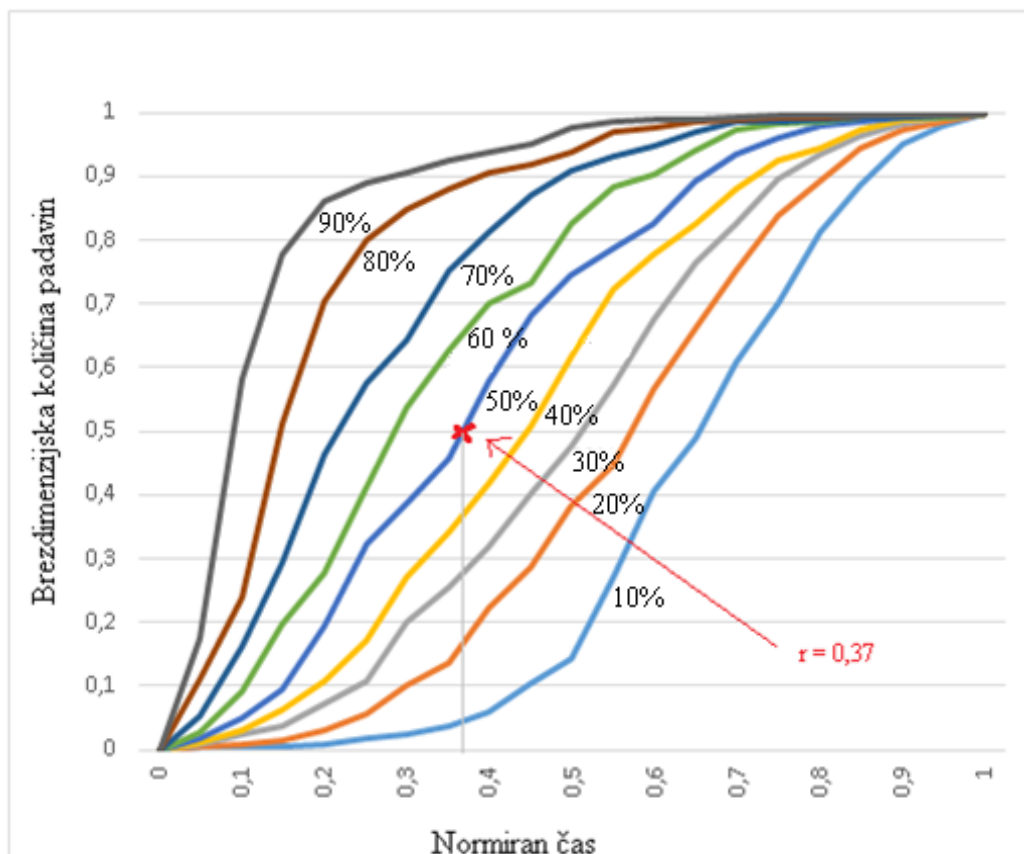


Slika 7: Huffove krivulje za Ljubljano – levo zgoraj so krivulje za prvi kvartil, desno zgoraj za drugi kvartil, levo spodaj za tretji kvartil in desno spodaj so krivulje za četrti kvartil (Dolšak, 2012)

2.7 Faktor napredovanja nevihte r

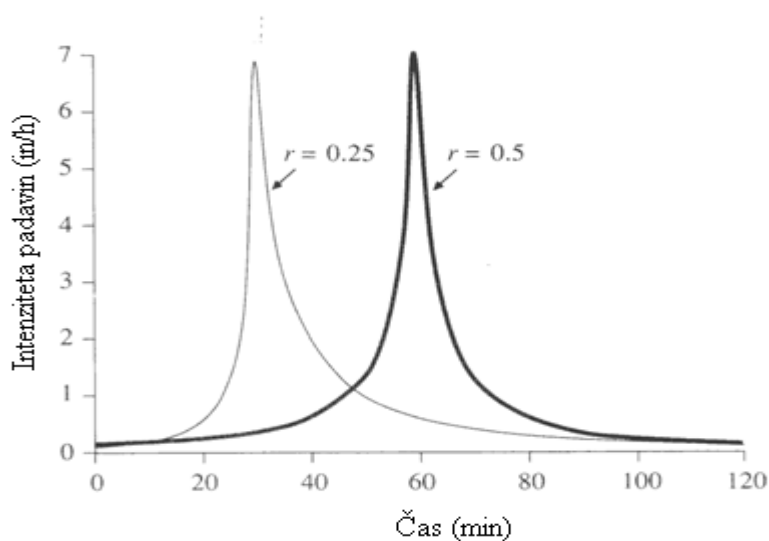
Faktor napredovanja nevihte r nam pove, kdaj med padavinskim dogodkom se pojavi največja intenziteta padavin oz. vrh histograma padavin. Vrednost faktorja r je definirana med 0 in 1. Vrednost 0,5 pomeni, da se vrh histograma padavin pojavi na polovici trajanja padavinskega dogodka, tako se npr. pri nevihti, ki traja 2 uri vrh histograma padavin pojavi pri 1 uri. Če je vrednost r 0,3 se vrh histograma padavin pojavi pri 36 minutah od skupnega trajanja dveh ur. Faktor r vpliva na obliko histograma padavin oz. na položaj vrha histograma, ne vpliva pa na količino ali intenziteto padavin (Chin, 2007).

Faktor r lahko izračunamo s pomočjo Huffovih krivulj. Primer je predstavljen na sliki 7. Iz zgodovinskih podatkov je znano, da imajo nevihte z najvišjo intenziteto, kratko trajanje (manjše od šestih ur), zato uporabimo Huffove krivulje za 1. kvartil in 50-percentilno krivuljo. Tako lahko npr. za primer postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu odčitamo vrednost faktorja r , ki znaša 0,37 (slika 7).



Slika 8: Primer določanja faktorja napredovanja nevihte s pomočjo Huffove krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu za prvi kvartil (prirejeno po Dolšak, 2015)

Praviloma velja, da je za daljše nevihte vrednost faktorja r okoli 0,32-0,51, za nevihte krajših trajanj ene ure ali manj, pa je lahko vrednost faktorja tudi manjša od 0,3 (slika 8) (Chin, 2007).



Slika 9: Vpliv faktorja napredovanja nevihte na časovni potek projektne nevihte (prirejeno po Chin, 2007)

2.8 Padavinske izgube in model SCS

Padavinske izgube pomembno vplivajo na površinski odtok določenega območja. Predstavljajo količino padavin prestreženih s strani vegetacije, padavin potrebnih za zasičenje tal z vodo, ter padavin, ki niso mogle odteči (površinske depresije, kotanje). Šele, ko so tla zasičena, se začne površinski odtok. Padavine, ki povzročajo površinski odtok imenujemo efektivne padavine. Izračunane so tako, da od celotne količine padavin odštejemo padavinske izgube (Brilly in Šraj, 2006).

Poznamo več načinov določanja padavinskih izgub. Za potrebe te diplomske naloge smo uporabili splošno znan model določanja padavinskih izgub SCS.

Model SCS za določanje padavinskih izgub je razvila agencija amreškega ministrstva za kmetijstvo (ang. *The Soil Conservation Service* (SCS)). S empiričnimi metodami so razvili koeficient CN (ang. *Curve Number*), ki zajema podatke o vrsti zemljine, rabi tal in predhodne navlaženosti tal. V modelu najdemo tudi koeficient I_a , ki predstavlja začetne izgube, ki nastopijo v začetku padavinskega dogodka (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006).

Padavinske izgube izračunamo kot razliko med celotnimi padavinami in efektivnimi padavinami (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006).

$$P_i = P - P_e \quad (3)$$

Pri čemer je:

P	količina padavin v času t [mm]
P_e	efektivne padavine v času t [mm]
P_i	padavinske izgube [mm]

Enačba 4 prikazuje izračun efektivnih padavin P_e :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (4)$$

pri kateri je:

P	količina padavin v času t [mm]
P_e	efektivne padavine v času t [mm]
I_a	začetne izgube [mm]
S	maksimalno potencialno zadrževanje (retenzija) [mm]

Agencija SCS je na podlagi empiričnih metod določila zvezo med I_a in S za majhna porečja, tako dobimo $I_a = 0.2$ (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006).

Kumulativne efektivne padavine P_e v času t lahko zapišemo kot (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006):

$$P_e = \frac{(P-2S)^2}{P+0,8S} \quad (5)$$

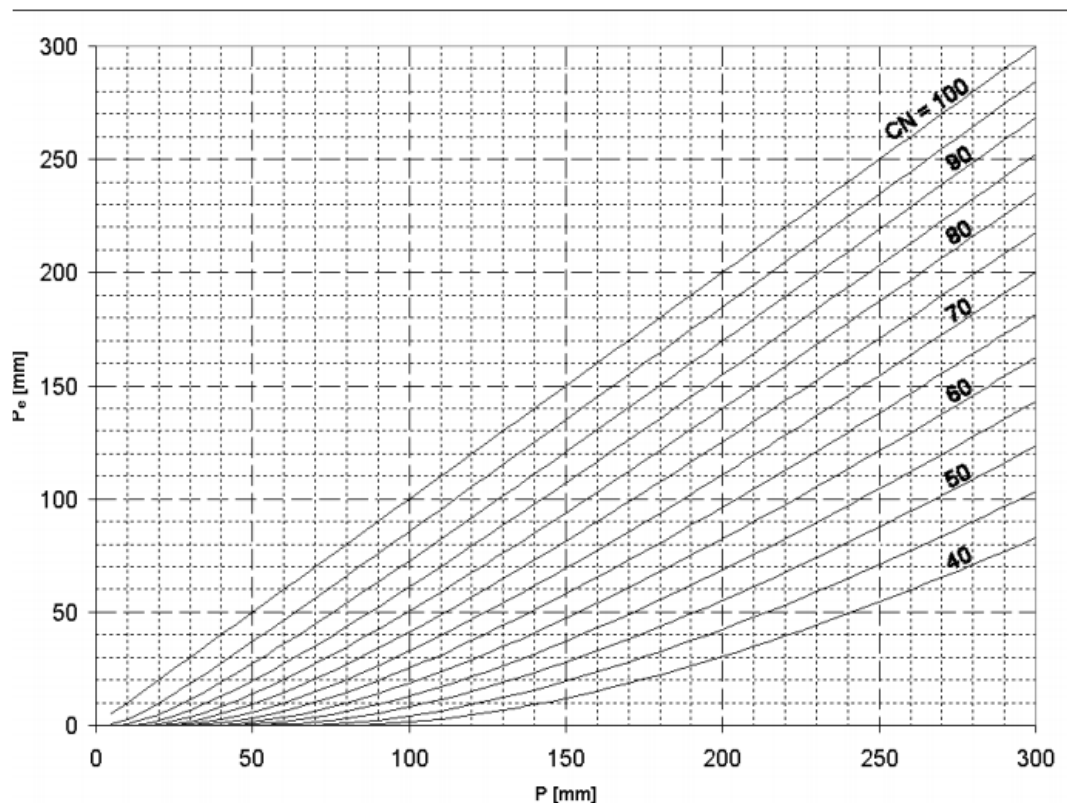
Maksimalno zadrževanje S odvisno od parametra CN (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006):

$$S = \frac{25400-254CN}{CN} \quad (6) \text{Parameter CN}$$

definiramo kot kaže enačba 7 (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006):

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i * CN_i}{A_i} \quad (7)$$

- CN_{skp} enoten skupen CN za račun odtoka,
- CN_i CN posameznega i-tega dela podporečja,
- A_i površina pripadajočega podporečja.



Slika 10: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odtoka v odvisnosti od padavin (Brill in Šraj, 2006)

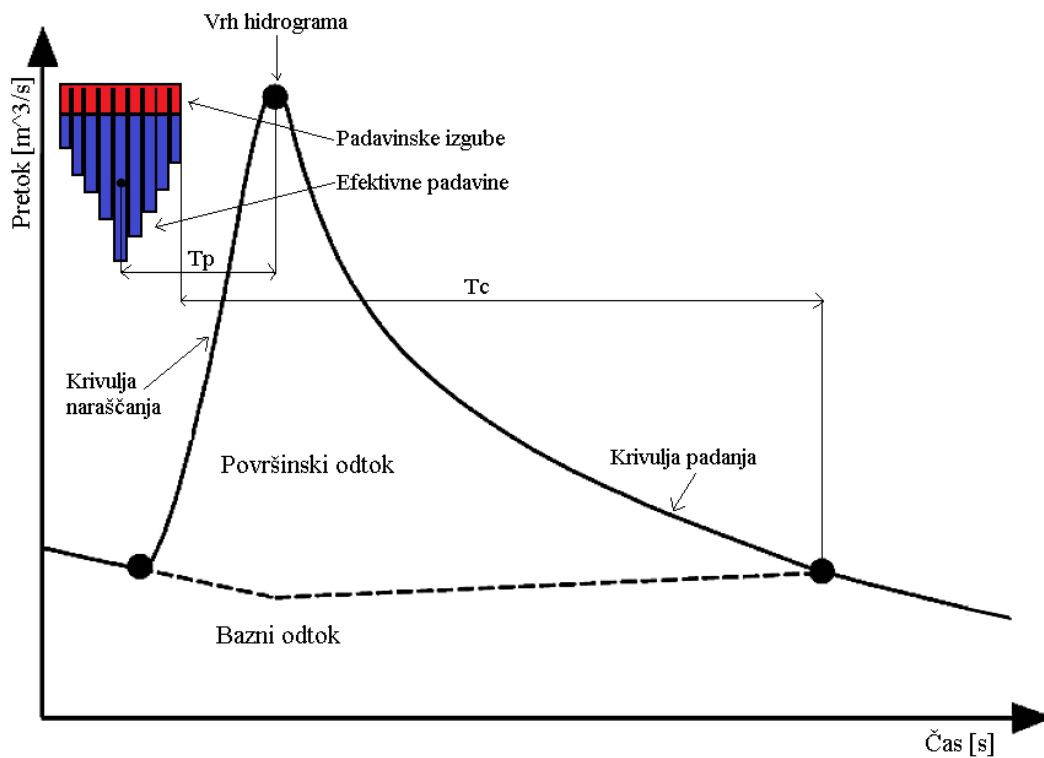
Koeficient CN je brezdimenzijsko število, ki teoretično zavzema vrednosti od 0 do 100, v praksi pa se

največ uporabljajo vrednosti koeficienta CN od 48 do 98 (Brilly in Šraj, 2006; Sovre, 2009).

V prilogi A sta prikazani preglednici, ki ju najpogosteje uporabljamo za določanje koeficientov CN in I_a , če poznamo vrsto zemljine in rabo tal (USACE, 2000).

2.9 Hidrogram odtoka

Hidrogram odtoka je graf, ki prikazuje pretok v odvisnosti od časa. Sestavljata ga dva glavna dela, to sta bazni in površinski odtok. Na sliki 10 so prikazane glavne značilnosti hidrograma, to so vrh grafa, bazni odtok, površinski odtok, krivulja padanja in krivulja naraščanja hidrograma, ter čas zakasnitve T_p in čas koncentracije T_c (Brilly in Šraj, 2006).



Slika 11: Hidrogram odtoka (prirejeno po: Chow in sod., 1988)

Površinski odtok - predstavlja odtok, ki ga povzročijo efektivne padavine. Bazni odtok - predstavlja tok, ki je v vodonosniku prisoten tudi v obdobju brez padavin. Čas zakasnitve T_p - predstavlja čas od težišča efektivnih padavin do vrha hidrograma. Čas koncentracije T_c - pa predstavlja čas potovanja vode od najbolj oddaljenega dela porečja do iztoka iz porečja (Chow in sod., 1988).

2.9.1 Snyderjev sintetični hidrogram enote

Sintetični hidrogram enote uporabimo takrat, ko nimamo na voljo merjenih podatkov, oziroma le ti niso dovolj natančni. Uporabljamo ga za transformacijo efektivnih padavin v površinski odtok. Podlaga za izdelavo sintetičnega hidrograma enote so različna teoretična in empirična izhodišča, ter lastnosti porečja (Brilly in Šraj, 2006).

Skozi čas je bilo predstavljenih veliko različnih enačb oz. metod določanja hidrograma enote, od enostavnih z samo enim parameterom, do kompleksnejših z več parametri, pri čemer ti parametri odražajo značilnosti porečja. Najpogosteje uporabljene glavne metode določanja hidrograma enote so Snyderjev model, model SCS in Clarkov model. Znotraj teh modelov pa poznamo več podmetod in načinov določanja parametrov, to sta večinoma čas zakasnitve in čas koncentracije (Brilly in Šraj, 2006).

Za potrebe te diplomske naloge bomo predstavili Snyderjev model hidrograma enota, ki ga bomo kasneje uporabili tudi v programu HEC-HMS za računanje površinskega odtoka.

Ameriški znanstvenik F.F. Snyder je leta 1938 predstavil teorijo sintetičnega hidrograma enote. Opazoval je razmerja med padlimi padavinami in površinskim odtokom in na podlagi teh podatkov določil hidrogram enote. Na podlagi meritev je vpeljal parametre in podal enačbe za določanje sintetičnega hidrograma enote. Za določanje časa zakasnitve T_p je podal enačbo 8 (Brilly in Šraj, 2006).

$$T_p = 0,7516C_t(L \cdot L_c)^{0,3} \quad (8)$$

kjer je:

T_p	čas zakasnitve [h]
C_t	koeficient povodja [1.8 – 2.2]
L	dolžina glavnega toka od iztočnega profila do razvodnice [km]
L_c	dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje "težišču" povodja [km]

Danes poznamo več metod oz. enačb za določanje Snyderjevega hidrograma enote, med drugimi: metodo Tulsa District, metodo Denver, Taylor-Schwartzvevo metodo, Putnamova metodo, metodo Riverside County, Eaglesonova metodo, metodo Colorado State University idr. (Brilly in Šraj, 2006).

3 PROJEKTNE PADAVINE

Projektne padavine (ang. *design storm*) so rezultat statističnih analiz preteklih padavinskih dogodkov. Če imamo merjene padavinske podatke vsaj za preteklih 20 ali 30 let lahko s pomočjo statističnih metod analiziramo padavine in kot rezultat dobimo projektne padavine z določeno povratno dobo. S pomočjo projektnih padavinskih dogodkov pa lahko izračunamo površinski odtok določenega porečja za različna trajanja in povratne dobe padavin. Tako dobimo merodajne odtoke za dimenzioniranje hidrotehničnih objektov, kot so nasipi, prepusti, kanalizacije, kanali, itd. (Chow in sod., 1988).

Za projektiranje nevihte moramo izbrati povratno dobo in dolžino trajanja padavinskega dogodka. Izbiramo glede na namen analize. Rezultate predstavimo v obliki ITP krivulj, ter s pomočjo projektnih histogramov padavin (Cheng, 2001).

Projektiranje hidrotehničnih objektov je povezano s predvidevanjem poplav oz. določanjem projektnih odtokov glede na različne povratne dobe. Maksimalni padavinski dogodek, ki je uporabljen za določanje poplavnega vala je imenovan projektna nevihta. Večja kot je povratna doba, večji sta količina padavin in intenziteta projektne nevihte (Zlatunova in sod., 1996).

3.1 Sintetični histogram padavin

Pred nekaj deset leti so znanstveniki pokazali, da časovni potek nevihte, natančneje kdaj pade glavnina padavin, pomembno vpliva na količino odtoka vode pri določenem padavinskem dogodku, zato ima sintetični histogram padavin že dolgo tradicijo (Cheng, 2001).

