

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:

Dolšak, D., 2015. Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 76 str.

Datum arhiviranja: 23-07-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Dolšak, D., 2015. Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 76 p.

Archiving Date: 23-07-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO**

Kandidat:

DOMEN DOLŠAK

**ALGORITEM ZA ANALIZO ČASOVNE
PORAZDELITVE PADAVIN ZNOTRAJ
PADAVINSKEGA DOGODKA**

Magistrsko delo št.: 3/II.VOI

**ALGORITHM FOR ANALYSIS OF TEMPORAL
RAINFALL DISTRIBUTION WITHIN RAINFALL
EVENT**

Graduation – Master Thesis No.: 3/II.VOI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Član komisije:

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 19. 06. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Domen Dolšak izjavljam, da sem avtor magistrske naloge z naslovom »Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, junij 2015

Domen Dolšak

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.4:551.577.5(043.3)
Avtor:	Domen Dolšak
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Naslov:	Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka.
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	76 str., 11 pregl., 68 sl.
Ključne besede:	Algoritem, časovna porazdelitev padavin, Huffove krivulje, metoda BSC, sintetični histogram, normirane vsotne krivulje, Slovenija

Izvleček

Podatek o časovni porazdelitvi padavin znotraj padavinskega dogodka je za hidrološko modeliranje in za določevanje projektnih pretokov izrednega pomena, saj ima razporeditev padavin pomemben vpliv na čas nastopa visokovodne konice. Najbolj zanesljive določitve te porazdelitve pa so tiste, ki temeljijo na podatkih za daljše časovno obdobje.

V prvem delu magistrske naloge smo izdelali in predstavili algoritem v programskem jeziku C#, ki analizira 5-minutne zapise ombrografa in loči posamezne padavinske dogodke. Izdelali smo tudi algoritem v programskem jeziku R, ki izdela Huffove krivulje in naredi dodatne statistične analize padavinskih dogodkov. Oba algoritma se lahko uporabita za katerokoli padavinsko postajo.

V drugem delu naloge smo z uporabo obeh algoritmov naredili analizo dolgoletnih nizov meritev za 30 padavinskih postaj v Sloveniji in ugotovili, da prihaja do velikih razlik v časovni porazdelitvi padavin znotraj padavinskega dogodka. Iz rezultatov je razvidna tudi geografska odvisnost časovne porazdelitve padavin. Ugotavljali smo tudi razlike med letnimi časi in ugotovili, da prihaja do določenih razlik tako v časovni porazdelitvi padavin znotraj padavinskega dogodka, kot tudi v številu teh dogodkov. Na koncu smo preverili še vpliv podnebne spremenljivosti na časovno porazdelitev padavin za padavinsko postajo Ljubljana-Bežigrad in ugotovili, da bistvenega vpliva ni.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004.4:551.577.5(043.3)
Author: Domen Dolšak
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, PhD.
Title: Algorithm for determining temporal rainfall distribution within precipitation events
Document type: Master thesis
Scope and tools: 76 p., 11 tab., 68 f.
Keywords: Algorithm, Temporal rainfall distribution, Huff curves, BSC method, synthetic hyetograph, dimensionless mass curves, Slovenia

Abstract

Temporal rainfall distribution within each individual rainfall event is very important for hydrological modelling and for developing of design flows. This is because temporal rainfall distribution plays crucial role on appearance of time of peak flow rate. Most dependable methods for determination of temporal rainfall distribution are those, which rely on data from long periods of precipitation measurements.

In the first part of the master thesis we developed algorithm in programming language C# which analyses 5 minute data obtained from rain gauge and divides each individual rainfall events. We also developed algorithm in programming language R that develops Huff curves and performs additional statistical analysis of rainfall events. Both algorithms can be used on data based from every rain gauge.

In the second part of the thesis we performed analysis of data obtained from 30 rain gauges in Slovenia and concluded that significant differences in temporal rainfall distribution within rainfall events are occurring among them. The results show that geographical location plays significant role in temporal rainfall distribution within rainfall events. We also tried to identify differences among seasons and concluded that there are significant differences in temporal rainfall distributions within rainfall events and even in number of rainfall events in different season. We also tried to identify impact of climate change on temporal rainfall distribution within rainfall events using data for rain gauge in Ljubljana-Bežigrad and concluded that there is no significant change to be observed.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju magistrske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj, ter Agenciji RS za okolje za posredovane podatke. Prav tako bi se rad zahvalil svoji družini za podporo v času študija.

KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK.....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 Cilji magistrske naloge	3
2 METODE.....	4
2.1 Meritve padavin.....	4
2.2 Huffove krivulje	5
2.3 Metoda BSC	8
2.4 Sintetični histogram padavin	12
2.4.1 Metoda po Yen in Chow (1980).....	15
2.4.2 Metoda po Watt in sod. (1986).....	16
2.4.3 Metoda po Keifer in Chu (1957)	17
2.4.4 Metoda USACE (2000).....	18
3 ALGORITEM ZA UGOTAVLJANJE ČASOVNE PORAZDELITVE PADAVIN ZNOTRAJ PADAVINSKEGA DOGODKA.....	20
3.1 Program za določitev neodvisnih padavinskih dogodkov (NPD.exe).....	20
3.1.1 Navodila za uporabo programa NPD.exe	21
3.1.2 Izhodna datoteka.....	22
3.2 Algoritem za izdelavo analiz časovne porazdelitve padavin (CPP.R)	22
3.2.1 Delovanje algoritma CPP.R.....	22
3.2.2 Primer izdelave sintetičnega histograma s pomočjo rezultatov programa CPP.R	28
3.2.3 Navodila za uporabo algoritma CPP.R.....	30
4 REZULTATI.....	32
4.1 Podatki	32
4.2 Opis meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad.....	33
4.3 Rezultati analiz padavin za 30 padavinskih postaj v Sloveniji.....	35
4.4 Rezultati analiz padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad	37
4.4.1 Razdelitev dogodkov v kvartile in prikaz vsotnih krivulj	38
4.4.2 Grafi normiranih vsotnih krivulj in grafi točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa	40
4.4.3 Huffove krivulje	42
4.4.4 Analize BSC	45

4.4.5	Normirani sintetični histogrami padavin.....	47
5	ANALIZE.....	50
5.1	Primerjava vrednosti BSC po padavinskih postajah	50
5.2	Primerjava normiranih sintetičnih histogramov padavin za padavinske postaje v Sloveniji.....	55
5.2.1	Analiza za prvi kvartil.....	55
5.2.2	Analiza za drugi kvartil.....	58
5.2.3	Analiza za tretji kvartil.....	60
5.2.4	Analiza za četrti kvartil	61
5.3	Analiza vpliva letnega časa na časovno porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka za postajo Ljubljano-Bežigrad	62
5.3.1	Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas	62
5.3.2	Primerjava vrednosti BSC glede na letni čas	64
5.4	Primerjava časovne porazdelitve padavin znotraj dogodka v dveh različnih tridesetletnih obdobjih meritev za postajo Ljubljano-Bežigrad	65
5.4.1	Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na obdobje meritev	65
5.4.2	Primerjava razporeditve BSC med dvema obdobjema meritev	66
5.4.3	Primerjava sintetičnih histogramov med dvema obdobjema meritev	67
6	ZAKLJUČKI	71
VIRI		73

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vrednosti K za različna območja v Kanadi (Watt in sod., 1986)	17
Preglednica 2: Povratne dobe za ekstremne padavine za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2015).....	28
Preglednica 3: Tabelarični zapis normiranega sintetičnega histograma za 1. kvartil, ki ga dobimo z algoritmom CPP.R.....	29
Preglednica 4: Tabelarični zapis sintetičnega histograma padavin, izdelanega s pomočjo normiranega sintetičnega histograma in ITP krivulj	29
Preglednica 5: Seznam obravnavanih postaj	32
Preglednica 6: Prevladujoči tipi BSC po posameznih padavinskih postajah.....	35
Preglednica 7: Prevladujoči tipi BSC za posamezne padavinske postaje po kvartilih	36
Preglednica 8: Normirani časi nastopa konice intenzitete padavin po posameznih kvartilih in normirana količina padavin ob konici intenzitete za prva dva kvartila, za vseh 30 obravnavanih padavinskih postaj	37
Preglednica 9: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas za postajo Ljubljana-Bežigrad.....	63
Preglednica 10: Primerjava konice intenzitete pri normiranem sintetičnem histogramu za prvi kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad.....	67
Preglednica 11: Primerjava konice intenzitete padavin pri sintetičnem normiranem histogramu za 2. kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad	68

KAZALO SLIK

Slika 1: Mreža postaj z registracijo padavin ARSO (Mreža postaj z registracijo padavin, 2007)	4
Slika 2: Različne vrste dežemerov na klimatološki postaji Ljubljana-Bežigrad (foto: Šraj, 2009)	5
Slika 3: Shematični prikaz časov, ki definirajo določen neodvisni padavinski dogodek (prirejeno po Bonti, 2004)	6
Slika 4: Huffove krivulje za zvezno državo Illinois -1. kvartil (levo) in 4. kvartil (desno) (prirejeno po Huffu, 1967).....	7
Slika 5: Prikaz metode BSC (Terranova in Iaquinta, 2011)	10
Slika 6: Deleži posameznih BSC za Kalabrijo in SRP krivulje za pet najpogostejših tipov (prirejeno po Terranova in Iaquinta, 2011).....	11
Slika 7: Postopek diskretizacije Huffove krivulje (prirejeno po MIDUSS, 2004).....	13
Slika 8: Sintetični histogrami padavin, izdelanih iz Huffovih krivulj za porečje reke Thames v Kanadi (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004).....	14
Slika 9: ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo porazdelitvijo za postajo Ljubljana-Bežigrad (Goranc, 2012).	15
Slika 10: Metoda Yen in Chow (1988).....	16
Slika 11: Sintetični histogram padavin po metodi Watt in sod. (1986) (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)	17
Slika 12: Sintetični histogram po metodi po Keifer in Chu (1957) (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)	18
Slika 13: Sintetični histogram narejen za reko Thames po metodi USACE (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)	19
Slika 14: Shema delovanja programa NPD.exe.....	20
Slika 15: Program pred zagonom (zgoraj), med delovanjem (na sredini) in po končanem delu (spodaj)	21
Slika 16: Shema delovanja algoritma CPP.R	23
Slika 17: Primer vsotnih krivulj padavinskih dogodkov	23
Slika 18: Primer normiranih vsotnih krivulj padavinskih dogodkov	24
Slika 19: Točka, kjer poteka 10-percentilna krivulja ob času 0,15.	25

Slika 20: Izdelane Huffove krivulje za padavinsko postajo Bovec	25
Slika 21: Graf razporeditve BSC za vse padavinske dogodke ene postaje.....	26
Slika 22: Graf porazdelitve BSC po kvartilih.....	27
Slika 23: Normiran sintetični histogram za 1. kvartil za Ljubljano, ki ga izdela algoritem	27
Slika 24: Sintetični histogram, izdelan s pomočjo normiranega sintetičnega histograma in ITP krivulj	30
Slika 25: Programski vmesnik Rstudio s prikazom delovanja algoritma CPP.R	31
Slika 26: Lokacije obravnavanih postaj ARSO	33
Slika 27: Lokacija meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad (Geopedia, 2015)	34
Slika 28: Meteorološki opazovalni prostor Ljubljana-Bežigrad slikan proti zahodu (Nadbath, 2008). ..	34
Slika 29: Grafa vsotnih krivulj za Ljubljano-Bežigrad za prvi in drugi kvartil, ki ju izdela algoritem CPP.R	38
Slika 30: Grafa vsotnih krivulj za Ljubljano-Bežigrad za tretji in četrti kvartil, ki ju izdela algoritem CPP.R	39
Slika 31: Število neodvisnih padavinskih dogodkov v posameznem kvartilu za postajo Ljubljana-Bežigrad.....	39
Slika 32: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 1. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdela algoritem CPP.R.....	40
Slika 33: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 2. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdela algoritem CPP.R.....	41
Slika 34: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 3. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdela algoritem CPP.R.....	41
Slika 35: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 4. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdela algoritem CPP.R.....	42
Slika 36: Huffove krivulje za 1. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdela algoritem CPP.R	43
Slika 37: Huffove krivulje za 2. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdela algoritem CPP.R	44
Slika 38: Huffove krivulje za 3. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdela algoritem CPP.R	44

Slika 39: Huffove krivulje za 4. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdelava algoritem CPP.R	45
Slika 40: Histogram razporeditve tipov BSC za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ga izdelava algoritem CPP.R.....	46
Slika 41: Graf porazdelitve tipov BSC po kvartilih za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ga izdelava algoritem CPP.R.....	47
Slika 42: Normirana sintetična histograma padavin, izdelana iz 50-percentilen Huffove krivulje za prvi in drugi kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ju izdelava algoritem CPP.R.....	48
Slika 43: Normirana sintetična histograma padavin, izdelana iz 50-percentilen Huffove krivulje za tretji in četrti kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ju izdelava algoritem CPP.R	48
Slika 44: Razmerje med prevladujočimi vrednostmi BSC na obravnavanih padavinskih postajah.....	50
Slika 45: Povprečna nadmorska višina za posamezen prevladujoč tip BSC.....	51
Slika 46: Prostorska razporeditev prevladujočih tipov BSC po Sloveniji.....	52
Slika 47: Odstotek padavinskih dogodkov z vrednostjo BSC 0000.....	53
Slika 48: Odstotek padavinskih dogodkov z vrednostjo BSC 1111.....	54
Slika 49: Razmerje med prevladujočimi tipi BSC po kvartilih za obravnavane postaje v Sloveniji	55
Slika 50: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za prvi kvartil.....	56
Slika 51: Količina padavin ob konici intenzitete pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za prvi kvartil.....	56
Slika 52: Število intenzitet v normiranih sintetičnih histogramih, kjer je bila količina padavin večja od 0,10.....	57
Slika 53: Povezava med količino padavin ob konici intenzitete padavinskega dogodka in nadmorsko višino za prvi kvartil	58
Slika 54: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za drugi kvartil.....	59
Slika 55: Količina padavin ob konici intenzitete pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za drugi kvartil.....	59
Slika 56: Število intenzitet v normiranih sintetičnih histogramih, kjer je bila količina padavin večja od 0,10.....	60
Slika 57: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za tretji kvartil.....	61
Slika 58: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za tretji kvartil.....	62

Slika 59: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas za postajo Ljubljana-Bežigrad.....	63
Slika 60: Rezultati analize BSC za zimo (levo) in pomlad (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad	64
Slika 61: Rezultati analize BSC za poletje (levo) in jesen (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad	65
Slika 62: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na obdobje meritev za postajo Ljubljana-Bežigrad.....	66
Slika 63: Rezultati analize BSC za obdobje meritev od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad	66
Slika 64: Rezultati analize BSC za obdobje meritev od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad	67
Slika 65: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za prvi kvartil.....	68
Slika 66: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za drugi kvartil.....	69
Slika 67: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za tretji kvartil.....	69
Slika 68: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za četrti kvartil	70

1 UVOD

Vso vodo, ki v taki ali drugačni obliki pade iz ozračja nazaj na zemeljsko površje, imenujemo padavine. Izmerjena količina padavin je eden od najpogosteje uporabljenih podatkov v klimatologiji, hidrologiji, geografiji in drugih geo-znanostih. Padavine so tudi glavni vhodni podatek v hidrološke modele pri določanju projektnih pretokov za dimenzioniranje manjših ali večjih hidrotehničnih objektov. Inženirji, ki se ukvarjajo s projektiranjem vodnih objektov in drenaž, pa poleg količine padavin, potrebujejo tudi zanesljive podatke o tem, v katerem delu padavinskega dogodka se pojavi konica oziroma največja intenziteta padavin. To je še posebej pomembno takrat, ko projektiramo objekte na posameznem delu vodotoka, ki imajo določeno pretočno zmogljivost. Če je večja intenziteta padavin na začetku padavinskega dogodka in če je bil pretok pred tem majhen, bo vsa voda najverjetneje ostala v strugi. Če pa pride do povečane intenzitete padavin na koncu daljšega padavinskega dogodka, pa se zaradi že velikega pretoka le ta še poveča. To seveda lahko vodi do poplavljanja (Jackson, 2015). Podobno je tudi pri nestabilnih pobočjih, kjer se z drenažami zagotavlja dodatna stabilnost. Če pride do povečane intenziteta padavin na koncu padavinskega dogodka, bo zaradi predhodne namočenosti tal skoraj vsa padla voda odtekla kot površinski odtok in če drenaže niso projektirane za tak dogodek, lahko pride do zastajanja vode v zemljini in posledično do zdrsa (Caloiero in sod., 2014).

Če je merjenih podatkov za posamezno padavinsko postajo dovolj, lahko analiziramo podatke in ugotovimo, če obstaja znotraj padavinskega dogodka vzorec časovne in količinske porazdelitve padavin (Caballero in Rahman, 2013). Za ugotavljanje časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka, je Huff leta 1967 predstavil družino normiranih brezdimenzijskih krivulj, ki jih imenujemo Huffove krivulje. To so vsotne brezdimenzijske krivulje, s pomočjo katerih lahko izdelamo tudi sintetične normirane histograme padavin. Huffove krivulje so se za določena območja le redko izdelovale, saj je za njihovo izdelavo potrebno analizirati velike količine podatkov in imeti seveda tudi določen algoritem oziroma program, ki to analizo opravi (Bonta, 2004).

Huffove krivulje so v svojih raziskavah uporabili različni avtorji. Bonta in Shahalam (2003) sta ugotavljala, koliko neodvisnih padavinskih dogodkov potrebujemo, da dobimo Huffove krivulje, ki so statistično značilne za neko padavinsko postajo. Pri primerjavi Huffovih krivulj za isto postajo sta ugotovila, da med krivuljami, izdelanimi s 120 neodvisnimi dogodki in kontrolnimi krivuljami, izdelanimi s 300 neodvisnimi dogodki, ni večjih razlik. Pri izdelavi Huffovih krivulj iz manjšega vzorca neodvisnih padavinskih dogodkov pa so se začela pojavljati odstopanja od kontrolnega vzorca. Prav tako je Bonta (2004) ugotavljal razlike med letnimi časi in njihov vpliv na obliko Huffovih

krivulj. Na podlagi analize za kraj Invercargill na Novi Zelandiji je ugotovil, da razlike obstajajo in da je smotrno izdelati Huffove krivulje tudi za različne letne čase.

Pri ugotavljanju razlik časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka glede na trajanje dogodka je Nieves (2005) ugotovil, da so padavine krajšega trajanja mnogo bolj časovno različno porazdeljene kot tiste, ki trajajo dalj časa (12 ur ali več). To pomeni, da se pri padavinah daljšega trajanja pojavlja nek vzorec časovne porazdelitve padavin, pri kratkotrajnih padavinah pa ta vzorec časovne porazdelitve ni tako zelo zaznaven.

Vandenberghe in sod. (2010) so pri izdelavi Huffovih krivulj ugotavljali občutljivost krivulj na velikost časovnega koraka in ugotovili, da so Huffove krivulje dokaj neobčutljive na povečanje časovnega koraka. Vseeno pa so zaradi izdelave normiranih sintetičnih histogramov, ki jih lahko pridobimo iz Huffovih krivulj, predlagali, da se uporablja normirani časovni korak 0,05 oziroma 5 odstotkov.

Izbira parametrov, ki določajo neodvisni padavinski dogodek, je seveda poljubna in je odvisna od tega kaj nas zanima. Huff (1967) je kot neodvisni padavinski dogodek vzel obdobje, ko je merilna postaja beležila padavine, a pred začetkom beleženja in po koncu beleženja ni bilo padavin vsaj 6 ur ali več (MDPD) (ang. *minimum dry period duration*). Padavine pa so morale trajati vsaj 3 ure ali več. Skupna količina padavin je morala presegati 12,7 milimetra. Mnogi drugi avtorji pa so zaradi specifičnosti podnebja, za katerega so izdelovali Huffove krivulje, vzeli drugačne parametre. Wu in sod (2006) so za analizo podatkov za Hong Kong uporabili MDPD 2 uri in minimalno količino padavin 50 milimetrov. Zanimale so jih namreč samo padavine, ki lahko povzročijo poplave. Azli in Ramachandra (2010) pa sta za analizo podatkov za Malezijo uporabila MDPD 3 ure, minimalno količino padavin 25,4 milimetra in upoštevala še dodaten pogoj in sicer da mora biti minimalna urna intenziteta padavin večja kot 1 milimeter na uro.

Terranova in Iaquina (2011) sta predstavila novo metodologijo analize padavinskih dogodkov s pomočjo BSC (ang. *binary shape code*) metode, s katero lahko ugotavljamo, v kateri četrtini trajanja dogodka pride do maksimalne intenzitete padavin. Metoda BSC predpostavi 16 možnih oblik standardiziranih padavinskih profilov (SRP) (ang. *standardized rainfall profile*) oziroma grafov normiranega časa in brezdimenzijske količine padavin. Vsaka oblika ima svojo kodo BSC, ki je sestavljena iz štirih števk. Vsaka številka lahko zavzame vrednost 0 ali 1, odvisno od tega ali v nekem delu trajanja padavinskega dogodka pade več ali manj padavin od standardiziranega padavinskega profila (USRP) (ang. *uniform standardized rainfall profile*), ki predstavlja neodvisni padavinski dogodek, kjer je intenziteta padavin konstantna.

Terranova in Iaquina (2011) sta na podlagi analize podatkov za Kalabrijo ugotovila, da prevladujeta dva tipa BSC, in sicer tip BSC 1111 in tip BSC 0000. Tip BSC 1111 predstavlja padavinski dogodek, kjer večina padavin pade v prvem delu trajanja padavin, tip BSC 0000 pa dogodek, kjer pade večina padavin v drugem delu trajanja padavin. Ugotovila sta tudi, da prihaja do sprememb pri deležu določenih tipov BSC glede na dolžino trajanja padavinskega dogodka. Tako na primer pri padavinskih dogodkih, ki trajajo manj kot 6 ur, prevladuje tip BSC 1111, pri padavinskih dogodkih, ki trajajo več kot 24 ur pa tip BSC 0000.

1.1 Cilji magistrske naloge

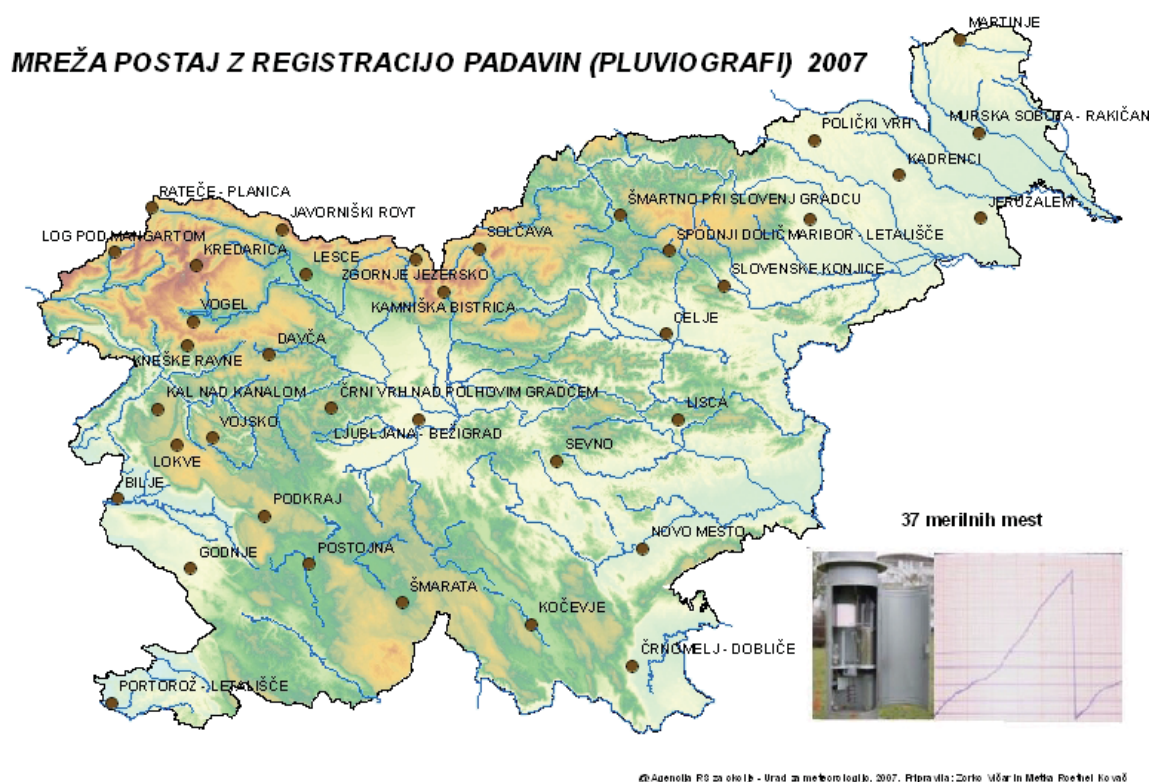
Časovna porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka je eden od pomembnih podatkov pri hidrološkem modeliranju in določanju projektnih pretokov. Za Slovenijo taka analiza še ni bila narejena, kljub temu da ima ta razporeditev padavin pomemben vpliv na čas nastopa visokovodne konice. Glavni cilji magistrske naloge so: (1) izdelati algoritem, ki bo analiziral 5-minutne zapise ombrografa in ločil posamezne padavinske dogodke, (2) izdelati algoritem, ki bo izdelal Huffove krivulje in dodatne statistične analize padavinskih dogodkov za posamezno padavinsko postajo, (3) z analizo dolgoletnih nizov meritev ugotoviti vzorec časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka za 30 padavinskih postaj v Sloveniji, (4) analizirati in primerjati rezultate, ter najti glavne vplivne dejavnike na časovno porazdelitev padavin, (5) ugotoviti razlike med letnimi časi in vpliv podnebne spremenljivosti na časovno porazdelitev padavin za izbrano padavinsko postajo.

2 METODE

2.1 Meritve padavin

Meritve padavin v Sloveniji izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Padavine lahko merimo s pomočjo različnih tipov dežemerov. Najenostavnejši je ombrometer, s katerim lahko ročno izmerimo dnevno količino padavin (ob sedmi uri zjutraj), ki je padla v preteklih 24 urah. Pri nas je v uporabi Hellmanov ombrometer s posodo 200 cm², postavljeno en meter nad površino tal

Več deset postaj ARSO pa ima merilnike padavin, ki omogočajo meritve padavin v 5-minutnih intervalih – ombrografe (slika 1). Vrste ombrografov se razlikujejo glede na metodologijo merjenja in zapis podatkov. Tako poznamo različne ombrografe, vse od pluviografov do tehtalnih dežemerov (Brilly in Šraj, 2005) (slika 2).



Slika 1: Mreža postaj z registracijo padavin ARSO (Mreža postaj z registracijo padavin, 2007)



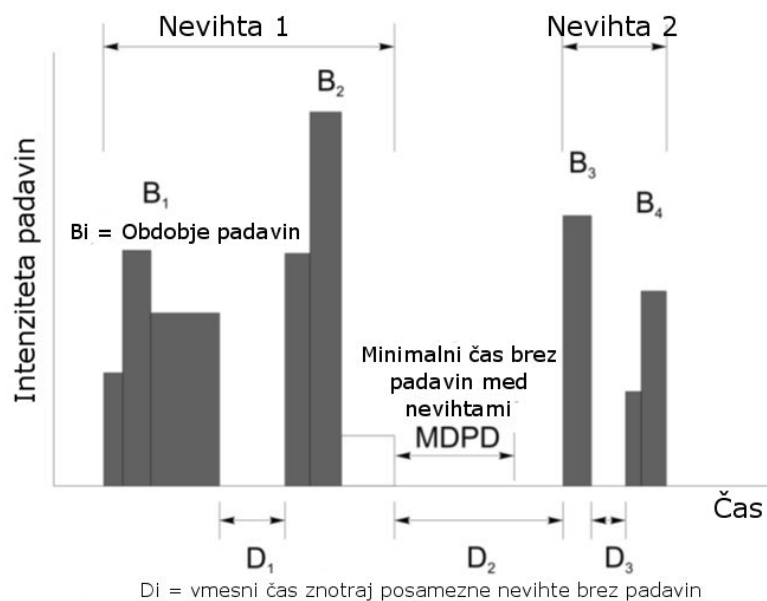
Slika 2: Različne vrste dežemerov na klimatološki postaji Ljubljana-Bežigrad (foto: Šraj, 2009)

Instrumenti za merjenje padavin morajo biti postavljeni zunaj vpliva drevja ali okoliških objektov. Izmerjena količina padavin je ponavadi izražena v litrih, zato moramo poznati natančno površino zajema, da lahko izračunamo padavine v milimetrih na kvadratni meter (Brilly in Šraj, 2005).

2.2 Huffove krivulje

Huff (1967) je na podlagi podatkov z 49 padavinskih postaj, razporejenih na območju velikosti okoli 1000 kvadratnih kilometrov v zvezni državi Illinois izdelal brezdimenzijske vsotne krivulje padavin, ki prikazujejo časovno porazdelitev padavin.

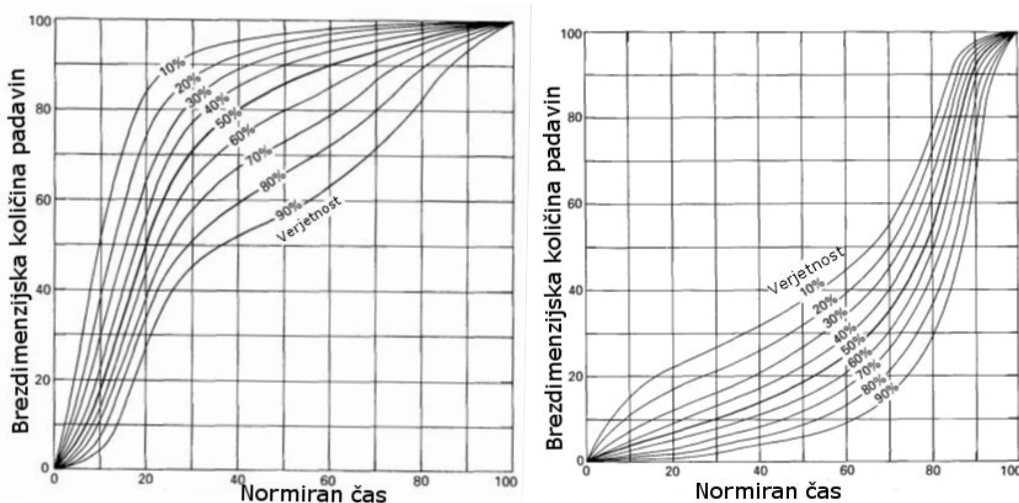
Huff (1967) je najprej iz podatkov 12-letnega obdobja meritev izločil posamezne neodvisne padavinske dogodke ter jih razvrstil v štiri kvartile. Kot neodvisni padavinski dogodek je vzel obdobje, ko je merilna postaja beležila padavine, a pred začetkom beleženja in po koncu beleženja ni bilo padavin vsaj 6 ur ali več (MDPD). Padavine pa so morale trajati vsaj 3 ure ali več. Definicija padavinskega dogodka je prikazana na sliki 3. Dodaten pogoj za neodvisni padavinski dogodek je bila tudi skupna količina padavin, ki je morala presežati 12,7 milimetra (0,5 palca). S tako definicijo je izločil 261 neodvisnih padavinskih dogodkov. Prednost Huffovih krivulj pa je ravno v tem, da z različnimi izbirami MDPD pridobimo različne tipe dogodkov oziroma neviht.



Slika 3: Shematični prikaz časov, ki definirajo določen neodvisni padavinski dogodek (prirejeno po Bonti, 2004)

Huff (1990) je v nadaljevanju vse padavinske dogodke razdelil v 4 kvartile. Kvartili so bili definirani glede na trajanje neodvisnega padavinskega dogodka, in sicer so se v prvi kvartil uvrstili dogodki s trajanjem od 3 do 6 ur, v drugem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 6 do 12 ur, v tretjem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 12 do 24 ur in v četrtem kvartilu so bili dogodki s trajanjem 24 ur ali več. Huff se je za razdelitev v kvartile odločil zaradi dejstva, da se časovna porazdelitev padavin spreminja s trajanjem padavinskega dogodka. Za obravnavano območje v Illinoisu je ugotovil, da je bilo 33 odstotkov padavinskih dogodkov v prvem kvartilu, 33 odstotkov v drugem kvartilu, 23 odstotkov v tretjem kvartilu in 11 odstotkov v četrtem kvartilu (Huff, 1990).

Huffove krivulje torej predstavljajo družino brezdimenzijskih krivulj, ki so razdeljene glede na verjetnost in kvartil, v katerem se nahajajo. Tako je v vsakem kvartilu skupaj 9 krivulj, ki predstavljajo percentile in sicer vse od 10. do 90. percentila. Skupaj tako dobimo za vsako postajo 36 krivulj (Dolšak, 2012). 80-percentilna krivulja tako predstavlja mejo, pod katero je 80 odstotkov vseh padavinskih dogodkov, 20-percentilna krivulja pa mejo, nad katero se nahaja 80 odstotkov vseh padavinskih dogodkov. Huffove krivulje so uporabne predvsem zato, ker temeljijo na izmerjenih podatkih in ker so padavinski dogodki razdeljeni po kvartilih glede na trajanje. Ker so Huffove krivulje brezdimenzijske, lahko primerjamo med seboj dogodke različnih trajanj in skupnih količin padavin.



Slika 4: Huffove krivulje za zvezno državo Illinois -1. kvartil (levo) in 4. kvartil (desno) (prirejeno po Huffu, 1967)

Huff (1967) je z analizo teh krivulj za Illinois prišel do spoznanja, da konica padavin ne nastopi v vseh kvartilih ob istem času, ampak se po kvartilih konica padavin premika. Ugotovil je, da v prvem kvartilu največja količina padavin pade v prvi tretjini trajanja padavinskega dogodka, v četrtem kvartilu pa v zadnji tretjini. To lahko vidimo na sliki 4 (levo), kjer so vse krivulje konveksne - v prvi tretjini trajanja padavinskega dogodka pade večji del padavin in na sliki 4 (desno), kjer so vse krivulje konkavne - večji del padavin pade v zadnji tretjini trajanja padavinskega dogodka. Dolšak (2012) pa je na podlagi podatkov od leta 1948 do 2010 za Ljubljano ugotovil, da se s kvartili spreminjajo tudi razlike med percentilnimi krivuljami, in sicer se razlika med percentilnimi krivuljami manjša od prvega do četrtega kvartila. To pomeni, da so imeli padavinski dogodki v prvem kvartilu veliko večje razlike v časovni porazdelitvi padavin, kot dogodki v četrtem kvartilu.