Sintetični histogram padavin je rezultat statistične analize nalivov. Uporabimo ga lahko za izračun projektne pretoka oz. dimenzioniranje hidroloških objektov, melioracije in podobno. Vsaka nevihta ima svoje trajanje, intenziteto in povratno dobo. Za določanje sintetičnih histogramov padavin obstaja več različnih metod. V nadaljevanju so predstavljene v svetu najpogosteje uporabljene. Sintetični histogram padavin lahko služi tudi kot vhodni podatek za računalniške programe, s katerimi računamo površinski odtok, npr. HEC-HMS.

3.2 Metode določanja sintetičnega histograma padavin

Metode določanja sintetičnih histogramov padavin razdelimo glede na izvor. Ene izhajajo iz statističnih analiz padavinskih dogodkov, druge pa iz analize razmerij ITP (Chow in sod., 1988).

3.2.1 Metode izpeljane z uporabo statistične analize padavinskih dogodkov

3.2.1.1 Metoda trikotnega histograma padavin

Metoda trikotnega histograma padavin (*ang. triangular method*) sintetične padavine razporedi v obliki trikotnika. Trikotnik je preprosta oblika za sintetični histogram padavin. Če poznamo višino padavin P (enačba 9) in trajanje T_d lahko določimo bazno dolžino in višino trikotnika (enačba 10). Bazna dolžina je definirana kot trajanje T_d , višina trikotnika pa je h , tako je skupna količina padavin enaka (Chow in sod., 1988):

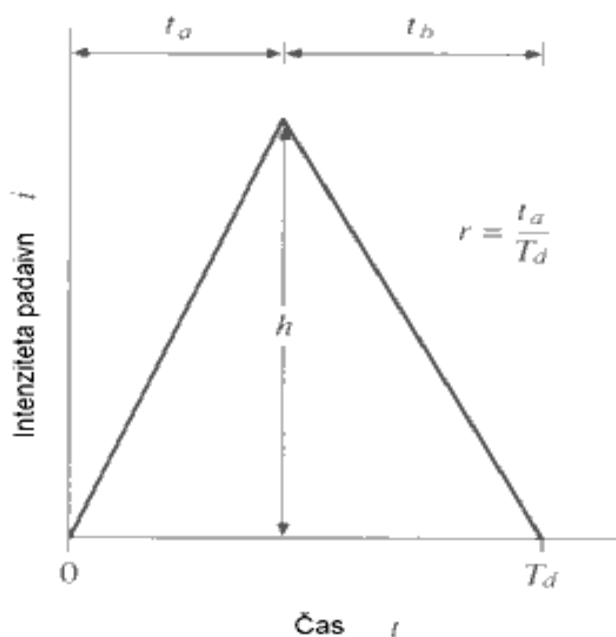
$$P = \frac{1}{2} T_d * h \quad (9)$$

Iz tega sledi :

$$h = \frac{2P}{T_d[h]} \quad (10)$$

Koeficient napredovanja nevihte r je definiran kot razmerje med časom vrha trikotnika t_a (čas največjih intenzitet) in celotnim trajanjem nevihte (enačba (3)). Koeficient r je lokacijsko odvisen, torej ima vsako geografsko območje svojega (Chow in sod., 1988).

$$r = \frac{t_a}{T_d} \quad (11)$$



Slika 12: Metoda trikotnega histograma padavin (prirejeno po: Chow in sod., 1988)

Potemtakem je recesijski čas (Chow in sod., 1988):

$$t_b = T_d - t_a = (1 - r)T_d \quad (12)$$

Vrednost $r=0,5$ pomeni, da se je vrh nevihte (trenutek največje intenzitete) zgodil točno na sredini nevihte, vrednost manjša od 0.5 pomeni, da se je vrh zgodil pred sredino trajanja, vrednost večja od 0,5 pa, da se je vrh zgodil po polovici trajanja nevihte (Chow in sod., 1988). Metoda trikotnega histograma padavin se uporablja za območja manjša od 25 kvadratnih kilometrov (Asquith in sod., 2005).

V nadaljevanju je prikazan primer za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu in sicer za padavinski dogodek trajanja dveh ur in 10 letno povratno dobo. Vrednost faktorja napredovanja nevihte r je 0,37 (Poglavje 2.7). Za podan primer trajanja dveh ur in povratno dobo desetih let potrebujemo podatek o ekstremnih padavinah. Iz preglednice 5 lahko preberemo podatek, da je pri trajanju 120 min in povratni dobi 10 let količina ekstremnih padavin $P = 46$ mm.

Preglednica 5: Ekstremne količine padavin za različne povratne dobe in različna trajanja padavin (ARSO, 2012)

POVRATNE DOBE ZA EKSTREMNE PADAVINE

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

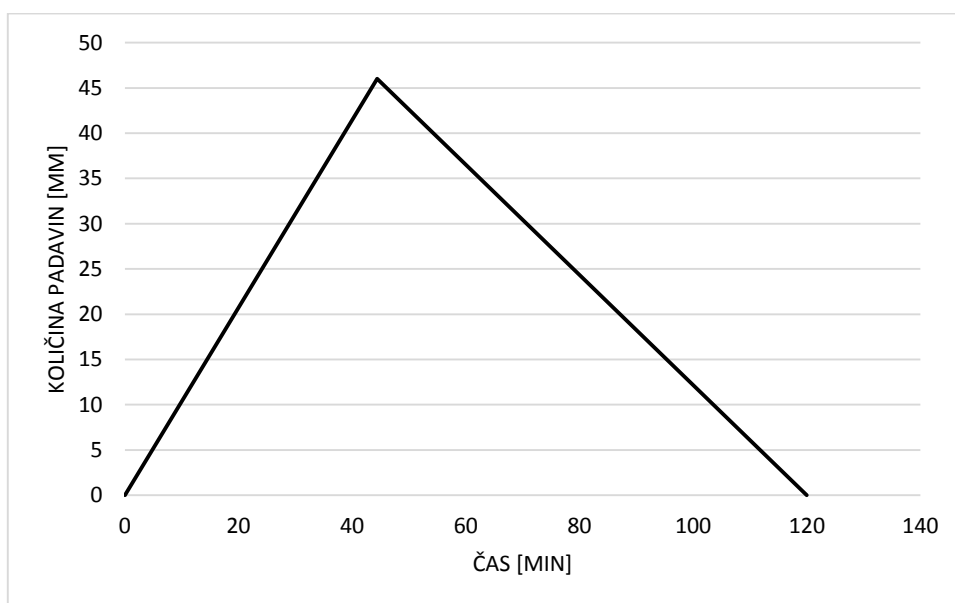
Iz enačbe (13) sledi, da je :

$$H = \frac{2P}{T_d} = \frac{2 \cdot 46 \text{ mm}}{2 \text{ h}} = 46 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \quad (13)$$

Iz enačbe (14) sledi da je vrh histograma padavin pri času:

$$t_a = r \times T_d = 0,37 \times 120 \text{ min} = 44,4 \text{ min} \quad (14)$$

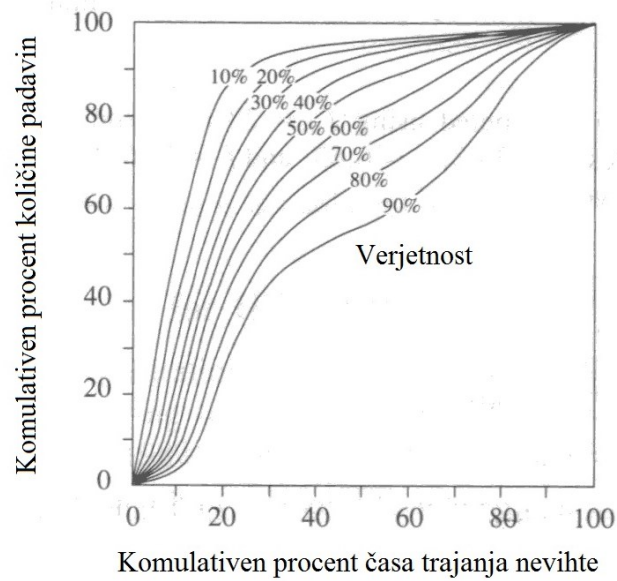
Zdaj lahko narišemo trikotni histogram padavin, ki je prikazan na sliki 12.



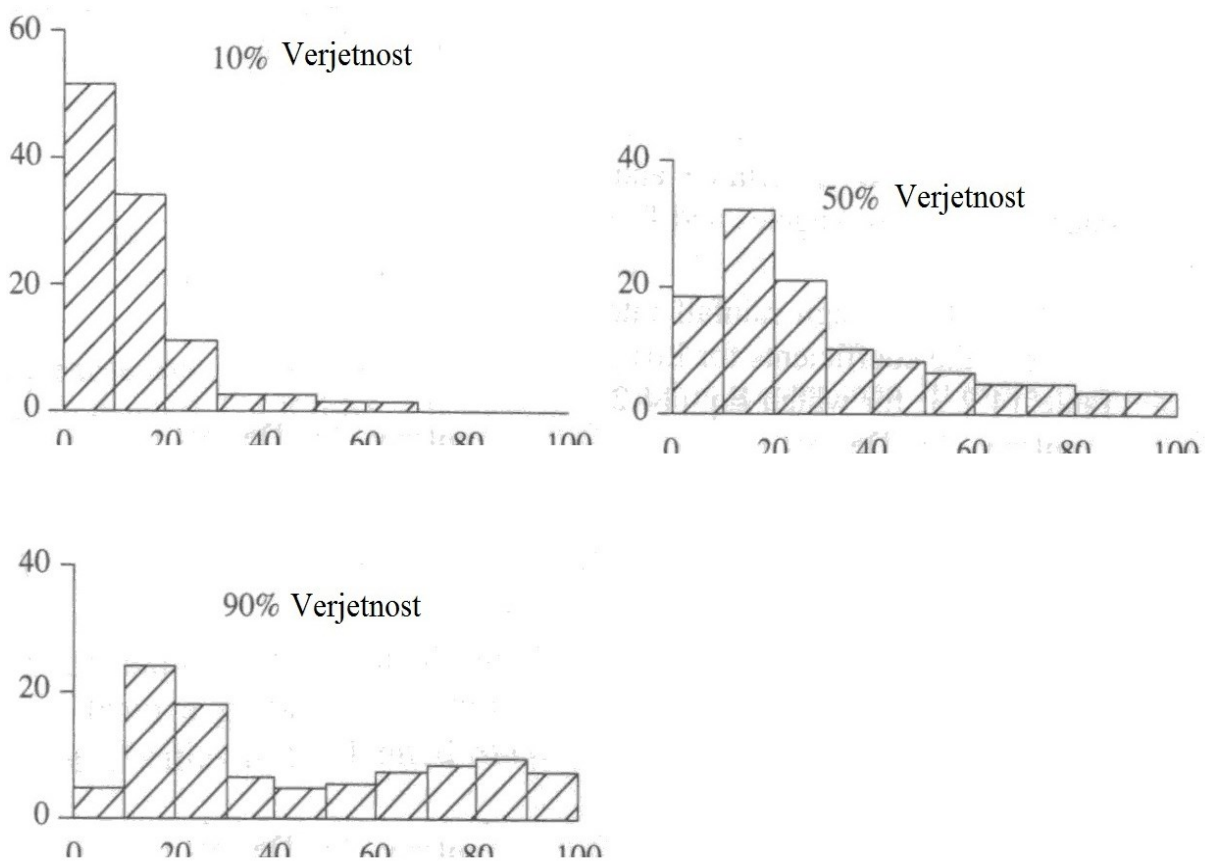
Slika 13: Primer uporabe metode trikotnega histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu

3.2.1.2 Metoda SCS

Z analizo meritev padavin lahko na splošno ugotovimo časovno porazdelitev padavin tipičnih neviht. Leta 1967 je ameriški znanstvenik Floyd A. Huff analiziral potek časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka za ameriško državo Indiano. Za štiri verjetnostne skupine je razvil vzorce časovne porazdelitve padavin, od najmočnejše (prvi kvartil) proti bolj šibkim nevihtam (četrti kvartil). Slika 13 prikazuje graf verjetnostnih porazdelitev neviht iz prvega kvartila. Na sliki 14 pa so prikazani izbrani histogrami neviht prvega kvartila za 10, 50 in 90 % verjetnosti, pri vsakem od teh je histogram sestavljen iz časovnih intervalov, ki tvorijo 10 % celotnega trajanja nevihte. 50 % histogram predstavlja kumulativen vzorec padavin, ki naj bi bil presežen pri približno polovici vseh neviht. 90 % histogram si razlagamo kot časovno porazdelitev padavin, ki naj bi se pojavila v 10 ali manj % od vseh neviht (Chow in sod., 1988).



Slika 14: Graf verjetnostnih porazdelitev neviht iz prvega kvartila (prirejeno po: Chow in sod., 1988)

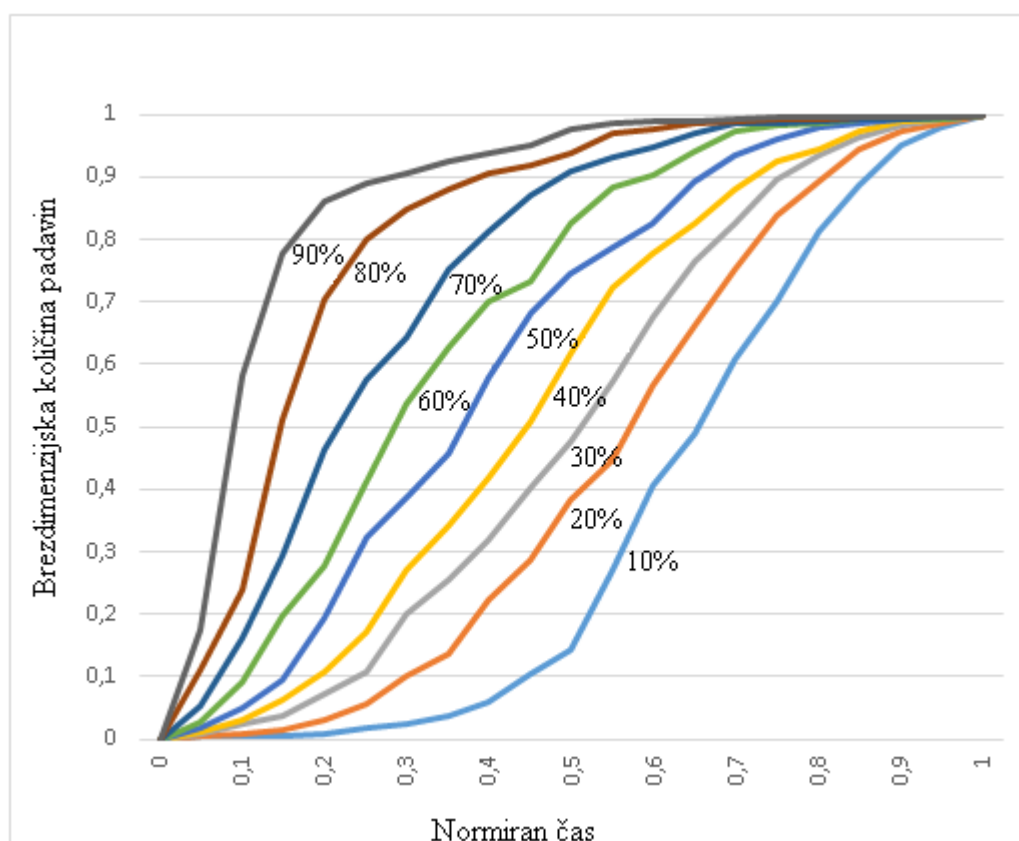


Slika 15: Histogrami neviht prvega kvartila za 10, 50 in 90 % verjetnosti (Chow in sod., 1988)

Ameriško ministrstvo za kmetijstvo je leta 1986 razvilo sintetične nevihtne histograme padavin za uporabo v ZDA, trajanj 6 in 24 ur. Ti histogrami so bili dobljeni iz študije Hershfielda (1961) in Millerja, Fredericka in Tracya (1973), ter uporabe dodatnih podatkov o nevihtah.. Za trajanje 24 ur obstajajo štirje tipi neviht, katerega uporabimo pa je odvisno od geografskega območja.

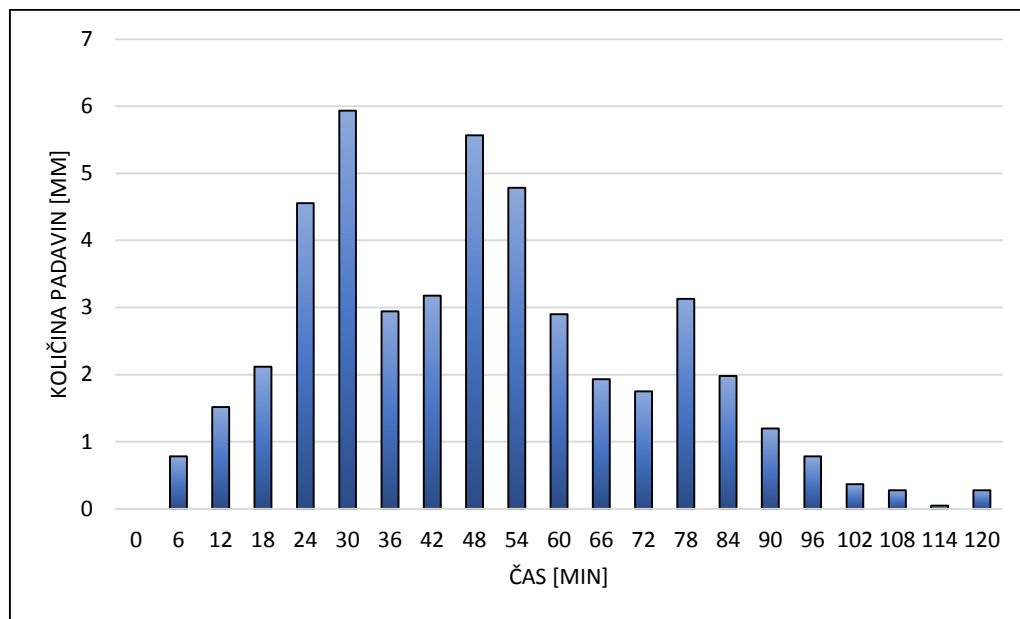
Ti sintetični histogrami padavin niso uporabni za Slovenijo, saj predstavljajo padavinske dogodke trajanja 24 ur, nas pa ponavadi zanimajo krajša trajanja. Empirične metode določanja sintetičnega histograma padavin te omejitve nimajo (Asquith in sod., 2005). Zaradi večjega števila neviht krajšega trajanja in velike raznolikosti histogramov za območje Slovenije, ti histogrami padavin niso reprezentativni.

V nadaljevanju smo predstavili sintetične histograme padavin, pridobljene iz Huffovih krivulj za Šmartno pri Slovenj Gradcu, ki so delo Domna Dolška (Dolšak, 2015). Iz Huffovih krivulj za merilno mesto Šmartno pri Slovenj Gradcu (Poglavlje 3.6) nas zanimajo predvsem krivulje prvega kvartila, ki obsegajo trajanja do šestih ur. Slika 15 prikazuje krivulje prvega kvartila, primer sintetičnega histograma padavin smo naredili iz 10, 50 in 90-percentilne krivulje in tako dobili tri sintetične histograme padavin z verjetnostjo pojava 0.1, 0.5 in 0.9 (slike 16-18).