Huffove krivulje so uporabne pri določevanju količine padavin, ki se glede na zgodovinske podatke z določeno verjetnostjo zgodijo v določenem času. Za primer vzemimo nevihto, v kateri pade 100 milimetrov padavin v času 6 ur. Ta nevihta se uvrsti v prvi kvartil, v katerem so nevihte od treh do šestih ur. Če pogledamo sliko 4 (levo) in vzamemo za primer 50-percentilno krivuljo, lahko vidimo, da v prvih 10 odstotkih časa (36 minut) pade okoli 20 odstotkov vseh padavin, kar v tem primeru predstavlja 18 milimetrov. Če pogledamo isto krivuljo pri polovici časa trajanja nevihte (3 ure) pa lahko ugotovimo, da pade že 85 odstotkov vseh padavin, kar v našem primeru predstavlja 85 milimetrov (Dolšak, 2012).

Pri Huffovih krivuljah se lahko tako z različnimi definicijami padavinskega dogodka ali pa s primerjanjem različnih obdobj analizira razlike med letnimi časi, časovnimi obdobji itd. Bonta (2004) je tako na primer ugotovil, da imajo padavinski dogodki v katerih je padlo manj kot 12,7 milimetra

padavin večji raztros. Prav tako je zaznal razlike med Huffovimi krivuljami, ko so upoštevali samo poletne in samo zimske padavine. Pri regionalizaciji pa je za postaje v zveznih državah Texas, Ohio in Illinois ugotovil, da so si krivulje dokaj podobne. Burke in sod. (1980) pa so na podlagi meritev v zvezni državi Indiana ugotovili, da so te razlike dovolj velike, da lahko povzročijo večja odstopanja pri modeliranju konic odtoka, ki ga povzročijo padavine. Do podobnih rezultatov so prišli tudi Ghasemi in sod. (2014), na podlagi analize za Iran, kjer so ugotovili dokaj velike razlike znotraj province Ardebil, Rosmina in sod (2012) na podlagi analize podatkov za južni del regije Sawark v Indoneziji ter mnogi drugi, ki so analizirali časovne razporeditve padavin. Zato ne moremo kar tako privzeti enega tipa Huffovih krivulj za večja območja, ampak je bolje izdelati Huffove krivulje za posamezna manjša območja. Wadden (2002) je na primer preučil možnost, da se namesto devetih percentilnih krivulj uporabi ločitev na triade, kvartile in pentile, vendar pa taka razdelitev za podatke za Novo Fundlandijo ni prinesla novih odkritij.

2.3 Metoda BSC

Leta 2011 sta raziskovalca Terranova in Iaquina predstavila BSC (ang. *binary shape code*) metodo analiziranja časovne razporeditve padavin znotraj padavinskega dogodka. Terranova in Iaquina (2011) sta na podlagi meritev padavin na 155 meteoroloških postajah v Kalabriji za obdobje 1989 do 2008 analizirala več kot 45 000 neodvisnih padavinskih dogodkov. Za analizo podatkov sta uporabila t.i. standardizirani padavinski profil (SRP) (ang. *standardized rainfall profile*) oziroma graf normiranega časa in brezdimenzijske količine padavin. SRP sta definirala kot slučajno spremenljivko, katere funkcijo lahko zapišemo kot (Terranova in Iaquina, 2011):

$$F_D(\pi, \tau) = P(\Pi \leq \pi, \Theta \leq \tau) \quad (1)$$

kjer je:

- π brezdimenzijska količina padavin,
- τ brezdimenzijsko trajanje padavin.

Porazdelitveno funkcijo F_D lahko razumemo kot verjetnost pojava SRP krivulje (Huff, 1967, Terranova in Iaquina, 2011). Dovolj veliko število (N) SRP krivulj omogoča, da pridobimo tudi podatke o verjetnosti določene porazdelitve. Za nek poljubnem brezdimenzijski čas τ_i lahko iz podatkov izločimo N brezdimenzijskih količin padavin π_{ij} in določimo verjetnosti, da ob tem času pade določena brezdimenzijska količina padavin. S ponovitvijo analize za različne τ_i lahko določimo krivulje, ki ustrezajo posameznim kvantilom. Tako dobimo percentilne krivulje.

Z analizo SRP krivulj lahko razdružimo vsotno krivuljo in s tem pridobimo različne informacije. Za ta namen lahko padavinske dogodke klasificiramo glede na trajanje, količino padavin, maksimalno

intenziteto, povprečno intenziteto, geografsko lego itd. Vse analize pa lahko uporabimo pri nadaljnjem preučevanju okolja, kot je na primer površinski odtok (Terranova in Iaquina, 2011).

Definirala sta tudi enakomerni standardiziran padavinski profil (USRP) (ang. *uniform standardized rainfall profile*), ki predstavlja neodvisni padavinski dogodek, kjer je intenziteta padavin konstantna. Na grafu normiranega časa in brezdimenzijske količine padavin je URSP daljica, ki povezuje točki (0,0) in (1,1) (slika 5). Graf sta razdelila na štiri območja, in sicer na ploščine, ki jih omejuje abscisa s krivuljo USRP. Posamezna območja sta imenovala A_1 , A_2 , A_3 in A_4 . Vsako območje predstavlja 25 odstotkov trajanja padavinskega dogodka. Tako se območje A_1 nahaja med 0 in 0,25, območje A_2 med 0,25 in 0,5 itd. (slika 5). Časovne vrednosti $\tau_0 = 0$, $\tau_1 = 0,25$, $\tau_2 = 0,50$, $\tau_3 = 0,75$ in $\tau_4 = 1$ so časi, ki omejujejo ta območja.

Za lažjo interpretacijo rezultatov njune metode sta uvedla štirimestno binarno kodo BSC (ang. *binary shape code*), ki jo dobimo po naslednjem postopku:

- a) Izračuna se ploščina pod premico URSP po enačbi (Terranova in Iaquina, 2011):

$$A_k^* = (1/2 \tau_k^2) - A_{k-1}^*, \quad (2)$$

kjer je:

- A^* ploščina pod premico URSP,
 τ časovna vrednost ki omejuje del za katerega računamo BSC,
 $A_0^* = 0$.

- b) Izračuna se ploščina pod krivuljo SRP po enačbi (Terranova in Iaquina, 2011):

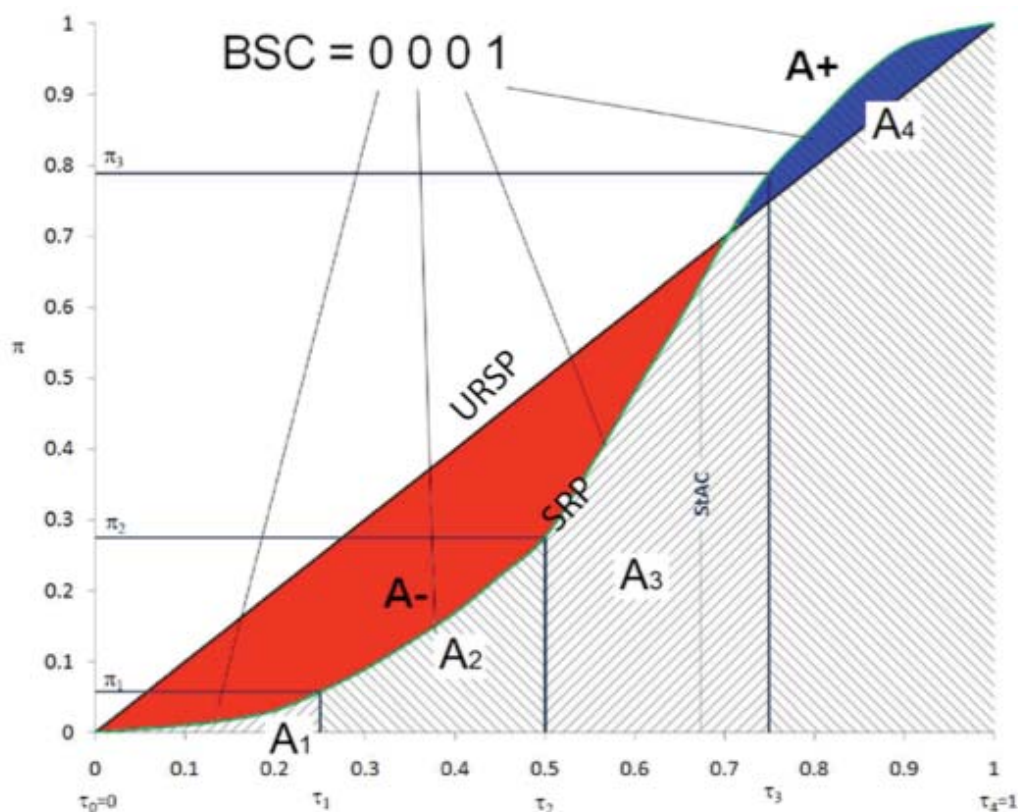
$$A_k = \sum_{j=\tau_{k-1}}^{\tau_k} \frac{y_{j-1} + y_j}{2} (\tau_k - \tau_{k-1}), \quad (3)$$

kjer je:

- y_j brezdimenzijska vsotna količina padavin, ki ustreza določenemu τ_k .

- c) Izdela se binarna koda BSC = $S_1 S_2 S_3 S_4$ kjer je (Terranova in Iaquina, 2011):

$$S_k = 1 \text{ če je } A_k > A_k^*, \text{ drugače } S_k = 0 \quad (4)$$

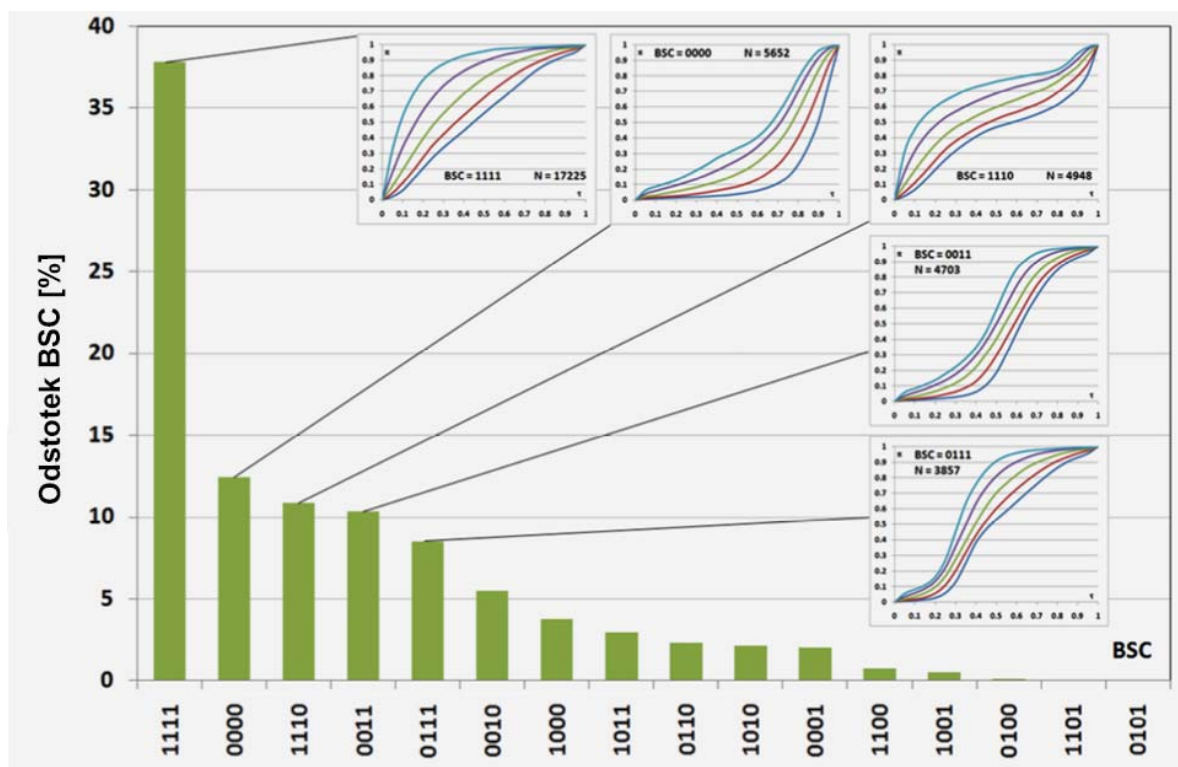


Slika 5: Prikaz metode BSC (Terranova in Iaquina, 2011)

Slika 5 nazorno prikazuje sestavo kode BSC. Brezdimenzijska padavinska krivulja, označena na sliki 5 s SRP, ima prvo številko 0, saj vidimo, da je krivulja SRP pod daljico URSP. To pomeni, da je ploščina $A_1 < A_1^*$, kar pomeni, da je za te padavine značilno, da v prvi četrtini trajanja padavinskega dogodka pade manj kot četrtina vseh padavin. Podobno velja za območje med τ_1 in τ_2 , ter τ_2 in τ_3 , zato sta tudi druga in tretja številka enaki 0. Če pa pogledamo območje med τ_3 in τ_4 , pa vidimo, da je ob času τ_3 padlo že okoli 79 odstotkov padavin in da je zato SRP krivulja že nad URSP daljico. SRP krivulja je ves preostali čas nad URSP daljico, zato je zadnja številka kode BSC enaka 1.

BSC analiza je zelo uporabna, saj omogoča, da s štirimestno kodo opišemo obliko grafa normiranega časa in brezdimenzijske količine padavin. Omogoča nam tudi, da določimo približen čas nastopa maksimalne intenzitete. Na sliki 5 StAC (ang. *storm advancement coefficient*) označuje maksimalno intenziteto, ki jo lahko razberemo na mestu, kjer je naklon krivulje SRP največji. Žal pa ta metoda ne zazna ali je vrhov več. Na primer koda BSC 0100 nakazuje, da je SRP krivulja nad URSP daljico samo med časoma τ_1 in τ_2 . Iz tega lahko sklepamo, da je tam maksimalna intenziteta padavin, saj je takrat padla velika količina padavin, vendar pa lahko pride do maksimalne intenzitete tudi ob drugem trenutku, le da je bil nastop konice intenzitete kratek in da količina padavin v tistem trenutku ni bila velika.

Metoda BSC razlikuje 16 različnih oblik, ki pa niso vse enakomerno zastopane. Terranova in Iaquina (2011) sta namreč ugotovila, da je skupna zastopanost BSC 1100, 1001, 0100, 1101 in 0101 v vseh analiziranih neodvisnih padavinskih dogodkih za Kalabrijo le 1,5 odstotkov (slika 6). Najpogosteje pa so se pojavljale BSC 1111, 0000, 0011 in 0111. Zastopanost določenega BSC sta tako povezala z vrsto padavin, in sicer BSC 1111 in 1110 predstavljata večinoma konvekcijske in frontalne padavine. Te so v njihovi raziskavi predstavljale več kot 50 odstotkov vseh padavin. Tropskim ciklonom podobne padavine, pa imajo višek padavin nekje na sredini dogodka in imajo po navadi BSC enak 0010, 0110 in 0100. Te padavine so v njihovi raziskavi predstavljale zgolj 8 odstotkov vseh padavin. Izkaže se, da je od teoretično možnih 16 različnih BSC, v naravi večinoma zastopanih le 8. To lahko vidimo tudi na sliki 6, kjer je razvidno, da so določene oblike BSC bistveno bolj pogoste od drugih. Na sliki 6 je tudi lepo razvidno, kakšne oblike SRP spadajo k določenim BSC. Brezdimenzijske padavinske krivulje, ki imajo BSC 1111, so konkavne oblike, krivulje z BSC 0000 pa konveksne oblike. SRP z BSC 1110, 0011 in 0111 pa imajo obliko črke "S". Tako lahko predpostavimo, da ima določen padavinski dogodek z oznako BSC 1110 v prvi in v zadnji tretjini trajanja padavinskega dogodka večjo intenziteto kot na sredi trajanja dogodka. Ravno obratno pa lahko trdimo za dogodke z BSC 0011 in 0111.



Slika 6: Deleži posameznih BSC za Kalabrijo in SRP krivulje za pet najpogostejših tipov (prirejeno po Terranova in Iaquina, 2011).

2.4 Sintetični histogram padavin

Histogram padavin predstavlja količino padavin v odvisnosti od časa in je osnovni podatek za izračun površinskega odtoka. Dobimo ga s pomočjo merjenih količin padavin v manjših časovnih enotah. Pri določanju projektnih pretokov oz. modeliranju visokovodnih valov z določeno povratno dobo pa se v hidrološki praksi uporabi sintetični histogram padavin.

Za izdelavo sintetičnih histogramov padavin obstaja več metod. Sintetični histogram padavin lahko določimo ročno ali pa s pomočjo računalniškega programa na podlagi preteklih padavinskih dogodkov (Brilly in Šraj, 2005). Pri večini metod je poleg količine padavin potrebno podati tudi čas pojava konice padavin. Sama porazdelitev padavin znotraj sintetičnega dogodka je odvisna od metode.

Ker je uporaba brezdimenzijskih krivulj SRP zelo razširjena in temelji na dejansko izmerjenih podatkih, je zato primerna tudi za izdelavo sintetičnih histogramov padavin (slika 7). V primeru Huffovih krivulj pa lahko enostavno določimo konico padavin kar glede na to, v kateri kvartil spada določena krivulja SRP (Prodanovic in Simonovic, 2004). Slaba stran metode je samo ta, da potrebujemo dolgo zgodovino meritev padavin na območju, za katerega določamo sintetični histogram padavin. Prodanovic in Simonovic (2004) sta tako za porečje reke Thames v Kanadi izdelala sintetične histograme padavin iz različnih brezdimenzijskih krivulj SRP, med drugim tudi iz Huffovih krivulj (slika 8). Sintetične histograme se iz Huffovih krivulj izdelata tako, da se normirano vsoto enostavno spremeni v normiran sintetični histogram (diskretizacija). Naklon normirane vsote je namreč normirana intenziteta. Za izdelavo sintetičnega histograma se nato normirano količino padavin enostavno množi s skupno količino padavin, normirano trajanje pa s celotnim trajanjem dogodka. Enačba za določeno intenziteto padavin je torej (MIDUSS, 2004):

$$i_j = \frac{(p_{k+1} - p_k) * P_{tot}}{\Delta t * t}, \quad (5)$$

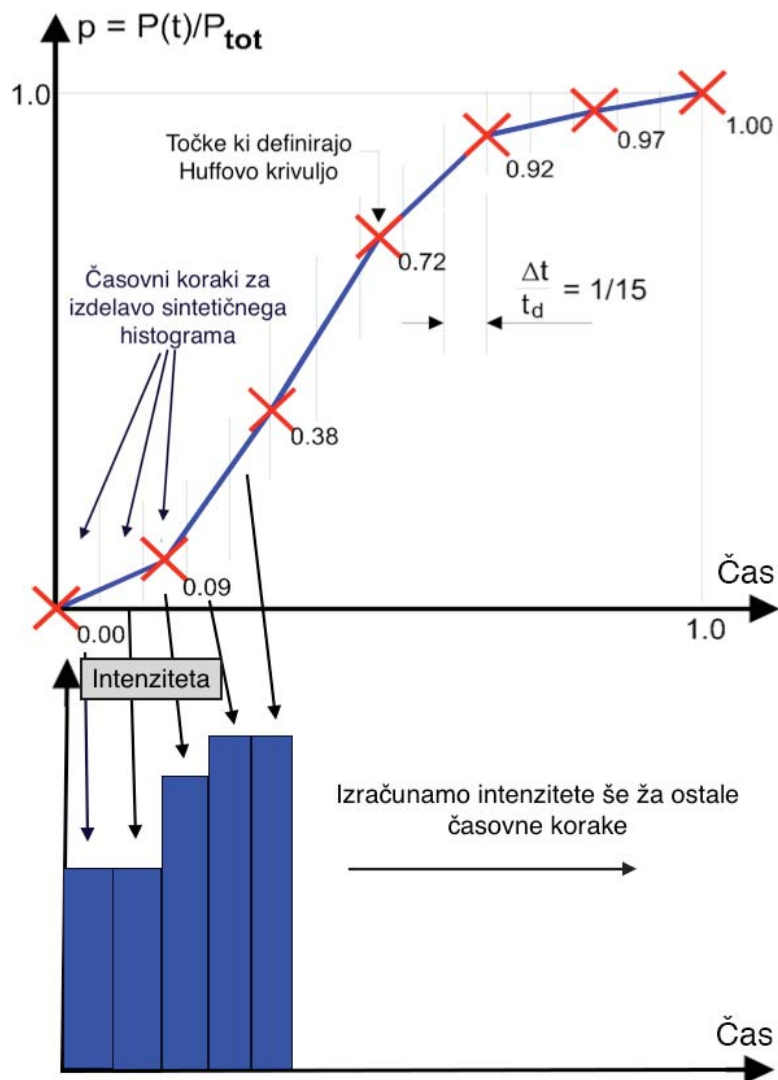
kjer je:

- i intenziteta,
- j 1, ..., J , kjer je J število časovnih korakov v sintetičnem histogramu,
- k 0, ..., $(K-1)$, kjer je K število točk iz katerih je narejena Huffova krivulja,
- p brezdimenzijska količina padavin,
- P_{tot} skupna količina padavin [mm],
- t čas trajanja padavin [h],
- Δt normirana dolžina časovnega koraka histograma, ki ga želimo izdelati, velja $\Delta t = 1/(J+1)$.

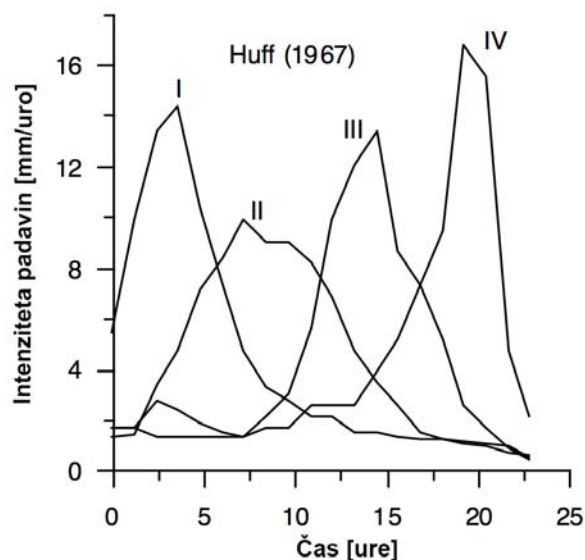
Na sliki 7 je postopek diskretizacije razložen na primeru, ko je Huffova krivulja narejena iz sedmih točk, ki so na grafu označene z rdečimi križci. Primer je narejen za izdelavo sintetičnega histograma, ki pa ima 14 časovnih korakov. Če želimo torej dobiti sintetični histogram s 14 intenzitetami, bo dolžina časovnega koraka enaka Δt enaka $1/(14+1) = 1/15$ oziroma 0,067. Brezdimenzijska količina padavin p_0 bo enaka 0, p_1 pa je enaka 0,036. Dobimo ju s pomočjo linearne interpolacije. Predpostavimo še, da je P_{tot} enak 15 mm in da padavine trajajo 3 ure. Intenziteta v prvem časovnem koraku sintetičnega histograma bo tako enaka:

$$i_1 = \frac{(p_1 - p_0) * P_{tot}}{\Delta t * t} = \frac{(0,036 - 0) * 15 \text{ mm}}{0,067 * 3 \text{ ure}} = 2,7 \text{ mm/uro}$$

Za dokončanje sintetičnega histograma, bi morali po prikazanem postopku izračunati torej vse intenzitete i_j . Končni rezultat bi bil histogram s 14 časovnimi koraki (slika 7).



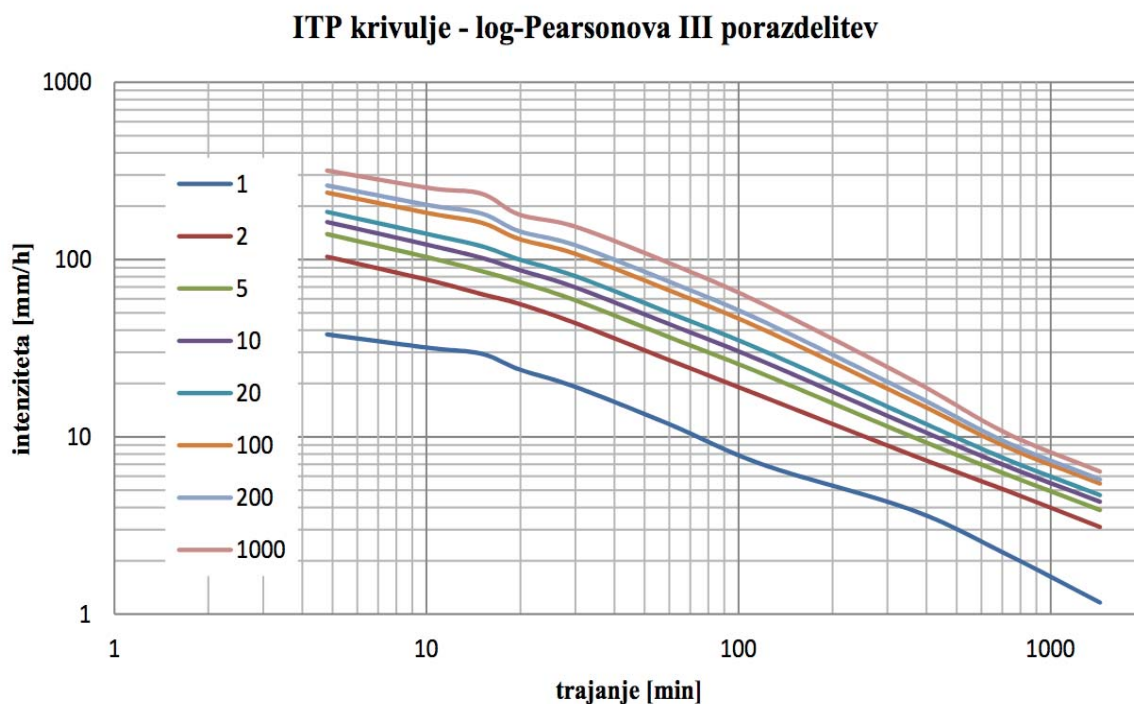
Slika 7: Postopek diskretizacije Huffove krivulje (prirejeno po MIDUSS, 2004)



Slika 8: Sintetični histogrami padavin, izdelanih iz Huffovih krivulj za porečje reke Thames v Kanadi (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004).

Pri izdelavi sintetičnih histogramov iz Huffovih krivulj je pomembno, da je časovni korak čim krajši. Vandenberghe in sod. (2010) so na podlagi 105 let meritev padavin v Uccu v Belgiji izdelali Huffove krivulje in iz njih naredili sintetične histograme padavin. Pri izdelavi Huffovih krivulj so uporabili normiran časovni korak 0,05, kar pa je pri izdelavi sintetičnega histograma za nevihto, ki traja 60 ur, pomenilo, da je časovni korak dolg kar 3 ure. Seveda pa je izbira časovnega koraka poljubna in se lahko pri četrtem kvartilu, kjer so nevihte daljše, poljubno zmanjša.

Najbolj pogosto pa se v praksi za izdelavo sintetičnih histogramov padavin uporablja ITP krivulje. ITP (intenziteta, trajanje, pogostost) krivulje oziroma v angleščini "*IDF curves*" ("*intensity, duration, frequency*") oziroma gospodarsko enakovredni nalivi (Panjan in sod., 2005), predstavljajo grafično ponazoritev intenzitete padavin glede na podan časovni interval in izbrano povratno dobo (Gerb in Moges, 2009). Horizontalna os predstavlja trajanje, vertikalna os pa intenziteto padavin (slika 9). Največkrat je več krivulj z različno povratno dobo predstavljenih na enem grafu (Goranc, 2012).



Slika 9: ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo porazdelitvijo za postajo Ljubljana-Bežigrad (Goranc, 2012).

Prodanovic in Simonovic (2004) sta za izdelavo sintetičnih histogramov iz ITP krivulj preizkusila več metod iz literature. Ugotovila sta, da bi bilo potrebno za verodostojne rezultate uporabiti različne metode, ki bi omogočale analizo odziva nekega območja na dolgotrajne padavine z nizko intenziteto in kratkotrajne padavine z visoko intenziteto. Metode so večinoma preproste in enostavne za uporabo, vendar nimajo trdnih teoretičnih osnov, zato je njihov rezultat lahko pristranska ocena (Goranc, 2012). Ena od pomanjkljivosti teh metod je neupoštevanje dejanske porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka, za poznavanje katere pa seveda ne zadoščajo le ITP krivulje, ampak je treba izdelati dodatne analize (brezdimenzijske padavinske krivulje).

2.4.1 Metoda po Yen in Chow (1980)

Metoda je bila sprva narejena za uporabo na manjših sistemih za urbano odvodnjo, a se jo zaradi njene enostavnosti uporablja tudi na drugih področjih. Sintetični histogram se izdelava tako, da se linearno povežeta točka začetka trajanja padavin $(0,0)$ in točka konice intenzitete (t_a, h) , ter nato zopet linearno povežeta točka konice intenzitete (t_a, h) , in točka konca padavin $(T_d, 0)$. Tako dobimo trikotno obliko histograma (slika 10). Metoda temelji na podatkih o povratni dobi, času trajanja padavin, povprečni intenziteti padavin (vse te podatke pridobimo z ITP krivulje) in na parametru r , ki predstavlja razmerje med časom nastopa konice intenzitete in trajanjem dogodka. Če je vrednost koeficienta r enaka 0,5, je

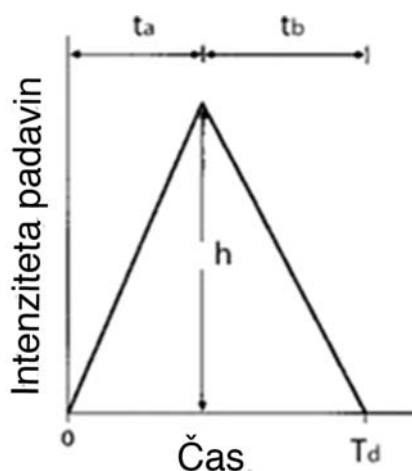
konica intenzitete na sredini dogodka, če je r manjši od 0,5, je konica v prvem delu trajanja in če je r večji od 0,5, je konica v drugem delu trajanja. Metoda nima omejitev glede dolžine trajanja padavin.

Skupna količina padavin histograma je podana z enačbo (Chow in sod. 1988):

$$P = \frac{1}{2} h T_d, \quad (6)$$

kjer je:

T_d trajanje padavin,
 h največja intenziteta.



Slika 10: Metoda Yen in Chow (1988)

2.4.2 Metoda po Watt in sod. (1986)

Metoda je bila izdelana s kanadskimi podatki z namenom izdelave enournega sintetičnega naliva, kljub temu pa se lahko uporabi tudi za izdelavo sintetičnega histograma padavin daljšega trajanja. Za dogodke, kjer se največja intenziteta zgodi v prvem delu, je črta od začetka do konice intenzitete linearna, od tu naprej pa intenziteta pada eksponentno proti 0. Za dogodke, kjer se največja intenziteta zgodi v drugem delu, pa črta od začetka do konice intenzitete eksponentno narašča, od tu naprej pa pada linearno proti 0 (slika 11). Podobno kot pri metodi po Yen in Chow (1980), za izdelavo sintetičnega histograma padavin potrebujemo povratno dobo, čas trajanja dogodka in povprečno intenziteto. Vse te podatke pridobimo z ITP krivulj. Dodatno potrebujemo še podatke o skupni količini padavin, parameter r in parameter K , ki se uporabita pri definiranju eksponentne funkcije.

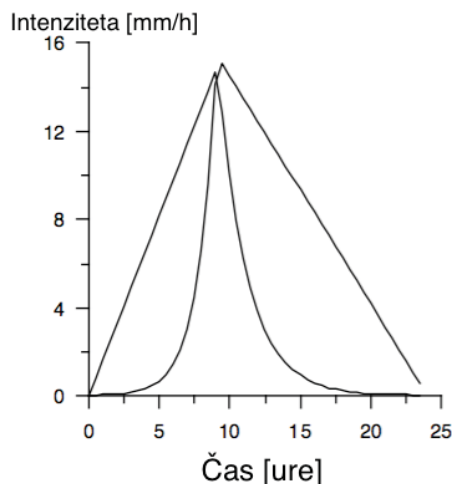
Za primer ko je konica intenzitete padavin v prvem delu trajanja je enačba sledeča (MIDUSS, 2004):

$$i = \frac{t}{t_p} h \text{ za } t < t_p \text{ (linearni del),} \quad (7)$$

$$i = h * e^{-K \frac{(t-t_p)}{(t_d-t_p)}} \text{ za } t > t_p \text{ (eksponentni del),} \quad (8)$$

kjer je:

- i intenziteta [mm/h],
- t čas [h],
- t_p čas nastopa konice [h],
- t_d čas trajanja dogodka [h],
- h največja intenziteta [mm/h],
- K brezdimenzijski parameter eksponentne funkcije.



Slika 11: Sintetični histogram padavin po metodi Watt in sod. (1986) (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)

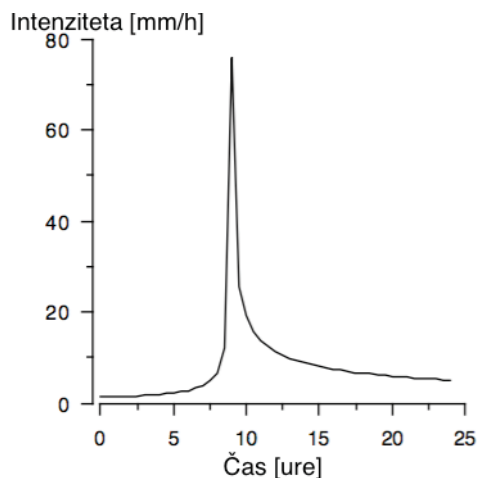
Preglednica 1: Vrednosti K za različna območja v Kanadi (Watt in sod., 1986)

Provinca v Kanadi	Vrednost K
British Columbia	5
Yukon, New Brunswick, Nova Scotia, Newfoundland	6
B.C.(interior), Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, Quebec	7

2.4.3 Metoda po Keifer in Chu (1957)

Ta metoda je bila izdelana za dimenzioniranje odvodnih cevi za odpadno vodo, za dogodke dolge 3 ure, kljub temu, pa ni omejitev pri uporabi te metode za dogodke drugačnega trajanja. Za izdelavo tega sintetičnega histograma padavin potrebujemo povratno dobo, čas trajanja dogodka, povprečno intenziteto in parameter r . Dodatno potrebujemo še tri parametre A , B in C , ki jih določimo s pomočjo

ITP krivulj. Metoda vsebuje enačbo, ki izračuna čas nastopa in intenziteto konice intenzitete padavin, ter razporedi vse ostale padavine eksponentno padajoče (slika 12).



Slika 12: Sintetični histogram po metodi po Keifer in Chu (1957) (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)

Intenziteta padavin se izračuna po naslednjih enačbah (MIDUSS, 2004):

$$i_b = \frac{a \left((1-c) \frac{t_b}{r} + b \right)}{(t_d + b)^{(c+1)}} \quad (9)$$

$$i_b = \frac{a \left((1-c) \frac{t_b}{(1-r)} + b \right)}{\left(\frac{t_a}{(1-r)} + b \right)^{(c-1)}} \quad (10)$$

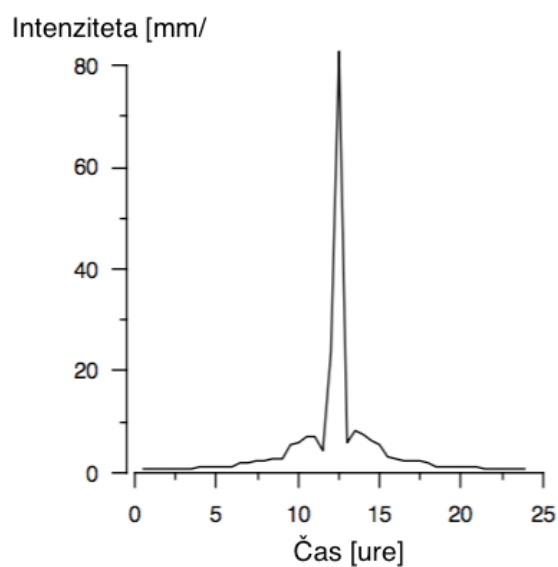
kjer je:

- i_b intenziteta padavin pred nastopom konice [mm/h],
- i_a intenziteta padavin po nastopu konice [mm/h],
- t_b čas pred nastopom konice [h],
- t_a čas po nastopu konice [h],
- r razmerje med časom nastopa konice intenzitete in trajanjem,
- a, b, c konstante odvisne od izbire povratne dobe.

2.4.4 Metoda USACE (2000)

Metoda temelji na verjetnosti in je vgrajena v programsko opremo za hidrološko modeliranje HEC–HMS, ki je zasnovana tako, da simulira zaključene hidrološke procese dendritičnih z razvodnico določenih območij (HEC–HMS, 2014). Potrebujemo podatke o količini in trajanju padavin (razberemo

z ITP krivulje), povratno dobo, čas trajanja padavin (od 1 ure pa do 10 dni), čas trajanja maksimalne intenzitete padavin (od 15 min pa do 6 ur), čas nastopa konice intenzitete padavin in površino povodja. Je ena izmed najbolj prilagodljivih metod in ker je vgrajena v program HEC-HMS, tudi ena izmed najpogosteje uporabljenih (Prodanovic in Simonovic, 2004).



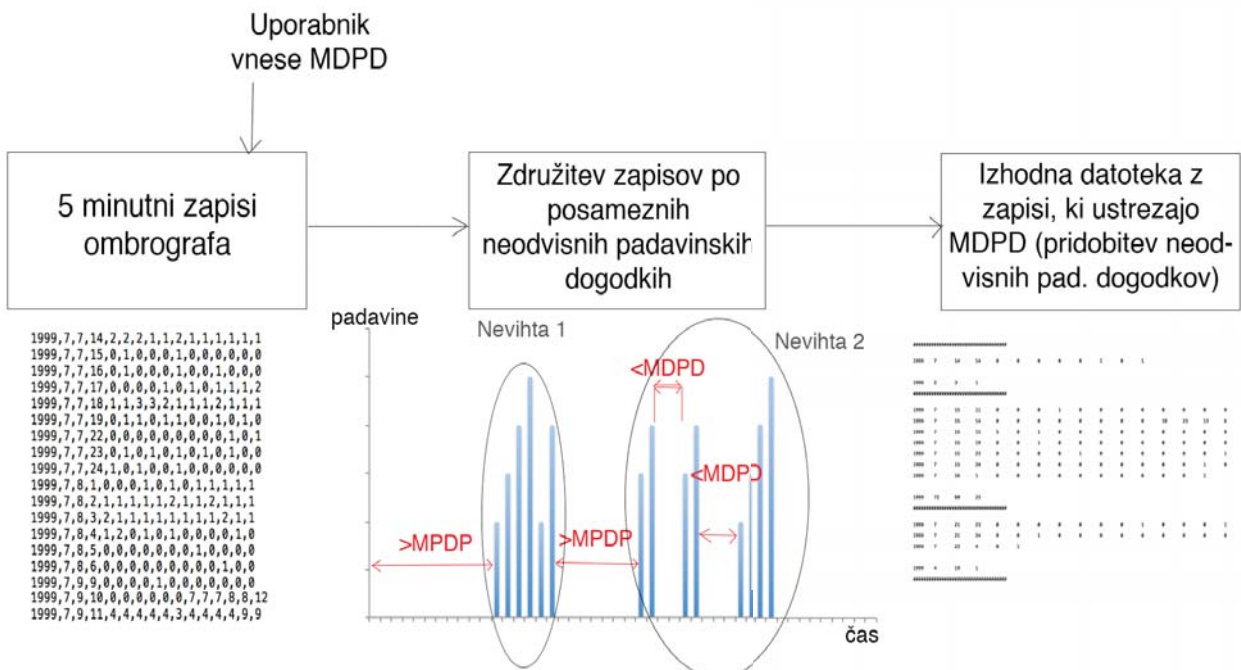
Slika 13: Sintetični histogram narejen za reko Thames po metodi USACE (prirejeno po Prodanovic in Simonovic, 2004)

3 ALGORITEM ZA UGOTAVLJANJE ČASOVNE PORAZDELITVE PADAVIN ZNOTRAJ PADAVINSKEGA DOGODKA

3.1 Program za določitev neodvisnih padavinskih dogodkov (NPD.exe)

Program za določitev neodvisnih padavinskih dogodkov NPD.exe (Neodvisni Padavinski Dogodki) smo izdelali v programskem jeziku C# (Microsoft, 2015) in deluje na operacijskih sistemih Microsoft Windows. Programski jezik C# ("C Sharp") je plod dela Andersa Hejlsberga in sodelavcev (1997), ki so hoteli izdelati izboljšano verzijo takrat najbolj priljubljenih jezikov, kot so C++ in Java. V svojem bistvu je zato zelo podoben obema programskima jezikoma. Začetki C# segajo v leto 1997 in so se začeli v podjetju Microsoft (Cadet, 2013).

Program NPD.exe deluje v ukazni vrstici cmd ("Command Prompt"). Program prebere 5-minutne podatke o padavinah in kot izhod naredi novo datoteko, v kateri so združeni tisti podatki, ki ustrezajo definiciji neodvisnega časovnega dogodka (slika 14). Uporabnik ima možnost vnesti časovni interval MDPD (minimalni čas brez padavin med padavinskimi dogodki) v minutah. Ta interval pa mora biti deljiv s 5, saj ombrograf zapisuje padavine s 5-minutnim časovnim intervalom.



Slika 14: Shema delovanja programa NPD.exe

3.1.1 Navodila za uporabo programa NPD.exe

Program NPD.exe je napisan v operacijskem sistemu Windows 7 (32-bit). Ker razvoj računalniške opreme sledi Moorovemu zakonu (1965), bo najverjetneje ta program čez nekaj let berljiv le na starejših 32-bitnih računalnikih ali pa na simulatorjih 32-bitnega sistema. Zaradi tega dejstva je v prilogi priložena koda, ki bo omogočala ponovno izdelavo programa, ki bo prilagojen takratnim zahtevam.

Navodila za uporabo:

- 1) Pripraviti je potrebno datoteko s 5-minutnimi zapisi ombrografa tako, da ne vsebuje glave ali kakršnih koli drugih podatkov.
- 2) Datoteko je potrebno shraniti v isto mapo, v kateri se nahaja program. Datoteka naj bo shranjena kot data.dat.
- 3) Poženemo program in vnesemo MDPD v minutah. Ker ombrograf zapisuje padle padavine v časovnem koraku 5 minut, moramo vnesti čas, ki bo deljiv s 5. Vnos potrdimo s tipko ENTER. Program lahko za meritve, ki so trajale več desetletij potrebuje nekaj minut. Povzroči lahko tudi povečano uporabo procesorja, zato priporočamo, da ko program poganjate, ne izvajate na računalniku tudi drugih zahtevnejših procesov. Če vam programa ne zažene, poskusite izklopiti antivirusni program za čas delovanja tega programa.
- 4) Ko program konča z delom, nas o tem obvesti. Za izhod pritisnemo katerokoli tipko (slika 15).
- 5) Izhodna datoteka se imenuje Padavinski dogodki z intervali.txt. Program naredi tudi nekaj datotek, ki so potrebne za njegovo delovanje. Te datoteke lahko po končani obdelavi izbrišemo.

```
Unesite želeni interval (min), deljiv s 5:  
-----  
Unesite želeni interval (min), deljiv s 5:  
360  
Ustvarjan pomožne datoteke.  
-----  
Unesite želeni interval (min), deljiv s 5:  
360  
Ustvarjan pomožne datoteke.  
Pomožna datoteka ustvarjena! Ustvarjan tabelo.  
Tabela ustvarjena! Pritisnite katerikoli gumb za izhod iz programa.
```

Slika 15: Program pred zagonom (zgoraj), med delovanjem (na sredini) in po končanem delu (spodaj)

3.1.2 Izhodna datoteka

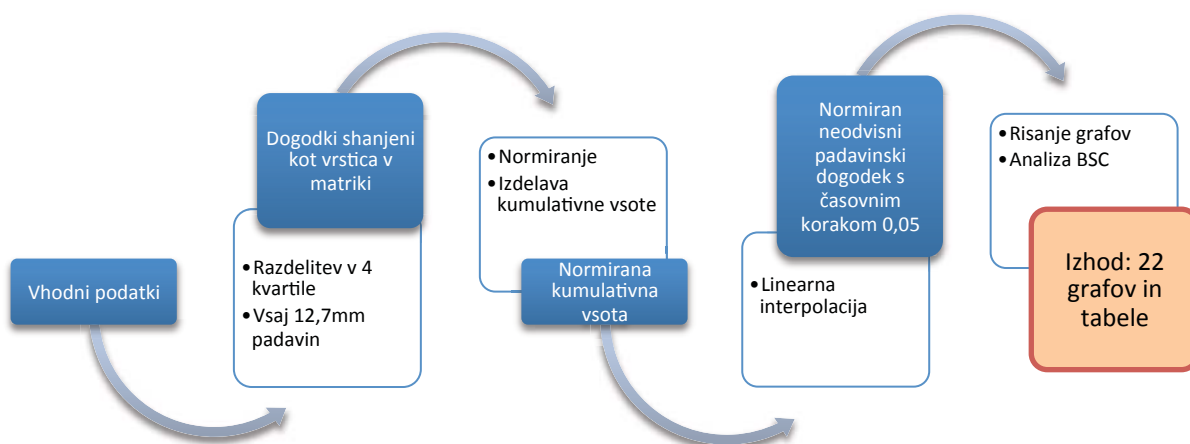
Izhodna datoteka, ki jo program izdela je sestavljena tako, da združi tiste zapise ombrografa, ki predstavljajo določen neodvisni padavinski dogodek, izloči pa tiste podatke, ki predstavljajo napako v delovanju ali pa sneg (po navadi so označene z vrednostjo -8,8 ali -9,9). Ločitev neodvisnih padavinskih dogodkov je narejena z vrstico nekaj deset znakov »#«. Pred ločitvijo pa je še vrstica, kjer se izpiše leto, število 5-minutnih intervalov v neodvisnem padavinskem dogodku, skupna količina padlih padavin in maksimalna izmerjena vrednost.

3.2 Algoritem za izdelavo analiz časovne porazdelitve padavin (CPP.R)

Algoritem za izdelavo analiz časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka smo napisali v odprtokodnem programskem jeziku R, ki je v osnovi namenjen statistični obdelavi podatkov. Program in programski jezik R sta bila izdelana leta 1993 in sicer sta ga izdelala Ross Ihaka in Robert Gentleman na Univerzi v Aucklandu na Novi Zelandiji (CRAN, 2015). Ime programskega jezika izhaja iz prve črke njunih imen. Programski jezik je zelo priljubljen v statistiki in tudi hidrologiji, saj vsebuje mnogo razširitev, s katerimi je možno rešiti standardne statistične probleme. Razvit je bil prav z namenom, da se omogoči uporaba teh orodij v širši javnosti. Uporabnost R-a pa se stalno povečuje, saj uporabniki izdelujejo svoje pakete, ki omogočajo specializirane analize, dodatne možnosti grafik itd. (CRAN, 2015). Za programiranje v R-u lahko uporabimo tudi interaktivno razvijalsko okolje (IDE – ang. *Interactive development environment*), kot je na primer RStudio Desktop (RStudio, 2015). RStudio je brezplačni odprtokodni program in je pravzaprav grafični vmesnik programa R. Dobiti ga je možno za vse bolj razširjene operacijske sisteme, kot so Microsoft Windows, Mac OS X in Linux. Program je bil izdelan leta 2011 in je od takrat naprej redno posodobljen.

3.2.1 Delovanje algoritma CPP.R

Algoritem CPP.R, ki smo ga napisali, deluje na podlagi vhodnih podatkov, ki jih pridobimo preko programa NPD.exe, opisanega v poglavju 3.1. Shema delovanja je predstavljena na sliki 16. Izvorna koda algoritma se nahaja v prilogi B.2.

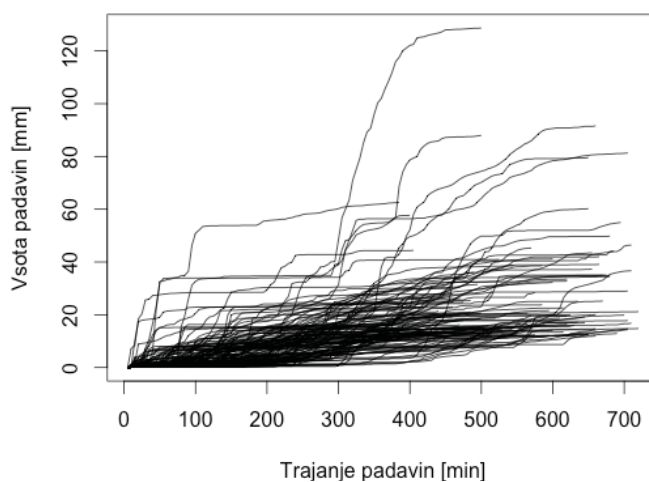


Slika 16: Shema delovanja algoritma CPP.R

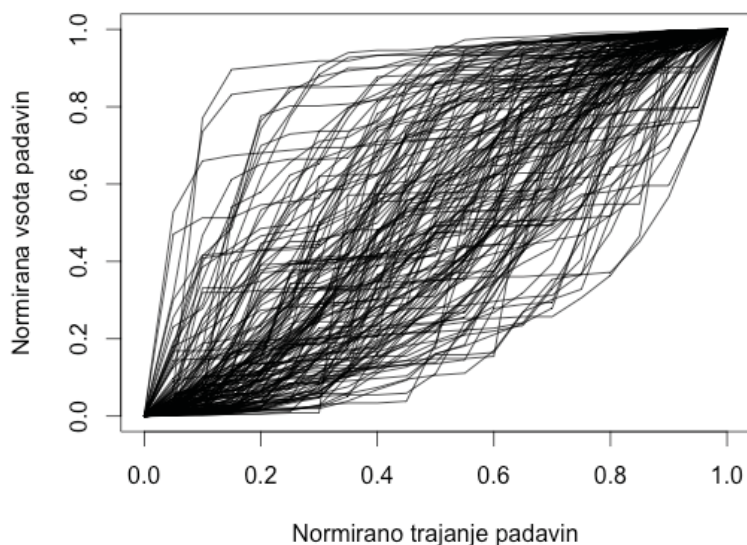
Algoritem prebere posamezne neodvisne dogodke, ter preveri ali je v dogodku padlo vsaj 12,7 milimetra padavin. Nato te dogodke razdeli v štiri kvartile glede na trajanje, in sicer so v prvem kvartilu dogodki, ki trajajo od 3 do 6 ur, v drugem kvartilu so dogodki, ki trajajo od 6 do 12 ur, v tretjem kvartilu so dogodki, ki trajajo od 12 do 24 ur in v četrtem kvartilu so dogodki, ki trajajo več kot 24 ur.

Po končani razmestitvi v kvartile se vsak dogodek shrani v matriko kot vrstica 5-minutnih zapisov ombrografa. Število vrstic torej predstavlja število neodvisnih dogodkov. Nato algoritem iz teh zapisov naredi vsotno krivuljo (slika 17) in jo normira po času in količini padavin. Zaradi hitrejšega delovanja se vse dogodke shrani s časovnim korakom 0,05. Ker so dogodki različno dolgi, se za določitev vmesnih stopenj uporabi linearna interpolacija. Tako dobimo vsak neodvisni padavinski dogodek, ki se začne z 0 in konča z 1, dolžina niza pa šteje 20 vrednosti. Primer je na sliki 18.

2. kvartil



Slika 17: Primer vsotnih krivulj padavinskih dogodkov



Slika 18: Primer normiranih vsotnih krivulj padavinskih dogodkov

Normirane padavinske dogodke se nato uporabi za izdelavo Huffovih krivulj. Vendar še prej potrebujemo verjetnosti oziroma percentilne krivulje. Te dobimo po enačbi (Bonta 2004; Dolšak, 2012):

$$P = \frac{100 \cdot i}{(n+1)}, \quad (11)$$

kjer je:

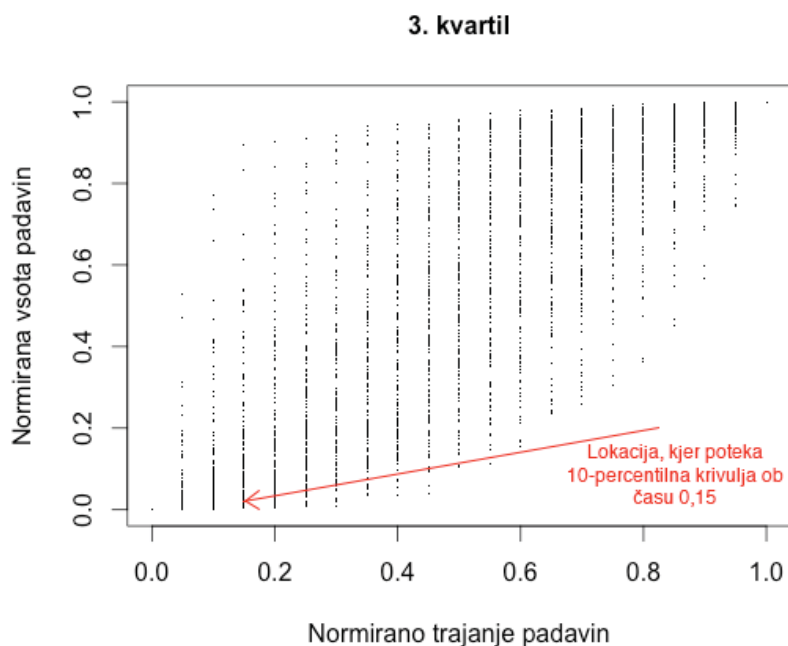
- P percentil,
- i točka ki predstavlja mejo percentila,
- n skupno število točk.

Iz podatkov nato določimo točke, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo določen odstotek časa. Izbrani časovni korak je enak 0,05.

Za primer vzemimo 10-percentilno Huffovo krivuljo, ki se za padavinsko postajo Bovec nahaja v 3. kvartilu (slika 19). V tem kvartilu je 153 neodvisnih padavinskih dogodkov. Vrednost, ki jo bo imela 10-percentilna Huffova krivulja ob normiranem času 0,15 leži torej med točkama 15 in 16. Točke so definirane tako, da je točka 1 tista točka, ki ima v določenem času najmanjšo vrednost, točka 153 pa največjo vrednost.

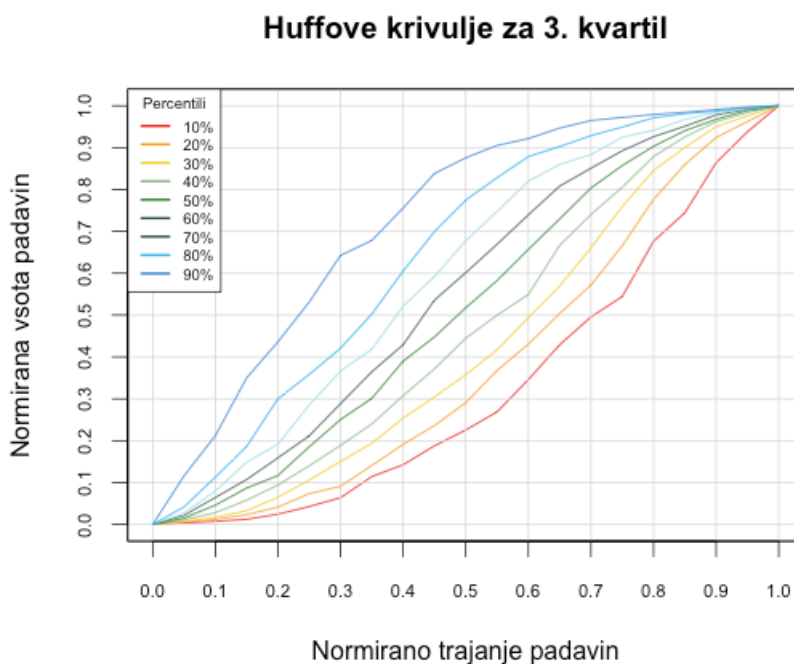
$$P = \frac{100 \cdot i}{(n+1)} \rightarrow i = \frac{P \cdot (n+1)}{100} = \frac{10 \cdot (153+1)}{100} = 15,4 \quad (12)$$

Z linearno interpolacijo med točkama 15 in 16 dobimo potem vrednost, ki jo ima 10-percentilna krivulja ob normiranem času 0,15. Ta vrednost v tem primeru znaša 0,0059.



Slika 19: Točka, kjer poteka 10-percentilna krivulja ob času 0,15.

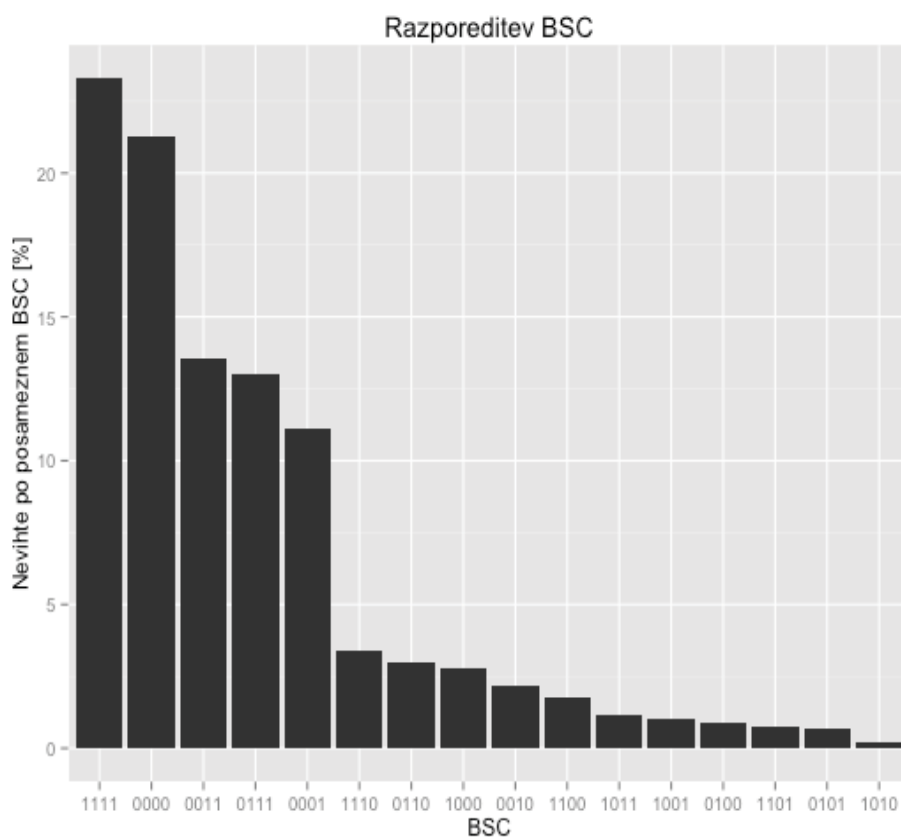
Izdelane Huffove krivulje so predstavljene na sliki 20. Percentilne krivulje dobimo tako, da izračunamo za vsak percentil in vsak čas vrednost, ki jo zavzame krivulja in nato vrednosti povežemo. Kot je razvidno iz grafa (slika 20), ima 10-percentilna krivulja ob času 0,15 res vrednost okoli 0,006.



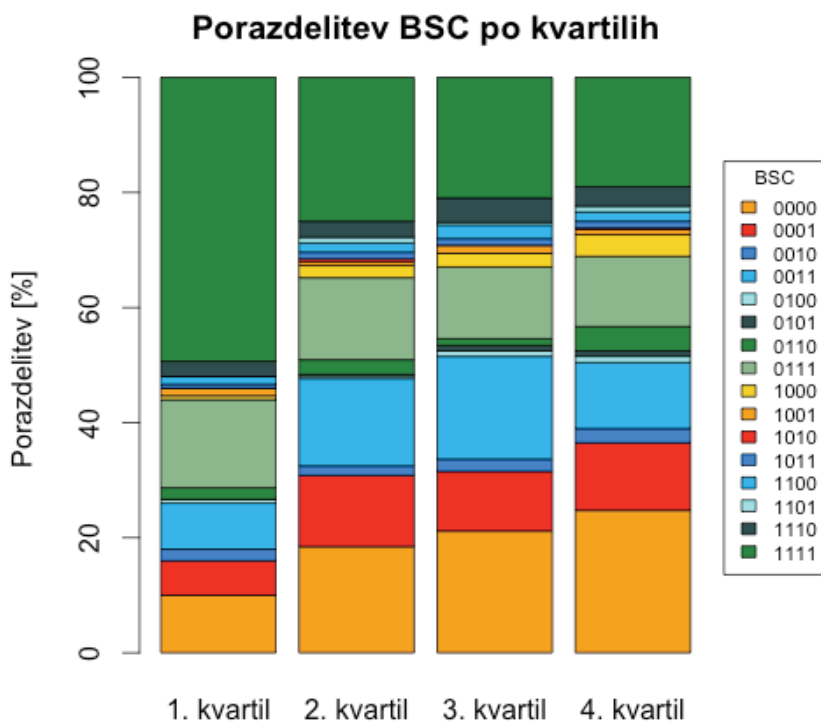
Slika 20: Izdelane Huffove krivulje za padavinsko postajo Bovec

Zaradi preverjanja in analize rezultatov algoritma CPP.R poleg tabelarnih izpisov izdelava tudi grafične izpise: štiri grafe vsotnih krivulj (za vsak kvartil posebej), štiri grafe normiranega časa in brezdimenzijske količine padavin (za vsak kvartil posebej) in štiri grafe točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (za vsak kvartil posebej). Vse tabele in vmesni rezultati pa so dostopni pod zavihkom "Environment".

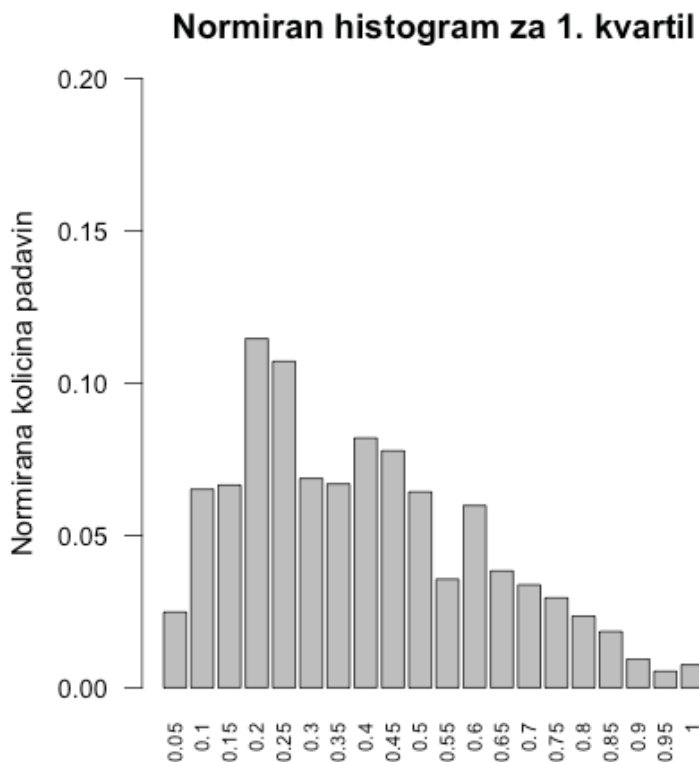
Dodatno algoritem CPP.R izdelava tudi analizo BSC in sicer vsakemu padavinskemu dogodku dodeli vrednost BSC kode na način, ki je opisan v poglavju 2.3. Algoritem izdelava histogram padavinskih dogodkov z določeno vrednostjo BSC (slika 21). Poleg tega pa grafično prikaže tudi razmerje BSC vrednosti v vseh štirih kvartilih (slika 22). Algoritem na koncu izdelava še sintetične histograme padavin iz 50-percentilnih Huffovih krivulj, in sicer po enega na vsak kvartil (slika 23).



Slika 21: Graf razporeditve BSC za vse padavinske dogodke ene postaje



Slika 22: Graf porazdelitve BSC po kvartilih



Slika 23: Normiran sintetični histogram za 1. kvartil za Ljubljano, ki ga izdelata algoritem

3.2.2 Primer izdelave sintetičnega histograma s pomočjo rezultatov programa CPP.R

Za primer izdelave sintetičnega histograma padavin z določeno povratno dobo smo izbrali meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad. S pomočjo algoritma CPP.R smo izdelali sintetične normirane histograme za vse štiri kvartile. Za lažjo izdelavo smo uporabili preglednice namesto grafov.

Najprej se odločimo za kakšno povratno dobo in dolžino trajanja padavin želimo izdelati sintetične histograme. Recimo, da izberemo dogodek, ki traja 4 ure in ima povratno dobo 10 let. Iz ITP krivulj (ARSO, 2015) razberemo, da je količina padavin za dogodek, ki traja 4 ure (240 minut) s povratno dobo 10 let enaka 64 milimetrov (preglednica 2).

Ker smo izbrali padavinski dogodek, ki traja 4 ure, moramo izbrati sintetični normirani histogram za prvi kvartil (slika 23). Tabelarni zapis vrednosti tega histograma je predstavljen v preglednici 3. Vse kar moramo narediti, da iz normiranega sintetičnega histograma dobimo histogram padavin z enotami, je to, da množimo normiran čas s celotnim trajanjem (240 minut) in da normirano količino padavin množimo s celotno količino padavin, ki smo jo razbrali iz preglednice 2 (64 milimetrov). Končni rezultat v tabelarni obliki je predstavljen v preglednici 4, na sliki 25 pa je prikazan grafični rezultat sintetičnega normiranega histograma.