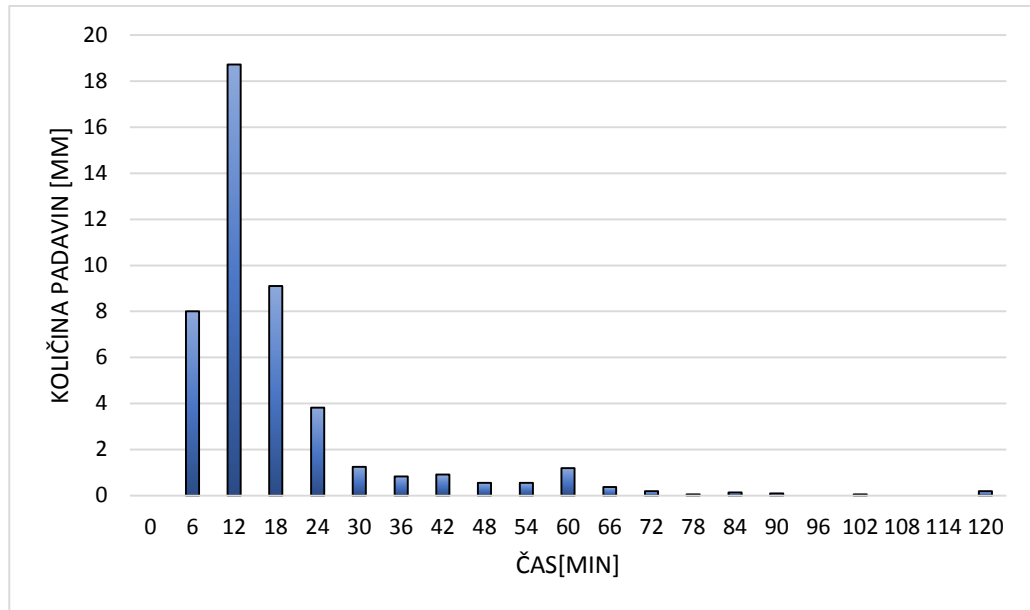


Slika 16: Krivulje prvega kvartila za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu (prirejeno po Dolšak, 2015)

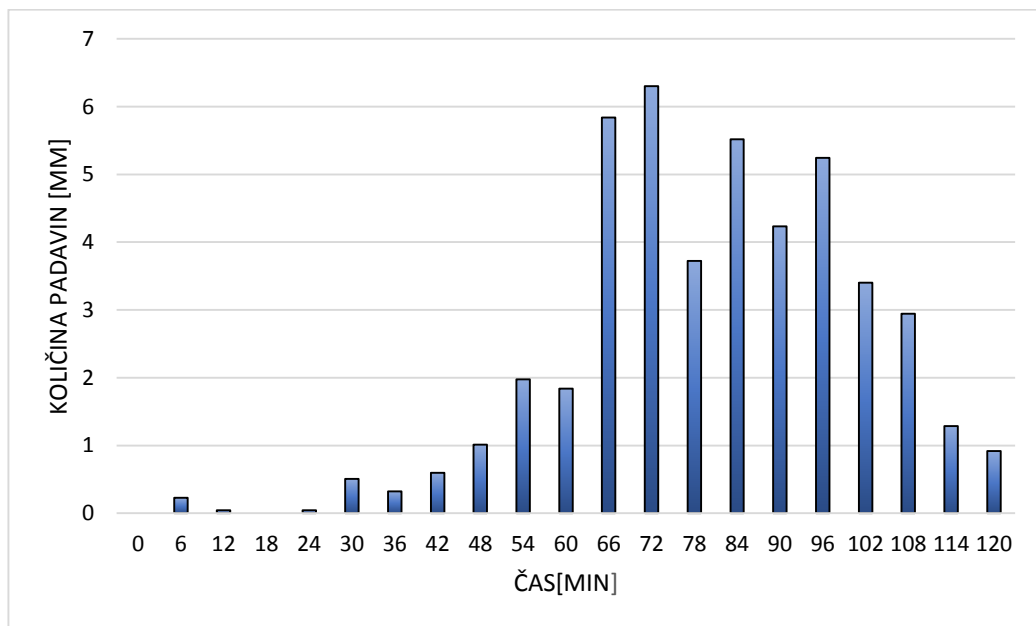
Ker je graf Huffovih krivulj brezdimenzijski, moramo poznati skupno količino padavin. To razberemo iz preglednice ekstremnih padavin za različne povratne dobe (ITP krivulj) (preglednica 5). Enako kot pri metodi trikotnega histograma padavin, za podani primer izberemo vrednost $P = 46$ mm. Z odštevanjem zaporednih vrednosti krivulj, lahko izračunamo prirastke za vsak časovni interval. Tako lahko npr. zrišemo sintetične histograme padavin za povratno dobo 10 let in trajanje 120 min z različno verjetnostjo pojava (slike 16-18).



Slika 17: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,5



Slika 18: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,9



Slika 19: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, pridobljen iz Huffovih krivulj za prvi kvartil z verjetnostjo 0,1

3.2.2 Metode izpeljane z uporabo analize razmerij ITP

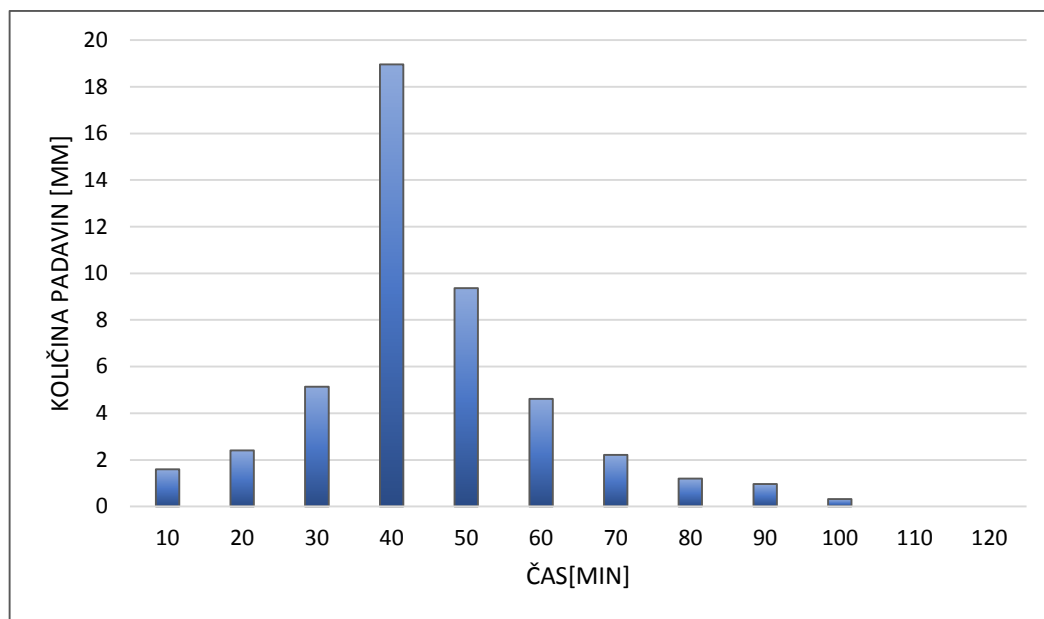
3.2.2.1 Metoda alternirajočih stolpcev

Metoda alternirajočih stolpcev (*ang. alternating block method*) je preprost način za določanje sintetičnega histograma padavin iz ITP krivulj. Sintetični histogram padavin, narejen z metodo alternirajočih stolpcev poda količino padavin, ki pade v n zaporednih časovnih intervalih dt preko celotne dolžine trajanja $Td=n*dt$.

Najprej izberemo želeno povratno dobo, potem pa iz ITP krivulje preberemo intenzitete padavin za vsak časovni interval dt , $2dt$, $3dt$, $4dt$,... Tako lahko dobimo pripadajočo intenziteto padavin. Z odštevanjem zaporednih količin padavin dobimo količino padavin, ki jo dodamo vsakemu času dt . Te prirastke ali bloke nato časovno reorganiziramo tako, da maksimalno intenziteto padavin postavimo kot vrh histograma padavin, ostali bloki pa so postavljeni v padajočem redu alternirajoče levo in desno. Tako dobimo sintetični histogram padavin. Kot primer je prikazan sintetični histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu za padavinski dogodek trajanja dveh ur in s povratno dobo 10 let (preglednica 6 in slika 19).

Preglednica 6: Primer metode alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 10 min za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu

Trajanje [min]	Intenziteta [mm/h]	Kumulativna višina [mm]	Dodatna višina [mm]	Čas [min]	Količina padavin [mm]
10	113,76	18,96	18,96	0-10	1,6
20	84,96	28,32	9,36	10--20	2,4
30	65,88	32,94	4,62	20-30	5,14
40	57,12	38,08	5,14	30-40	18,96
50	48,36	40,3	2,22	40-50	9,36
60	39,6	39,6	0	50-60	4,62
70	36	42	2,4	60-70	2,22
80	32,4	43,2	1,2	70-80	1,2
90	28,8	43,2	0	80-90	0,96
100	26,88	44,8	1,6	90-100	0,32
110	24,96	45,76	0,96	100-110	0
120	23,04	46,08	0,32	110-120	0



Slika 20: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu pridobljen z metodo alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 10 min

3.3 Vpliv izbranega časovnega intervala na histogram padavin

V tem poglavju bomo prikazali kako izbira časovnega intervala vpliva na obliko histograma padavin pri posamezni metodi. Pri nekaterih metodah ima izbira časovnega intervala večji vpliv kot pri drugih, pri nekaterih metodah pa je izbira časovnega intervala odvisna od razpoložljivosti podatkov oziroma od metode same.

3.3.1 Trikotna metoda

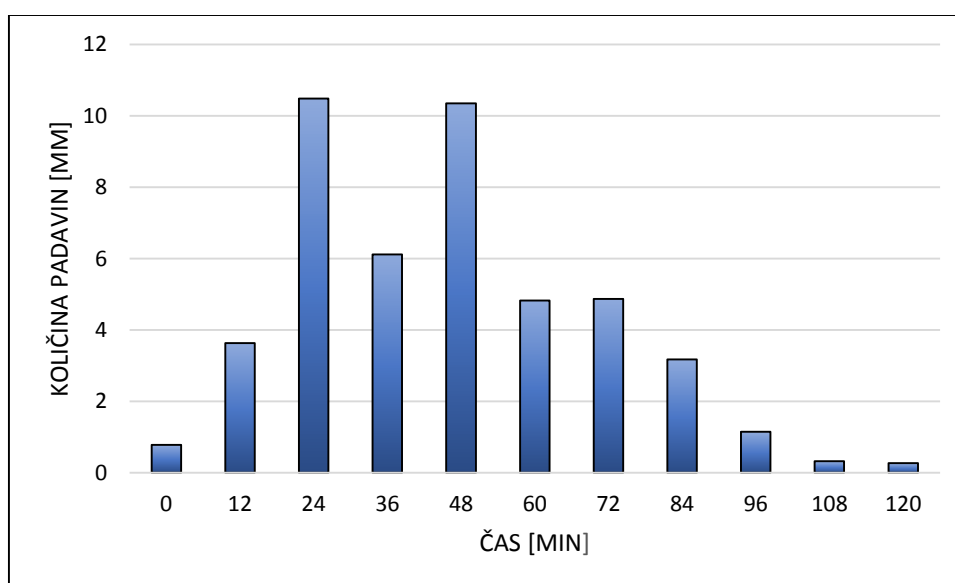
Pri trikotni metodi časovnega intervala ne izbiramo, histogram padavin predstavljajo tri točke, katere tvorijo trikotnik. To sta vrednosti 0 na začetku in koncu nevihte, ter točka, ki predstavlja vrh trikotnika.

3.3.2 Metoda SCS

Pri metodi SCS je izbira časovnega intervala odvisna od izbrane dolžine trajanja nevihte. Ker metoda SCS izhaja iz Huffovih brezdimenzijskih krivulj, je izbira časovnega intervala odvisna od razdelka ali natančnosti horizontalne in vertikalne osi. V našem primeru to pomeni, da imamo vnaprej določenih

20 časovnih intervalov. Sedaj je izbira časovnega intervala odvisna od izbire trajanja nevihte, torej za 120-minutno nevihto dobimo intervale 6 min, za 4-urno nevihto intervale 12 min itd. Za izbiro poljubnega časovnega intervala pri časovno določeni nevihti pa potrebujemo Huffove krivulje izdelane bolj natančno. Sicer lahko interval povečujemo za faktor dva, tako, da seštevamo po dve zaporedni vrednosti, vendar tako naredimo metodo manj natančno.

Primer za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu za metodo SCS iz 50-percentilne Huffove krivulje prvega kvartila s časovnim intervalom 12 min, za nevihto trajanja 120 min je predstavljen na sliki 20.



Slika 21: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, dobljen z metodo SCS iz 50-percentilne krivulje, s časovnim intervalom 12 min

3.3.3 Metoda alternirajočih stolpcev

V poglavju 3.2.2.1 je že predstavljen primer za časovni interval 10 min (preglednica 6 in slika 19), preglednica 7 in slika 21 pa prikazujeta primer s časovnim intervalom 5 min.

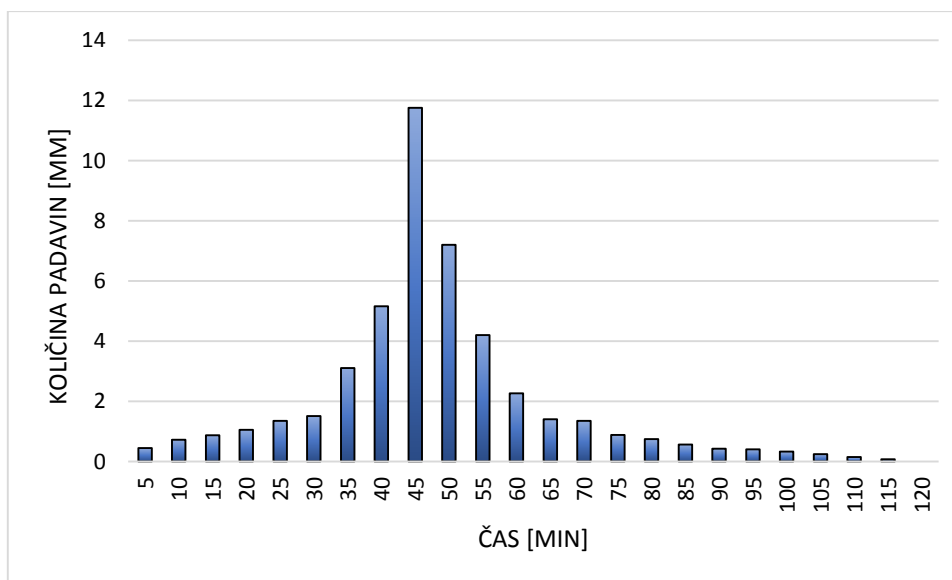
Preglednica 7: Primer metode alternirajočih blokov s časovnim intervalom 5 min za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu

Trajanje [min]	Intenziteta [mm/h]	Kumulativna Višina [mm]	Dodatna Višina [mm]	Čas [min]	Količina padavin [mm]
5	141,12	11,76	11,76	0-5	0,45
10	113,76	18,96	7,2	5-10	0,72

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 7

15	96,48	24,12	5,16	10-15	0,87
20	84,96	28,32	4,2	15-20	1,05
25	75,42	31,425	3,105	20-25	1,35
30	65,88	32,94	1,515	25-30	1,515
35	60,36	35,21	2,27	30-35	3,105
40	54,84	36,56	1,35	35-40	5,16
45	49,32	36,99	0,43	40-45	11,76
50	46,08	38,4	1,41	45-50	7,2
55	42,84	39,27	0,87	50-55	4,2
60	39,6	39,6	0,33	55-60	2,27
65	37,8	40,95	1,35	60-65	1,41
70	36	42	1,05	65-70	1,35
75	34,2	42,75	0,75	70-75	0,88
80	32,4	43,2	0,45	75-80	0,75
85	30,6	43,35	0,15	80-85	0,56
90	28,8	43,2	-0,15	85-90	0,43
95	27,84	44,08	0,88	90-95	0,4
100	26,88	44,8	0,72	95-100	0,33
105	25,92	45,36	0,56	100-105	0,24
110	24,96	45,76	0,4	105-110	0,15
115	24	46	0,24	110-115	0,08
120	23,04	46,08	0,08	115-120	0



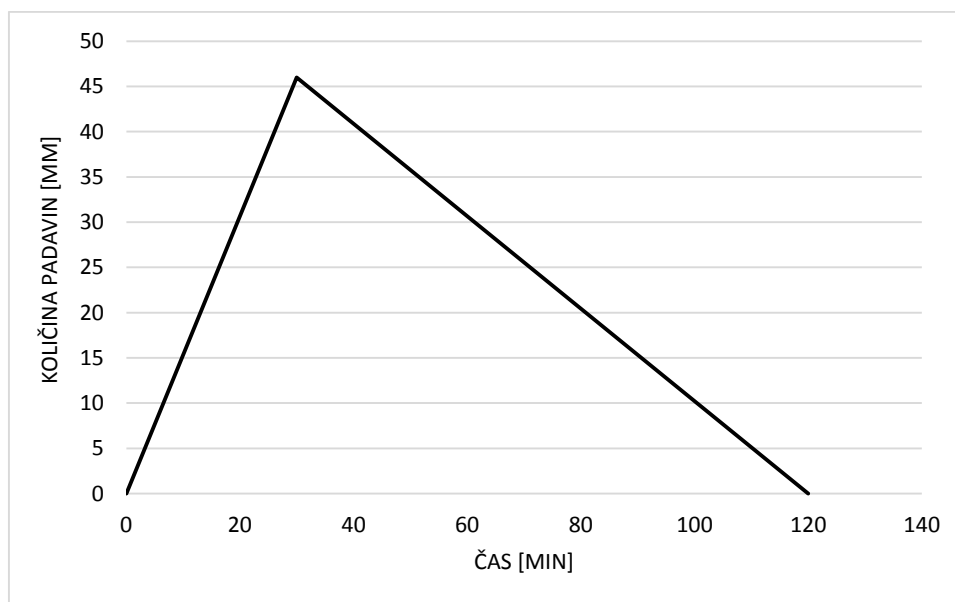
Slika 22: Histogram padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu pridobljen z metodo alternirajočih stolpcev s časovnim intervalom 5 min

3.4 Vpliv postavitve konice oz. vrha sintetičnega histograma padavin

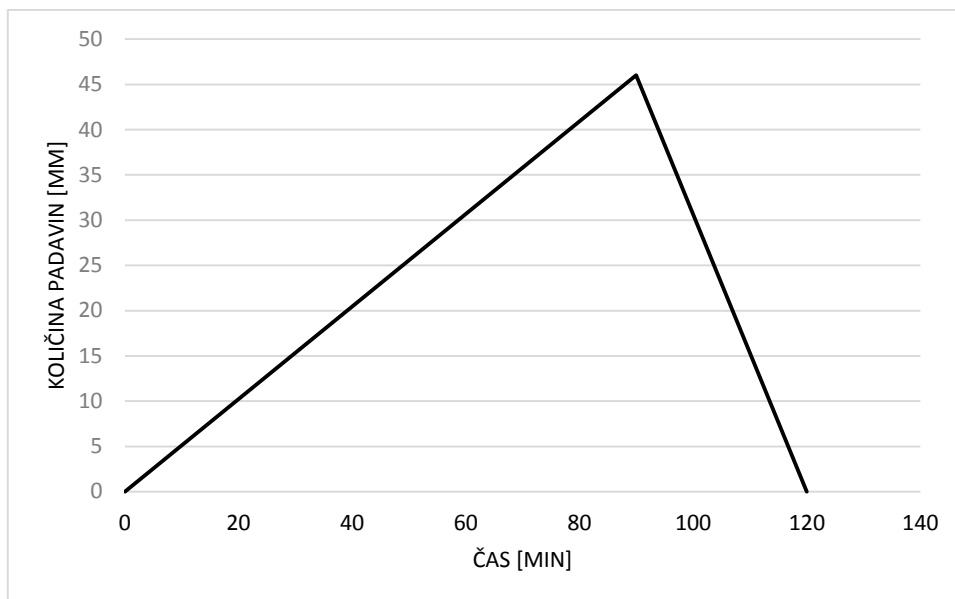
Postavitev konice sintetičnega histograma padavin je, tako kot izbira časovnega intervala, odvisna od metode. Postavitev konice vpliva predvsem na obliko histograma in konico površinskega odtoka, nima pa bistvenega vpliva na količino površinskega odtoka, ki ga nevihta povzroči, saj ne vpliva na samo količino oz. intenziteto padavin (Chin, 2007). V nadaljevanju bomo prikazali primer postavitve konice histograma pri $r = 0,25$ in $r = 0,75$ pri posamezni metodi, s programom HEC-HMS pa bomo v poglavju 7.1 pokazali, kako postavitev konice sintetičnega histograma padavin vpliva na površinski odtok.