Preglednica 2: Povratne dobe za ekstremne padavine za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad (ARSO, 2015)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA						
	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let
5 min	9	12	14	16	18	20	23 mm
10 min	13	18	21	24	27	30	34 mm
15 min	16	22	26	32	35	39	44 mm
20 min	19	25	30	36	40	44	49 mm
30 min	22	30	36	43	48	53	60 mm
45 min	25	35	41	49	55	61	69 mm
60 min	27	38	44	53	59	66	74 mm
90 min	31	43	51	60	67	75	84 mm
120 min	34	47	55	65	73	81	91 mm
180 min	38	51	60	71	79	87	98 mm
240 min	42	55	64	75	84	92	103 mm
300 min	45	59	68	79	88	96	107 mm
360 min	48	61	70	82	90	99	110 mm
540 min	54	68	78	89	98	106	118 mm
720 min	59	74	84	97	106	115	127 mm
900 min	64	80	90	103	113	123	135 mm
1080 min	68	85	97	111	122	133	147 mm
1440 min	76	95	108	125	137	149	164 mm

Preglednica 3: Tabelarni zapis normiranega sintetičnega histograma za 1. kvartil, ki ga dobimo z algoritmom CPP.R

Normiran čas	Normirana količina padavin
0,05	0,025
0,1	0,065
0,15	0,067
0,2	0,115
0,25	0,107
0,3	0,069
0,35	0,067
0,4	0,082
0,45	0,078
0,5	0,064
0,55	0,036
0,6	0,060
0,65	0,038
0,7	0,034
0,75	0,030
0,8	0,024
0,85	0,018
0,9	0,009
0,95	0,005
1	0,008

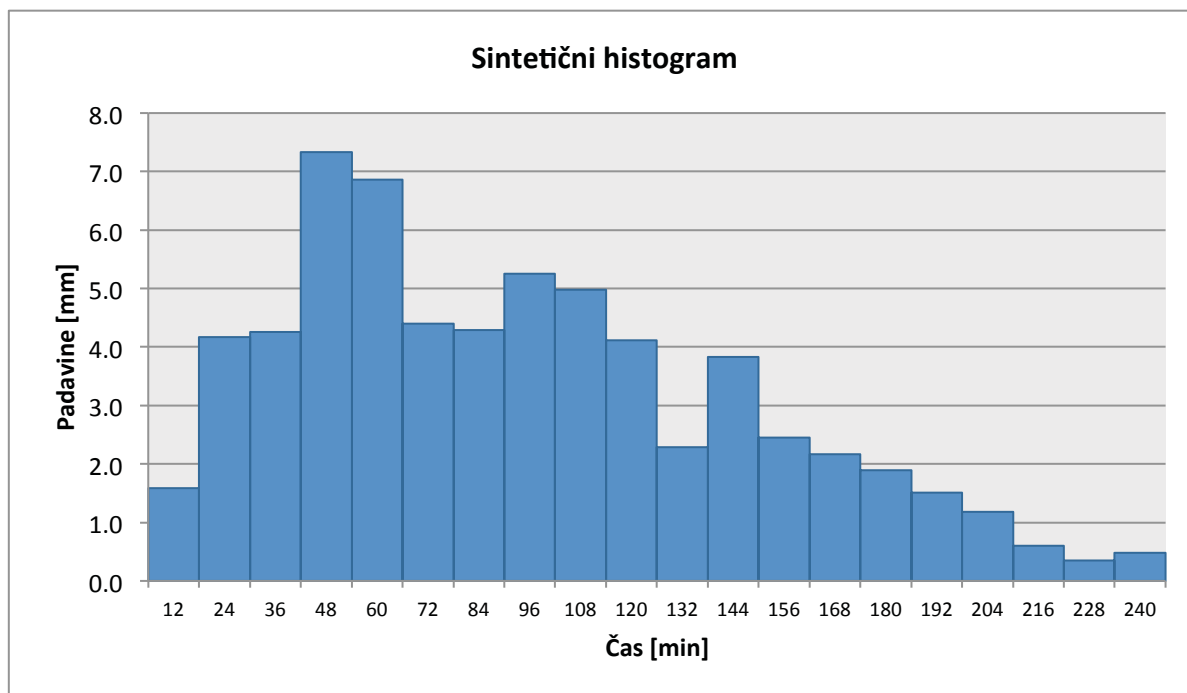
Preglednica 4: Tabelarni zapis sintetičnega histograma padavin, izdelanega s pomočjo normiranega sintetičnega histograma in ITP krivulj

Čas [min]	Padavine [mm]
12	1,6
24	4,2
36	4,3
48	7,3
60	6,9
72	4,4
84	4,3
96	5,2
108	5,0
120	4,1
132	2,3
144	3,8
156	2,5
168	2,2

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 4

180	1,9
192	1,5
204	1,2
216	0,6
228	0,3
240	0,5



Slika 24: Sintetični histogram, izdelan s pomočjo normiranega sintetičnega histograma in ITP krivulj

3.2.3 Navodila za uporabo algoritma CPP.R

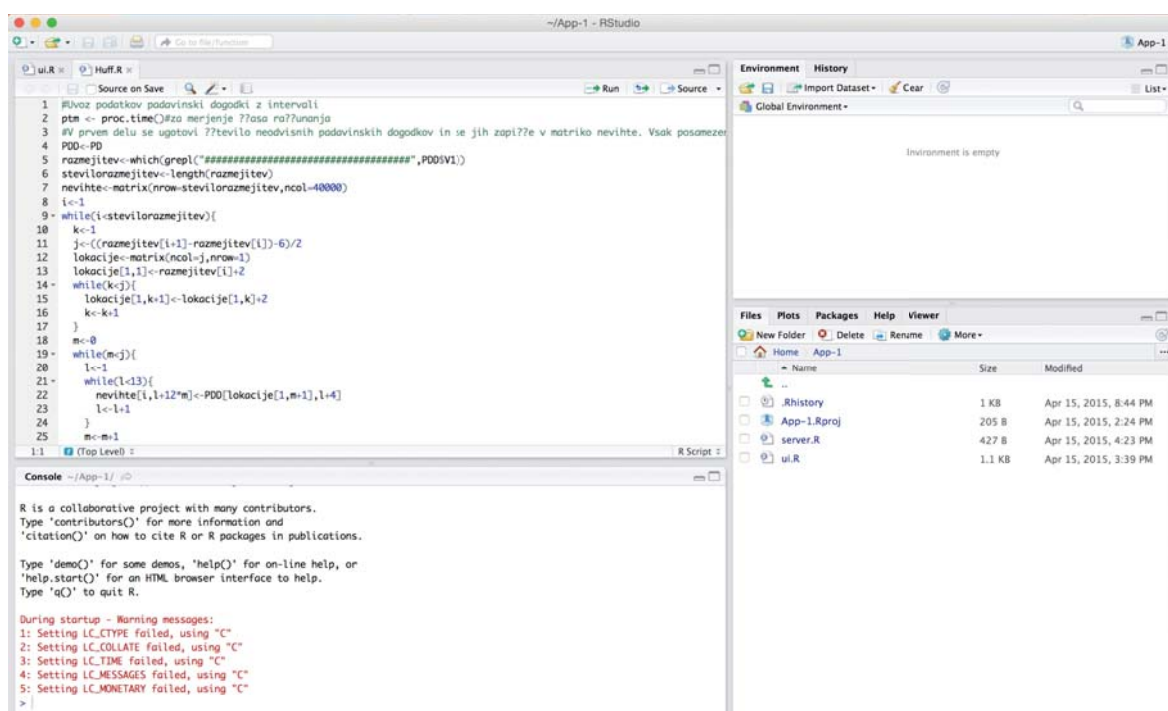
Algoritem je napisan v programskem jeziku R preko vmesnika RStudio Desktop, zato so tudi navodila narejena za ta program (slika 24). Za nemoteno delovanje si naložite najnovjšo verzijo programa. Algoritem kot decimalno upošteva piko. Spodnja navodila so narejena za angleško verzijo programa, saj slovenska še ni na voljo.

Navodila:

- 1) V programskem vmesniku RStudio odpremo datoteko z algoritmom CPP.R.
- 2) Odpremo datoteko z neodvisnimi padavinskimi dogodki, ki smo jo izdelali s programom NPD.exe (poglavje 3.1) in skopiramo vsebino v MS Excel ter jo shranimo kot tekstovno datoteko PD.txt (izberemo možnost Text Tab Delimited).
- 3) V program RStudio uvozimo datoteko PD.txt in izberemo "Heading: NO", "Decimal = Period", "Quote = Double quote", "na.strings= NA", "Strings as factors: check". Če

program opozori na napako: "Error: PD.txt not found", preverite ali katerakoli mapa vsebuje šumnike.

- 4) Nato poženemo program s klikom na gumb »Run«. Algoritem potrebuje za obdelavo podatkov nekaj minut, odvisno od procesorske moči. Algoritem ima skupaj okoli 450 vrstic kode s komentarji (priloga B.2). Del kode, ki se trenutno procesira, je viden v konzoli.
- 5) Algoritem konča z delom takrat, ko se v konzoli izpiše čas procesiranja in ko je izrisanih vseh 22 grafov.



Slika 25: Programski vmesnik Rstudio s prikazom delovanja algoritma CPP.R

4 REZULTATI

4.1 Podatki

S pomočjo izdelanega programa NPD.exe in algoritma CPP.R smo analizirali padavinske podatke 30-ih postaj ARSO, kjer imajo postavljene ombrografe za meritve 5-minutnih padavin (ARSO, 2015). Za vsako postajo smo izdelali Huffove krivulje, ki se v tabelarični obliki nahajajo v prilogi A. Pogoji pri izbiri postaj je bil vsaj 10-letni niz meritev. Tako smo skupaj analizirali podatke s tridesetih padavinskih postaj oz. 1054 let meritev. V preglednici 5 so prikazane analizirane postaje z osnovnimi lastnostmi in obdobjem meritev.

Preglednica 5: Seznam obravnavanih postaj

	Kratika	Nadmorska višina [m]	Št. let meritev	Obdobje meritev
Bilje	Bi	55	23	1991-2014
Bohinjska Bistrica	BB	507	12	2002-2014
Bovec	Bo	452	44	1970-2014
Brnik	Br	364	44	1970-2014
Celje	Ce	244	44	1970-2014
Črnomelj	Čr	157	44	1970-2014
Davča	Da	960	15	1999-2014
Godnje	Go	320	22	1992-2014
Jeruzalem	Je	345	38	1976-2014
Knežke Ravne	Kn	752	39	1975-2014
Lisca	Li	943	30	1984-2014
Ljubljana	Lj	299	66	1948-2014
Log pod Mangartom	LM	650	15	1999-2014
Maribor	Mb	275	64	1950-2014
Maribor Letališče	ML	264	15	1999-2014
Murska Sobota	MS	188	44	1970-2014
Nova Gorica	NG	112	44	1970-2014
Novo mesto	NM	220	44	1970-2014
Otlica	Ot	840	15	1999-2014
Podkraj	Pk	799	30	1984-2014
Portorož	Por	2	22	1992-2014
Postojna	Po	533	44	1970-2014
Radenci	Ra	203	38	1976-2014
Rateče	Rat	864	39	1975-2014
Šmarata	Šm	599	39	1975-2014
Sevno	Se	550	39	1975-2014
Slovenske Konjice	SK	330	39	1975-2014

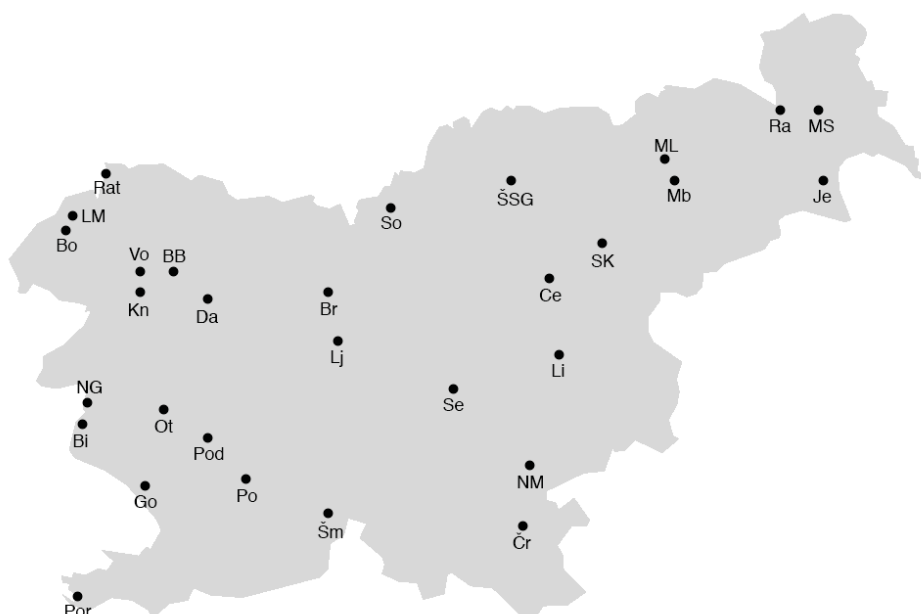
se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 5

Šmartno pri Slov. Gr.	ŠSG	445	44	1970-2014
Solčava	So	658	24	1990-2014
Vogel	Vo	1535	32	1982-2014

Najvišje ležeča postaja, ki smo jo analizirali, je postaja Vogel, ki leži na 1535 metrih nadmorske višine. Najnižje ležeča postaja pa je Portorož – letališče, ki leži na 2 metrih nadmorske višine. Postaja z najdaljšim nizom meritev je postaja Ljubljana-Bežigrad, kjer imamo padavinske podatke že od leta 1948. Najkrajši niz meritev pa ima postaja Bohinjska Bistrica, in sicer od leta 2002. Najbolj severna obravnavana postaja je v Radencih, najbolj južna v Portorožu, najbolj vzhodna v Jeruzalemu in najbolj zahodna v Bovcu (slika 26).

Obravnavane postaje



Slika 26: Lokacije obravnavanih postaj ARSO

4.2 Opis meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad

Meteorološke meritve v Ljubljani za Bežigradom so se začele že leta 1947. Takrat so novoustanovljenemu Hidrometeorološkemu zavodu dodelili park ob Celjski ulici za opazovalni prostor meteorološke postaje in tam je še danes (Nadbah, 2008). Danes je postaja del Agencije Republike Slovenije za okolje. Meteorološka postaja se nahaja za Bežigradom, nedaleč od glavne železniške in avtobusne postaje Ljubljana (slika 27). Meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad je osrednji slovenski meteorološki observatorij, na katerem merijo in opazujejo: zračni pritisk, temperaturo in vlažnost zraka na 2 m, temperaturo zraka 5 cm nad tlemi, temperaturo tal na različnih globinah (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100 cm), smer in hitrost vetra, stanje tal, vidnost, trajanje sončnega

obsevanja, oblačnost, padavine, snežno odejo, meteorološke pojave (npr. meglo, žled, poledico, dež, sneženje, nevihte ...), globalno in difuzno sončno obsevanje, UVB-sevanje, eritemalno uteženo UV-sevanje in radioaktivnost (Nadbah, 2008).



Slika 27: Lokacija meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad (Geopedia, 2015)

Opazovalni prostor postaje je velikosti 50 metrov x 70 metrov in leži na nadmorski višini 299 metrov. Ker se nahaja v središču mesta, so podatki z meteorološke postaje merodajni za veliko prebivalcev Slovenije. Je pomembna tudi za razumevanje urbanih vplivov na vreme. Pri preučevanju podnebja nekega kraja in podnebne spremenljivosti ali sprememb v daljšem obdobju je pomembno, da so meteorološke spremenljivke merjene in opazovane na istem prostoru, katerega okolica se ne spreminja bistveno, z enakimi instrumenti in na enak način. Sprememba katerega koli od naštetih dejavnikov vpliva na merjene ali opazovane spremenljivke, meteorološki podatki pa zato niso več homogeni (Nadbath, 2008).



Slika 28: Meteorološki opazovalni prostor Ljubljana-Bežigrad slikan proti zahodu (Nadbath, 2008)

4.3 Rezultati analiz padavin za 30 padavinskih postaj v Sloveniji

Za vse obravnavane postaje smo s pomočjo programa NPD.exe in algoritma CPP.R izdelali Huffove krivulje, sintetične normirane histograme in naredili analizo BSC. Preglednice, iz katerih so narejene Huffove krivulje, so za vsako postajo posebej v prilogi A.

V preglednici 6 so prikazani prevladujoči tipi BSC vrednosti po posameznih postajah in odstotek padavinskih dogodkov, ki imajo tak tip BSC.

Preglednica 6: Prevladujoči tipi BSC po posameznih padavinskih postajah

Padavinska postaja	Prevladujoč tip BSC	Odstotek dogodkov s prevladujočim tipom BSC
Bilje	0000	23 %
Bohinjska Bistrica	0000	23 %
Bovec	0000	20 %
Brnik	1111	32 %
Celje	1111	27 %
Črnomelj	1111	27 %
Davča	0000	21 %
Godnje	0000	24 %
Jeruzalem	1111	32 %
Knežke Ravne	0000	23 %
Lisca	1111	27 %
Ljubljana	1111	26 %
Log pod Mangartom	0000	27 %
Maribor	1111	31 %
Maribor Letališče	1111	29 %
Murska Sobota	1111	35 %
Nova Gorica	0000	25 %
Novo mesto	1111	28 %
Otlica	0000	28 %
Podkraj	0000	27 %
Portorož	0000	24 %
Postojna	1111	23 %
Radenci	1111	33 %
Rateče	0000	25 %
Šmarata	1111	25 %
Sevno	1111	30 %
Slovenske Konjice	1111	30 %
Šmartno pri Slov. Gr.	1111	30 %
Solčava	1111	26 %
Vogel	0000	25 %

V Preglednici 7 so predstavljeni rezultati analize BSC za 30 padavinskih postaj za vse štiri kvartile. Izpostavljeni so samo prevladujoči tipi BSC za vsak kvartil posebej.

Preglednica 7: Prevladujoči tipi BSC za posamezne padavinske postaje po kvartilih

Padavinska postaja	Prevladujoči tip BSC v 1. kvartilu	Prevladujoči tip BSC v 2. kvartilu	Prevladujoči tip BSC v 3. kvartilu	Prevladujoči tip BSC v 4. kvartilu
Bilje	1111	1111	1010	0000
Bohinjska Bistrica	1111	1111	0000	0000
Bovec	1111	1111	0000	0000
Brnik	1111	1111	1111	1111
Celje	1111	1111	1111	1111
Črnomelj	1111	1111	1111	1111
Davča	1111	1111	0000	0000
Godnje	1111	1111	0000	0000
Jeruzalem	1111	1111	1111	1111
Knežke Ravne	1111	1111	0000	0000
Lisca	1111	1111	1111	0000
Ljubljana	1111	1111	1111	0000
Log pod Mangartom	1111	1111	0000	0000
Maribor	1111	1111	1111	1111
Maribor Letališče	1111	1111	1111	1111
Murska Sobota	1111	1111	1111	1111
Nova Gorica	1111	1111	1111	1111
Novo mesto	1111	1111	1111	1111
Otlica	1111	1111	0000	0000
Podkraj	1111	0000	0000	0000
Portorož	1111	1111	0000	0000
Postojna	1111	1111	1111	0000
Radenci	1111	1111	1111	1111
Rateče	1111	1111	0000	0000
Šmarata	1111	1111	1111	0000
Sevno	1111	1111	1111	1111
Slovenske Konjice	1111	1111	1111	1111
Šmartno pri Slov. Gr.	1111	1111	1111	1111
Solčava	1111	1111	1111	1111
Vogel	1111	1111	0000	0000

Preglednica 8: Normirani časi nastopa konice intenzitete padavin po posameznih kvartilih in normirana količina padavin ob konici intenzitete za prva dva kvartila, za vseh 30 obravnavanih padavinskih postaj

Padavinska postaja	Čas nastopa konice (1. kv.)	Količina padavin ob konici (1. kv.)	Čas nastopa konice (2. kv.)	Količina padavin ob konici (2. kv.)	Čas nastopa konice (3. kv.)	Čas nastopa konice (4. kv.)
Bilje	0,30	0,17	0,50	0,12	0,50	0,55
Bohinjska Bistrica	0,20	0,21	0,20	0,10	0,40	0,55
Bovec	0,40	0,16	0,40	0,10	0,40	0,50
Brnik	0,35	0,17	0,15	0,09	0,35	0,45
Celje	0,20	0,15	0,30	0,10	0,45	0,45
Črnomelj	0,20	0,15	0,30	0,10	0,45	0,45
Davča	0,25	0,11	0,60	0,09	0,65	0,5
Godnje	0,45	0,12	0,40	0,08	0,65	0,55
Jeruzalem	0,25	0,18	0,35	0,09	0,60	0,60
Knežke Ravne	0,25	0,10	0,40	0,10	0,35	0,50
Lisca	0,25	0,12	0,30	0,10	0,35	0,45
Ljubljana	0,20	0,12	0,50	0,09	0,40	0,50
Log pod Mangartom	0,20	0,10	0,60	0,10	0,60	0,40
Maribor	0,25	0,10	0,40	0,09	0,55	0,45
Maribor Letališče	0,25	0,17	0,45	0,11	0,45	0,35
Murska Sobota	0,25	0,13	0,20	0,09	0,50	0,50
Nova Gorica	0,15	0,16	0,40	0,11	0,60	0,50
Novo mesto	0,20	0,14	0,40	0,08	0,50	0,55
Otlica	0,50	0,12	0,55	0,07	0,50	0,35
Podkraj	0,45	0,16	0,50	0,11	0,50	0,55
Portorož	0,20	0,13	0,60	0,08	0,60	0,50
Postojna	0,40	0,12	0,40	0,08	0,50	0,45
Radenci	0,30	0,18	0,25	0,13	0,20	0,40
Rateče	0,25	0,11	0,50	0,08	0,50	0,55
Šmarata	0,25	0,15	0,25	0,09	0,50	0,30
Sevno	0,15	0,13	0,30	0,09	0,50	0,45
Slovenske Konjice	0,15	0,14	0,30	0,11	0,35	0,25
Šmartno pri Slov. Gr.	0,25	0,13	0,45	0,10	0,60	0,35
Solčava	0,30	0,13	0,55	0,09	0,65	0,35
Vogel	0,35	0,09	0,3	0,08	0,55	0,55

4.4 Rezultati analiz padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad

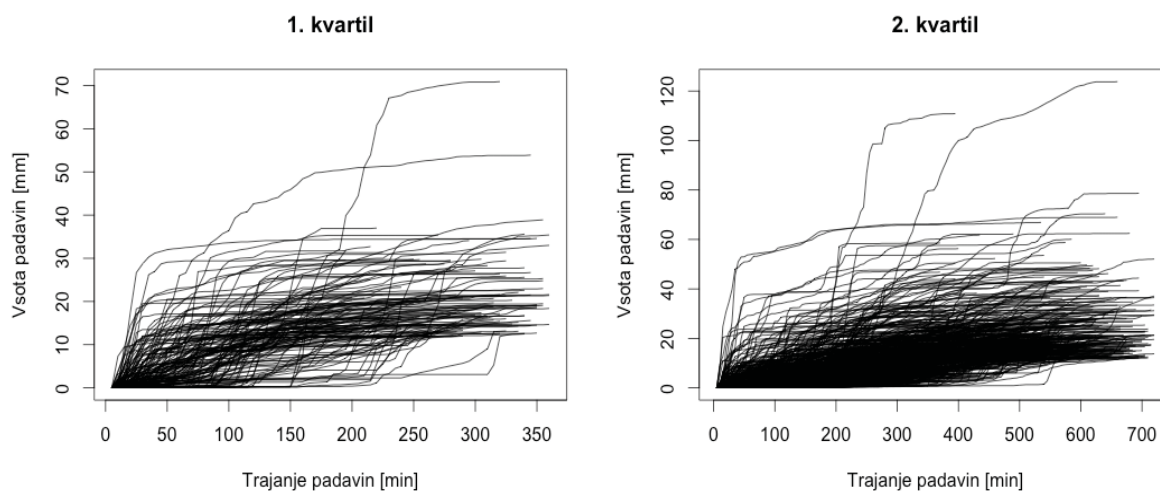
V nadaljevanju je predstavljen primer vseh rezultatov za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad, ki jih dobimo s pomočjo programa NPD.exe in algoritma CPP.R.

V program NPD.exe smo vnesli 5-minutne padavinske podatke z ombrografa. Za definiranje neodvisnega padavinskega dogodka smo vzeli iste kriterije, kot jih je vzel Huff (1967) in sicer je moral dogodek trajati vsaj 3 ure, pred in po njem je moralo biti vsaj 6 ur, ko padavin ni bilo in skupna količina padavin enem dogodku je morala preseči 12,7 milimetra (0,5 palca).

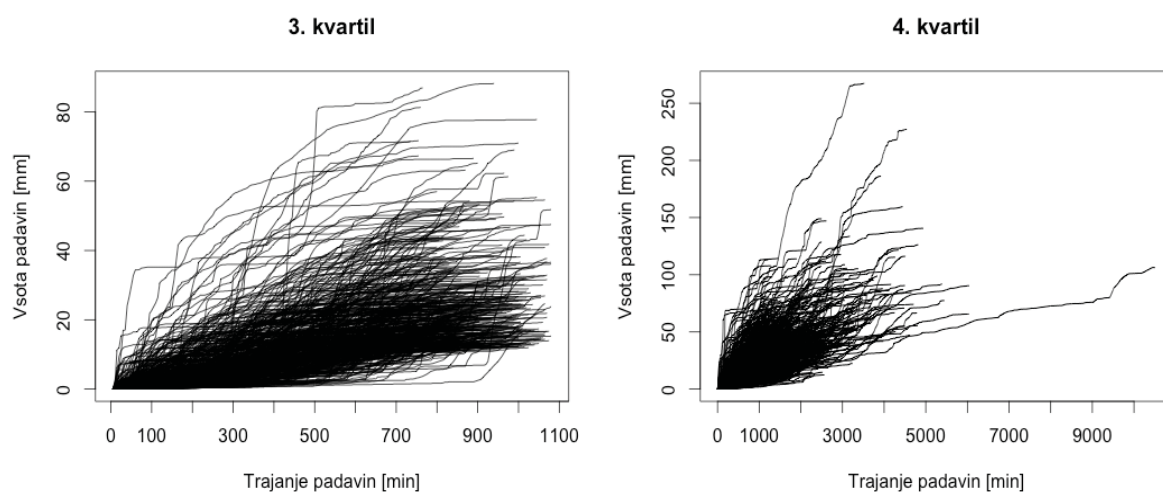
V naslednjem koraku smo izhodno datoteko uvozili v programski vmesnik RStudio in pognali algoritem CPP.R. Vsi prikazani izračuni so narejeni za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in temeljijo na obdobju meritev od leta 1948 do 2014.

4.4.1 Razdelitev dogodkov v kvartile in prikaz vsotnih krivulj

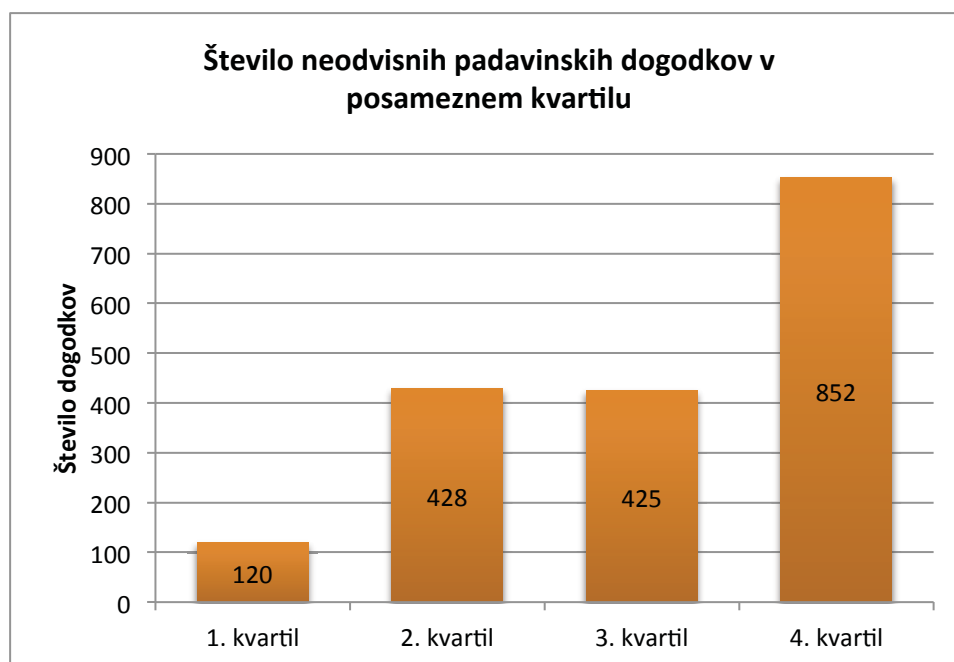
Za definiranje kvartilov smo uporabili enake pogoje kot Huff (1967) in sicer so se v prvi kvartil uvrstili dogodki s trajanjem od 3 do 6 ur, v drugem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 6 do 12 ur, v tretjem kvartilu so bili dogodki s trajanjem od 12 do 24 ur in v četrtem kvartilu so bili dogodki s trajanjem 24 ur ali več. Na slikah 29 in 30 so zrisani vsi dogodki, ki so ustrezali tem pogojem. Takih dogodkov je bilo v Ljubljani 1925, in sicer jih je bilo 120 v prvem kvartilu, 428 v drugem kvartilu, 425 v tretjem kvartilu in 852 v četrtem kvartilu (slika 31).



Slika 29: Grafa vsotnih krivulj za Ljubljano-Bežigrad za prvi in drugi kvartil, ki ju izdelata algoritem CPP.R



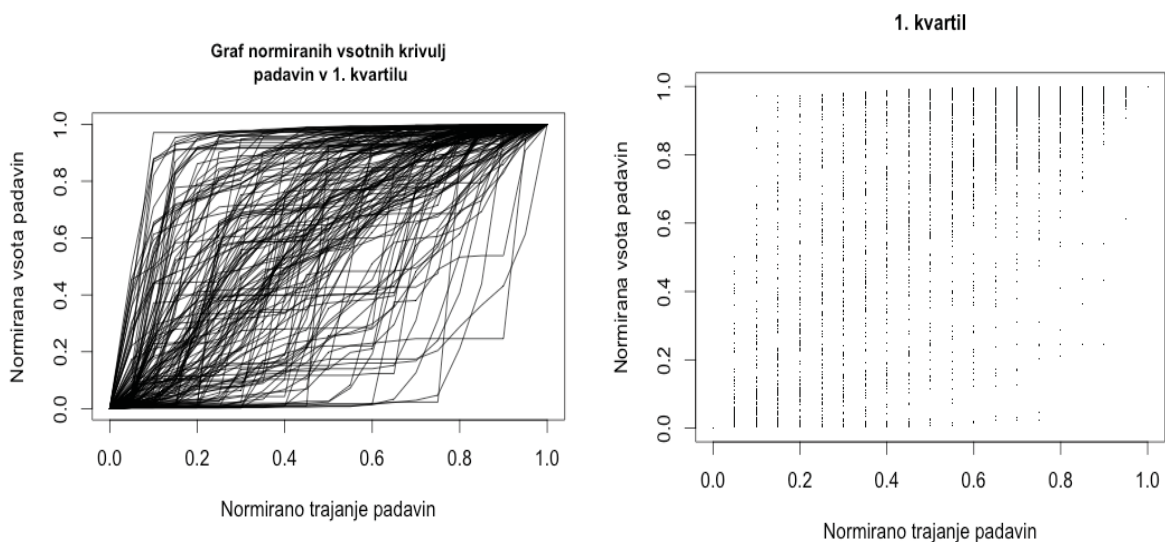
Slika 30: Grafa vsotnih krivulj za Ljubljano-Bežigrad za tretji in četrti kvartil, ki ju izdelata algoritem CPP.R



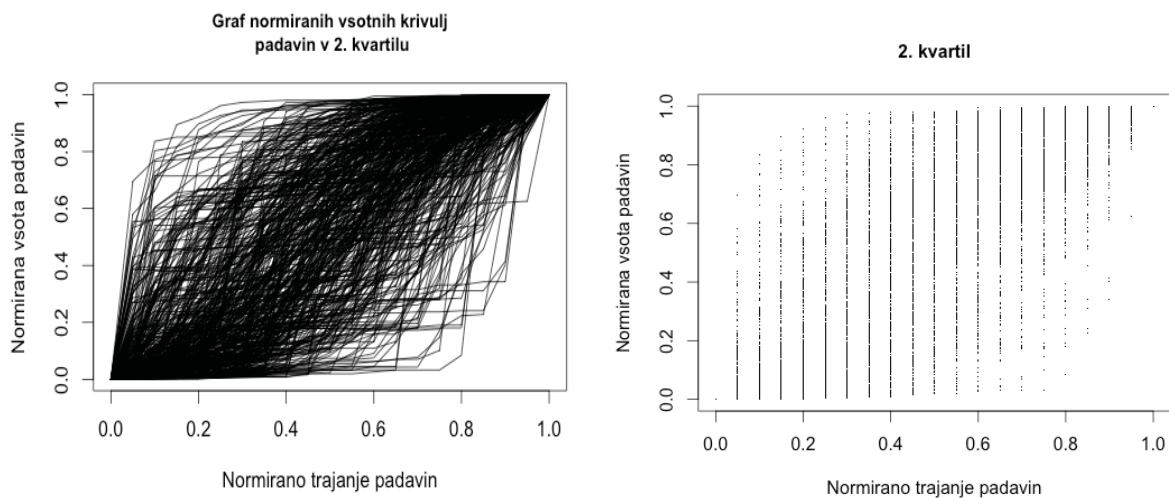
Slika 31: Število neodvisnih padavinskih dogodkov v posameznem kvartilu za postajo Ljubljana-Bežigrad

4.4.2 Grafi normiranih vsotnih krivulj in grafi točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa

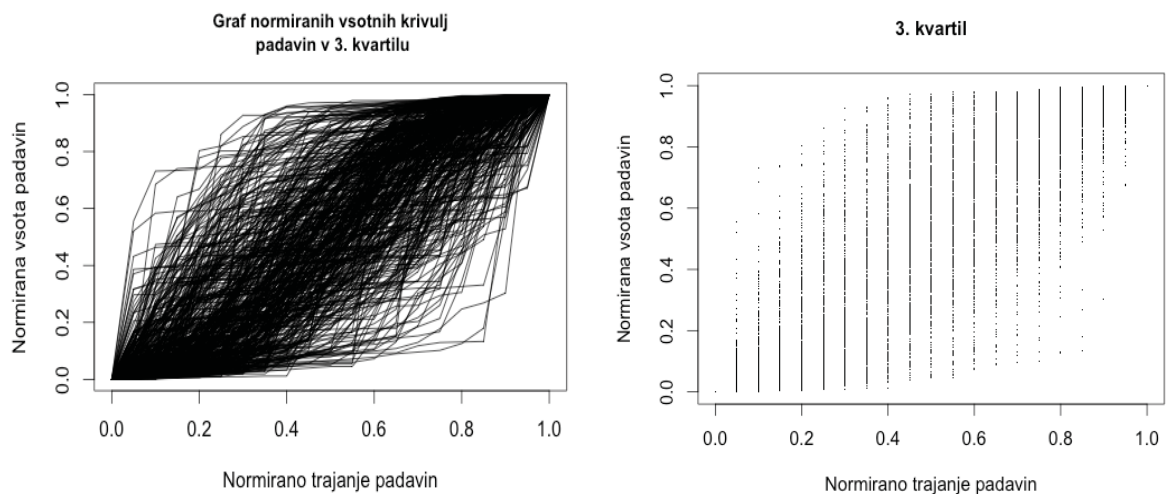
Na slikah 32, 33, 34 in 35 so prikazani grafi normiranih vsotnih krivulj padavin ter grafi točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa za vsak kvartil posebej. Te grafe algoritem izdelava zato, da se lahko tudi vizualno preveri vmesne korake pri izdelavi Huffovih krivulj. Poleg grafov algoritem naredi tudi vrsto vmesnih preglednic, ki so dostopne v zavihku "Environment" v programu RStudio.



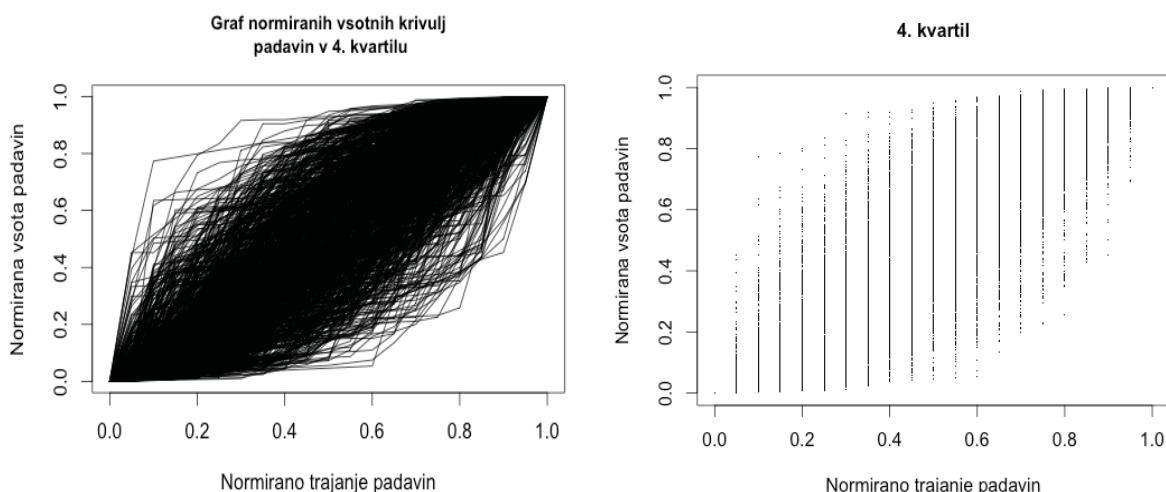
Slika 32: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 1. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdelava algoritem CPP.R



Slika 33: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 2. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdelata algoritem CPP.R



Slika 34: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 3. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdelata algoritem CPP.R



Slika 35: Grafa normiranih vsotnih krivulj padavin (levo) in graf točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05 (desno), za 4. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki ju izdelata algoritem CPP.R

Iz grafov normiranih vsotnih krivulj na slikah 32, 33, 34 in 35 (levo) lahko vidimo, da je število neodvisnih padavinskih dogodkov res najmanjše v prvem kvartilu (slika 32) in največje v četrtem kvartilu (slika 35). Iz slike 32 lahko namreč brez težav določimo posamezen padavinski dogodek, iz slike 35 pa je to praktično nemogoče. Če bi na primer Huffove krivulje izdelovali ročno s štetjem pik iz grafa točk, kjer brezdimenzijske krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05, bi to lahko pogojno naredili le za prvi kvartil, kjer so točke med seboj še dovolj narazen. V četrtem kvartilu pa praktično ni mogoče razlikovati med posameznimi točkami na grafu (slika 35 – levo). Prav zaradi tega je bolj smiselno uporabiti Huffove krivulje, ki so sestavljene samo iz 9 krivulj, ki prikazujejo posamezne percentile.