3.4.1 Trikotna metoda

Pri trikotni metodi pozicijo konice histograma padavin določimo s pomočjo faktorja napredovanja nevihte r . Iz merjenih podatkov in njihove analize za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu izhaja vrednost faktorja napredovanja nevihte r 0,37, za katerega je primer že narejen v poglavju 3.2.1.1. Kot primer bomo pokazali še histograma nevihte z vrhom pri 25 in 75 odstotkih časa trajanja nevihte.



Slika 23: Primer trikotne metode za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z vrhom pri 25% trajanja nevihte



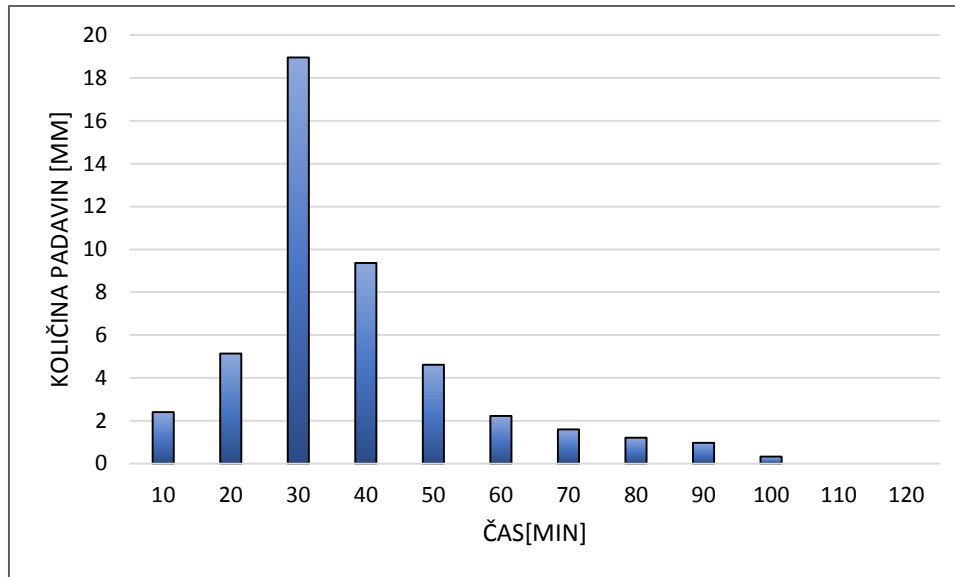
Slika 24: Primer trikotne metode za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z vrhom pri 75% trajanja nevihte

3.4.2 Metoda SCS

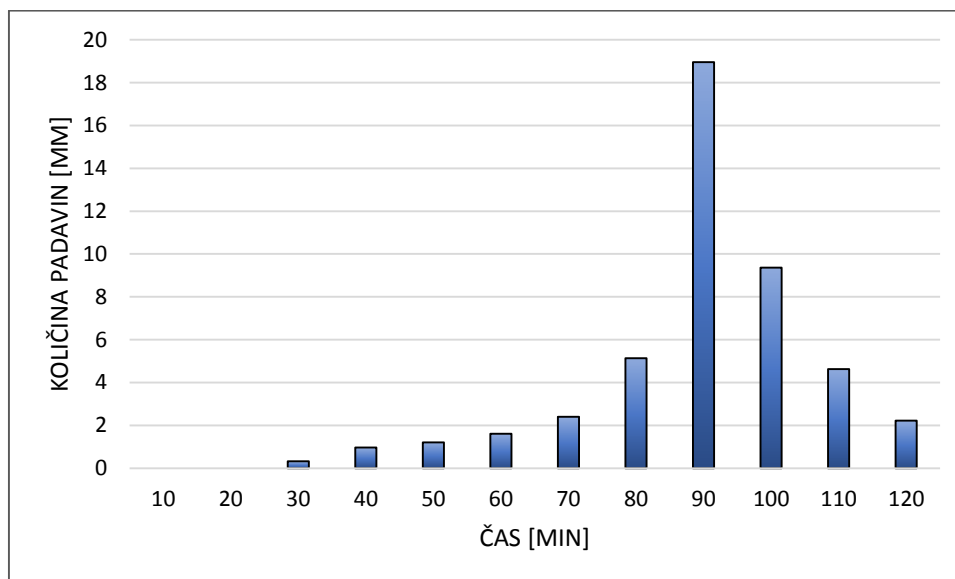
Pri metodi SCS ne moremo sami odločiti o postavitvi konice histograma padavin, saj je ta odvisna od Huffovih krivulj. Konica se pojavi tam, kjer je Huffova krivulja najbolj strma. Lahko se zgodi tudi, da imamo več konic.

3.4.3 Metoda alternirajočih stolpcev

Pri metodi alternirajočih stolpcev moramo najprej vedeti kam umestiti konico histograma, to je največjo intenziteto padavin. Potem vse ostale stolpce porazdelimo okoli konice, alternirajoče najprej na desno, potem na levo, itd. Primer za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu, ki upošteva faktor napredovanja nevihte r 0.37 je bil prikazan na sliki 19, primera histograma nevihte z vrhoma pri 25 in 75 odstotkih časa trajanja nevihte pa sta prikazana na slikah 24 in 25.



Slika 25: Primer histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z uporabo metode alternirajočih stolpcev v vrhom pri 25% trajanja nevihte



Slika 26: Primer histograma padavin za padavinsko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu z uporabo metode alternirajočih stolpcev v vrhom pri 75% trajanja nevihte

3.5 Programsko orodje HEC-HMS

HEC-HMS je program, razvit pri US Army Corps of Engineers (US Army Corps of Engineers, 2015). Narejen je za simulacijo hidroloških procesov in površinskih odtokov s povodij. Program vsebuje veliko tradicionalnih hidroloških analiz, kot so infiltracija padavin in hidrogram enote. V programu je več hidroloških modelov, katerih glavni namen je analiza površinskega odtoka z določenega povodja. Pri meteorološkem modelu lahko vhodne podatke (padavine) določimo na različne načine. Lahko uporabimo metodo neviht z izbrano povratno dobo (*ang. frequency storm*), pri kateri uporabimo analizirane statistične podatke o padavinah (ITP krivulje), v Sloveniji jih objavlja ARSO (ARSO, 2009). Pri tej metodi vnesemo povratno dobo, čas trajanja nevihte ter skupno padlo količino padavin. Nastavimo lahko tudi kje se bo pojavil vrh nevihte, izbiramo lahko med 25, 33, 50, 67 ali 75 odstotki časa trajanja nevihte. Druga metoda je metoda uteži (*ang. gauge weights*), kjer lahko prilagajamo posamezne lokalne histograme padavin glede na lokalne lastnosti z dodajanjem uteži. Uporabijo se lahko tudi metoda mrežnih padavin (*ang. gridded precipitation*), metoda inverzne razdalje (*ang. inverse distance*), metoda SCS (Huffove krivulje), metoda lastnega vnosa podatkov (*ang. specified hyetograph*), kjer lahko sami izberemo časovni interval in vpišemo količino padlih padavin za vsak časovni interval posebj, ter še nekatere druge metode, ki so povezane z evapotranspiracijo, taljenjem snega ipd. (USACE, 2013). V diplomski nalogi smo uporabili metodo lastnoročnega vnosa podatkov, kamor smo vpisovali podatke, ki smo jih s predstavljenimi metodami. Ugotavljali bomo tudi vpliv postavitve vrha (konice) in izbire časovnega intervala sintetičnega histograma padavin na volumen površinskega odtoka. Za potrebe analize smo uporabili tudi vgrajeno metodo *Frequency Storm*.

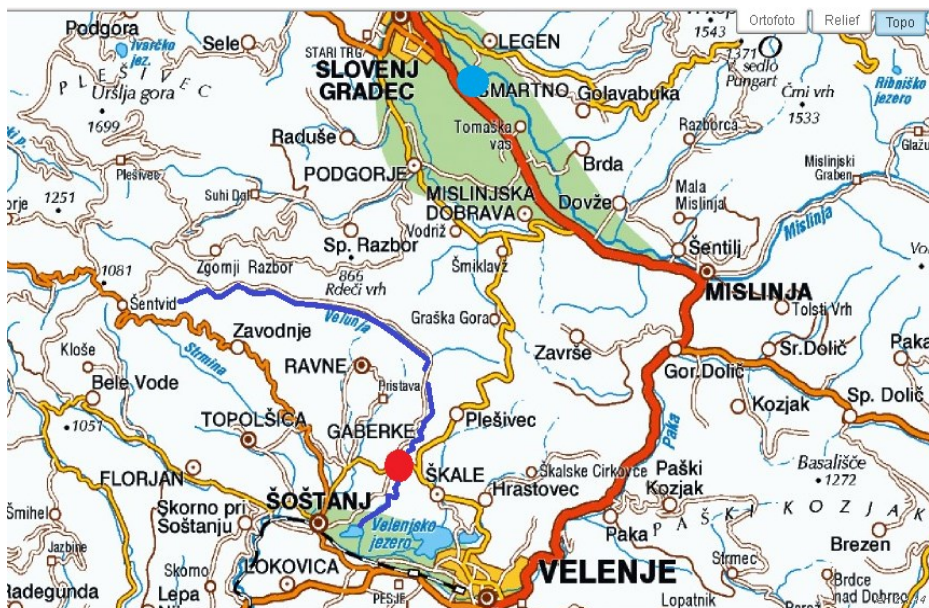
4 PODATKI

4.1 Vodotok Velunja

Porečje vodotoka Velunje leži v severno-vzhodni Sloveniji, v neposredni bližini Šoštanja in Velenja. Velunja izvira v bližini kraja Zgornji Razbor nato pot nadaljuje skozi kraja Ravne in Gaberke, pri Velenju pa se izliva v Šoštanjsko jezero, naprej pa v reko Pako (slika 27). Dolga je 14,9 km, njeno prispevno območje pa meri 27,4 km². Izvira na nadmorski višini 991 m, v Šoštanjsko jezero pa se izliva na nadmorski višini 391 m (Stanjko, 2015).



Slika 27: Reka Velunja (Brezočnik, 2015)



Slika 28: Lokacija obravnavanega porečja Velunje, vodomerne postaje Gabeške in meteorološke postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu (Geopedia, 2015)

4.2 Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu

Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu (slika 27) je locirana v Mislinjski dolini v občini Slovenj Gradec, 3 km vzhodno od samega mesta Slovenj Gradec, deluje pa od leta 1949 (slika 28) (ARSO, 2011). Nadmorska višina postaje znaša 445 m. Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu je meteorološka postaja I. reda, to pomeni, da delo na postaji opravlja poklicni opazovalec, meritve pa potekajo neprekinjeno na določene termine (ARSO, 2011). Na postaji se meri: temperaturo zraka (na višini 5 cm od tal in na višini 2 m od tal), vlažnost, hitrost in smer vetra, količino in intenziteto padavin, temperaturo tal na različnih globinah in trajanje sončnega obsevanja. Opazovalec pa opazuje tudi vidnost, oblačnost, stanje tal, vremenske pojave in fenološke faze rastlin (ARSO, 2011).

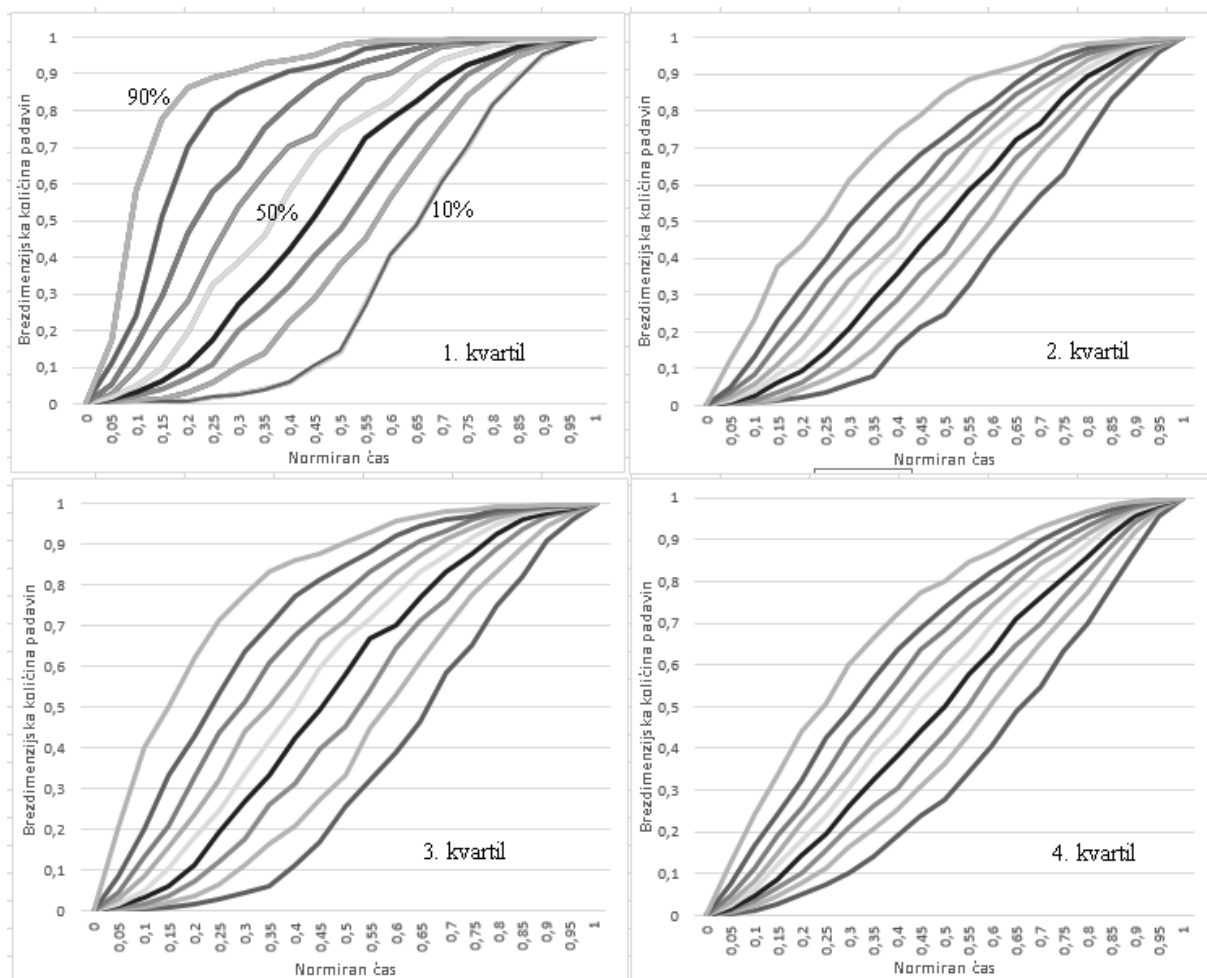
Za potrebe diplomske naloge smo uporabili podatke z meteorološke postaje Šmartno pri Slovenj Gradcu in sicer povratne dobe ekstremnih padavin za obdobje 1970-2012 (slika 29), ter Huffove krivulje za to postajo, ki jih je izdelal Domen Dolšak v svoji magisterski nalogi (slika 30) (Dolšak, 2015).



Slika 29: Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2011)



Slika 30: ITP krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu (ARSO, 2012)



Slika 31: Huffove krivulje za Šmartno pri Slovenj Gradcu (Dolšak, 2015)

4.3 Vodomerna postaja Gaberke

Samodejna hidrološka postaja površinskih voda Gaberke (slika 31), leži v kraju Gaberke, ter meri vodostaj, pretok in temperaturo vodotoka Velunja in sicer 1,7 km gorvodno od izliva v Šoštanjsko jezero, ter na nadmorski višini 391m (slika 27). Meritve na hidrološki postaji Gaberke se izvajajo od leta 1986 (<http://www.arso.gov.si/vode/podatki/>). V preglednici 8 so zbrani rezultati nekaterih značilnih pretokov na vodomerni postaji Gaberke.

Preglednica 8: Povzetek rezultatov meritev s merilnega mesta Gaberke za obdobje od 1970 do 2012 (ARSO, 2015; Stanjko, 2015)

Povprečna vrednost letnih minimalnih pretokov	0,08 m ³ /s
Najmanjša izmerjena vrednost pretoka	0,013 m ³ /s (2006)
Povprečna vrednost maksimalnih pretokov	17,58 m ³ /s
Največji izmerjen pretok	74 m ³ /s (1995)



Slika 32: Vodomerna postaja Gaberke (Brezočnik, 2015)

5 DOLOČITEV POVRŠINSKEGA ODTOKA Z MODELOM HEC-HMS ZA RAZLIČNE METODE DOLOČANJA SINTETIČNEGA HISTOGRAMA PADAVIN

5.1 Model porečja HEC-HMS

Za potrebe diplomske naloge smo uporabili že umerjen model porečja Velunje do vodomerne postaje Gaberke s programom HEC-HMS (Stanjko, 2015). Slika 32 prikazuje vhodne podatke modela porečja Velunje, vnešene v model HEC-HMS.

The image shows three panels of the HEC-HMS software interface for the Velunja watershed model. The top-left panel shows the Basin Name and Element Name as 'Velunja', with a description of 'Porečje Velunje' and an area of 27.4 KM2. The top-right panel shows the Loss parameters: Initial Abstraction (MM) at 16.9, Curve Number at 75, and Impervious (%) at 1.0. The bottom panel shows the Transform parameters: Method set to Standard, Standard Lag (HR) at 1, and Peaking Coefficient at 0.65. The interface includes tabs for Subbasin, Loss, Transform, Baseflow, and Options.