Prav tako lahko iz slik 32, 33, 34 in 35 že razberemo, da je časovna porazdelitev padavin znotraj neodvisnega padavinskega dogodka v prvem kvartilu zelo neenakomerna, pri višjih kvartilih pa prihaja do bolj enakomerne porazdelitve. To pomeni, da so si neodvisni padavinski dogodki v prvem kvartilu med seboj mnogo bolj različni kot na primer v četrtem kvartilu. To je še najbolj razvidno iz Huffovih krivulj, kjer bodo krivulje v prvem kvartilu med seboj bolj oddaljene kot Huffove krivulje v četrtem kvartilu.

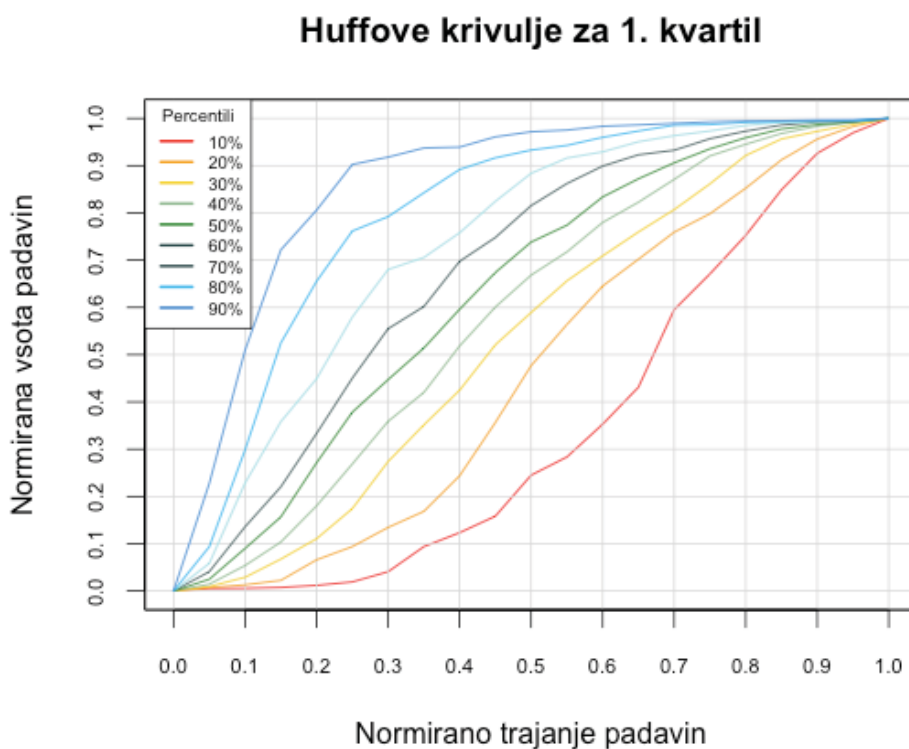
4.4.3 Huffove krivulje

Na slikah 36, 37, 38 in 39 so predstavljene Huffove krivulje za vse štiri kvartile. Podobno kot je ugotovil Huff (1967) za zvezno državo Illinois, se konica padavin z vsakim nadaljnjim kvartilom premakne bolj proti koncu padavinskega dogodka. Ta premik pa za Ljubljano ni tako očiten. Tako je

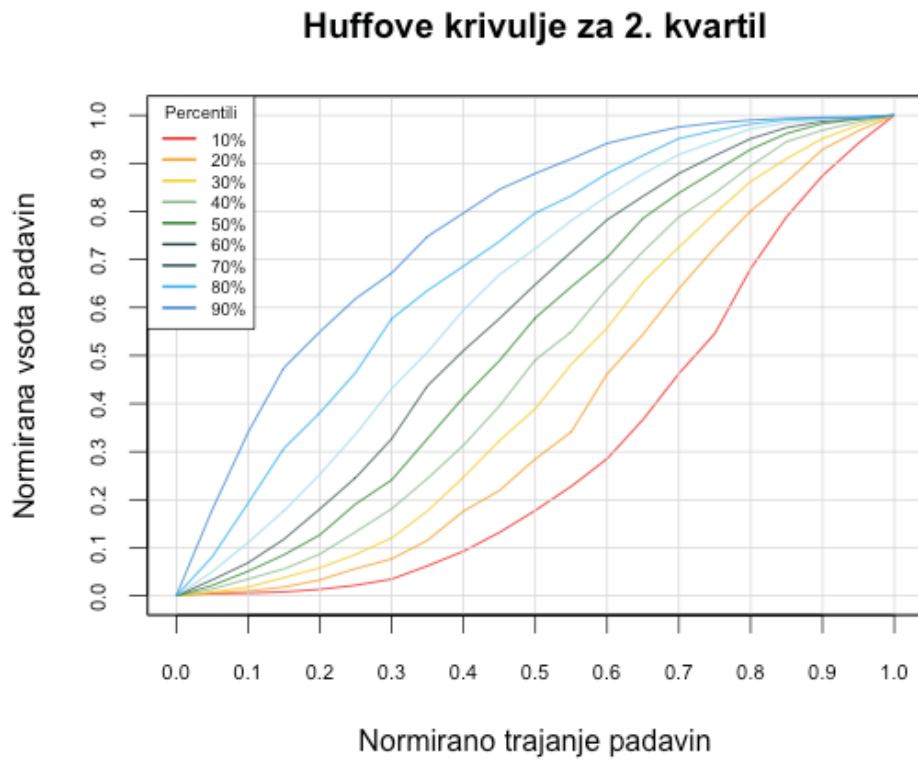
na primer ob primerjavi 50-percentilne krivulje vidno, da je ob normiranem času 0,5 v prvem kvartilu padlo že 74 odstotkov vseh padavin, v drugem kvartilu 58 odstotkov vseh padavin, v tretjem in četrtem kvartilu pa 52 odstotkov vseh padavin.

Premik pa je veliko bolj očitno pri 10- in 90-percentilnih krivuljah. V prvem kvartilu je tako pri 90-percentilni krivulji opaziti, da v prvih 20 odstotkov časa pade že več kot 80 odstotkov skupne količine padavin. To pomeni, da je imelo 10 odstotkov padavin zelo očitno konico intenzitete padavin v prvi petini trajanja. Če pogledamo, kakšni padavinski dogodki se dejansko uvrstijo v prvi kvartil, vidimo, da so v njem padavinski dogodki, ki trajajo od 3 do 6 ur in v katerih pade vsaj 12,7 milimetra padavin. Iz tega lahko sklepamo, da v povprečju v 10 odstotkov padavinskih dogodkov, ki trajajo 3 do 6 ur, pade minimalno 10 milimetrov padavin najkasneje v prvi uri trajanja.

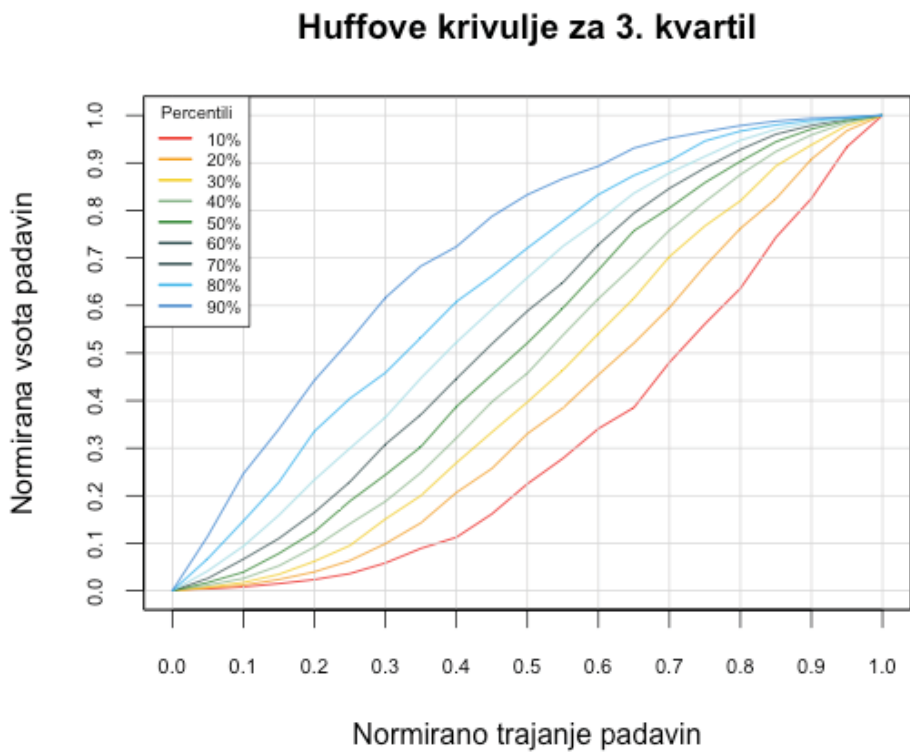
Če primerjamo torej položaj 90-percentilne krivulje v prvem in četrtem kvartilu, lahko opazimo, da ima ta krivulja v prvem kvartilu bistveno bolj konveksno obliko, kot v četrtem. To pomeni, da je v četrtem kvartilu manj zelo ekstremnih padavinskih dogodkov, kjer bi v prvih 20 odstotkov časa padlo kar 80 odstotkov vseh padavin v primerjavi s prvim kvartilom. Analogno lahko pri 10-percentilnih krivuljah opazimo, da je oblika pri prvem kvartilu mnogo bolj konkavna kot pri četrtem kvartilu.



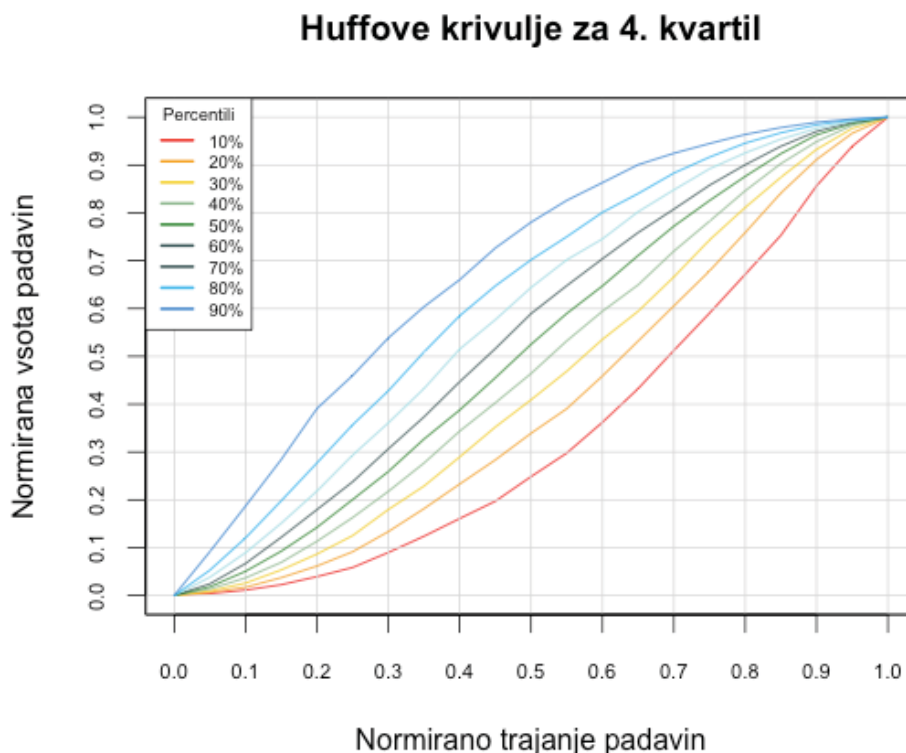
Slika 36: Huffove krivulje za 1. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdelal algoritem CPP.R



Slika 37: Huffove krivulje za 2. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdelal algoritem CPP.R



Slika 38: Huffove krivulje za 3. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdelal algoritem CPP.R

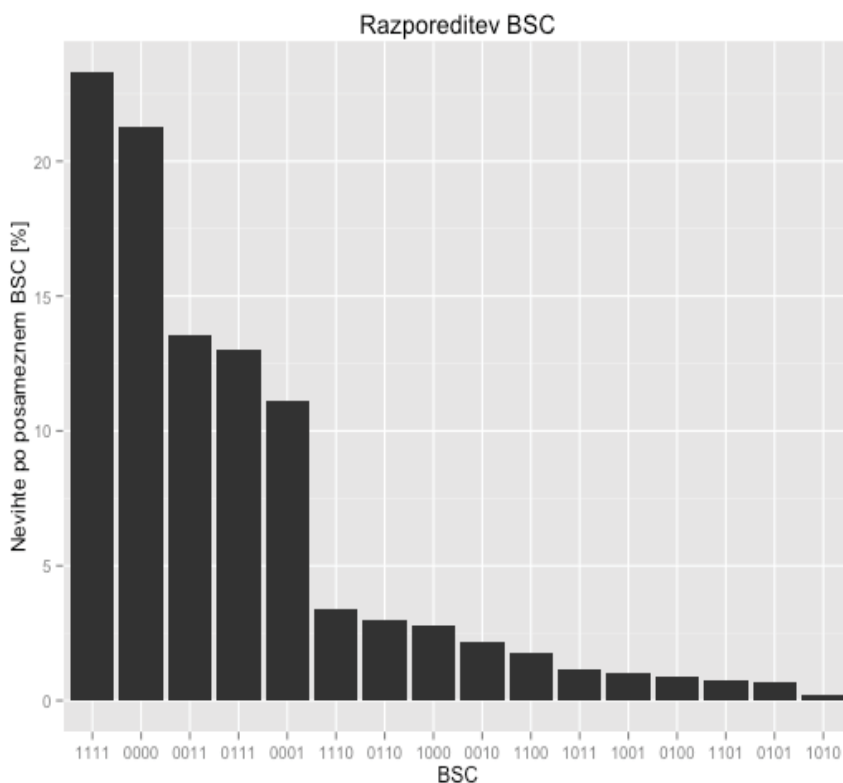


Slika 39: Huffove krivulje za 4. kvartil za Ljubljano-Bežigrad, ki jih izdelal algoritem CPP.R

Pri primerjavi Huffovih krivulj med kvartili opazimo tudi, da je razlika med padlimi padavinami med 10- in 90-percentilno krivuljo v prvem kvartilu ob normiranem času 0,5 enaka 0,73, v drugem kvartilu 0,68, v tretjem kvartilu 0,61 in v četrtem kvartilu 0,53. To lahko pomeni, da so padavine v četrtem kvartilu veliko bolj homogene kot tiste v prvem kvartilu. Do podobnih zaključkov je prišel tudi Huff (1970), ki je ugotovil, da so si dolgotrajne padavine med seboj bistveno bolj podobne kot kratkotrajni nalivi.

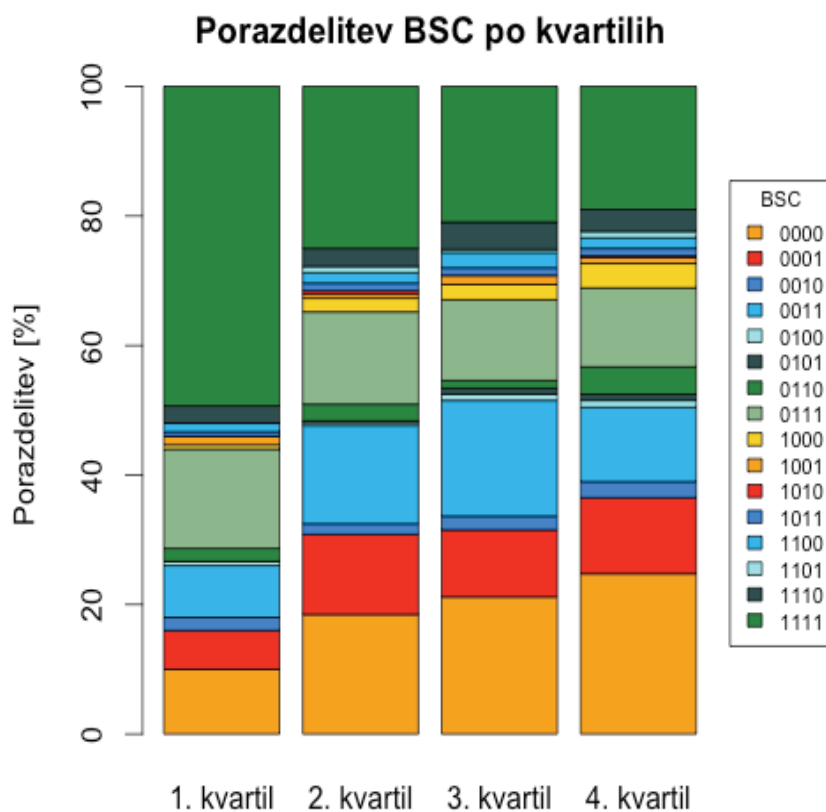
4.4.4 Analize BSC

Pri analizi BSC smo ugotovili, da ima največ neodvisnih padavinskih dogodkov vrednost BSC enako 1111, kar pomeni, da ima največ dogodkov brezdimenzijsko vsotno krivuljo konveksne oblike. To tudi pomeni, da pade v teh padavinskih dogodkih v prvem delu trajanja večja količina padavin kot v drugem delu. Iz slike 40 vidimo, da ima vrednost BSC 1111 okoli 23 odstotkov dogodkov, vrednost BSC 1111 pa 21 odstotkov dogodkov. Sledijo jim dogodki z BSC 0011, ki predstavljajo dobrih 13 odstotkov, dogodki z BSC 0111, ki predstavljajo slabih 13 odstotkov in dogodki z BSC 0001, ki predstavljajo 11 odstotkov vseh dogodkov. Dogodki z ostalimi vrednostmi BSC predstavljajo tako skupaj zgolj 21 odstotkov vseh dogodkov.



Slika 40: Histogram razporeditve tipov BSC za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ga izdelal algoritem CPP.R

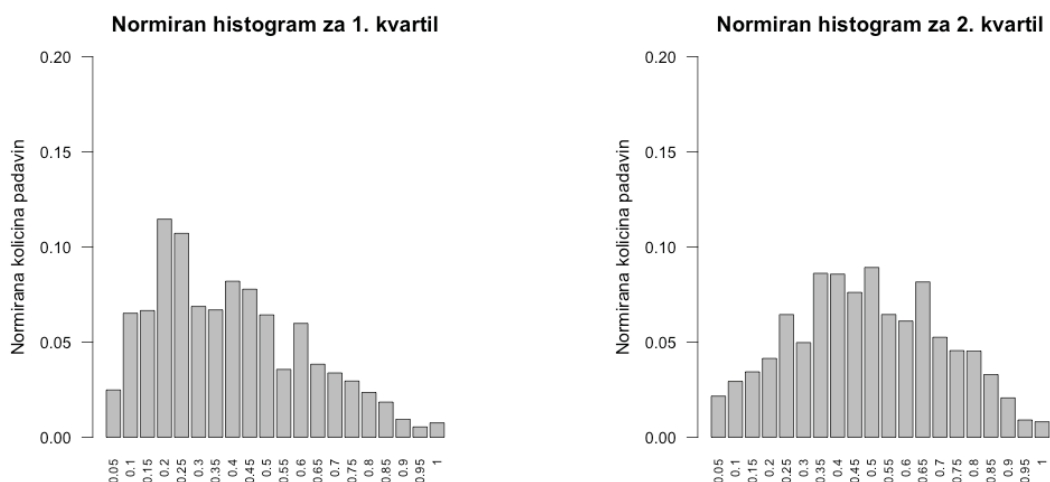
Če primerjamo še razporeditev vrednosti BSC po kvartilih na sliki 41, vidimo, da BSC 1111 prevladuje v prvem in drugem kvartilu, in sicer je v prvem kvartilu takih kar 49 odstotkov vseh neodvisnih padavinskih dogodkov, v drugem kvartilu pa 25 odstotkov. Dogodki z BSC 0000 pa so najbolj pogosto zastopani v tretjem in četrtem kvartilu, kjer predstavljajo 21 oziroma 24 odstotkov vseh vrednosti. Največji odstotek dogodkov z BSC 0011 je v tretjem kvartilu, kjer predstavljajo slabih 18 odstotkov vseh dogodkov. Najbolj enakomerno pa so porazdeljeni dogodki z BSC 0111, ki v prvem kvartilu predstavljajo 15 odstotkov, v drugem kvartilu 14 odstotkov, v tretjem in četrtem pa dobrih 12 odstotkov vseh dogodkov.



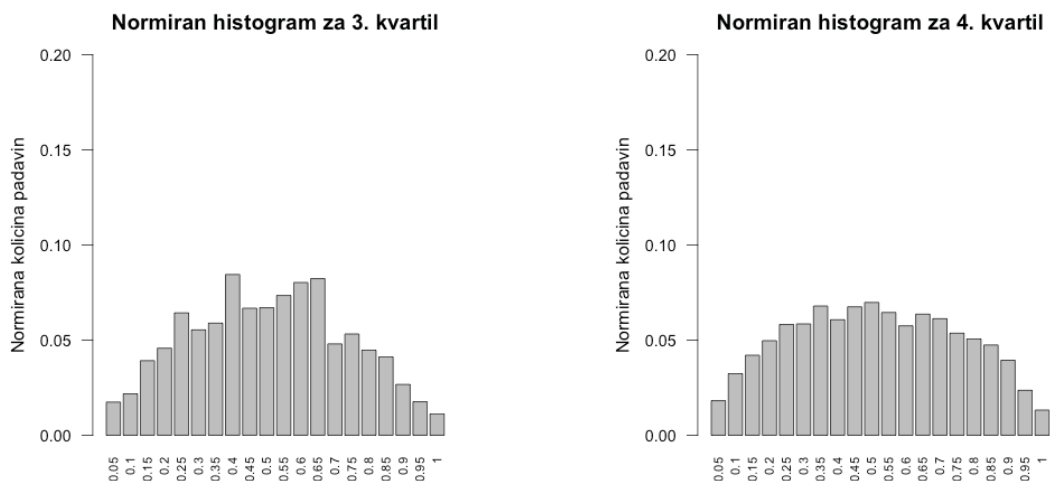
Slika 41: Graf porazdelitve tipov BSC po kvartilih za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ga izdelal algoritem CPP.R

4.4.5 Normirani sintetični histogrami padavin

Z diskretiziranimi 50-percentilnimi Huffovimi krivuljami, ki predstavljajo normirane sintetične histograme, lahko ugotovimo, kdaj nastopi konica intenzitete padavin in kakšna je njena normirana vrednost.



Slika 42: Normirana sintetična histograma padavin, izdelana iz 50-percentilen Huffove krivulje za prvi in drugi kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ju izdelata algoritem CPP.R



Slika 43: Normirana sintetična histograma padavin, izdelana iz 50-percentilen Huffove krivulje za tretji in četrti kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad, ki ju izdelata algoritem CPP.R

Iz normiranih sintetičnih histogramov na slikah 42 in 43 lahko vidimo, da konica intenzitete v prvem kvartilu nastopi ob normiranem času 0,2. Normirana količina padavin je takrat enaka 0,12. To pomeni, da v prvih 5 odstotkih trajanja padavinskega dogodka pade 12 odstotkov skupne količine padavin. Iz levega grafa na sliki 42 je tudi razvidno, da večina padavin pade v prvem delu trajanja padavinskega dogodka, kar sovpada z rezultati na sliki 41, saj ima v prvem kvartilu kar 49 odstotkov vseh dogodkov BSC 1111.

V drugem kvartilu konica padavin nastopi ob normiranem času 0,5, vendar ta konica ni tako izrazita in ne odstopa od ostalih v taki meri kot tista v prvem kvartilu. Ob konici namreč pade le 9 odstotkov

skupne količine padavin. Vseeno pa lahko vidimo, da v prvem delu trajanja padavinskega dogodka pade večina celotne količine padavin.

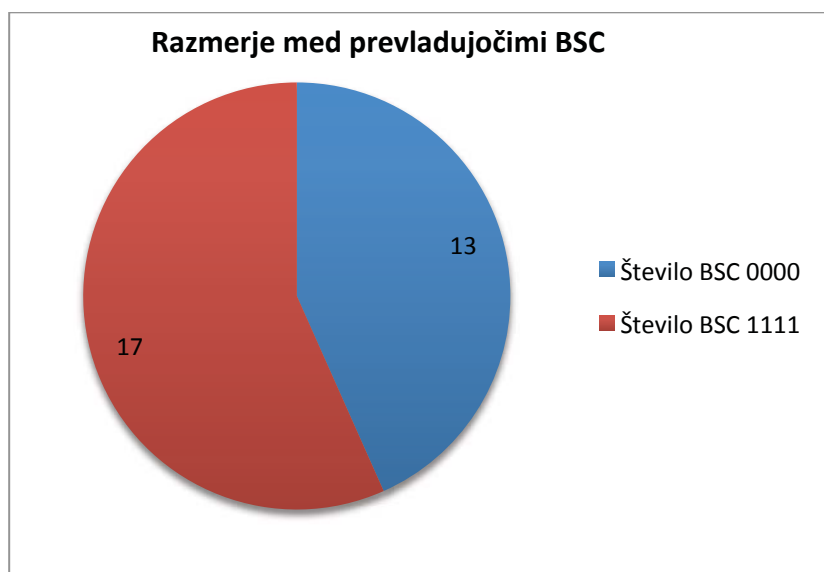
V tretjem in četrtem kvartilu konica ni izrazita. V tretjem kvartilu bi konici lahko pripisali normiran čas 0,4 in skupno količino padavin 0,09. V četrtem kvartilu pa je iz grafa težko odčitati, kdaj nastopi konica, zato smo iz preglednic, ki jih ustvari algoritem CPP.R prebrali, da konica nastopi ob normiranem času 0,5 in da je takrat količina padavin enaka 0,07.

Normirani sintetični histogrami so priročni, saj iz njih bistveno lažje odčitamo nastop konice padavin, kot pa iz Huffove krivulje, kjer konico padavin predstavlja največji naklon krivulje. Iz histograma pa po drugi strani težko določimo ali je več padavin padlo v prvi ali zadnji tretjini trajanja nekega padavinskega dogodka.

5 ANALIZE

5.1 Primerjava vrednosti BSC po padavinskih postajah

Za vseh 30 obravnavanih padavinskih postaj, ki so predstavljene v preglednici 2, smo primerjali rezultate BSC analize. Ugotovili smo, da ima 17 padavinskih postaj prevladujočo vrednost BSC 1111 in 13 postaj prevladujočo vrednost BSC 0000 (slika 44).



Slika 44: Razmerje med prevladujočimi vrednostmi BSC na obravnavanih padavinskih postajah

Nato smo poskušali ugotoviti ali obstaja kakšna povezava med nadmorsko višino in prevladujočim tipom BSC (slika 45). Ugotovili smo, da je povprečna nadmorska višina postaj z vrednostjo BSC 0000 enaka 482 metrov, postaj z BSC 1111 pa 458 metrov. Enakomernost porazdeljenosti podatkov v obeh vzorcih smo testirali z Mann-Whitney U testom. Gre za neparametrični test, pri katerem je privzeta ničelna domneva, da oba vzorca pripadata isti populaciji oz. alternativna, da ima ena populacija večje vrednosti od druge. Test izvedemo tako, da vse podatke razvrstimo v ranžirno vrsto od najmanjšega do največjega, nato pa jim pripišemo vrednost glede na njihovo mesto v ranžirni vrsti. Vsota vrednosti pripisanih rangov se uporabi za izračun U-statistike (Prosenik, 2011).

$$U_1 = S_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} \quad (12)$$

$$U_2 = S_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (13)$$

kjer je:

- S vsota rangov za posamezni vzorec,
 n število podatkov v vzorcu.

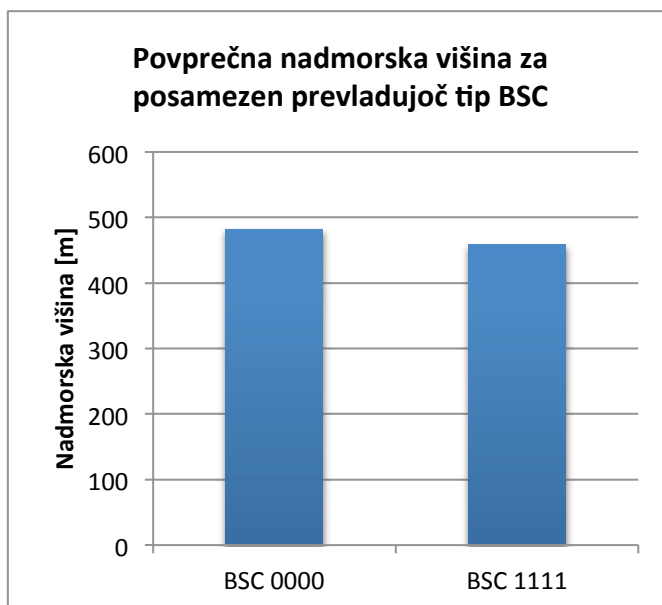
Mann-Whitney U test smo naredili z izbrano stopnjo tveganja 5 odstotkov, kar pomeni da je bil parameter Z enak 1,96. Ničelna domneva je v tem primeru potrjena, če je statistika Z v intervalu med -1,96 in 1,96. Statistiko Z pa se izračuna po naslednji enačbi:

$$Z = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (14)$$

kjer je:

- n število podatkov v vzorcu

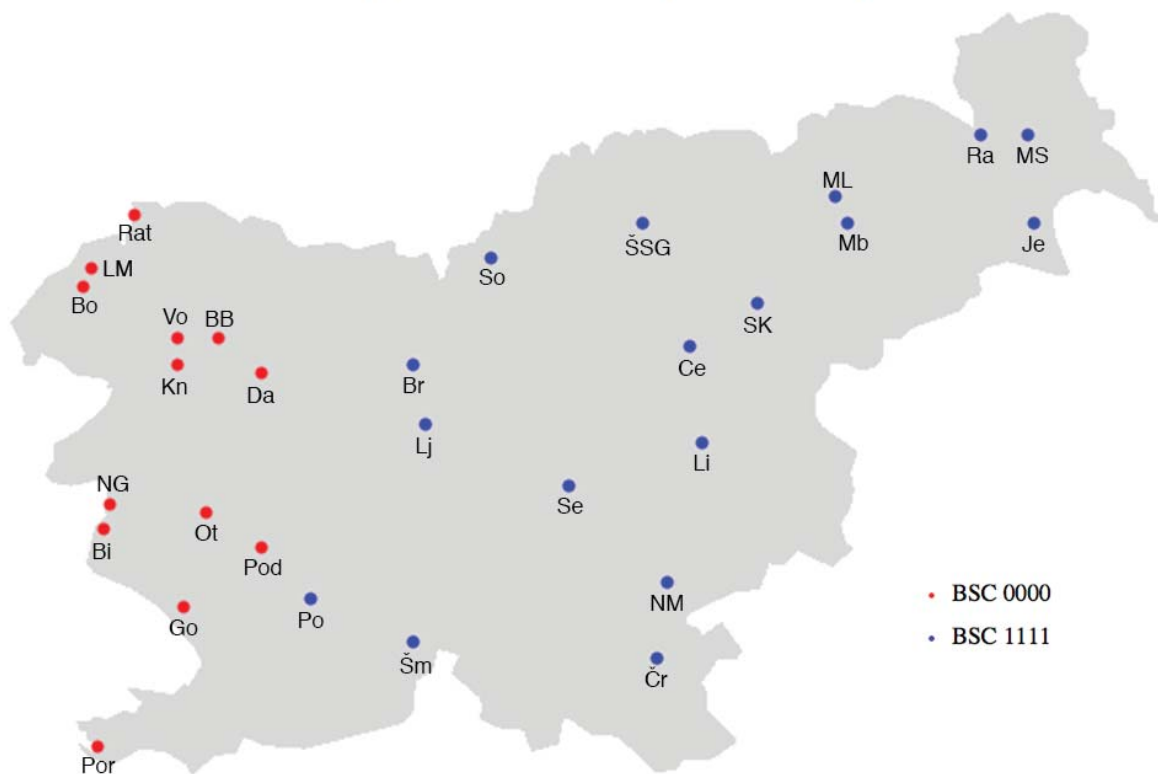
V našem primeru je bila statistika Z enaka -1,44, kar pomeni, da ničelno domnevo sprejmemo in da vzorca pripadata isti populaciji oziroma, da ne moremo govoriti o statistično značilnih razlikah med njima.



Slika 45: Povprečna nadmorska višina za posamezen prevladujoč tip BSC

Zanimala nas je tudi povezava med geografsko lego in prevladujočim tipom BSC, zato smo vse postaje, ki imajo prevladujoč tip BSC 0000 na karto označili z rdečimi pikami, tiste, ki pa imajo prevladujoč tip BSC 1111 pa z modrimi pikami (slika 46).

Razporeditev BSC po Sloveniji

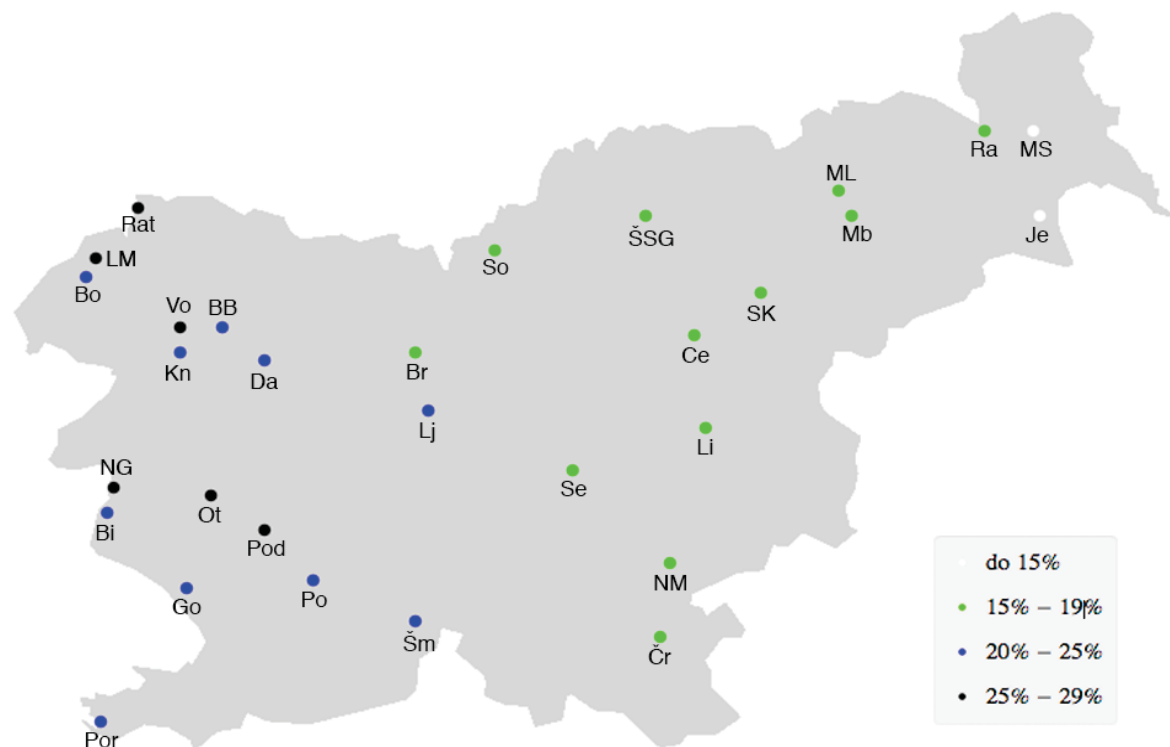


Slika 46: Prostorska razporeditev prevladujočih tipov BSC po Sloveniji

Pri prostorski razporeditvi prevladujočih tipov BSC lahko ugotovimo, da je BSC 0000 kot prevladujoč tip prisoten v zahodnem delu Slovenije, in sicer sega do Postojne, ki predstavlja mejo med prevladujočima tipoma BSC. V Postojni je za 23 odstotkov vseh dogodkov značilen BSC 1111, BSC 0000, ki je drugi najbolj pogost tip, pa za 21 odstotkov vseh dogodkov.

Za 28 padavinskih postajah se kot prvi in drugi najbolj pogosti tip BSC izmenjujeta BSC 0000 in BSC 1111, razen na padavinskih postajah Murska Sobota in Jeruzalem, kjer je na najbolj pogost BSC 1111, sledi pa mu BSC 0011. V Murski Soboti je tako BSC 1111 značilen za 35 odstotkov vseh dogodkov, BSC 0011 pa za 15 odstotkov. BSC 0000 ima v Murski Soboti 14 odstotkov vseh dogodkov in predstavlja tretji najbolj pogosti tip BSC. V Jeruzalemu je situacija podobna, in sicer je BSC 1111 značilen pri 35 odstotkih vseh dogodkov, BSC 0011 pa pri 15 odstotkih. V Jeruzalemu pa se kot tretji najbolj pogosti tip BSC pojavlja BSC 0111, ki predstavlja dobrih 12 odstotkov vseh dogodkov, BSC 0000 pa je šele četrti najbolj pogosti tip in je značilen za slabih 12 odstotkov vseh padavinskih dogodkov.

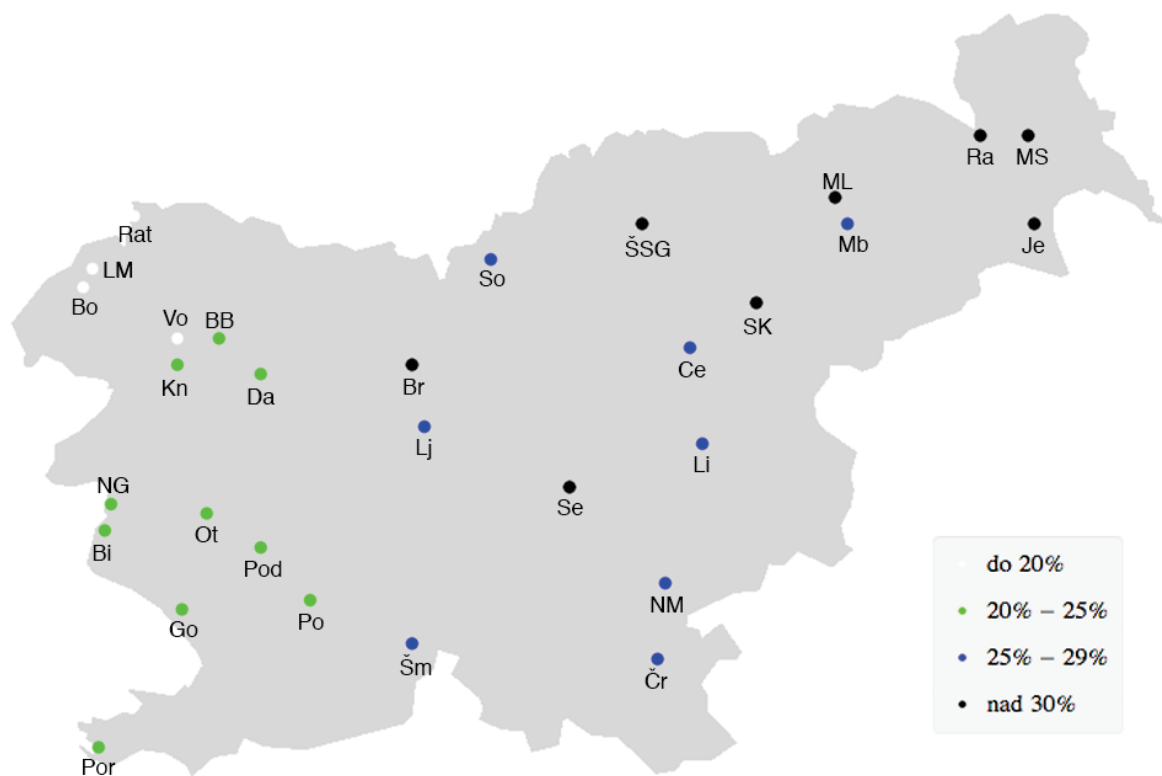
Odstotek padavin z BSC 0000



Slika 47: Odstotek padavinskih dogodkov z vrednostjo BSC 0000

Na sliki 47 vidimo, da je BSC 0000 najbolj zastopan tip BSC v zahodnem delu Slovenije. Bolj je postaja zahodno, večji odstotek padavinskih dogodkov ima BSC 0000. Tako vidimo, da imajo padavinske postaje Rateče, Log pod Mangartom, Vogel, Nova Gorica, Otlica in Podkraj kar četrtno vseh padavinskih dogodkov, ki ustrezajo vrednosti BSC 0000. V vzhodnem delu Slovenije pa ima tip BSC 0000 zastopanost povsod manj kot 20 odstotkov. Najmanj pogosto je BSC 0000 zastopan na padavinskih postajah Murska Sobota in Jeruzalem.

Odstotek padavin z BSC 1111

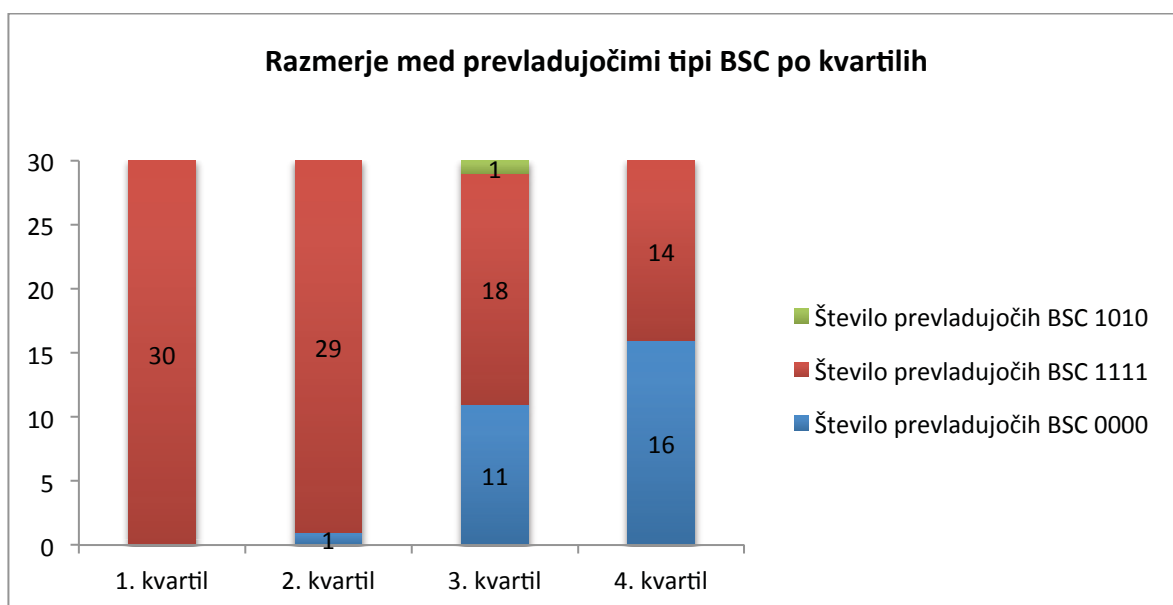


Slika 48: Odstotek padavinskih dogodkov z vrednostjo BSC 1111

Odstotek padavinskih dogodkov, ki so imeli na posamezni padavinski postaji tip BSC 1111, je prikazan na sliki 48, kjer zopet vidimo, da je ta zveza povezana z lego postaje v Sloveniji. Največ padavinskih dogodkov, ki so imeli BSC 1111, je bilo v vzhodnem delu države. Kar 8 postaj je imelo več kot 30 odstotkov vseh padavin, ki pripadajo tipu BSC 1111. Obratno pa je najmanjši odstotek padavin z vrednostjo BSC 1111 v zahodnem delu Slovenije, bolj natančno v severozahodnem delu na padavinskih postajah Vogel, Bovec, Log pod Mangartom in Rateče, kjer je bilo takih padavinskih dogodkov manj kot 20 odstotkov. Vsa primorska pa ima odstotek padavinskih dogodkov, ki imajo BSC 1111 manjši od 25. V Prekmurju pa je takih dogodkov več kot 30 odstotkov.

Razmerje prevladujočih tipov BSC po kvartilih na sliki 49 nakazuje na to, da so tipi BSC odvisni tudi od trajanja padavinskega dogodka. BSC 1111 je tako prevladujoč tip dogodkov v prvem kvartilu na vseh 30 padavinskih postajah. Podobno je v drugem kvartilu, kjer na 29 padavinskih postajah (razen na padavinski postaji Podkraj) prevladuje BSC 0000. V tretjem kvartilu, kjer so padavinski dogodki, ki trajajo od 12 do 24 ur, pa ima prevladujoč tip BSC 1111 samo še 18 padavinskih postaj. 11 postaj pa ima prevladujoč tip BSC 0000. Samo na padavinski postaji Bilje pri Novi Gorici je v tretjem kvartilu prevladujoči tip BSC 1010. V četrtem kvartilu pa prevladuje BSC 0000, ki je prevladujoči tip

padavinskih dogodkov na 16 padavinskih postajah. Padavinske dogodke s prevladujočim tipom BSC 1111 pa ima 14 padavinskih postaj (slika 49).



Slika 49: Razmerje med prevladujočimi tipi BSC po kvartilih za obravnavane postaje v Sloveniji

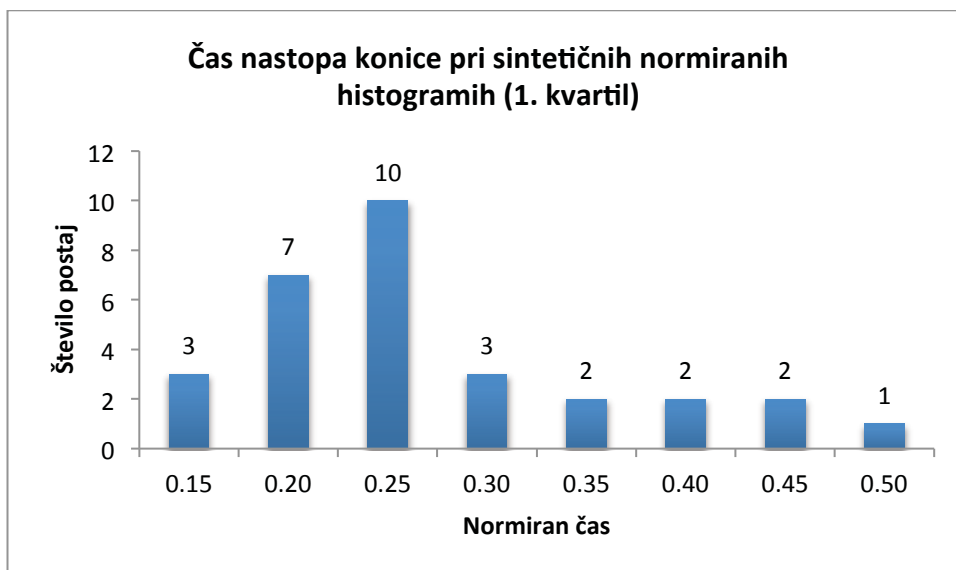
5.2 Primerjava normiranih sintetičnih histogramov padavin za padavinske postaje v Sloveniji

Za vseh 30 padavinskih postaj, ki so predstavljene v preglednici 2, smo izdelali tudi normirane sintetične histograme iz 50-percentilnih Huffovih krivulj. Za vsako postajo smo izdelali 4 normirane sintetične histograme, in sicer enega na vsak kvartil. V nadaljevanju so analize teh histogramov po posameznih kvartilih. Pri analizah smo se osredotočili na čas nastopa konice intenzitete padavin in na samo količino padavin ob konici.

5.2.1 Analiza za prvi kvartil

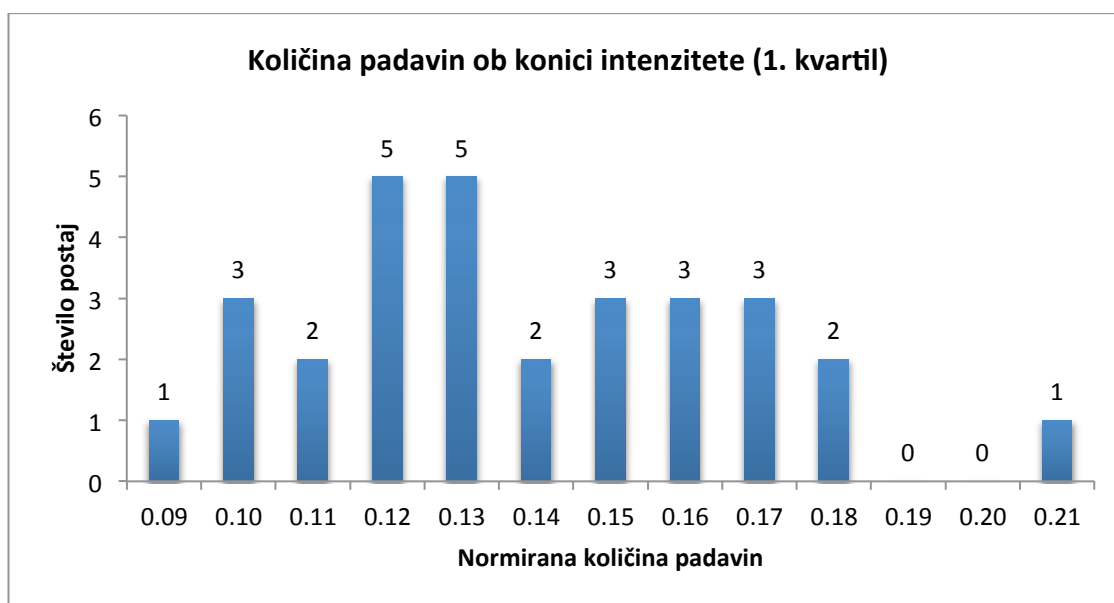
Z analizo normiranih sintetičnih histogramov za prvi kvartil smo ugotovili, da konica padavin vedno nastopa v intervalu normiranega časa 0,15 do 0,50 (slika 50). Pri dveh tretjinah postaj nastopi konica intenzitete padavin med normiranima časoma 0,15 in 0,25. Pri tretjini postaj konica nastopi točno ob normiranem času 0,25. To lepo sovпада z analizo BSC po kvartilih, ki je pokazala, da imajo padavinski dogodki v prvem kvartilu pri vseh postajah največji odstotek padavin tipa BSC 1111, kjer večina padavin nastopi na začetku trajanja padavinskega dogodka.

Konica padavin najprej nastopi pri padavinskih postajah Nova Gorica, Sevnica in Slovenske Konjice, in sicer ob normiranem času 0,15. Najkasneje pa konica intenzitete padavin nastopi na padavinski postaji Otlica, in sicer ob normiranem času 0,50.

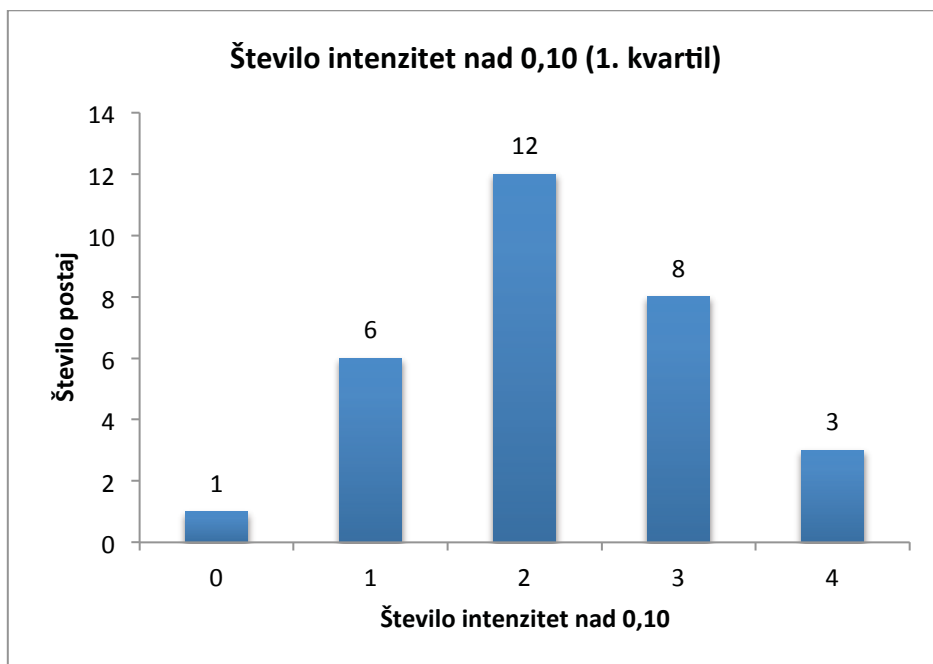


Slika 50: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za prvi kvartil

Analiza količin padavin, ki so padle ob konici intenzitete je pokazala, da je pri veliki večini postaj konica večja od 0,10, kar pomeni, da so konice intenzitete vsaj dvakrat večje od povprečne intenzitete (ki je 0,05) (slika 51). Edina padavinska postaja, kjer je konica intenzitete enaka 0,09, je postaja Vogel. Največja intenziteta pa je bila 0,21, in sicer na padavinski postaji Bohinjska Bistrica. To pomeni, da v času nastopa konice, ki traja 5 odstotkov celotnega trajanja padavinskega dogodka, pade 21 odstotkov skupne količine padavin.



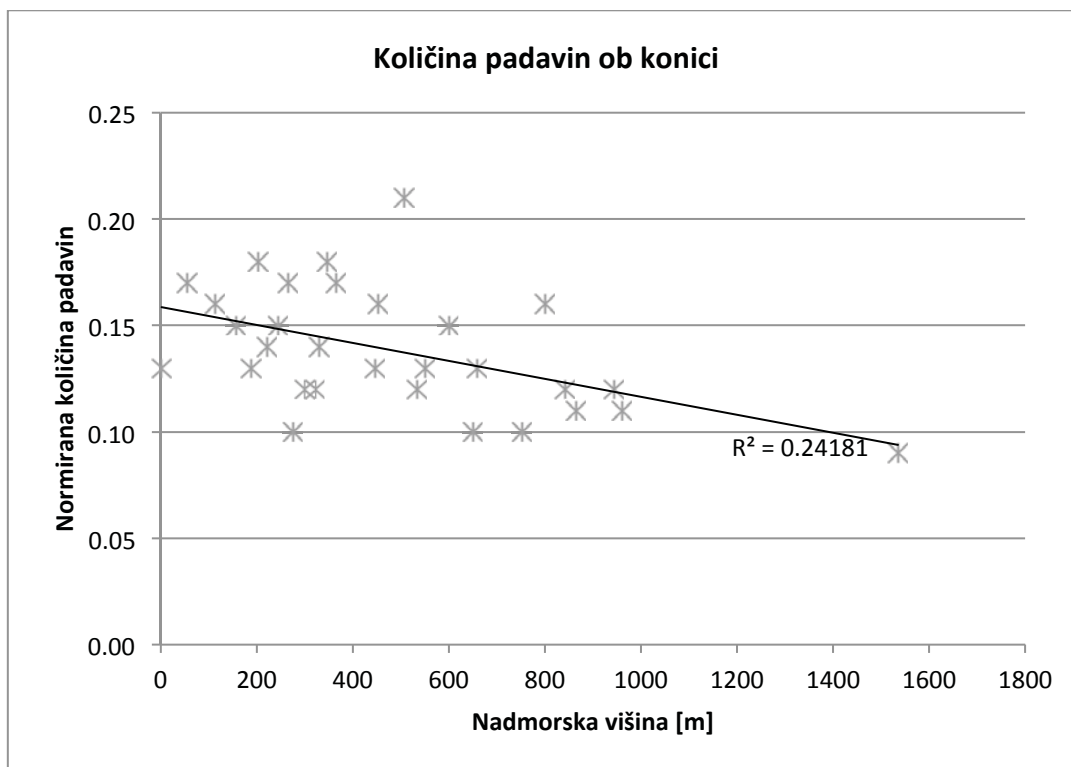
Slika 51: Količina padavin ob konici intenzitete pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za prvi kvartil.



Slika 52: Število intenzitet v normiranih sintetičnih histogramih, kjer je bila količina padavin večja od 0,10

Zanimiv je tudi podatek s slike 52, ki prikazuje, pri koliko postajah je bilo določeno število intenzitet, pri katerih je padlo več kot 0,10 padavin. Kot vidimo, sta bili pri dvanajstih od skupno tridesetih padavinskih postaj taki konici dve. Kot smo že omenili, edino pri padavinski postaji Vogel konica ni preseгла 0,10. Pri padavinskih postajah Bilje, Bovec in Nova Gorica, pa so bile take konice kar štiri.

Analizirali smo tudi povezavo med količino padavin, ki pade ob konici padavin in nadmorsko višino (slika 53) za prvi kvartil. Vrednost Pearsonovega koeficienta R je enaka 0,49, pri čemer p -vrednost znaša 0,011, kar kaže na statistično značilno odvisnost. To pomeni, da imajo padavinske postaje, ki ležijo na nižjih nadmorskih višinah, konice z večjo intenziteto, kot pa tiste postaje, ki ležijo na višjih nadmorskih višinah. Tako je na primer normirana količina padavin ob konici na padavinski postaji Vogel, ki leži na 1535 metrih enaka 0,08, na postaji Bilje, ki leži na 55 metrih pa 0,17.

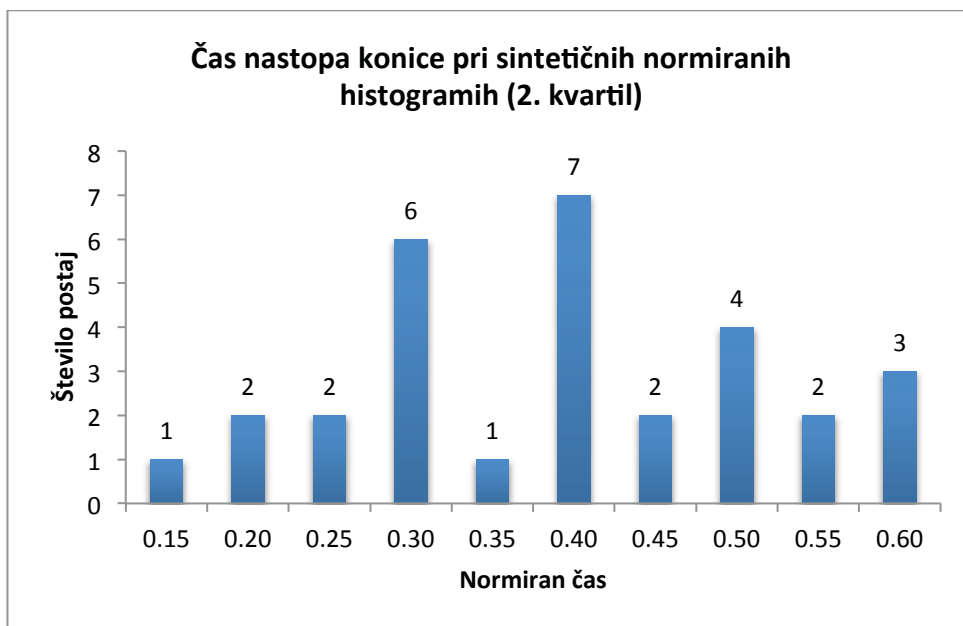


Slika 53: Povezava med količino padavin ob konici intenzitete padavinskega dogodka in nadmorsko višino za prvi kvartil

5.2.2 Analiza za drugi kvartil

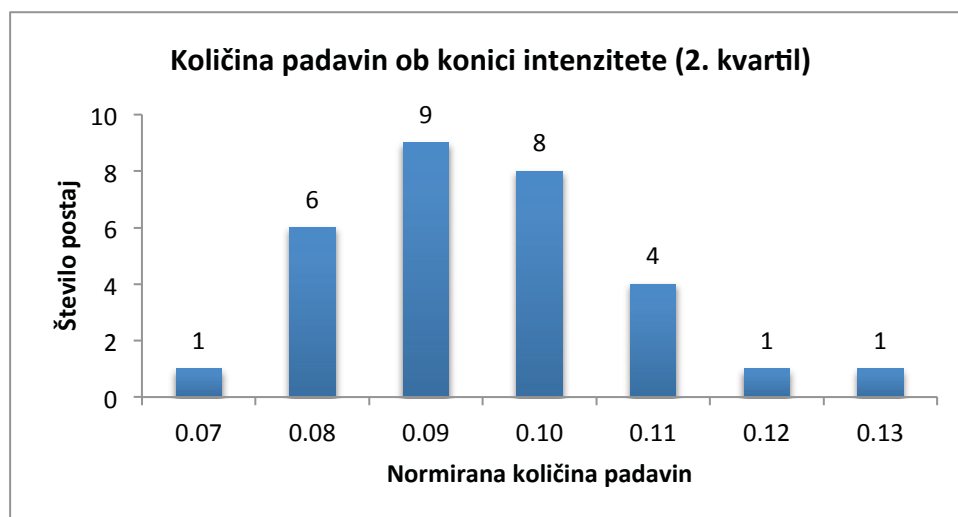
Analiza normiranih sintetičnih histogramov za drugi kvartil je pokazala, da konica padavin nastopa v intervalu normiranega časa od 0,15 do 0,60 (slika 54). Razpon je v primerjavi s prvim kvartilom večji, saj je tam konica nastopila do normiranega časa 0,50. Pri polovici obravnavanih postaj nastopi konica intenzitete padavin med normiranima časoma 0,30 in 0,40. Čas konice padavin ni tako zelo enoten kot pri prvem kvartilu. Iz slike 54 vidimo, da je pri sedmih padavinskih postajah konica padavin nastopila ob času 0,40, pri šestih postajah pa pri 0,30. Vendar pa je pri štirih padavinskih postajah konica nastopila ob času 0,50. Ravno zaradi tega lahko predpostavimo samo to, da v povprečju konica padavin v drugem kvartilu nastopi nekje v prvi polovici časa trajanja, kar sovpada tudi z analizo BSC po kvartilih, ki je pokazala, da imajo padavinski dogodki v drugem kvartilu pri večini postaj največji odstotek padavin tipa BSC 1111, kjer večina padavin nastopi na začetku trajanja padavinskega dogodka.

Konica padavin se v drugem kvartilu najprej pojavi pri padavinski postaji Brnik, kjer nastopi ob normiranem času 0,15. Najkasneje pa konica intenzitete nastopi na padavinskih postajah Portorož, Log pod Mangartom in Davča, ki pa se vse nahajajo na Primorskem, kjer je bil največji odstotek padavin z BSC 0000, in sicer ob normiranem času 0,60.



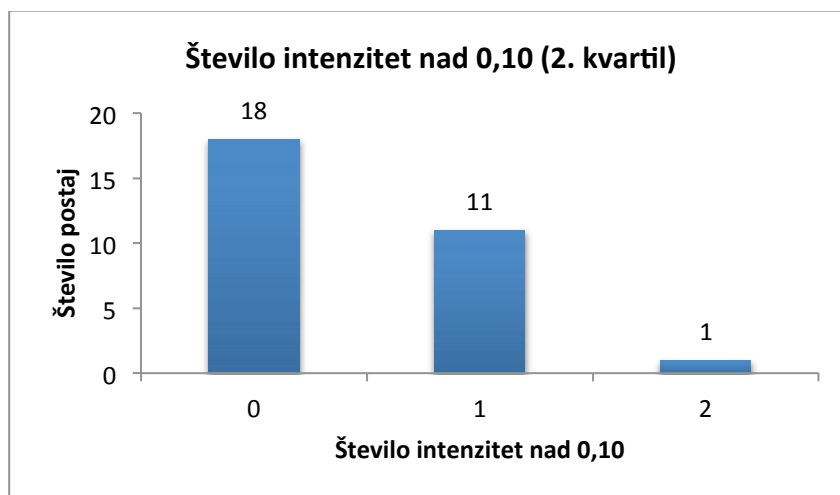
Slika 54: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za drugi kvartil

Analiza količin padavin, ki so padle ob konici intenzitete je pokazala, da je manj kot pri polovici postaj konica večja od 0,10, kar pomeni, da so konice intenzitete vsaj dvakrat večje od povprečne intenzitete (ki je 0,05) (slika 54). To pa v primerjavi s prvim kvartilom pomeni, da so konice intenzitet manjše. Največja intenziteta je bila 0,13, in sicer na padavinski postaji Radenci, najmanjša pa na padavinski postaji Otlica, kjer je bila normirana količina padavin ob konici enaka 0,07.



Slika 55: Količina padavin ob konici intenzitete pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za drugi kvartil

Podatki na sliki 55 pa nakazujejo tudi, da število obdobij, kjer je intenziteta padavin večja od 0,1, v primerjavi s prvim kvartilom pada. Tako je samo pri normiranem sintetičnem histogramu za padavinsko postajo Radenci moč opaziti dve taki obdobji. Spomnimo se, da je bila pri padavinski postaji Radenci opažena tudi največja količina padavin ob nastopu konice intenzitete.

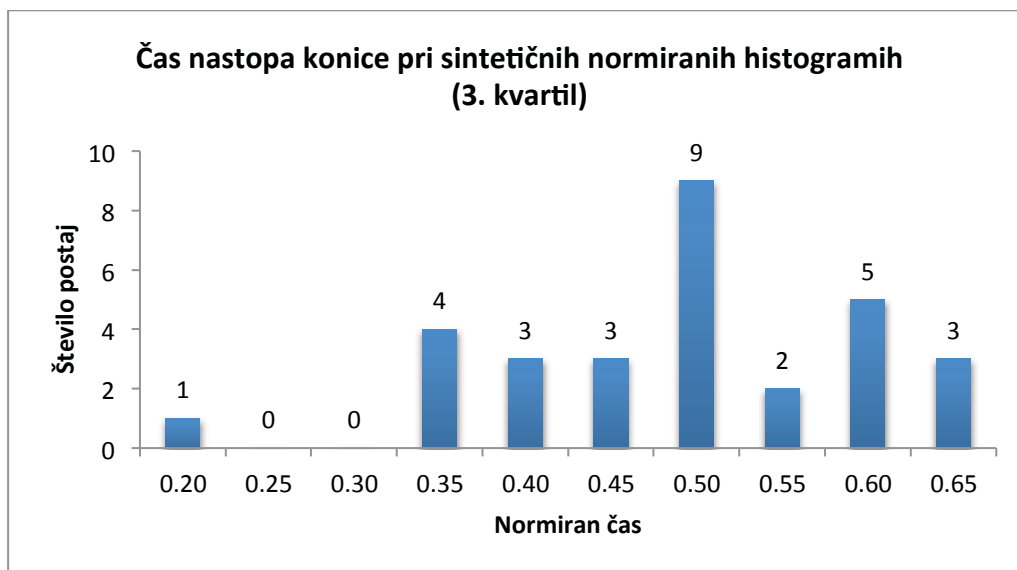


Slika 56: Število intenzitet v normiranih sintetičnih histogramih, kjer je bila količina padavin večja od 0,10

5.2.3 Analiza za tretji kvartil

Z analizo normiranih sintetičnih histogramov za tretji kvartil smo ugotovili, da konica padavin nastopa v intervalu normiranega časa od 0,20 do 0,65 (slika 56). Razpon je v primerjavi z drugim kvartilom enak, vendar večji od prvega kvartila. Pri slabih dveh tretjinah postaj nastopi konica intenzitete padavin med normiranima časoma 0,50 in 0,65. Čas konice padavin je bistveno bolj enoten kot v drugem kvartilu. Iz slike 56 tudi vidimo, da je pri devetih padavinskih postajah konica padavin nastopila ob času 0,50, pri eni postaji pa pred časom 0,30. Iz rezultatov, prikazanih na sliki 56 tako lahko sklepamo, da se na večini padavinskih postaj v tretjem kvartilu konica padavin zgodi nekje od polovice do dveh tretjin trajanja dogodka. Če pogledamo sliko 49, vidimo, da je pri tem kvartilu razmerje padavinskih dogodkov tipa BSC 1111 in BSC 0000 že precej bolj izenačeno, kar pomeni, da se konica intenzitete padavin z večanjem kvartilov počasi preveša v drugi del trajanja.