Slika 33: Vhodni podatki modela porečja Velunje za model HEC-HMS (povzeto po Stanjko, 2015)

5.1 Meteorološki model HEC-HMS

Meteorološki modeli vsebujejo podatke o padavinah. Za potrebe diplomske naloge smo izbrali možnost ročnega vnosa podatkov (*ang. specified hyetograph*), za primerjavo pa smo izbrali tudi metodo *Frequency Storm*. Skupaj smo naredili 13 meteoroloških modelov in sicer za trikotno metodo 3 primere, za metodo SCS 4 primere, za metodo alternirajočih stolpcev prav tako 4 primere in za metodo *Frequency Storm* 2 primera. Najprej moramo v zavihku "Time-series data" dodati merilno mesto (*ang. precipitation gage*), določiti časovni interval in enote, ter vpisati podatke o količini padavin. Slika 33 prikazuje primer vnesenih podatkov meteorološkega modela za metodo alternirajočih stolpcev z časovnim intervalom 10 min in faktorjem napredovanja nevihte r , ki znaša 0,37.

The screenshot shows the 'Time-Series Gage' control specifications on the left and a data table on the right. The control specifications are as follows:

- Name: Alter10 min
- Description: Merilna postaja Šmartno pri SG
- Data Source: Manual Entry
- Units: Incremental Millimeters
- Time Interval: 10 Minutes
- Latitude Degrees: [empty]
- Latitude Minutes: [empty]
- Latitude Seconds: [empty]
- Longitude Degrees: [empty]
- Longitude Minutes: [empty]
- Longitude Seconds: [empty]

The data table on the right shows precipitation data for January 1, 2000, at 10-minute intervals:

Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01jan2000, 00:00	
01jan2000, 00:10	1.60
01jan2000, 00:20	2.40
01jan2000, 00:30	5.14
01jan2000, 00:40	18.96
01jan2000, 00:50	9.36
01jan2000, 01:00	4.62
01jan2000, 01:10	2.22
01jan2000, 01:20	1.20
01jan2000, 01:30	0.96
01jan2000, 01:40	0.32
01jan2000, 01:50	0.00
01jan2000, 02:00	0.00
01jan2000, 02:10	

Slika 34: Primer ročnega vnosa sintetičnega histograma padavin v meteorološki model HEC-HMS

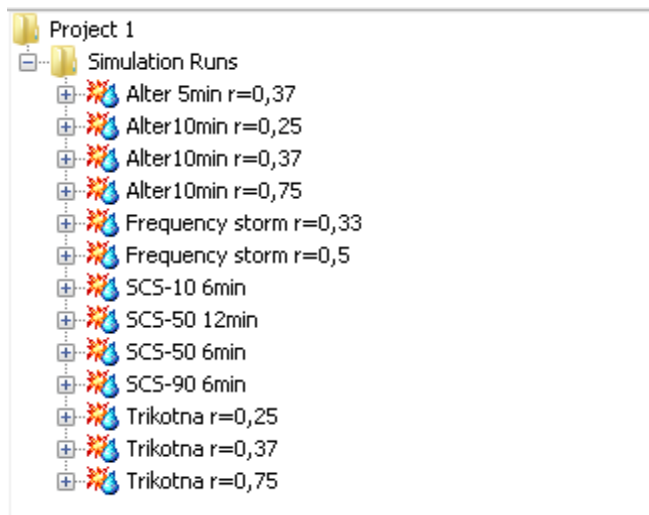
5.2 Kontrolni model HEC-HMS

Ko imamo v programu vnešene podatke o porečju in o padavinah, lahko začnemo s simulacijo površinskega odtoka. Podatki o porečju Velunje so vedno enaki, spreminjajo pa se meteorološki modeli in sicer za vsako metodo potrebujemo drug meteorološki model. Na koncu smo za potrebe analize uporabili še metodo *Frequency Storm*, pri kateri ne vnašamo podatkov ročno. Za uspešno simulacijo je potrebno vnesti še podatke o kontroli simulacije (*ang. Control specifications*), to je časovni okvir simulacije. Slika 34 prikazuje okence "Control specifications", slika 35 pa nabor izvedenih simulacij, pri katerih številka za imenom metode pomeni časovni interval.

The screenshot shows the 'Control Specifications' dialog box with the following fields:

- Name: Control 1
- Description: [empty]
- *Start Date (ddMMMYYYY): 01jan2000
- *Start Time (HH:mm): 00:00
- *End Date (ddMMMYYYY): 01jan2000
- *End Time (HH:mm): 06:00
- Time Interval: 5 Minutes

Slika 35: Vnos časovnih podatkov v kontrolni model

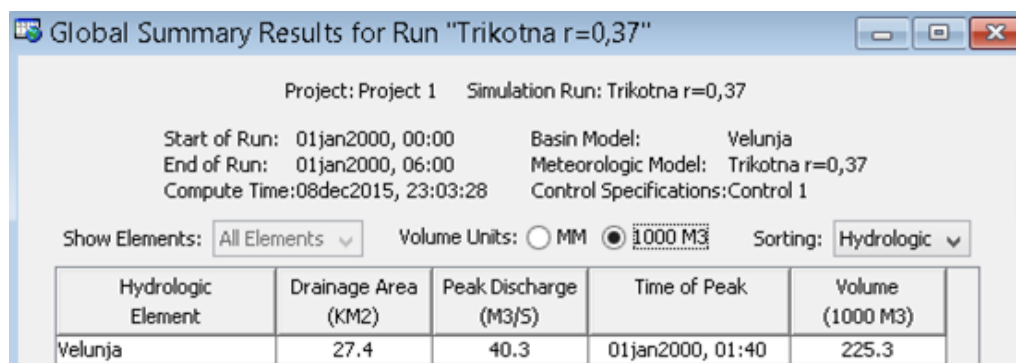


Slika 36: Nabor izvedenih simulacij površinskega odtoka v HEC-HMS

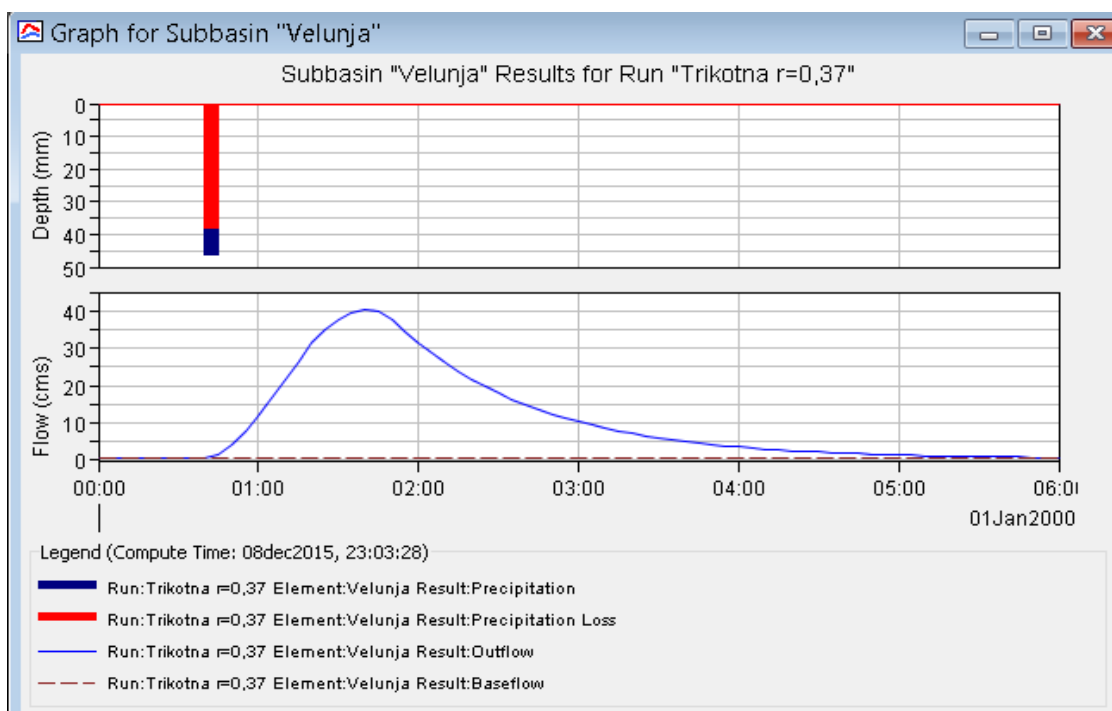
6 REZULTATI POVRŠINSKEGA ODTOKA S PROGRAMOM HEC-HMS

Tukaj so predstavljeni rezultati simulacij površinskega odtoka s programom HEC-HMS z uporabo različnih sintetičnih histogramov padavin. Za vsako metodo so najprej podani glavni rezultati (*Global Summary Report*), v katerih je predstavljen maksimalen površinski odtok (*ang. Peak Discharge*), kdaj se je zgodil in celoten volumen odtekle vode. Za vsako metodo je izrisan tudi histogram padavin z izgubami in hidrogram površinskega odtoka.