Najhitreje konica intenzitete padavin nastopi na padavinski postaji Radenci, kjer je nastopila ob normiranem času 0,20. Najkasneje pa intenziteta padavin nastopi na padavinskih postajah Solčava, Godnje in Davča, in sicer ob normiranem času 0,65.



Slika 57: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za tretji kvartil

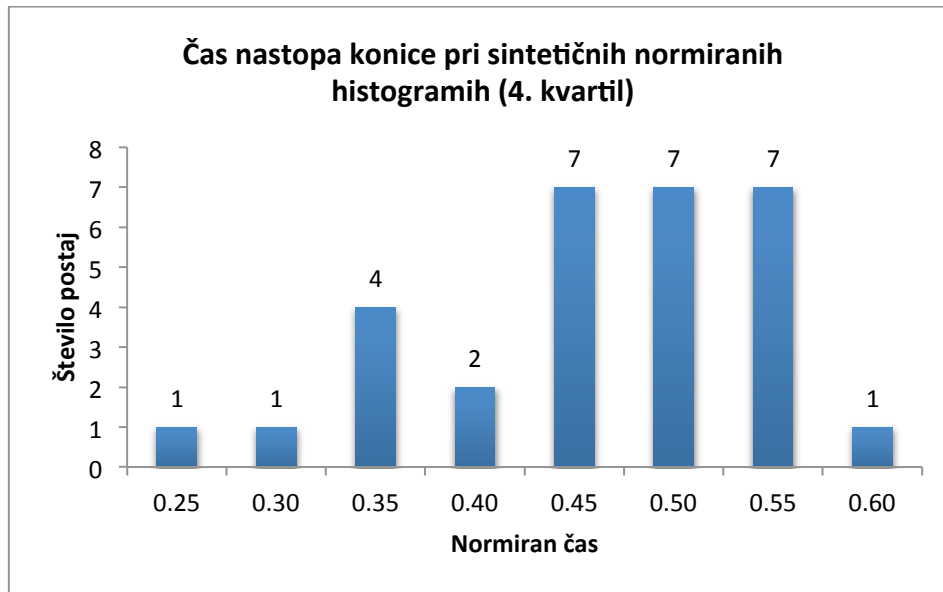
Analize količin padavin, ki so padle ob konici intenzitete za tretji in četrti kvartil, nismo naredili. Razlog je v tem, da so v tretjem kvartilu padavinski dogodki s trajanjem od 12 do 24 ur, v četrtem kvartilu pa dogodki, ki trajajo več kot 24 ur. Ker pa smo za izdelavo sintetičnih histogramov izbrali normirani časovni korak 0,05, bi s tem naredili v teh dveh kvartilih preveliko napako. Pri padavinskem dogodku, ki traja 60 ur, bi tako en časovni korak pri normiranem sintetičnem histogramu pomenil tri ure, kar pa je preveč za natančno analizo količin padavin.

5.2.4 Analiza za četrti kvartil

Analiza normiranih sintetičnih histogramov za četrti kvartil je pokazala, da konica padavin v tem kvartilu nastopa v intervalu normiranega časa od 0,25 do 0,60 (slika 57). Razpon je v primerjavi s prvim, drugim in tretjim kvartilom manjši. Pri dobrih dveh tretjinah postaj nastopi konica intenzitete padavin med normiranima časoma 0,45 in 0,55. Čas konice padavin je zopet bolj enoten kot v drugem kvartilu. Iz slike 57 tudi vidimo, da je pri sedmih postajah konica padavin nastopila ob času 0,50, prav tako pri sedmih postajah ob času 0,45 in pri enakem številu postaj še ob 0,55. Iz slike 57 tako lahko sklepamo, da na večini obravnavanih padavinskih postaj konica padavin v četrtem kvartilu pade nekje na sredini trajanja padavinskega dogodka.

Najprej konica intenzitete padavin nastopi na postaji Slovenske Konjice, kjer nastopi ob normiranem času 0,25. Najkasneje pa intenziteta padavin nastopi na padavinski postaji Jeruzalem, in sicer ob normiranem času 0,60.

Analize količin padavin, ki so padle ob konci intenzitete, iz istega razloga kot za tretji kvartil tudi za četrti kvartil nismo naredili.



Slika 58: Čas nastopa konice pri normiranih sintetičnih histogramih, izdelanih za tretji kvartil

5.3 Analiza vpliva letnega časa na časovno porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka za postajo Ljubljano-Bežigrad

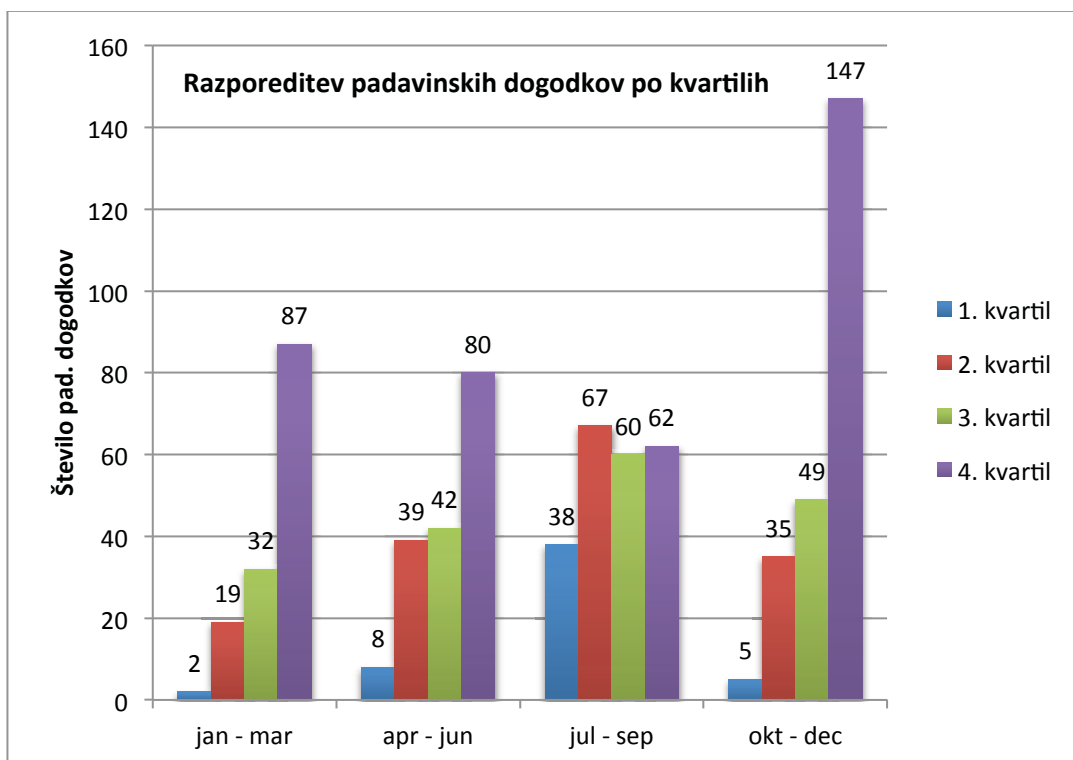
Pri primerjavi časovne porazdelitve padavin glede na letni čas, smo analizirali podatke za Ljubljano-Bežigrad za zadnjih 30 let meritev, torej za obdobje od leta 1985 do 2014. Pri analizi smo leto razdelili na zimske mesece (januar, februar in marec), pomladne mesece (marec, april in maj), poletne mesece (junij, julij in avgust) ter na jesenske mesece (oktober, november in december).

5.3.1 Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas

Na sliki 58 je predstavljena razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas, kjer je vidno, da je pozimi, spomladi in jeseni večina padavinskih dogodkov v četrtem kvartilu. Pri teh obdobjih je tudi viden vzorec, ki nakazuje, da število padavinskih dogodkov narašča z daljšanjem trajanja padavinskega dogodka.

Pri poletnem obdobju pa vidimo, da je porazdelitev dogodkov po kvartilih bistveno bolj enakomerna. Tako je na primer v tem delu leta v prvem kvartilu dvakrat več dogodkov kot v vseh ostalih letnih časih skupaj. Za ta del leta pa je zato značilno bistveno zmanjšanje števila dogodkov v četrtem kvartilu, saj jih je v primerjavi z jesenjo za polovico manj (slika 59).

Če pogledamo še skupno število padavinskih dogodkov po kvartilih in po letnih časih (preglednica 9), vidimo, da je razporeditev dogodkov po kvartilih za celo leto podobna, kot pri rezultatih za Ljubljano za obdobje od leta 1948 do leta 2014 (slika 31). Število padavinskih dogodkov narašča z daljšanjem trajanja padavinskega dogodka. Razporeditev padavinskih dogodkov po letnih časih pa kaže na to, da je največ dogodkov jeseni, najmanj pa pozimi. Število padavinskih dogodkov torej od začetka leta narašča do vrha, ki se zgodi jeseni.



Slika 59: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas za postajo Ljubljana-Bežigrad

Preglednica 9: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na letni čas za postajo Ljubljana-Bežigrad

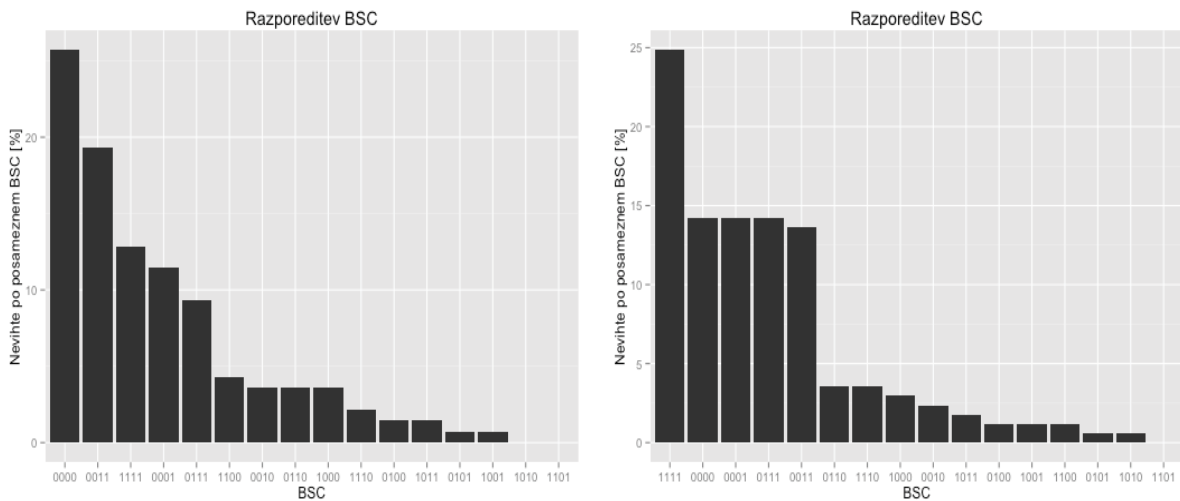
	1. kvartil	2. kvartil	3. kvartil	4. kvartil	VSOTA
jan. – mar.	2	19	32	87	140
apr. – jun.	8	39	42	80	169
jul. – sep.	38	67	60	62	227
okt. – dec.	5	35	49	147	236
VSOTA	53	160	183	376	

5.3.2 Primerjava vrednosti BSC glede na letni čas

Primerjava vrednosti BSC je pokazala, da v jesenskih in zimskih mesecih prevladujejo padavinski dogodki tipa BSC 0000 in v pomladnih in poletnih mesecih padavinski dogodki tipa BSC 1111.

Pozimi ima tako vrednost BSC 0000 25 odstotkov vseh dogodkov (slika 60), vrednost BSC 0011 19 odstotkov vseh dogodkov in BSC 1111 13 odstotkov vseh dogodkov. BSC 0001, ki predstavlja dogodke, kjer je konica intenzitete padavin v zadnji četrtini trajanja padavinskega dogodka pa ima 9 odstotkov padavinskih dogodkov. To lahko povežemo tudi z rezultati iz preglednice 9 in rezultati s slike 49, ki nam nakazujejo, da je BSC 0000 pozimi bistveno bolj pogost tip padavin. Če torej seštejemo deleže tipov BSC 0000, BSC 0011 in BSC 0001, ugotovimo, da pozimi konica intenzitete pade v več kot polovici primerov v drugem delu trajanja padavinskega dogodka.

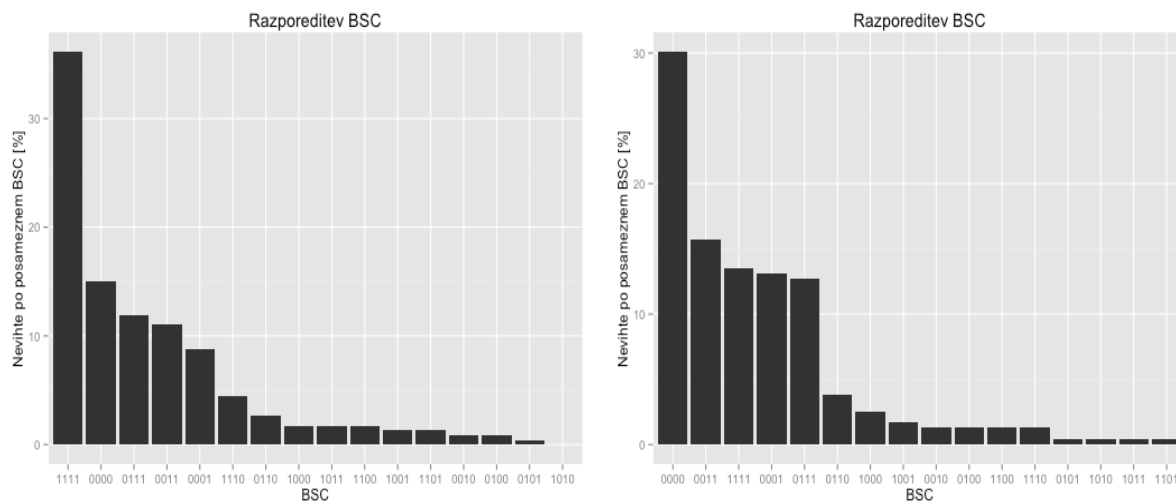
Pri pomladnih mesecih prevladuje BSC 1111, ki se pojavlja pri 25 odstotkih vseh padavinskih dogodkov. Zanimivo je to, da so na drugem mestu tipi BSC 0000, BSC 0001 in BSC 0111, ki se pojavljajo vsak pri 14 odstotkih vseh dogodkov. V spomladanskem obdobju torej prihaja do sprememb pri času nastopa konice intenzitete, ki se pri četrtini vseh padavinskih dogodkov zgodi v prvem delu trajanja.



Slika 60: Rezultati analize BSC za zimo (levo) in pomlad (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad

Poleti ima kar 36 odstotkov vseh dogodkov vrednost BSC 1111 (slika 60). Na drugem mestu je BSC 0000, ki se pojavlja pri 11 odstotkih vseh dogodkov. To pomeni, da v povprečju pri tretjini vseh dogodkov nastopi konica na začetku padavinskega dogodka. Zopet lahko to povežemo s podatki iz preglednice 9, kjer vidimo, da je razlog za to najverjetneje v bolj enakomerni porazdelitvi dogodkov

po kvartilih, kar pomeni, da je poleti relativno več padavinskih dogodkov s krajšim trajanjem, ki pa imajo po navadi prevladujoč tip BSC 1111.



Slika 61: Rezultati analize BSC za poletje (levo) in jesen (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad

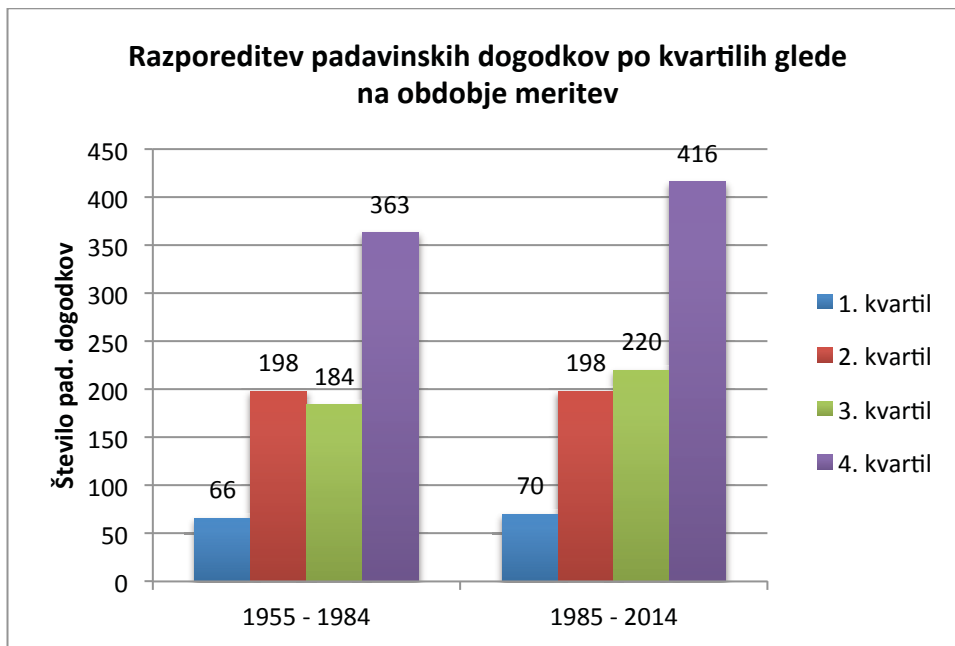
Pozimi ima v Ljubljani 30 odstotkov padavinskih dogodkov tip BSC 0000, sledi mu BSC 0011, ki je značilen za 15 odstotkov vseh dogodkov in nato BSC 1111, ki se pojavlja pri 13 odstotkih vseh padavinskih dogodkov. Podobno kot pri analizi za zimske mesece, lahko zaključimo, da pri več kot polovici dogodkov nastopi konica intenzitete v druge delu trajanja padavinskega dogodka.

5.4 Primerjava časovne porazdelitve padavin znotraj dogodka v dveh različnih tridesetletnih obdobjih meritev za postajo Ljubljano-Bežigrad

Zanimala nas je primerjava rezultatov časovne porazdelitve padavin za različna obdobja za padavinsko postajo Ljubljana-Bežigrad. Ta analiza je še posebej zanimiva z vidika vpliva potencialnih podnebnih sprememb, ki jih povzroča globalno segrevanje ozračja. Odločili smo se primerjati dve tridesetletni obdobji meritev, in sicer obdobje od leta 1955 do leta 1984 in obdobje od leta 1985 do leta 2014.

5.4.1 Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na obdobje meritev

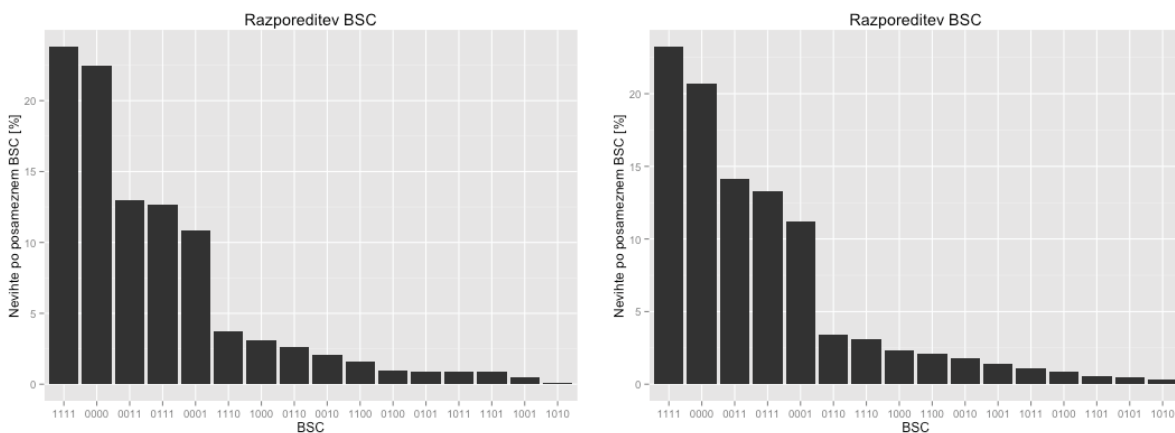
Na sliki 62 je predstavljena razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na obdobje meritev, kjer je razvidno, da je razporeditev zelo podobna. Tudi število padavinskih dogodkov v posameznem kvartilu je podobno. Skupno število padavinskih dogodkov je bilo v obdobju od leta 1955 do leta 1984 811, v obdobju od leta 1985 do leta 2014 pa 904.



Slika 62: Razporeditev padavinskih dogodkov po kvartilih glede na obdobje meritev za postajo Ljubljana-Bežigrad

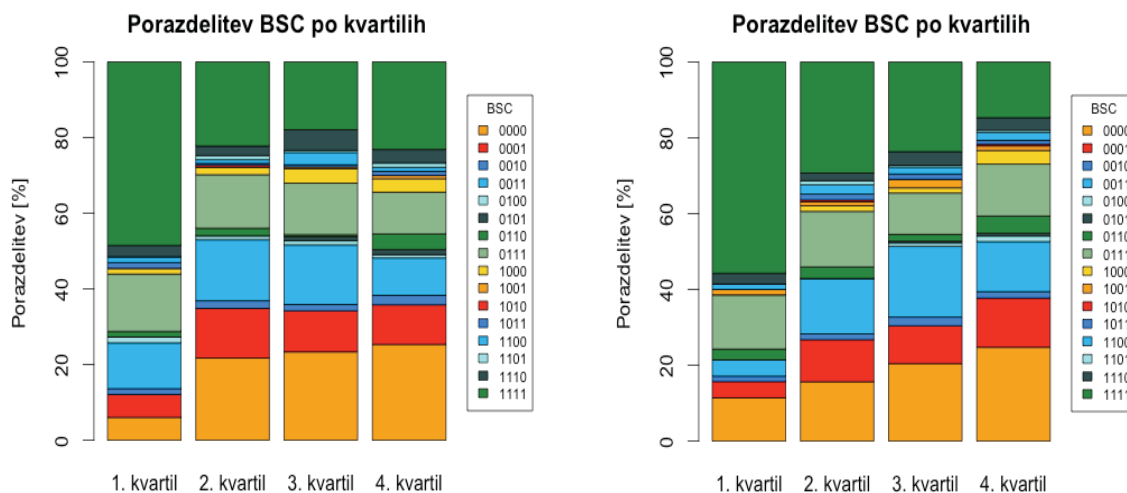
5.4.2 Primerjava razporeditve BSC med dvema obdobjema meritev

Večjih razlik razporeditve BSC med dvema obdobjema ni bilo zaznati. Na sliki 63 vidimo, da je razporeditev skorajda identična. V obeh primerih prevladuje tip BSC 1111, ki predstavlja okoli 23 odstotkov vseh padavinskih dogodkov. V obeh primerih je drugi najbolj pogosti tip BSC 0000, ki za obdobje meritev od leta 1955 do 1984 predstavlja dobrih 22 odstotkov padavin, v obdobju od leta 1985 do 2014 pa 21 odstotkov.



Slika 63: Rezultati analize BSC za obdobje meritev od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad

Manjše razlike se pokažejo samo pri porazdelitvi tipov BSC po kvartilih (slika 64), kjer se tip BSC 1111 v prvem kvartilu v obdobju od leta 1955 do 1984 pojavlja pri približno 10 odstotkov padavinskih dogodkov manj kot v obdobju od leta 1985 do leta 2014.



Slika 64: Rezultati analize BSC za obdobje meritev od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za postajo Ljubljana-Bežigrad

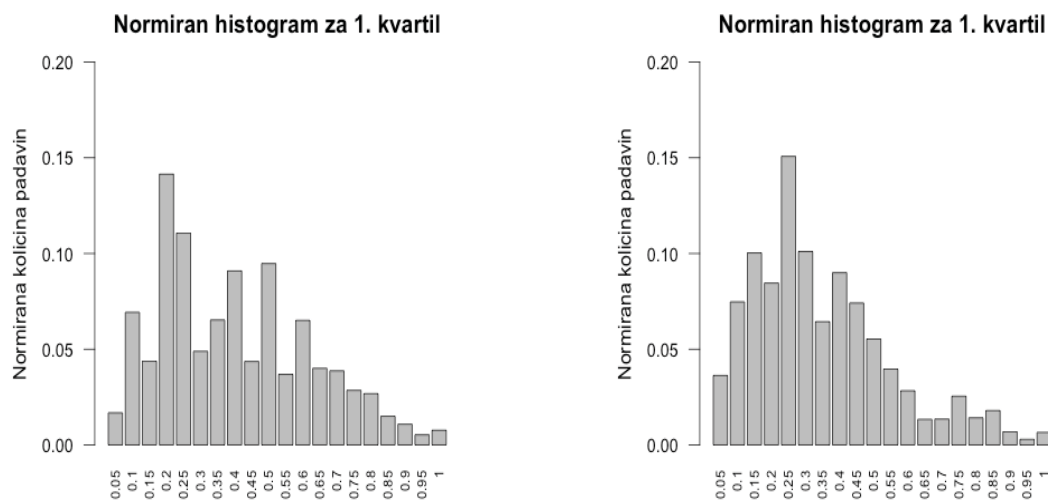
BSC 1111 je tudi v drugem kvartilu obdobja 1955-1984 zastopan v manjši meri kot v obdobju 1985-2014. Vse razlike pa so relativno majhne, tako da lahko zaključimo, da večjih razlik v tipih BSC med obema obravnavanima obdobjema ni.

5.4.3 Primerjava sintetičnih histogramov med dvema obdobjema meritev

Podobno kot analiza BSC, je tudi primerjava sintetičnih histogramov za omenjeni obdobji za postajo Ljubljano-Bežigrad pokazala, da večjih razlik ni. V preglednici 10 so zbrani rezultati za prvi kvartil, kjer vidimo, da so razlike dokaj majhne. Čas nastopa konice je v obeh obdobjih v prvi četrtini trajanja, količina padavin ob konici pa je za malenkost večja v kasnejšem obdobju.

Preglednica 10: Primerjava konice intenzitete pri normiranem sintetičnem histogramu za prvi kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad

Obdobje meritev	Čas nastopa konice	Količina padavin ob konici
1954 – 1984	0,20	0,14
1985 - 2014	0,25	0,15

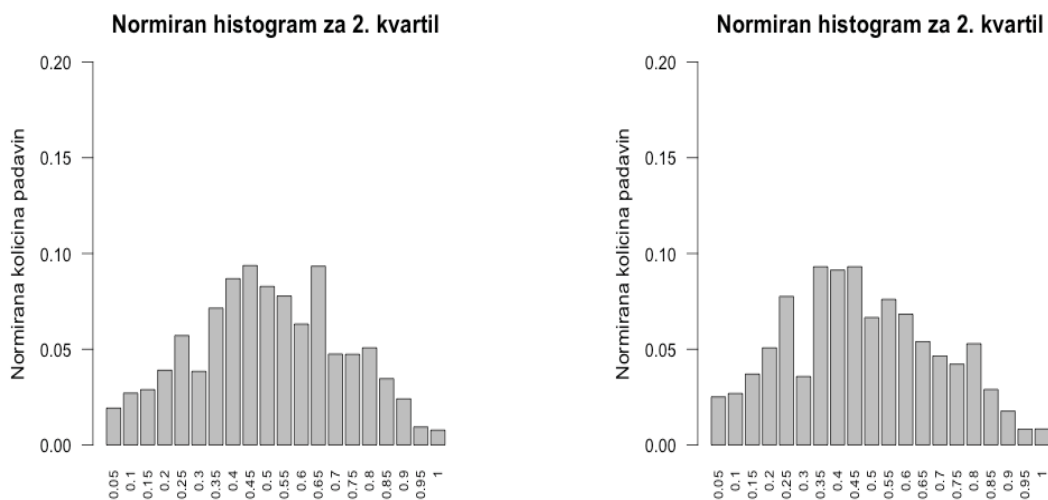


Slika 65: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za prvi kvartil

Po času nastopa konice in količini padavin ob konici sta si podobna tudi normirana sintetična histograma za drugi kvartil, kjer pri obeh obdobjih konica intenzitete padavin nastopi ob normiranem času 0,45. Pri obeh je tudi normirana količina padavin ob konici enaka 0,45 (preglednica 11). Histograma se razlikujeta samo po obliki (slika 65). Opazimo lahko, da pri histogramu za obdobje od leta 1954 do leta 1984 pride do druge konice intenzitete ob normiranem času 0,65, ki pa je le za malenkost manjša od konice ob času 0,45. Konica padavin v obdobju od leta 1985 do 2014 ni tako izrazita, saj pred njo pride do nekakšnega obdobja enakomernih intenzitet, kjer so si tri intenzitete praktično enake. Pri obeh histogramih pa pride do zanimivega zmanjšanja padavin ob času 0,30.

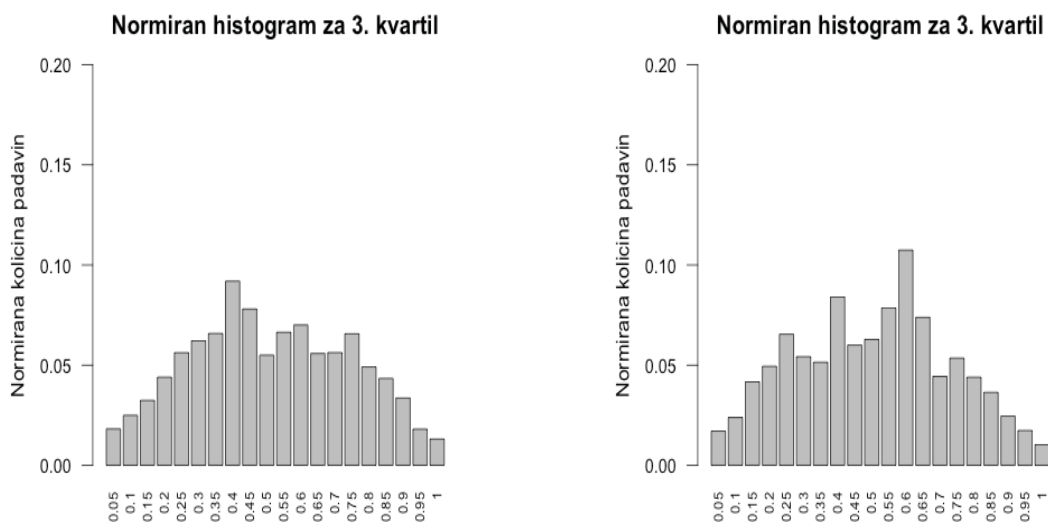
Preglednica 11: Primerjava konice intenzitete padavin pri sintetičnem normiranem histogramu za 2. kvartil za postajo Ljubljana-Bežigrad

Obdobje meritev	Čas nastopa konice	Količina padavin ob konici
1954 – 1984	0,45	0,09
1985 - 2014	0,45	0,09



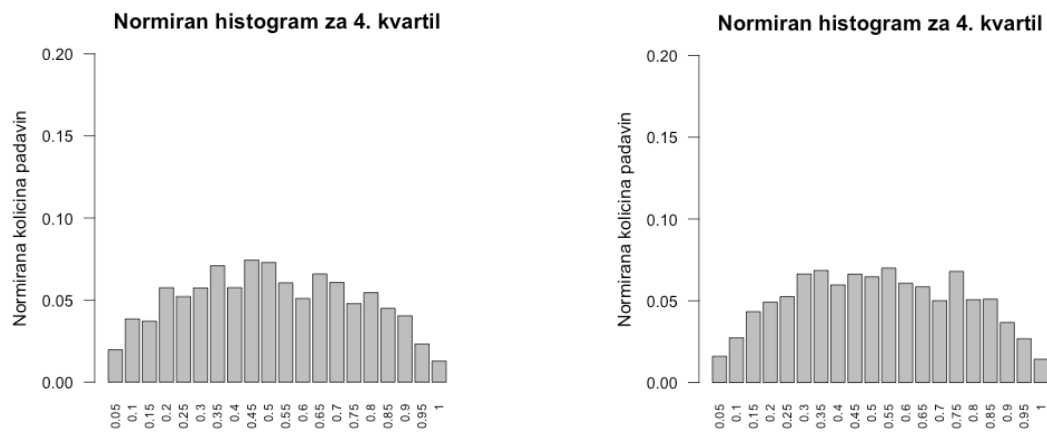
Slika 66: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za drugi kvartil

V tretjem kvartilu pride do spremembe v času nastopa konice intenzitete, in sicer na histogramu za obdobje od leta 1954 do 1984 konica nastopi ob normiranem času 0,40, na histogramu za obdobje od leta 1985 do 2014 pa ob normiranem času 0,60. Tudi sama oblika histograma nakazuje, da v obdobju od leta 1954 do 1984 večina padavin nastopi v prvem delu trajanja padavinskega dogodka, na histogramu za obdobje od leta 1985 do 2014 pa večina padavin nastopi v drugem delu trajanja dogodka (slika 66).



Slika 67: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za tretji kvartil

Normirana sintetična histograma za četrti kvartil sta si za obe obdobji zelo podobna in zato opaznejših razlik med njima na sliki 68 ni opaziti.



Slika 68: Normirana sintetična histograma padavin za Ljubljano-Bežigrad za obdobje od leta 1954 do 1984 (levo) in za obdobje od leta 1985 do leta 2014 (desno) za četrti kvartil

6 ZAKLJUČKI

Za potrebe hidrološkega modeliranja je potrebno vedeti, kakšna je značilna časovna razporeditev padavin znotraj padavinskega dogodka za določeno padavinsko postajo, saj le ta vpliva na to, kdaj bo nastopil čas visokovodne konice pretoka. Časovna razporeditev padavin je lepo razvidna iz Huffovih krivulj, ki predstavljajo družino brezdimenzijskih krivulj, ki so razdeljene glede na verjetnost in kvartil, v katerem se nahajajo. Metoda BSC, ki sta jo predstavila Terranova in Iaquina (2011) je prav tako uporabna za hitro določitev oblike brezdimenzijske krivulje. Po tej metodi lahko namreč iz štirimestne kode razberemo, v kateri četrtini trajanja dogodka pride do maksimalne intenzitete padavin. Pri grafični predstavitvi časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka pa je najbolj pregleden normirani sintetični histogram, ki ga lahko izdelamo kar iz 50-percentilne Huffove krivulje.

V nalogi smo predstavili Huffove krivulje in način njihove izdelave, predstavili smo tudi metodo BSC in pokazali njeno uporabnost za hitro določitev nastopa največje intenzitete padavin in predstavili različne načine izdelave sintetičnih histogramov. Dodaten poudarek pa smo dali normiranim sintetičnim histogramom, ki jih izdelamo iz Huffovih krivulj.