6.1 Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,37$

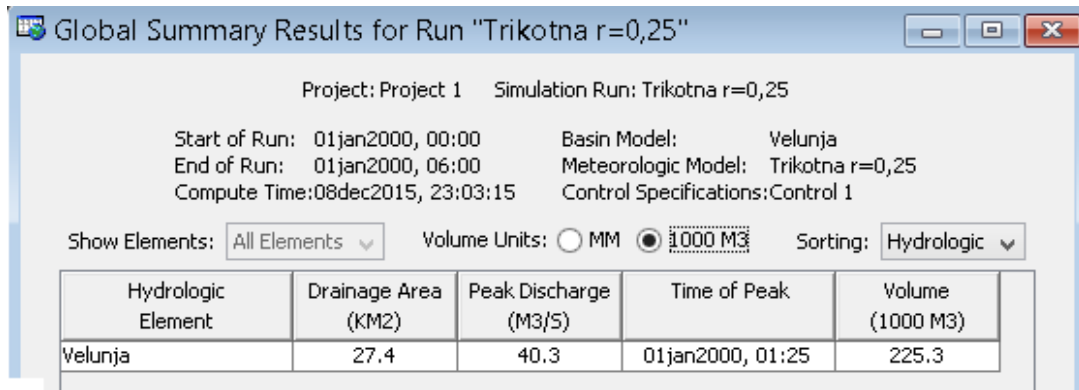


Slika 37: Rezultati trikotne metode s faktorjem $r=0,37$

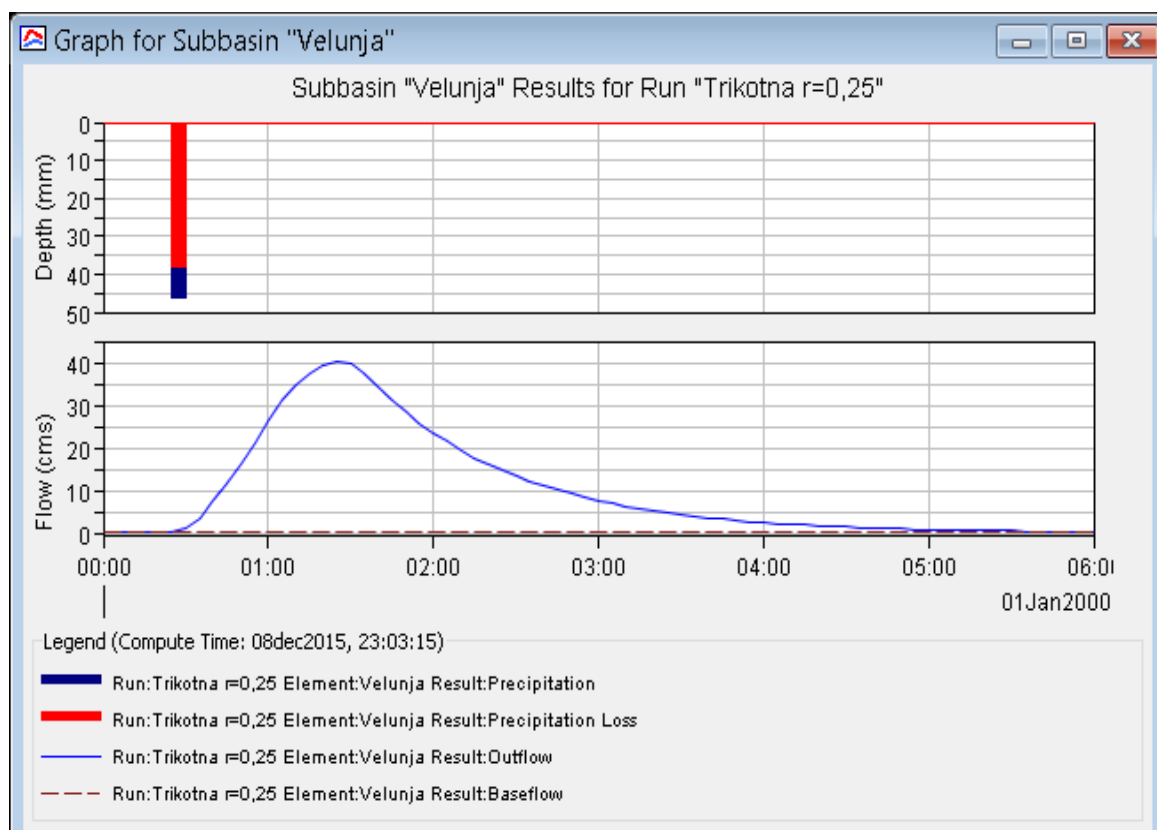


Slika 38: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,37$

6.2 Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,25$

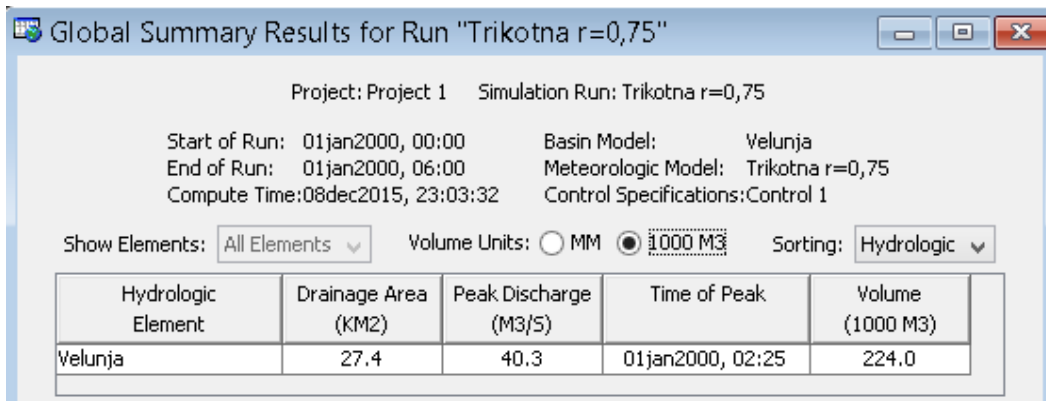


Slika 39: Rezultati trikotne metode s faktorjem $r=0,25$

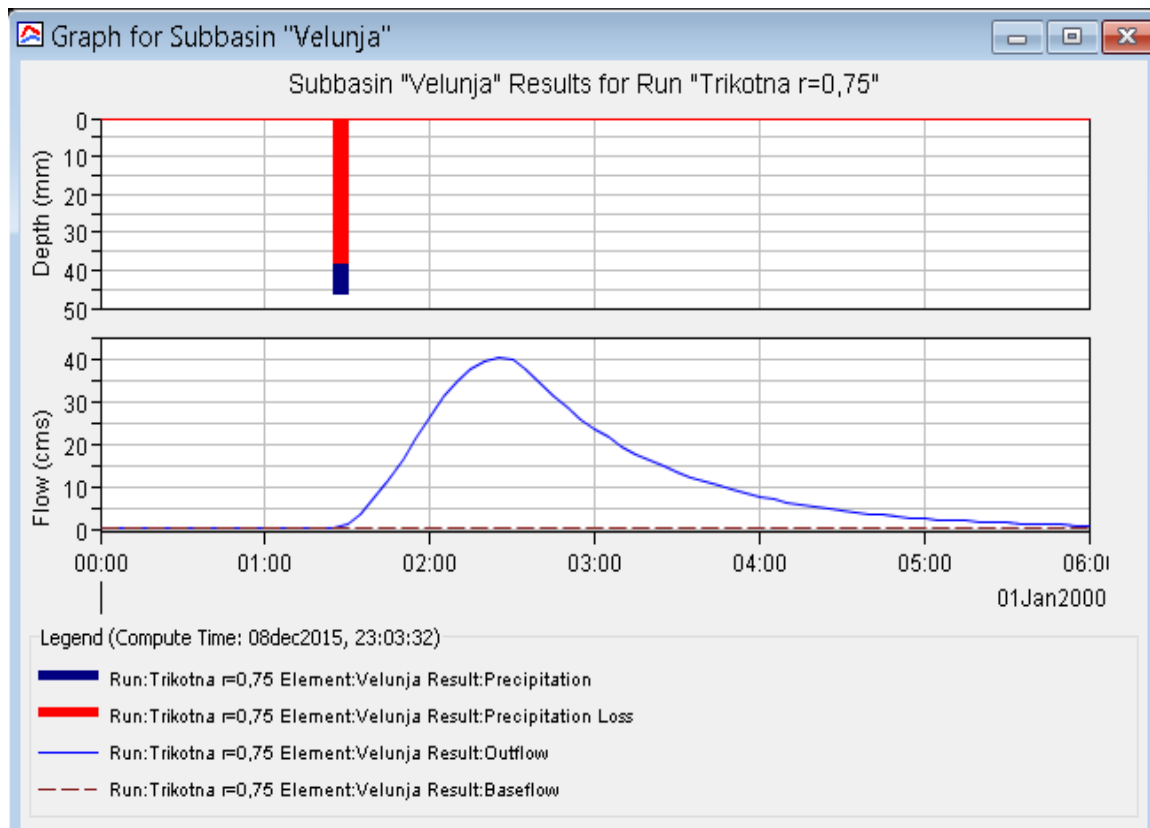


Slika 40: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,25$

6.3 Trikotna metoda z faktorjem $r = 0,75$

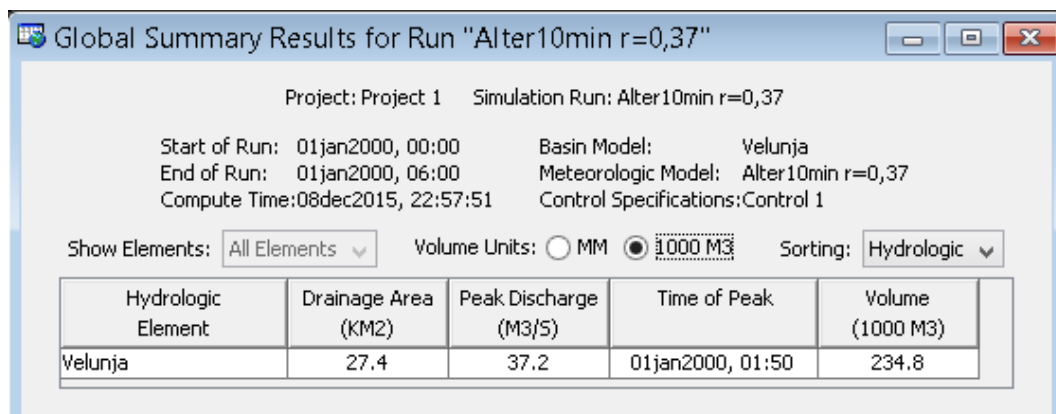


Slika 41: Rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,37$

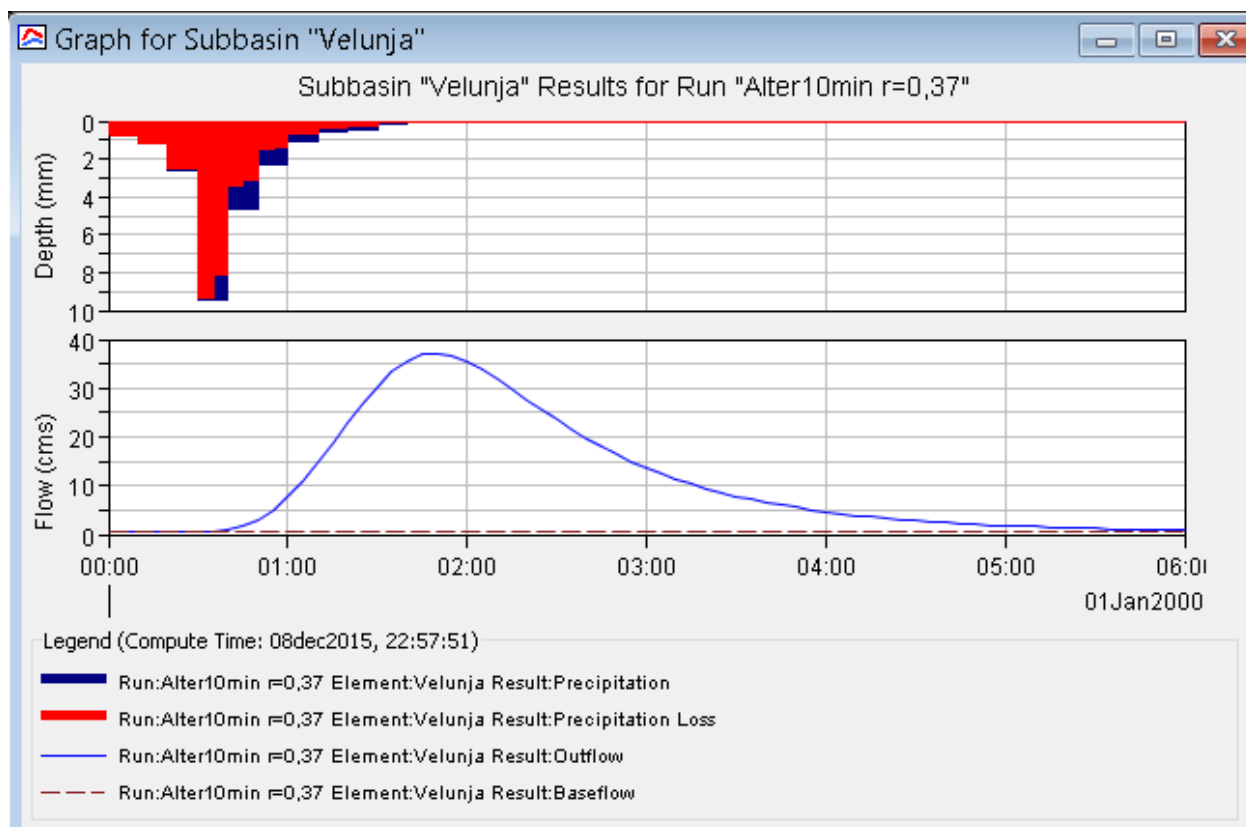


Slika 42: Graf rezultatov trikotne metode s faktorjem $r=0,75$

6.4 Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,37$ in časovnim intervalom 10 min

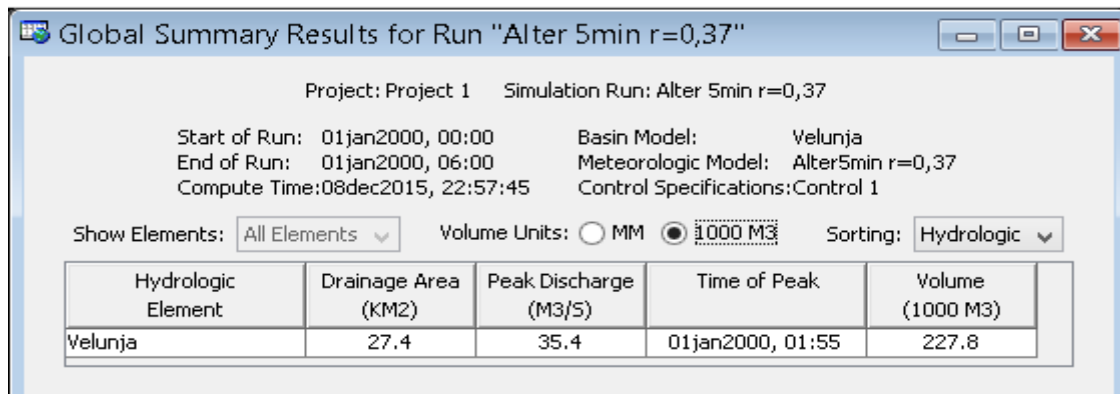


Slika 43: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r = 0,37$ in časovnim intervalom 10 min

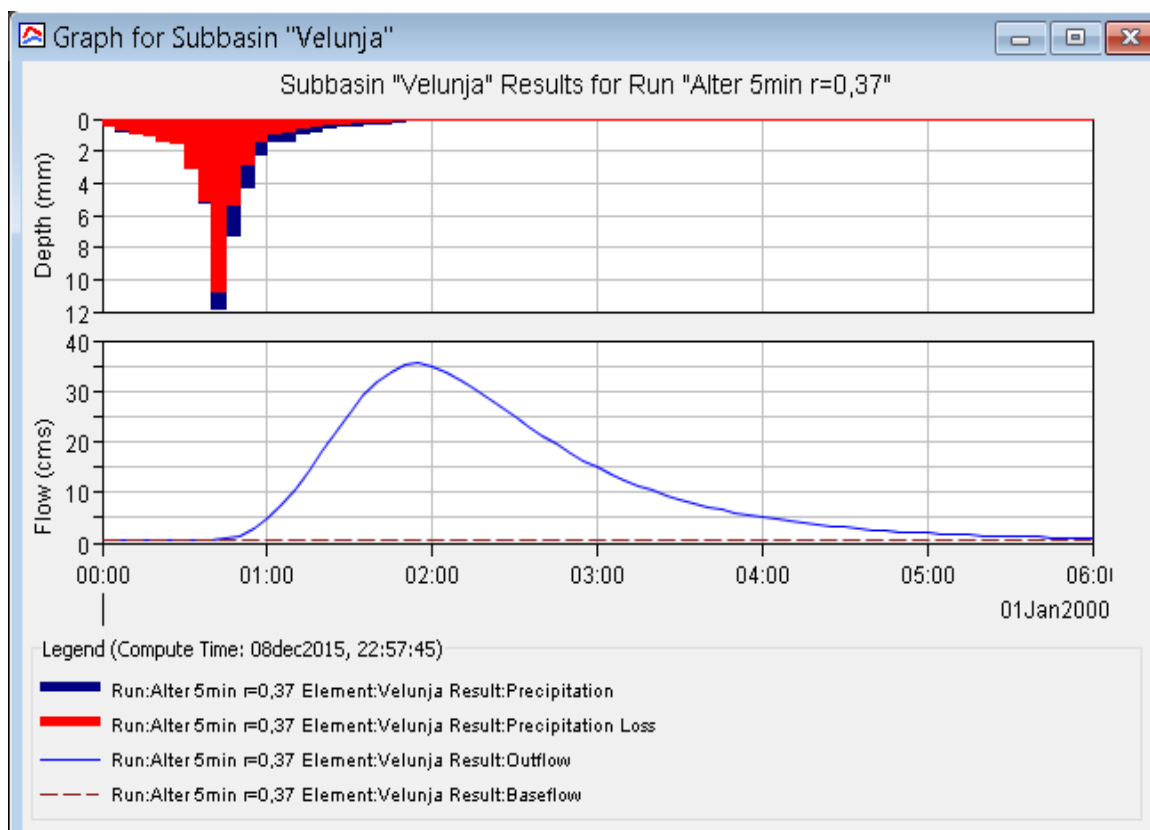


Slika 44: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 10 min

6.5 Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,37$ in časovnim intervalom 5 min

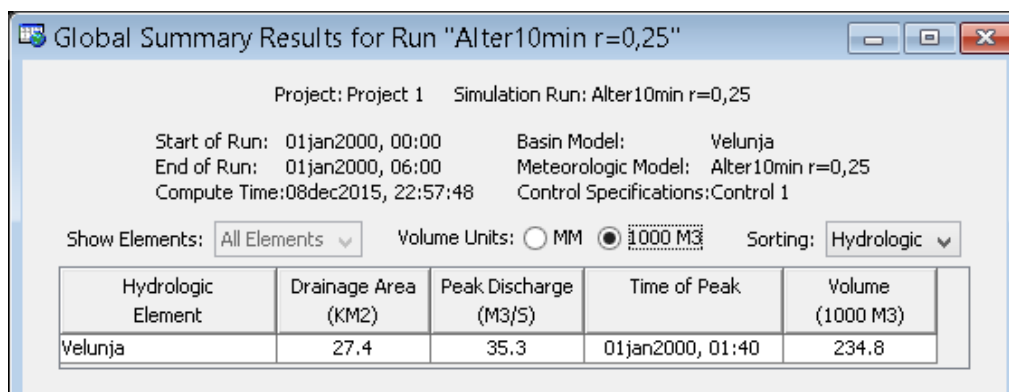


Slika 45: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 5 min

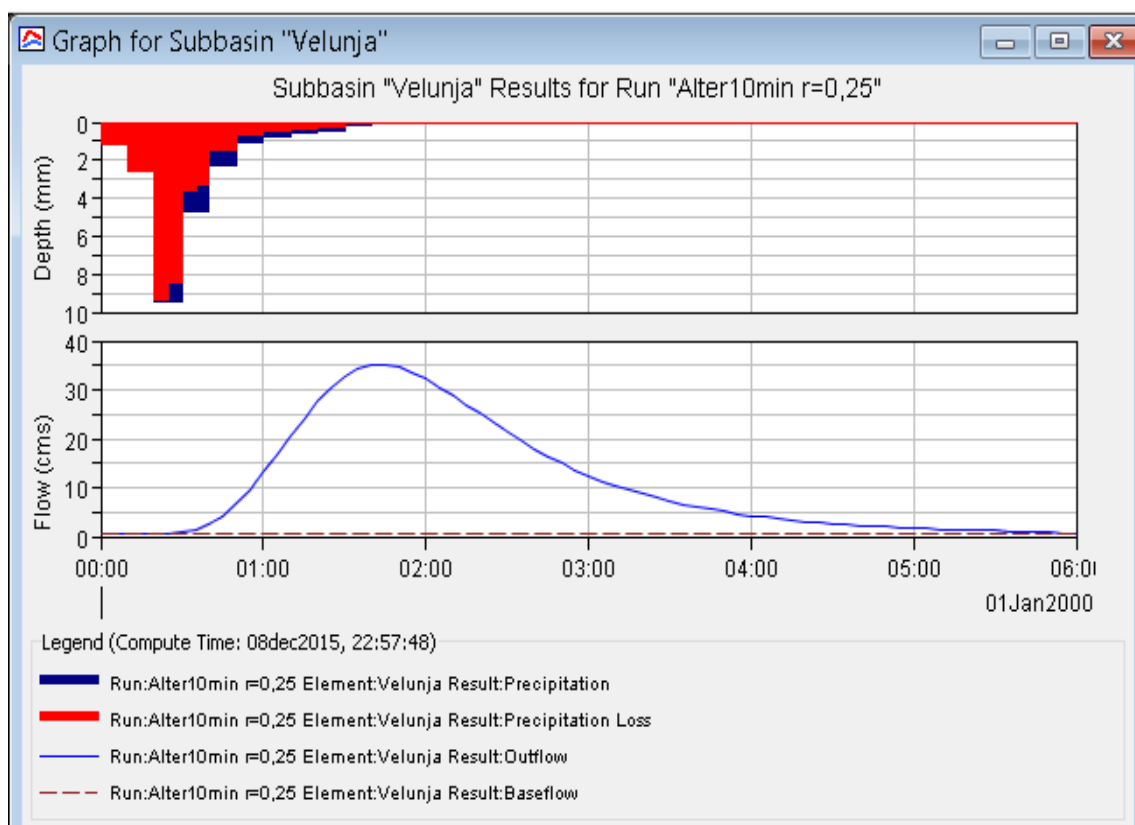


Slika 46: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=37$ in časovnim intervalom 5 min

6.6 Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,25$ in časovnim intervalom 10 min

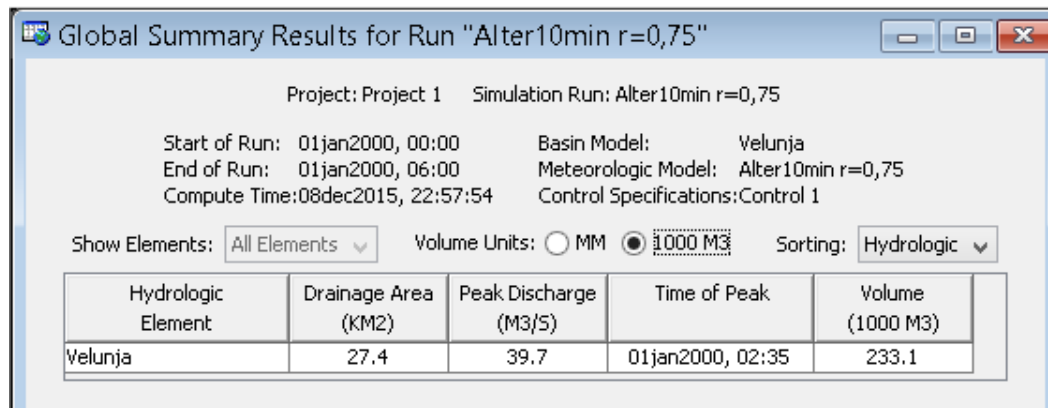


Slika 47: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=0,25$ in časovnim intervalom 10 min

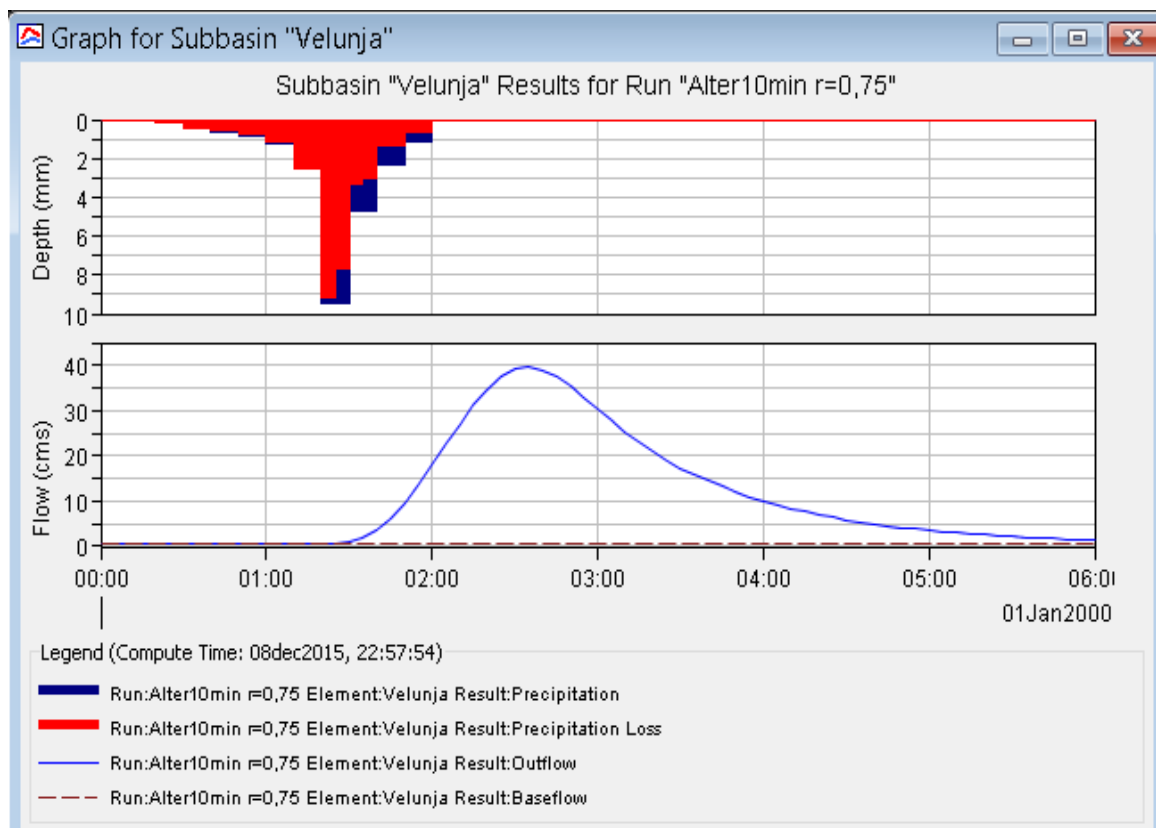


Slika 48: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=0,25$ in časovnim intervalom 10 min

6.7 Metoda alternirajočih stolpcev s faktorjem $r = 0,75$ in časovnim intervalom 10 min

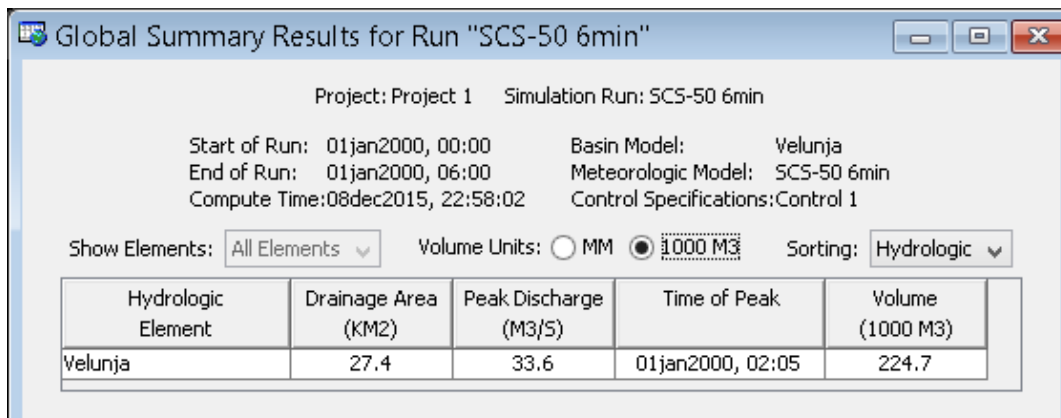


Slika 49: Rezultati metode alternirajočih stolpcev z $r=0,75$ in časovnim intervalom 10 min

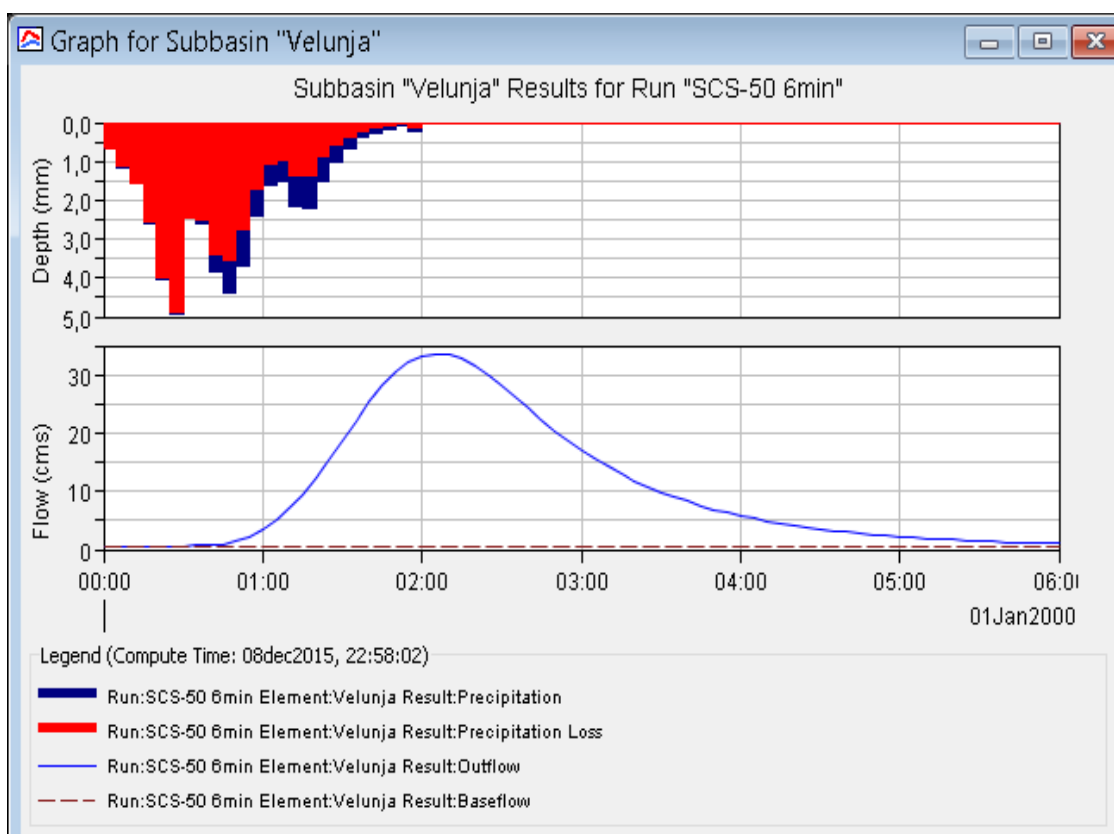


Slika 50: Graf rezultatov metode alternirajočih stolpcev z $r=0,75$ in časovnim intervalom 10 min

6.8 Metoda SCS iz 50-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min

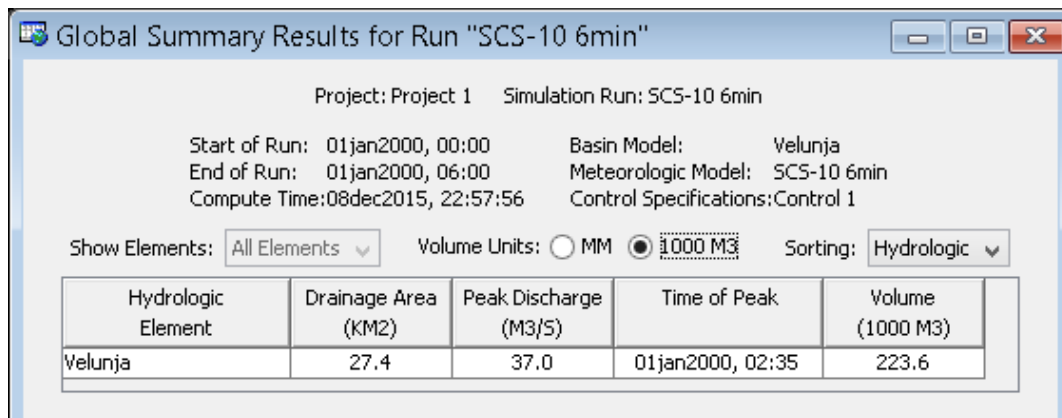


Slika 51: Rezultati metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

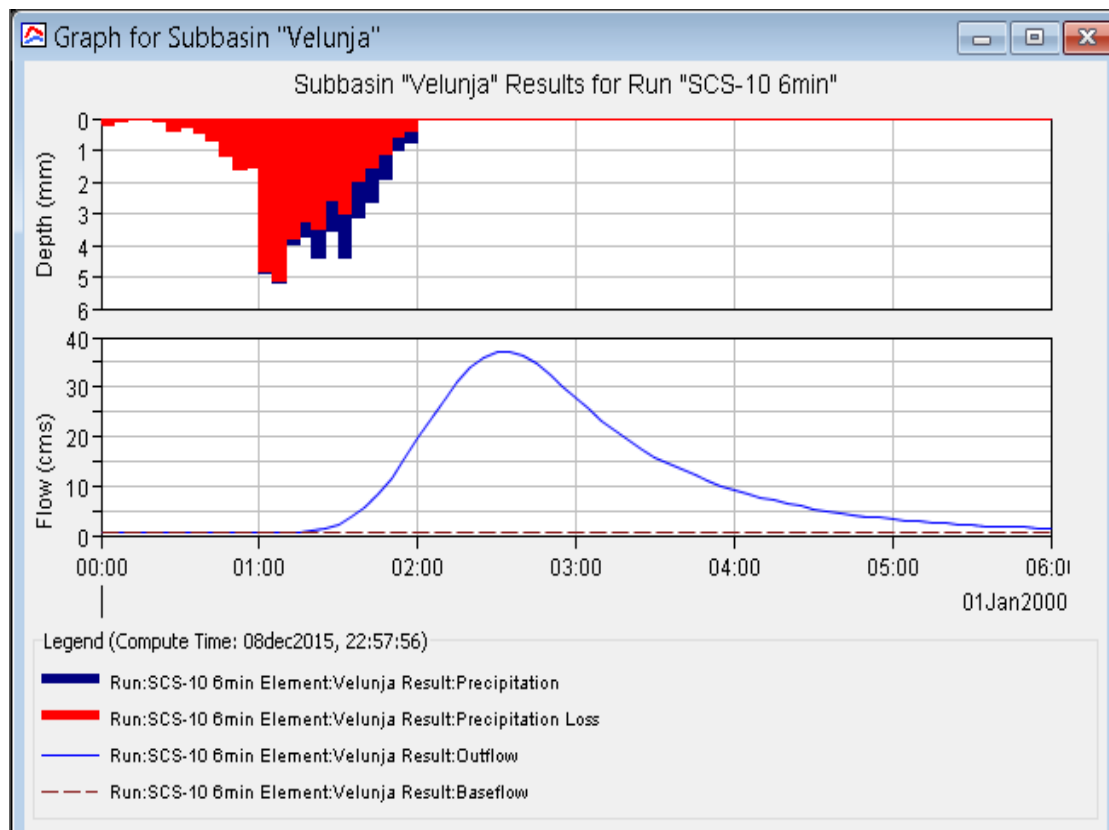


Slika 52: Graf rezultatov metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

6.9 Metoda SCS iz 10-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min

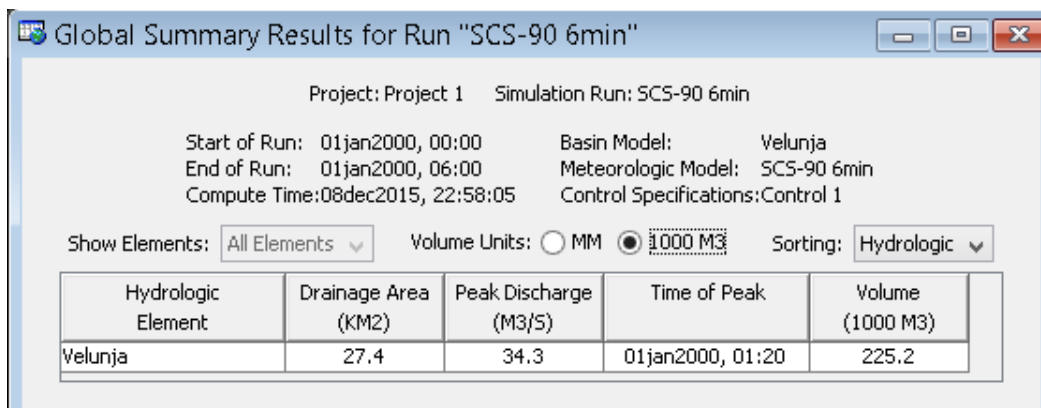


Slika 53: Rezultati metode SCS iz 10-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

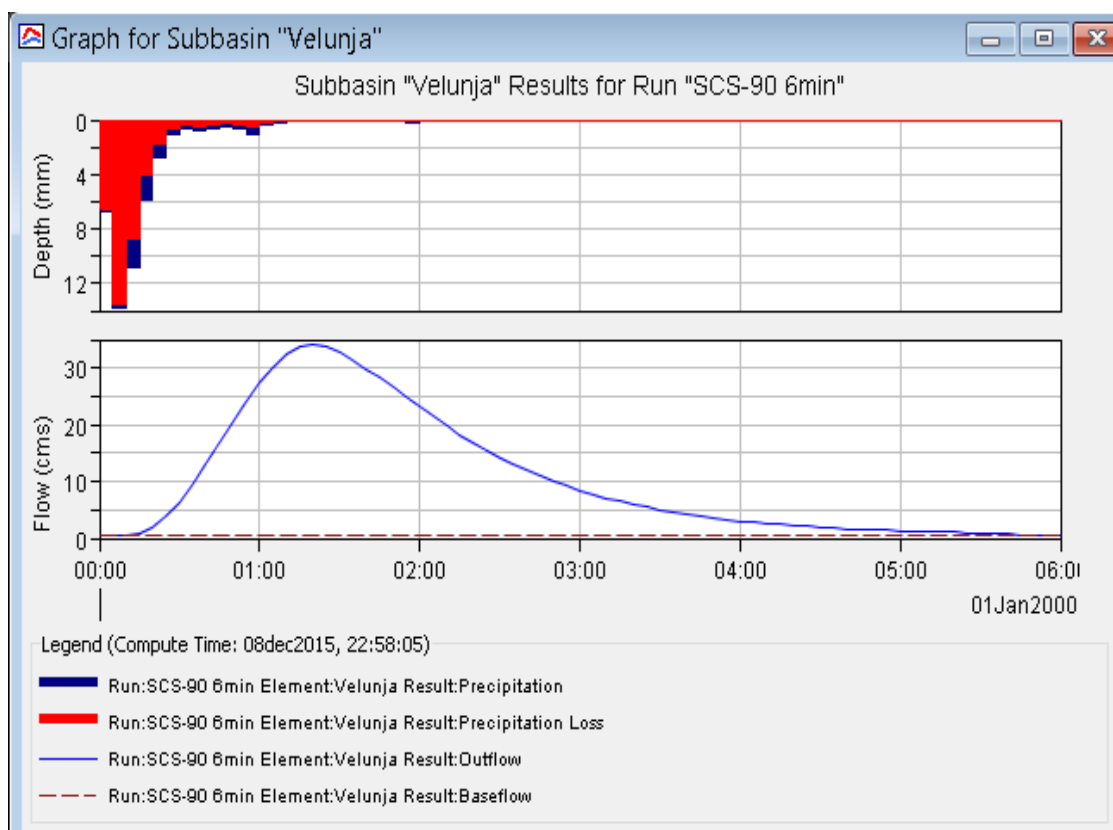


Slika 54: Graf rezultatov metode SCS iz 10-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

6.10 Metoda SCS iz 90-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 6 min

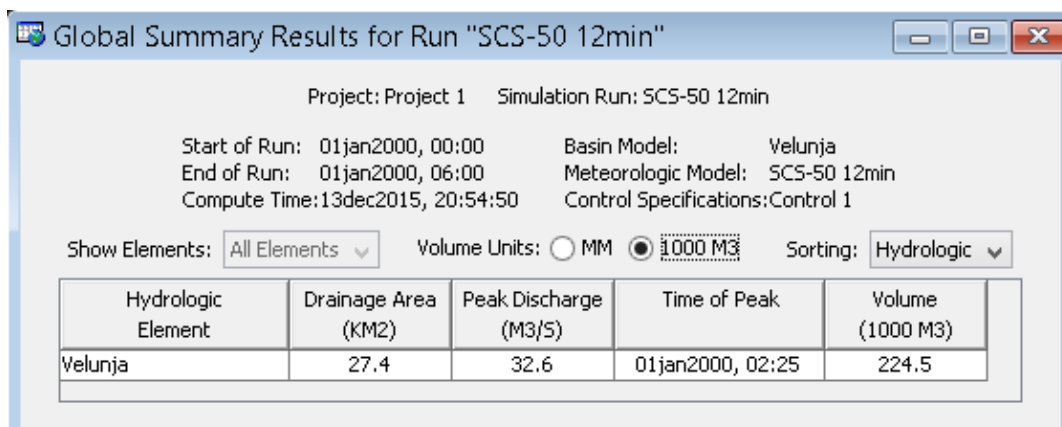


Slika 55: Rezultati metode SCS iz 90-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

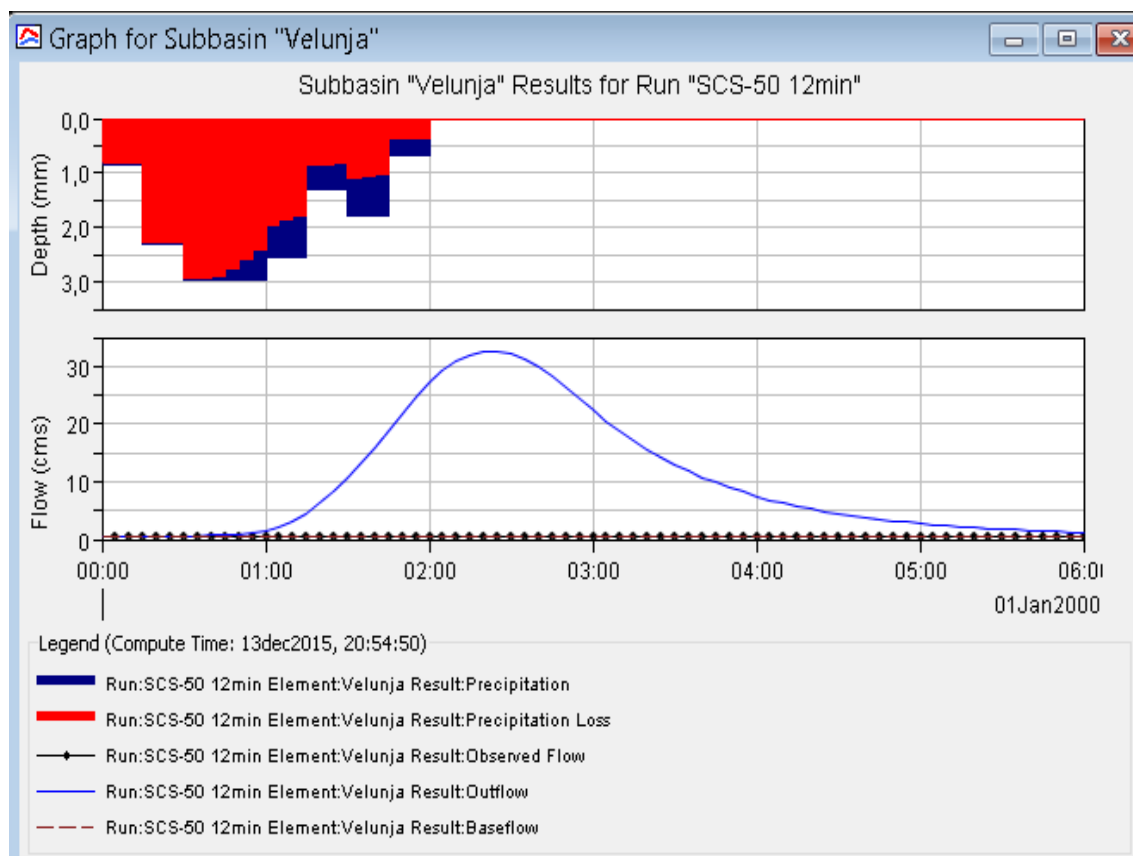


Slika 56: Graf rezultatov metode SCS iz 90-percentilne krivulje s časovnim intervalom 6 min

6.11 Metoda SCS iz 50-percentilne krivulje 1. kvartila s časovnim intervalom 12 min



Slika 57: Rezultati metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 12 min



Slika 58: Graf rezultatov metode SCS iz 50-percentilne krivulje s časovnim intervalom 12min

6.12 Vgrajena metoda Frequency Storm

Za primerjavo naredimo še metodo Frequency Storm, katera je že vgrajena v program HEC-HMS. Pri tej metodi vpišemo podatke tako, kot kaže slika 58. Podatki, ki smo jih vnesli kot letne maksimalne

padavine (*ang. annual*) so prikazani v preglednici 5. Najprej smo naredili primer s faktorjem napredovanja nevihte $r = 0,5$ (slika 60), potem pa še primer z $r = 0,33$ (slika 62), kateri je najbližji realnemu faktorju r za Šmartno pri Slovenj Gradcu, ki znaša 0,37.

Duration	Annual-Duration Depth (MM)
5 Minutes	12.000
15 Minutes	24.000
1 Hour	40.000
2 Hours	46.000
3 Hours	
6 Hours	
12 Hours	

Slika 59: Vhodni podatki za metodo *Frequency Storm* za $r = 0,5$

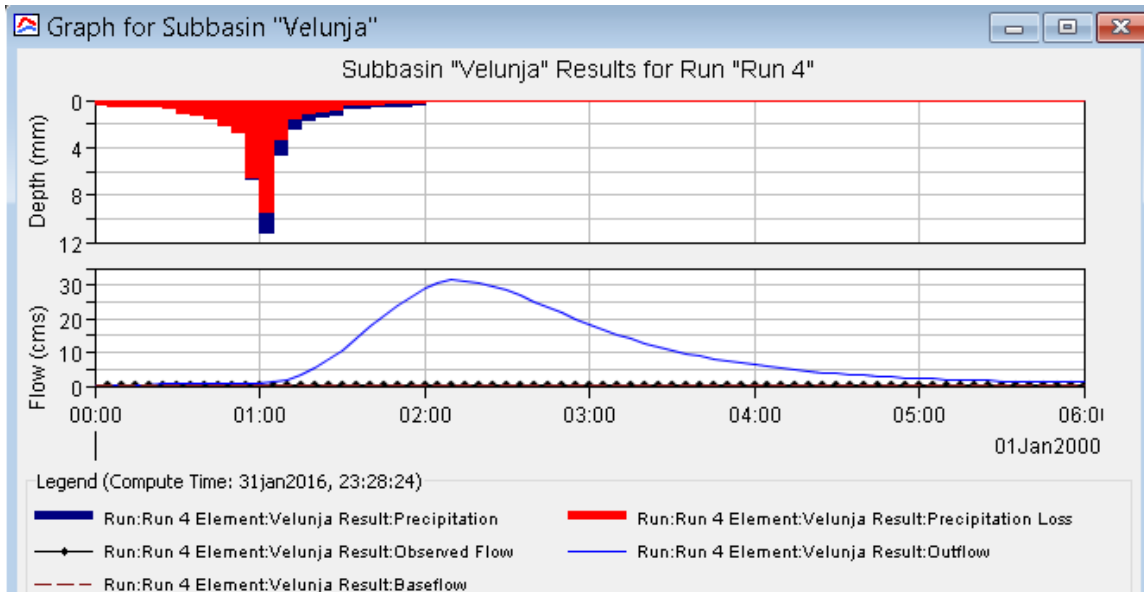
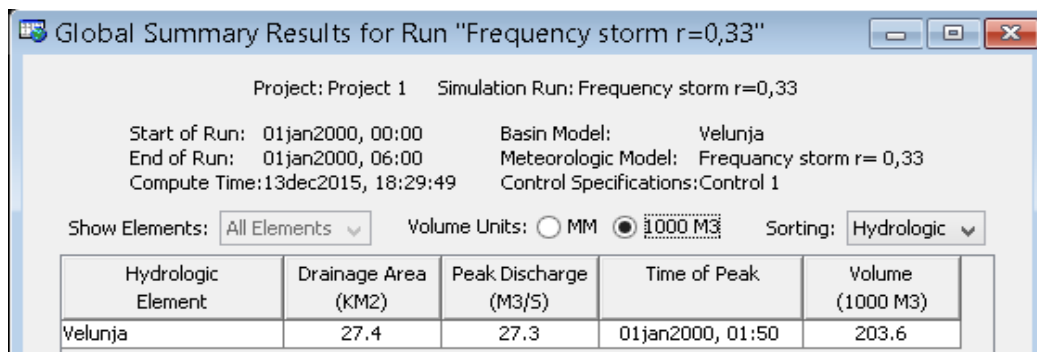
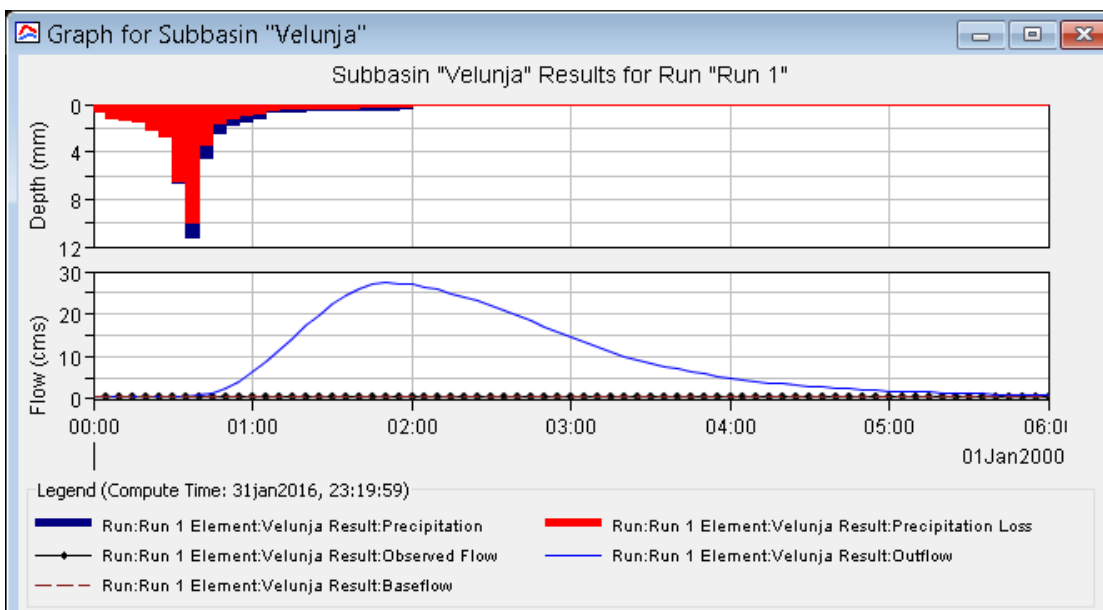
Duration	Annual-Duration Depth (MM)
5 Minutes	12.000
15 Minutes	24.000
1 Hour	40.000
2 Hours	46.000
3 Hours	
6 Hours	
12 Hours	

Slika 60: Vhodni podatki za metodo *Frequency Storm* za $r = 0,33$

Rezultati metode *Frequency Storm* za faktor $r = 0,5$ so prikazani na sliki 59, slika 60 pa prikazuje rezultate metode *Frequency Storm* za faktor $r = 0,33$.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Velunja	27.4	31.4	01jan2000, 02:10	203.3

Slika 61: Rezultati metode *Frequency Storm* za faktor $r = 0,5$

Slika 62: Graf rezultatov metode Frequency Storm za faktor $r = 0,5$ Slika 63: Rezultati metode Frequency Storm za faktor $r = 0,33$ Slika 64: Graf rezultatov metode Frequency Storm za faktor $r = 0,33$

7 ANALIZA REZULTATOV

Za lažje razmišljanje bomo vse izračune maksimalnih pretokov, skupnega odteklega volumna vode in časa pojava konice hidrograma zbrali v eni preglednici (preglednica 9).

Preglednica 9: Rezultati največjih pretokov, časa pojava koni in celotnih odteklih volumnov s porečja Velunje, dobljeni z različnimi metodami izdelave sintetičnega histograma padavin

Metoda	Maks. pretok [m ³ /s]	Celoten volumen [1000 m ³]	Čas vrha [h:min]
Trikotna r = 0,37	40,3	225,3	1:40
Trikotna r = 0,25	40,3	225,3	1:25
Trikotna r = 0,75	40,3	224	2:25
Alter. stolpci r = 0,37 / 10 min	37,2	234,8	1:50
Alter. stolpci r = 0,37 / 5 min	35,4	227,8	1:55
Alter. stolpci r = 0,25 / 10min	35,3	234,8	1:40
Alter. stolpci r = 0,75 / 10min	39,7	233,1	2:35
SCS-50 6min	33,6	224,7	2:05
SCS-10 6min	37	223,6	2:35
SCS-90 6min	34,3	225,2	1:20
SCS-50 12min	32,6	224,5	2:25
Frequency storm r = 0,5	31,4	203,3	2:10
Frequency storm r = 0,33	27,3	203,6	1:50

Kot vidimo v preglednici 9 so po vseh metodah izračunane količine istega velikostnega razreda, so pa seveda med njimi določene razlike. Najbolj odstopa že vgrajena metoda *Frequency Storm*. Metode, ki smo jih ročno vnašali v program HEC-HMS imajo skupno povprečje maksimalnega pretoka pri 36,91 m³/s, povprečje skupnega odteklega volumna pri 227550 m³, ter povprečni čas pojava vrha hidrograma pri dveh urah od začetka padavin. Standardni odklon maksimalnega pretoka znaša 2,89 m³/s, kar pomeni, da se dobljeni rezultati v povprečju razlikujejo za 7,8% od povprečnega maksimalnega pretoka. Standardni odklon celotnega odteklega volumna pa znaša 4441,5 m³, kar pomeni, da se celotni odtekli volumen posamezne metode v povprečju za 1,95% razlikuje od povprečnega celotnega volumna odtoka. Čas pojava konice histograma padavin je v povprečju 120 min, najmanjša vrednost je 80 min, največja pa 155 min. Te razlike sovpadajo z dejstvom, da se pri nevihtah, kjer prej pade glavnina padavin tudi prej pojavi konica histograma padavin.

Rezultati so blizu pričakovanim, povprečni rezultat maksimalnega pretoka je torej 36,91 m³/s, kar sovpada z nevihto trajanja dve uri, glede na to, da je največji izmerjen pretok na vodomerni postaji Gaberke 74 m³/s povzročila nevihta z vsaj dvakrat daljšim trajanjem kot pa izračunani primeri.

7.1 Vpliv postavitve konice sintetičnega histograma padavin

Kot vidimo iz rezultatov (preglednica 9), ima postavitve konice oz. vrha projektiranega histograma padavin določen vpliv na konico odtoka, nima pa velikega vpliva na količino površinskega odtoka. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi Dolšak in sod. (2015).

Postavitve konice sintetičnega histograma padavin pa ima seveda velik vpliv na čas pojava konice hidrograma, ki ga takšen histogram padavin povzroči. Tako vidimo, da razlika pri trikotni metodi med pojavom konice hidrograma med primeroma s faktorjem $r = 0,25$ in $r=0,75$ znaša 1 uro, kar je precejšna razlika, glede na to, da nevihta traja 2 uri. Pri metodi alternirajočih stolpcev je razlika podobna in sicer 55 min. Metoda SCS je v celotni odvisna od pripadajočih Huffovih krivulj, tako da na postavitev konice histograma padavin nimamo vpliva. Je pa iz zgornjih primerov razvidno, da se čas pojava maksimalnega površinskega odtoka obnaša podobno kot pri prejšnjih metodah. Faktor r nevihte dobljene iz 90-percentilne Huffove krivulje lahko iz grafa ocenimo na približno 0,25, faktor r nevihte dobljene iz 10-percentilne Huffove krivulje pa lahko iz grafa ocenimo na približno 0,75. Razlika med časom pojava vrha hidrograma pri teh dveh primerih znaša 1 uro in 15 min.

7.2 Vpliv izbire časovnega intervala

Pri trikotni metodi časovnega intervala ne izbiramo. Kateri koli interval izberemo, v program HEC-HMS vedno vpišemo samo eno vrednost, to je vrednost konice histograma padavin. Ostala polja pustimo prazna, v nastavitvah simulacije pa izberemo možnost avtomatskega spreminjanja manjkajočih podatkov na vrednost nič (*ang. Set missing Data to Zero*).

Pri metodi SCS sta oba primera (časovni interval 6 in 12 min) dobljena iz 50-percentilne Huffove krivulje. Celoten odtekli volumen imata skoraj identičen, maksimalen odtok se razlikuje za 2,9 odstotka, razlika med pojavom vrha hidrograma pa znaša 20 min, kar znaša 17 odstotkov, glede na celotno trajanje nevihte.

Rezultati so zanimivi pri metodi alternirajočih stolpcev, kjer je konica histograma padavin pri metodi z 10-minutnim časovnim intervalom višja za 7,2 mm od metode z časovnim intervalom 5 min. Tako znaša razlika med tema dvema primeroma kar 37,97 odstotkov. Razlika med največjim doseženim površinskim odtokom pa znaša le 4,8 odstotka oz. $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$. To lahko pojasnimo s tem, da je ploščina lika, ki ga zavzame histogram padavin, če bi ga izrazili z enačbami približno enaka pri obeh primerih. Razlika med pojavom konice hidrograma površinskega odtoka pa znaša le 5 min.

8 ZAKLJUČKI

Izdelava in uporaba sintetičnih histogramov padavin se vedno bolj razvija. Dolgoletno merjenje količine in trajanja padavin ter njihove intenzitete nam omogoča vedno boljše analize in s tem tudi rezultate. Zaradi predvidenega globalnega segrevanja bodo verjetno nevihte vse pogostejše in močnejše, zato je razumevanje le teh še kako pomembno. T.i. »projektne nevihte« so vitalen del dimenzioniranja hidrotehničnih objektov, kot tudi drugih grajenih objektov. Projektne nevihte in z njimi rezultati modeliranja površinskega odtoka dajo projektantu vrednost za dimenzioniranje objektov. Projektant se mora sam odločiti, katero metodo bo uporabil, priporočljivo pa je, da sintetične histograme naredi po več različnih metodah, jih primerja in se potem odloči za posamezno metodo, odvisno od namena dimenzioniranja.

V diplomski nalogi smo želeli prikazati uporabo različnih metod sintetičnega histograma padavin in njihov vpliv na rezultate površinskega odtoka. Pri trikotni metodi je ne glede na izbran faktor napredovanja nevihte izračunani maksimalni površinski odtok vedno enak, in sicer $40,3 \text{ m}^3/\text{s}$, se pa seveda spreminja čas pojava konice pretoka. Pri metodi alternirajočih stolpcev so bili narejeni 4 primeri, največji maksimalni površinski odtok je znašal $39,7 \text{ m}^3/\text{s}$, najmanjši pa $35,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri metodi SCS so bili prav tako narejeni 4 primeri, največji maksimalni površinski odtok je znašal $37 \text{ m}^3/\text{s}$, najmanjši pa $32,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Časi pojava konice pa so se gibali od 1:50 do 2:35. Najnižje konice pa je generirala vgrajena metoda *Frequency Storm* in sicer največji maksimalni površinski odtok je znašal $31,4 \text{ m}^3/\text{s}$, najmanjši pa $27,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Tudi volumni površinskega odtoka so se pri različnih metodah razlikovali, najvišja vredost je bila 234800 m^3 , najnižja pa 223600 m^3 . Izstopa metoda *Frequency Storm*, kjer smo dobili najmanjše volumne površinskega odtoka, in sicer med 203300 in 203600 m^3 . Čas pojava konice pretoka v splošnem sovпада s faktorjem napredovanja nevihte. Bližje je faktor številu 1, bolj pozno se pojavi vrh nevihte pri vseh metodah, kjer ga je možno upoštevati.

Za Slovenijo je na voljo premalo podatkov in empiričnih koeficientov, da bi lahko uporabili empirične metode, ki so v uporabi v svetu. Le te prilagojene seveda za vsako posamezno državo ali regijo., Take enačbe uporabljajo npr. ZDA, Kanada in Avstralija. ARSO v Sloveniji izdeluje in objavlja maksimalne vrednosti padavin za različna trajanja in povratne dobe (ITP krivulje), kar lahko uporabimo pri metodi trikotnega histograma padavin ali pri metodi alternirajočih stolpcev. Da pa bi lahko v Sloveniji uporabljali širši nabor metod, pa bi bilo potrebno najprej določiti empirične koeficiente za posamezne regije. Ker pa je Dolšak (2015) izdelal Huffove krivulje in s pomočjo njih brezdimenzijske histograme padavin za vse meteorološke postaje v Sloveniji, potrebe po empiričnih enačbah za Slovenijo pravzaprav ni, saj so ti brezdimenzijski histogrami najbolj realna slika preteklih padavinskih dogodkov in nam podajo najboljšo možno osnovo za izdelavo sintetičnih histogramov padavin.

VIRI

ARSO. 2009. Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi: 67 str.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 21. 6. 2014.)

ARSO. 2011. Meteorološka postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu : 7 str.

<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/stations/smartno-pri-sg.pdf> (Pridobljeno 24.7.2015.)

ARSO. 2015. Podnebje in izredni vremenski dogodki : 2 str.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%c4%8dila%20in%20projekti/Podnebje_izredni_dogodki.pdf
(Pridobljeno 31.1.2016.)

ARSO. 2016. Meteorološki letopisi za padavinske postaje po Sloveniji.

http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/meteoroloski_letopisi.htm
(Pridobljeno 26.3.2016.)

Asquith W. H., Roussel M. C., Thompson D.B., Cleveland T. G. and Fang X. 2005. Summary of Dimensionless Texas Hyetographs and Distribution of Storm Depth Developed for Texas Department of Transportation Research Project 0–4194. The University of Texas at Austin, Center for transportation research, report 0- 4194- 4: 68 str.

Brezočnik, S. 2015. Lastne fotografije posnete 30. 12. 2015.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Prva izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 304 str.

Brilly M., Šraj M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC- HMS: Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 167 str.

Cheng K.S. 2008. National Taiwan University, Department of Bioenvironmental Systems Engineering, Rainfal analisis 1.ppt :61 str.

<http://www.rslabntu.net/HYDROLOGY/> (Pridobljeno 25. 11. 2014.)

Cheng K.S., Hueter I., Hsu E.C., Yeh H.C., 2001. A Scale-Invariant Gauss-Markov Model for Design Storm Hyetographs, Journal of the American Water Resources. 37, 3: 723-735.

Chin D.A. 2000. Water resources engeneering. Prentice hall: 750 str.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied Hydrology. Singapore, McGraw-Hill, Inc.: 588 str.

Debo T.N., Reese A., 2002. Municipal Stormwater Management, Second Edition, Lewis publishers: 1135 str.

Dirnbek, L., Šraj, M. 2010. Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka. Gradbeni vestnik. 59: 48–56.

Dolšak, D. 2012. Statistična analiza padavin - izdelava Huffovih krivulj. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Dolšak): 85 str.

Dolšak, D., Bezak, N., Šraj, M. Pomembnost poznavanja časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka v vodarski praksi. Gradbeni vestnik, 64: 231–238.

Geopedia. 2015. http://www.geopedia.si/lite.jsp#T105_F408:126_x504752_y138712_s12_b4 (Pridobljeno 25. 8. 2015.)

Goranc, N. 2012. Izdelava in primerjava ITP krivulj z različno izbiro porazdelitev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Goranc): 93 str.

Koniček, L. 2007. Srážky, Katedra fyziky, Ostravska univerzita, CZ.

http://artemis.osu.cz/MMi/meteo1/diplomka/Ramec2_soubory/AAA/srazky.html (Pridobljeno 26.5.2015.)

Llasat, M. C. 2001. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: Application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International journal of climatology* 21, 11: 16 str.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.692/pdf> (Pridobljeno 24. 5. 2014.)

Mays, L.W. 2010. *Water resources engineering*, second edition. Wiley: 928 str.

McKinney, D.C. 2007. *Hydrologic Design*, University of Texas at Austin, Course CE 374 K-Hydrology: 19 str.

<http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce374k/Overheads/21-HydrologicDesign.pdf> (Pridobljeno 28. 9. 2014.)

Meteolab. 2014. Avtomatska meteorološka postaja Ilirska bistrica-Trnovo.

http://www.meteolab.si/amp/o_postaji.php (Pridobljeno 25.6.2015.)

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* 20, 32.

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh> (Pridobljeno 20. 4. 2014.)

Newman, L. E. 2006. *Arizona Glendale community collage, GPH111-Introduction to Physical Geography, Moisture, Stability and Precipitation.*

http://web.gccaz.edu/~lnewman/gph111/topic_units/moisture/moisture_stabil_prec/4_lifting.jpg
(Pridobljeno 18. 7. 2014.)

Raynolds, R. 2004. *Ljubljana, Vremenski Vodnik, Tehnična založba Slovenije*: 192 str.

Soro G. E., Bi G., Kouassi T.A., Srohourou F. 2010. *Journal of Applied Sciences* Vol 10, Issue 9, Update of Intensity – Duration - Frequency Curves for Precipitation of Short Durations in Tropical Area of West Africa (Cote d'Ivoire): 704-715.

Stanjko, S. 2015. Izračun odtoka z manjšega porečja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba S. Stanjko): 61 str.

USACE, 2000. HEC-HMS Hydrologic Modeling System, Technical reference manual. Hydrologic engineering center, California-Davis: 155 str.

USACE, 2013. HEC-HMS User manual 4.0. Hydrologic engineering center, California-Davis: 744 str.
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)

US Army Corps of Engineers. 2015. HEC-HMS software.
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)

Vremensko društvo ZEVS. 2011. Spletniforum, Totalizator –ombrometer.
<http://forum.zevs.si/index.php?topic=3648.0> (Pridobljeno 26.5.2015.)

Willems, P. 2000. University of Leuven, Urban and River Hydrology and Hydraulics ,Education module H2: 28 str. <http://www.kuleuven.be/hydr/downloads/H2.pdf> (Pridobljeno 31. 10. 2014.)

Zlatunova, D. 1996. Sophia Unviversity "St Kliment Ohridski", Modul Design storms: 29.str.
http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1b/chapt_2/main.htm (Pridobljeno 26. 5. 2014.)

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: Metoda SCS	A1
A.1 Klasifikacija zemljin po SCS	A1
A.2 Pregled vrednosti koeficienta CN.....	A2
PRILOGA B: Huffove krivulje	B1
B.1 Huffove krivulje 1. kvartila za Šmartno pri Slovenj Gradcu.....	B1

A.1 Klasifikacija zemljin po SCS (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006)

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

A.2 Pregled vrednosti koeficienta CN (USACE, 2000; Brilly in Šraj, 2006)

Raba tal	Hidrol. pogoji				
		A	B	C	D
Pašnik, prerijska	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 (plantaje, 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
Ledina, neobdelan svet					
gola zemljina	-	77	86	91	94
delno poraščena zemljina (ostanki posevkov)	slabi	76	85	90	93
	dobri	74	83	88	90
Poljščine v vrsti					
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
Gosto sejane stročnice ali kolobarjen travnik					
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