V praktičnem delu naloge smo izdelali program za določitev neodvisnih padavinskih dogodkov NPD.exe, ki analizira 5-minutne zapise ombrografa in loči posamezne padavinske dogodke. Izdelali smo tudi algoritem v programskem jeziku R, ki izdelava Huffove krivulje in naredi dodatne statistične analize padavinskih dogodkov. Oba algoritma smo nato uporabili za izdelavo analiz za podatke s 30 padavinskih postaj v Sloveniji.

V nadaljevanju smo za 30 padavinskih postaj izdelali Huffove krivulje ter naredili analizo BSC ter izdelali tudi normirane sintetične histograme. Vse rezultate smo nato analizirali in ugotovili, da prihaja do večjih razlik pri časovni porazdelitvi padavin znotraj padavinskega dogodka. Izkazalo se je, da je v zahodnem delu Slovenije prevladujoč tip BSC 0000, v vzhodnem delu Slovenije pa tip BSC 1111. Prevladujoči tip BSC 0000 sega do Postojne, ki predstavlja mejo med prevladujočima tipoma BSC. To pomeni, da v zahodnem delu Slovenije v povprečju pade večina padavin v drugem delu trajanja padavinskega dogodka, v vzhodnem delu Slovenije pa v prvem delu trajanja padavinskega dogodka. Ugotovili smo tudi, da prevladujoči tipi BSC niso povezani z nadmorsko višino. Z analizo smo pokazali, da so tipi BSC odvisni od trajanja padavinskega dogodka. BSC 1111 je tako prevladujoč tip pri kratkotrajnih padavinskih dogodkih (do 12 ur), tip BSC 0000 pa pri padavinah daljšega trajanja (več kot 24 ur). Pri analizi sintetičnih histogramov pa smo ugotovili, da imajo padavinske postaje, ki ležijo na nižjih nadmorskih višinah, konice z večjo intenziteto, kot pa tiste postaje, ki ležijo na večjih

nadmorskih višinah. Izkazalo se je tudi, da se z daljšanjem trajanja padavinskega dogodka nastop konice intenzitete premika od začetka trajanja proti koncu trajanja.

Z analizo in primerjavo rezultatov za padavinsko postajo Ljubljana-Bežigrad smo ugotavljali tudi vpliv letnih časov in podnebne spremenljivosti na časovno porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka. Ugotovili smo, da je pozimi, spomladi in jeseni večina padavinskih dogodkov v četrtem kvartilu. Pri teh obdobjih je tudi viden vzorec, ki nakazuje, da število padavinskih dogodkov narašča z daljšanjem trajanja padavinskega dogodka. Zanimiva je tudi ugotovitev, da je razporeditev padavinskih dogodkov po letnih časih različna, in sicer je največ dogodkov jeseni, najmanj pa pozimi. Število padavinskih dogodkov torej od začetka leta narašča do vrha, ki se zgodi jeseni. Primerjava vrednosti BSC je pokazala, da v jesenskih in zimskih mesecih prevladujejo padavinski dogodki tipa BSC 0000 in v pomladnih in poletnih mesecih padavinski dogodki tipa BSC 1111. Za ugotavljanje vpliva podnebne spremenljivosti na porazdelitev padavin znotraj padavinskega dogodka smo primerjali dve tridesetletni obdobji meritev, in sicer obdobje od leta 1955 do leta 1984 in obdobje od leta 1985 do leta 2014. Ugotovili smo, da ne prihaja do večjih statistično značilnih sprememb. Tudi število padavinskih dogodkov je približno enako.

VIRI

ARSO 2015. Padavinski podatki. Message to: Vičar, Z., 10. 3. 2015. Osebna komunikacija.

ARSO 2015. Povratne dobe za ekstremne padavine.

http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/precip_return_periods_newer (Pridobljeno 17. 5. 2015.)

Azli, M., Ramachandra, R. 2010. Development of Huff curves for Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology* 388: 77–84.

Bonta, J., V., Shahalam, A. 2003. Cumulative storm rainfall distributions: Comparison of Huff curves. *Journal of Hydrology (NZ)* 42 (1): 65–74.

Bonta, J., V. 2004. Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts. *Applied Engineering in Agriculture* 20: 641–653.

Bonta, J., V. 2004. Stochastic simulation of storm occurrence, depth, duration, and within-storm intensities. *American Society of Agricultural Engineers* 47: 1573–1584.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. *Osnove hidrologije*. Univerzitetni učbenik, 1.izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Burke, C., B., Rao, A., R., Gray, D., D. 1980. Duration and temporal distribution of storms in urban drainage design. *International Symposium on Urban Storm Runoff*: 71–79.

Caballero, W., L., Rahman, A. 2013. Variability in Rainfall Temporal Patterns: A Case Study for New South Wales, Australia. *Journal of Hydrology and Environment Research* 1: 41–48.

Cadet, H. 2013. A Brief History of C Sharp. Hernando Cadet blog, objavljeno 10. 10. 2013. <http://www.hernandocadett.com/content/brief-history-c-sharp#> (Pridobljeno 16. 4. 2015.)

Caloiero, T., Pasqua, A., A., Petrucci, O. 2014. Damaging Hydrogeological Events: A Procedure for the Assessment of Severity Levels and an Application to Calabria (Southern Italy). *Water* 6: 3652–3670.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. 1988. *Applied hydrology*. New York, McGraw-Hill: 572 str.

CRAN. 2015.

<http://cran.r-project.org> (Pridobljeno 10. 4. 2015.)

Dolšak, D. 2015. Statistična analiza padavin – izdelava Huffovih krivulj. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Dolšak): 69 str.

Geopedia 2015. Interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije.

<http://www.geopedia.si> (Pridobljeno 18. 4. 2015.)

Gerb, F., Moges, S. A. 2009. Development of Intensity-Duration-Frequency Relationship for gauged and un-gauged location of Southern Nations, Nationalities Peoples Region (SNNPR). V: Förch, G. (ur.) 2009. CICD Series 3: Summary of Master Theses from Arba Minch University, Ethiopia. Germany, Printing Office, Universität Siegen: 109–125.

Ghasemi, A., Mirzaei, S., Mirzaei, Y., Raoof, M., Moradnezehadi, M. 2014. Effect of Climate on Temporal Distribution Pattern of Rainfall and Comparing With Each other ANF Known Patterns Case Study: Ardebil Province – Iran. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 3: 118–125.

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

HEC – HMS. 2014.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (Pridobljeno 16. 4. 2015.)

Huff, F. 1967. Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. Water Resources Research 3: str. 1007–1019.

Huff, F. 1970. Rainfall evaluation studies. Final report , part 1 – summary. Urbana, Illinois, University of Illinois, Illinois State Water Survey: 53 str.

Huff, F. 1990. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 173: 18 str.

Jackson, S. Flooding. Geography as notes.

<https://geographyas.info/rivers/flooding/> (Pridobljenom 16. 4. 2015.)

Keifer, C., J., Chu, H., H. 1957. Synthetic storm pattern for drainage design, ASCE Journal of the Hydraulics Division, 83 (HY4): 1–25.

Microsoft. 2015.

<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/67ef8sbd.aspx> (Pridobljeno 16. 4. 2015.)

MIDUSS. 2004. Miduss reference manual version 2: 363 str.

Moore, G., E. 1965. Cramming more components onto integrated circuits. Electronics magazine 19th April 1965: 14-117.

Mreža postaj z registracijo padavin. 2007. Ljubljana, ARSO.

http://www.arso.gov.si/vreme/o%20meritvah/mreza_ombrografi.html (Pridobljeno 15. 4. 2015.)

Nadbath, M. 2008. Meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad. Naše okolje. ARSO MOP, Ljubljana. 7 str.

Nieves, G., V. 2005. Temporal rainfall distributions in Puerto Rico. Magistrsko delo. Mayagüez, University of Puerto Rico at Mayagüez (samozaložba Gonzales Nieves, V.): 160 str.

Panjan, J., Bogataj, M., Kompare, B. 2005. Statistična analiza gospodarsko enakovrednih nalivov = Statistical Analysis of the Equivalent Design Rainfall. Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering 51: 600–611.

Prodanovic, P., Simonovic, S., P. 2004. Generation of synthetic design storms for the upper Thames river basin CFCAS project: Assessment of Water Resources risk and vulnerability to changing climatic condition. The University of Western Ontario. Project report V: 20 str.

Rosmina, A., B., Nor, A., R., Jethro, H., A., Kuan, P., L., 2012. Development of Temporal Rainfall Pattern for Southern Region of Sarawak. UNIMAS E-Journal of Civil Engineering 3 (Special Issue): 17–23.

Šraj, M. 2009. Fotografija različnih vrste dežemerov na klimatološki postaji Ljubljana-Bežigrad.

Terranova, O., G., Iaquina, P. 2011. Temporal properties of rainfall events in Calabria (southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences 11: 751–757.

Vandenberghe, S., Verhoest, N., E., C., Buyse, E., Baets, B., D. 2010. A stochastic design rainfall generator based on copulas and mass curves. Hydrology and Earth System Sciences 14: 2429–2442.

Varga, C., Ball, J., E., Babister, M. 2009. A Hydroinformatic approach to development of design temporal patterns of rainfall. Hydroinformatics in Hydrology, Hydrogeology and Water resources 331: 20–29.

Yen, B., C., Chow, V., T. 1980. Design hyetographs for small drainage structures, ASCE Journal of the hydraulics division 106 (HY6): 1055–1076.

Wadden, D. 2002. Rainfall Distribution in the city of St. John's: Temporal Distribution, Spatial Variation, Frequency Analysis, and Tropical Storm Gabrielle. Magistrska naloga. St. John's, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland (samozaložba D. Wadden): 80 str.

Watt, W., E., Chow, V., T. Latham, K., W. 1986. A 1-h urban design storm for Canada, Canadian Journal of Civil Engineering 13: 293–300.

Wu, S., J., Yang, J., C., Tung, J., K. 2006. Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 20: 171–183.

USACE, 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual Version 3, Davis: 278 str.

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: HUFFOVE KRIVULJE ZA OBRAVNAVANE PADAVINSKE POSTAJEA1

A.1 Bilje	A2
A.2 Bohinjska Bistrica.....	A4
A.3 Bovec	A6
A.4 Brnik	A8
A.5 Celje	A10
A.6 Črnomelj	A12
A.7 Davča	A14
A.8 Godnje	A16
A.9 Jeruzalem	A18
A.10 Knežke Ravne	A20
A.11 Lisca.....	A22
A.12 Ljubljana Bežigrad	A24
A.13 Log pod Mangartom	A26
A.14 Maribor	A28
A.15 Maribor letališče	A30
A.16 Murska Sobota	A32
A.17 Nova Gorica.....	A34
A.18 Novo mesto	A36
A.19 Otlica	A38
A.20 Podkraj.....	A40
A.21 Portorož	A42
A.22 Postojna	A44
A.23 Radenci	A46
A.24 Rateče	A48
A.25 Sevnno	A50
A.26 Slovenske Konjice	A52
A.27 Šmarata	A54
A.28 Šmartno pri Slovenj Gradcu	A56
A.29 Solčava.....	A58
A.30 Vogel	A60

PRILOGA B: IZVORNA KODA PROGRAMA NPD.EXE IN ALGORITMA CPP.R.....B1

B.1 Izvorna koda programa NPD.exeB2

B.2 Izvorna koda algoritma CPP.R.....B8

PRILOGA A: HUFFOVE KRIVULJE ZA OBRAVNAVANE PADAVINSKE POSTAJE

"ta stran je namenoma prazna"

PRILOGA B: IZVORNA KODA PROGRAMA NPD.EXE IN ALGORITMA CPP.R

B.1 Izvorna koda programa NPD.exe

```

. 1  /*###NAVODILA#####
. 1. Uporabniški vnos mora biti deljiv s 5; nujno mora
. biti število (program ne preverja pravilnosti vnosa).
.
. 2. Začetna datoteka z meritvami mora biti poimenovana
. "data.dat"; nahaja naj se v isti mapi, kot program.
.
. 3. Vmesna datoteka in končna tabela se pojavita v
. isti mapi, kjer se nahaja program.
. #####*/
.
.
. using System;
. using System.Collections.Generic;
. using System.Linq;
. using System.Text;
. using System.Globalization;
. using System.Collections;
.
. namespace Padavinski_Dogodki
. {
.     class Program
.     {
.         public static int noRainCounter, rainEventNoRainCounter = 0;
.         //4 ure: 48*5 min; koliko časa smo že brez dežja?
.         public static double rainAmount = 0; //Šteje količino dežja v
.         padavinskem dogodku.
.         public static int rainIntervals = 0; //Šteje koliko 5-minutnih
.         intervalov je bilo v obdobju padavinskega dogodka.
.         public static Boolean preRainCalm = false;
.         public static Boolean firstLine = true;
.         public static int lastParsedHour, lastParsedMonth,
.         lastParsedDay, lastParsedYear = 0;
.         public static int[] hoursInADay = { 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
.         10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24 };
.         public static int[] intervali = { 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120,
.         360, 720, 1440 };
.         public static double[] array;
.
.         static void Main(string[] args)
.         {
.             #region obdelava meteoroloških podatkov
.             string line;
.             System.IO.StreamReader file = new
.         System.IO.StreamReader("data.dat");
.             Console.WriteLine("Vnesite želeni interval (min): ");
.             string input = Console.ReadLine();
.             int userInterval = Convert.ToInt32(input) / 5;
.             Console.WriteLine("Ustvarjam pomožno datoteko.");
.
.             while ((line = file.ReadLine()) != null)
.             {

```

```
.         ParseLine(line, userInterval);
.     }
.
.     file.Close();
.
.     #endregion
.
.     #region končna tabela
.     string line2;
.     System.IO.StreamReader file2 = new
System.IO.StreamReader("Padavinski dogodki.txt");
.     Console.WriteLine("Pomožna datoteka ustvarjena! Ustvarjam
tabelo.");
.
.     while ((line2 = file2.ReadLine()) != null)
.     {
.         CalcuateMaxIntervals(line2);
.     }
.
.     //Zapišemo še zadnjo vrstico:
.     System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt", array[0] + " ");
.     for (int i = 1; i < array.Length; i++)
System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt", String.Format("{0,-
5:0.00}", array[i]) + " ");
.     System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt",
Environment.NewLine);
.
.     file2.Close();
.
.     #endregion
.
.     //Izhodno sporočilo:
.     Console.WriteLine("Tabela ustvarjena! Pritisnite katerikoli
gumb za izhod iz programa.");
.     System.Console.ReadKey();
.     }
.
.     private static void CalcuateMaxIntervals(string line)
.     {
.         //Razbijemo vrstico na posamezne elemente.
.         string[] parsedLine = line.Split(' ');
.
.         //Preberemo trenutno leto.
.         int year = Convert.ToInt32(parsedLine[0]);
.
.         if (firstLine == false)
.         {
.             if (!year.Equals(Convert.ToInt32(array[0]))) //NOVO
LETO!
.
.             {
.                 //Zapišemo vrstico intervalov, ki pripada prejšnjemu
Letu:
.                 System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt", array[0] +
" ");
```

```

        for (int i = 1; i < array.Length; i++)
System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt", String.Format("{0,-
5:0.00}", array[i]) + " ");
        System.IO.File.AppendAllText("Tabela.txt",
Environment.NewLine);
    }
    //Počistimo tabelo, nastavimo leto:
    array = new double[11];
    array[0] = year;
}
else {
    //Nova tabela:
    array = new double[11];
    array[0] = year;
    firstLine = false;
}

//Preberemo količino padavin:
decimal rain = Convert.ToDecimal(parsedLine[1]);

//Preberemo količino 5-minutnih intervalov:
decimal intervals = Convert.ToDecimal(parsedLine[2]);

//Formula:
decimal I = rain * (60 / (intervals * 5));

//Find correct array placing, check for max value:
decimal val = intervals*5;
for (int j = 0; j < intervali.Length; j++)
{
    if (intervali[j] < val) continue; //Find proper
interval.
    else {
        //Check for max value, write it down, if found:
        if (array[j + 1] < Convert.ToDouble(I)) array[j + 1]
= Convert.ToDouble(I);
        break;
    }
}
}

private static void ParseLine(string line, int userInterval)
{
    #region Razlika v času med obema datumoma!
    int currentYear, currentDay, currentMonth, currentHour =
0;

    string[] parsedLine = line.Split(','); //Razbijemo vrstico
na posamezne elemente.

    currentYear = Convert.ToInt32(parsedLine[0]); //Preberemo
trenutno leto.

```

```
.         currentMonth = Convert.ToInt32(parsedLine[1]); //Preberemo
trenutni mesec.
.         currentDay = Convert.ToInt32(parsedLine[2]); //Preberemo
trenutni dan.
.         currentHour = Convert.ToInt32(parsedLine[3]); //Preberemo
trenutno uro.
.
.         DateTime currentDate = new DateTime(currentYear,
currentMonth, currentDay, currentHour-1, 0, 0);
.         DateTime previousDate;
.
.         //Prebrali smo šele prvo vrstico:
.         if (lastParsedYear.Equals(0)) previousDate = new
DateTime(currentYear, currentMonth, currentDay, currentHour-1, 0,
0);
.         else previousDate = new DateTime(lastParsedYear,
lastParsedMonth, lastParsedDay, lastParsedHour-1, 0, 0);
.
.         TimeSpan ts = currentDate.Subtract(previousDate);
.         int differenceInDays = ts.Days; //Razlika med prejšnjo in
trenutno vrstico v dneh.
.         int differenceInHours = ts.Hours; //Razlika med prejšnjo in
trenutno vrstico v urah.
.         int totalTimeDifferenceInHours = differenceInDays * 24 +
differenceInHours;
.
.         lastParsedMonth = currentMonth;
.         lastParsedDay = currentDay;
.         lastParsedHour = currentHour;
.         lastParsedYear = currentYear;
.         #endregion
.
.         #region Ugotavljanje padavinskega dogodka
.         //Upoštevamo možne prazne vrstice, predstavljene v urah:
.         if (totalTimeDifferenceInHours > 1)
.         {
.             int minutes = totalTimeDifferenceInHours * 60 - 60;
.             minutes = minutes / 5;
.             noRainCounter += minutes;
.         }
.
.         /* SPODNJI ALGORITEM:
.             readout = 0; preRain = false    {counterDežja++}
.             readout = 0; preRain = true    {counterDežja++,
rainEventNoRainCounter++}
.             readout != 0; preRain = false  {1. če je counterDežja >
47: nastavi preRain na true, šteje dež, resetiraj counterDežja na 0;
2. drugače samo resetiraj counterDežja na 0}
.             readout != 0; preRain = true   {1. če je counterDežja >
47: ZAPIS V DATOTEKO ZA VSE KAR SMO ZBRALI DO ZDAJ MINUS
ZADNJE/TRENUTNO BRANJE, resetiramo globalne intervale in količine
(tudi counterDežja!!!),
.
.                                     vnesemo novo/trenutno
vrednost in nadaljujemo izvajanje; 2. drugače šteje dež, resetiraj
```

```

counterDežja na 0, dodaj rainEventNoRainCounter k preštetim 5-
minutnim intervalom}
*/
.
.
.
    for (int i = 4; i < parsedLine.Length; i++)
    {
        String rainAmountReadoutS = parsedLine[i]; //Količina
        padavin v ustreznem intervalu.
        double rainAmountReadout =
Convert.ToDouble(rainAmountReadoutS, CultureInfo.InvariantCulture);
.
.
        if (rainAmountReadout < 0.0)
        {
            noRainCounter = 0;
            continue;
        }
        else if ((rainAmountReadout < 0.1) &&
preRainCalm.Equals(false)) noRainCounter++; //Ni padavin, povečamo
števec nepadaviskih intervalov.
        else if ((rainAmountReadout > 0.0) &&
preRainCalm.Equals(false)) //4 ure pred nevihto nič, prvič!
        {
            if (noRainCounter > userInterval-1)
//if (noRainCounter > 47)
            {
                preRainCalm = true;
                noRainCounter = 0;
                rainAmount += rainAmountReadout;
                rainIntervals += 1;
            }
            else noRainCounter = 0;
        }
        else if ((rainAmountReadout < 0.1) &&
preRainCalm.Equals(true))
        {
            rainEventNoRainCounter++;
            noRainCounter++;
        }
        else if ((rainAmountReadout > 0.0) &&
preRainCalm.Equals(true))
        {
            if (noRainCounter > userInterval-1)
//if (noRainCounter > 47)
            {
                //Zapis v datoteko!!!
                decimal value1 = Convert.ToDecimal(rainAmount);
                string text = currentYear + " " +
String.Format("{0:0.0}", Math.Truncate(value1 * 10) / 10) + " " +
rainIntervals;
                System.IO.File.AppendAllText("Padavinski
dogodki.txt", text + Environment.NewLine);
            }
            noRainCounter = 0;
        }
    }
}

```



```
.           rainAmount = rainAmountReadout;
.           rainIntervals = 1;
.           rainEventNoRainCounter = 0;
.         }
.         else
.         {
.           noRainCounter = 0;
.           rainAmount += rainAmountReadout;
.           rainIntervals = rainIntervals +
rainEventNoRainCounter + 1;
.           rainEventNoRainCounter = 0;
.         }
.       }
.     }
.   #endregion
. }
. }
```

B.2 Izvorna koda algoritma CPP.R

```

. #Uvoz podatkov padavinski dogodki z intervali
. ptm <- proc.time()#za merjenje časa računanja
. #V prvem delu se ugotovi število neodvisnih padavinskih dogodkov in se
.   jih zapiše v matriko nevihte. Vsak posamezen dogodek se napiše v
.   svojo vrstico
. PDD<-PD
. razmejitev<-which(grepl("#####",PDD$V1))
. stevilorazmejitev<-length(razmejitev)
. nevihte<-matrix(nrow=stevilorazmejitev,ncol=40000)
. i<-1
. while(i<stevilorazmejitev){
.   k<-1
.   j<-((razmejitev[i+1]-razmejitev[i])-6)/2
.   lokacije<-matrix(ncol=j,nrow=1)
.   lokacije[1,1]<-razmejitev[i]+2
.   while(k<j){
.     lokacije[1,k+1]<-lokacije[1,k]+2
.     k<-k+1
.   }
.   m<-0
.   while(m<j){
.     l<-1
.     while(l<13){
.       nevihte[i,l+12*m]<-PDD[lokacije[1,m+1],l+4]
.       l<-l+1
.     }
.     m<-m+1
.   }
.   i<-i+1
. }
. nevihte <- as.data.frame(nevihte, stringsAsFactors=FALSE)
. nevihte<-nevihte[,colSums(is.na(nevihte)) != nrow(nevihte)]
.
. #Delitev z 10, ker so podatki različni!!
.
. nevihte<-nevihte/10
. #Vzamemo samo nevihte, kjer pade več kot 12,7mm padavin
. nevihtenad12<-nevihte[-which(apply(nevihte, 1, sum, na.rm=TRUE)<12,7),]
. #Odstranimo ničle pred padavinskimi dogodki
. nevihtenad12[,1:1][nevihtenad12[1]==0] <- NA
. o<-1
. while(o<nrow(nevihtenad12)){
.   n<-1
.   while(n<12){
.     if(is.na(nevihtenad12[o,n])==TRUE && nevihtenad12[o,n+1]<0.1){
.       nevihtenad12[o,n+1]<-NA
.       n<-n+1
.     } else
.       n <- 12
.   }
.   o <- o+1
. }

```

```
. #Sortiramo padavinske dogodke po kvartilih
. trajanja <- apply(nevihtenad12, 1, function(x)length(x[!is.na(x)]))
. kvartil1 <- which(trajanja > 35 & trajanja < 72)
. kvartil2 <- which(trajanja > 72 & trajanja < 144)
. kvartil3 <- which(trajanja > 144 & trajanja < 216)
. kvartil4 <- which(trajanja > 216)
. padkvartil1<-nevihtenad12[kvartil1,]
. padkvartil2<-nevihtenad12[kvartil2,]
. padkvartil3<-nevihtenad12[kvartil3,]
. padkvartil4<-nevihtenad12[kvartil4,]
. #Padavine kumulativno seštejemo
. kumkv1<-apply(padkvartil1, 1, function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. kumkv2<-apply(padkvartil2, 1, function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. kumkv3<-apply(padkvartil3, 1, function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. kumkv4<-apply(padkvartil4, 1, function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. #Normiranje kumulative
. kumpikekv1<-data.frame(c(1:19))
. p<-1
. while(p<length(kumkv1)+1){
.   kumkv1[[p]]<-kumkv1[[p]]/max(kumkv1[[p]],na.rm=FALSE)
.   dolnevihte=length(unlist(kumkv1[[p]]))
.   kumpikekv1[[p]]<-unlist(kumkv1[[p]])[1:19*(dolnevihte/20)]
.   p<-p+1
. }
. kumpikekv2<-data.frame(c(1:19))
. p<-1
. while(p<length(kumkv2)+1){
.   kumkv2[[p]]<-kumkv2[[p]]/max(kumkv2[[p]],na.rm=FALSE)
.   dolnevihte=length(unlist(kumkv2[[p]]))
.   kumpikekv2[[p]]<-unlist(kumkv2[[p]])[1:19*(dolnevihte/20)]
.   p<-p+1
. }
. kumpikekv3<-data.frame(c(1:19))
. p<-1
. while(p<length(kumkv3)+1){
.   kumkv3[[p]]<-kumkv3[[p]]/max(kumkv3[[p]],na.rm=FALSE)
.   dolnevihte=length(unlist(kumkv3[[p]]))
.   kumpikekv3[[p]]<-unlist(kumkv3[[p]])[1:19*(dolnevihte/20)]
.   p<-p+1
. }
. kumpikekv4<-data.frame(c(1:19))
. p<-1
. while(p<length(kumkv4)+1){
.   kumkv4[[p]]<-kumkv4[[p]]/max(kumkv4[[p]],na.rm=FALSE)
.   dolnevihte=length(unlist(kumkv4[[p]]))
.   kumpikekv4[[p]]<-unlist(kumkv4[[p]])[1:19*(dolnevihte/20)]
.   p<-p+1
. }
. #Izdelava tabel za izris Huffovih krivulj in vmeščanje v percentile
. Huffkv1=matrix(NA, nrow=19, ncol=9))
. p<-1
. while(p<20){
.   Huffkv1[p,]<-quantile(kumpikekv1[p,], probs = c(10, 20, 30, 40,
.     50.0000000001, 60,70,80,90)/100)
```

```

.   p<-p+1
. }
. Huffkv1=rbind(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0), Huffkv1,c(1,1,1,1,1,1,1,1,1))
. Huffkv2=data.frame(matrix(NA, nrow=19, ncol=9))
. p<-1
. while(p<20){
.   Huffkv2[p,]<-quantile(kumpikekv2[p,], probs = c(10, 20, 30, 40,
.     50.0000000001, 60,70,80,90)/100)
.   p<-p+1
. }
. Huffkv2=rbind(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0), Huffkv2,c(1,1,1,1,1,1,1,1,1))
. Huffkv3=data.frame(matrix(NA, nrow=19, ncol=9))
. p<-1
. while(p<20){
.   Huffkv3[p,]<-quantile(kumpikekv3[p,], probs = c(10, 20, 30, 40,
.     50.0000000001, 60,70,80,90)/100)
.   p<-p+1
. }
. Huffkv3=rbind(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0), Huffkv3,c(1,1,1,1,1,1,1,1,1))
. Huffkv4=data.frame(matrix(NA, nrow=19, ncol=9))
. p<-1
. while(p<20){
.   Huffkv4[p,]<-quantile(kumpikekv4[p,], probs = c(10, 20, 30, 40,
.     50.0000000001, 60,70,80,90)/100)
.   p<-p+1
. }
. Huffkv4=rbind(c(0,0,0,0,0,0,0,0,0), Huffkv4,c(1,1,1,1,1,1,1,1,1))
. #Risanje grafov
. #1. kvartil
. nat<-
.   c(0,0.05,0.1,0.15,0.2,0.25,0.3,0.35,0.4,0.45,0.5,0.55,0.6,0.65,0.7,0
.     .75,0.8,0.85,0.9,0.95,1)
. matplot(nat,Huffkv1[,1],type='l',col="red",xlab="Normirano trajanje
.   padavin",ylab="Normirana vsota padavin",xlim=c(0, 1), ylim=c(0,
.   1),cex.axis=0.7)
. abline(v=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1), col="gray85",
.   lty="solid")
. abline(h=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1), col="gray85",
.   lty="solid")
. lines(nat,Huffkv1[,2],type="l",col="orange")
. lines(nat,Huffkv1[,3],type="l",col="gold")
. lines(nat,Huffkv1[,4],type="l",col="darkseagreen")
. lines(nat,Huffkv1[,5],type="l",col="forestgreen")
. lines(nat,Huffkv1[,6],type="l",col="darkslategray")
. lines(nat,Huffkv1[,7],type="l",col="darkslategray1")
. lines(nat,Huffkv1[,8],type="l",col="deepskyblue")
. lines(nat,Huffkv1[,9],type="l",col="dodgerblue")
. ozn<-c(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)
. axis(1, at=ozn, labels = ozn,cex.axis=0.7)
. axis(2, at=ozn, labels = ozn,cex.axis=0.7)
. box()
. title(main="Huffove krivulje za 1. kvartil", col.main="black")
. legend("topleft",
.   c("10%", "20%", "30%", "40%", "50%", "60%", "70%", "80%", "90%"),

```

```
    cex=0.6,col=c("red",
    "orange","gold","darkseagreen","forestgreen","darkslategrey","darksla
    tegrey","deepskyblue","dodgerblue"),lwd=2,
    bty="o",title="Percentili")
. #2. kvartil
. matplot(nat,Huffkv2[,1],type='l',col="red",xlab="Normirano trajanje
    padavin",ylab="Normirana vsota padavin",xlim=c(0,1),ylim=c(0,
    1),cex.axis=0.7)
. abline(v=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1),col="gray85",
    lty="solid")
. abline(h=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1),col="gray85",
    lty="solid")
. lines(nat,Huffkv2[,2],type="l",col="orange")
. lines(nat,Huffkv2[,3],type="l",col="gold")
. lines(nat,Huffkv2[,4],type="l",col="darkseagreen")
. lines(nat,Huffkv2[,5],type="l",col="forestgreen")
. lines(nat,Huffkv2[,6],type="l",col="darkslategray")
. lines(nat,Huffkv2[,7],type="l",col="darkslategray1")
. lines(nat,Huffkv2[,8],type="l",col="deepskyblue")
. lines(nat,Huffkv2[,9],type="l",col="dodgerblue")
. ozn<-c(0.1,0.3,0.5,0.7,0.9)
. axis(1,at=ozn,labels=ozn,cex.axis=0.7)
. axis(2,at=ozn,labels=ozn,cex.axis=0.7)
. box()
. title(main="Huffove krivulje za 2. kvartil",col.main="black")
. legend("topleft",
    c("10%","20%","30%","40%","50%","60%","70%","80%","90%"),
    cex=0.6,col=c("red",
    "orange","gold","darkseagreen","forestgreen","darkslategrey","darksla
    tegrey","deepskyblue","dodgerblue"),lwd=2,
    bty="o",title="Percentili")
. #3. kvartil
. matplot(nat,Huffkv3[,1],type='l',col="red",xlab="Normirano trajanje
    padavin",ylab="Normirana vsota padavin",xlim=c(0,1),ylim=c(0,
    1),cex.axis=0.7)
. abline(v=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1),col="gray85",
    lty="solid")
. abline(h=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1),col="gray85",
    lty="solid")
. lines(nat,Huffkv3[,2],type="l",col="orange")
. lines(nat,Huffkv3[,3],type="l",col="gold")
. lines(nat,Huffkv3[,4],type="l",col="darkseagreen")
. lines(nat,Huffkv3[,5],type="l",col="forestgreen")
. lines(nat,Huffkv3[,6],type="l",col="darkslategray")
. lines(nat,Huffkv3[,7],type="l",col="darkslategray1")
. lines(nat,Huffkv3[,8],type="l",col="deepskyblue")
. lines(nat,Huffkv3[,9],type="l",col="dodgerblue")
. ozn<-c(0.1,0.3,0.5,0.7,0.9)
. axis(1,at=ozn,labels=ozn,cex.axis=0.7)
. axis(2,at=ozn,labels=ozn,cex.axis=0.7)
. box()
. title(main="Huffove krivulje za 3. kvartil",col.main="black")
. legend("topleft",
    c("10%","20%","30%","40%","50%","60%","70%","80%","90%"),
```

```

cex=0.6, col=c("red",
"orange", "gold", "darkseagreen", "forestgreen", "darkslategrey", "darksla
tegrey", "deepskyblue", "dodgerblue"), lwd=2,
bty="o", title="Percentili")
. #4. kvartil
. matplot(nat, Huffkv4[,1], type='l', col="red", xlab="Normirano trajanje
padavin", ylab="Normirana vsota padavin", xlim=c(0, 1), ylim=c(0,
1), cex.axis=0.7)
. abline(v=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1), col="gray85",
lty="solid")
. abline(h=c(0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1), col="gray85",
lty="solid")
. lines(nat, Huffkv4[,2], type="l", col="orange")
. lines(nat, Huffkv4[,3], type="l", col="gold")
. lines(nat, Huffkv4[,4], type="l", col="darkseagreen")
. lines(nat, Huffkv4[,5], type="l", col="forestgreen")
. lines(nat, Huffkv4[,6], type="l", col="darkslategray")
. lines(nat, Huffkv4[,7], type="l", col="darkslategray1")
. lines(nat, Huffkv4[,8], type="l", col="deepskyblue")
. lines(nat, Huffkv4[,9], type="l", col="dodgerblue")
. ozn<-c(0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9)
. axis(1, at=ozn, labels = ozn, cex.axis=0.7)
. axis(2, at=ozn, labels = ozn, cex.axis=0.7)
. box()
. title(main="Huffove krivulje za 4. kvartil", col.main="black")
. legend("topleft",
c("10%", "20%", "30%", "40%", "50%", "60%", "70%", "80%", "90%"),
cex=0.6, col=c("red",
"orange", "gold", "darkseagreen", "forestgreen", "darkslategrey", "darksla
tegrey", "deepskyblue", "dodgerblue"), lwd=2,
bty="o", title="Percentili")
. #V tem delu izdelamo se grafe normirane vsote padavin in normiranega
trajanja padavin
. kumnomkv1<-kumpikekv1
. kumnomkv1<-rbind(rep(0, nrow(kumpikekv1)),
kumnomkv1, rep(1, nrow(kumpikekv1)))
. matplot(nat, kumnomkv1, type='l', col="black", xlab="Normirano trajanje
padavin", ylab="Normirana vsota padavin", lty="solid")
. title(main="Graf normiranih vsotnih krivulj\n padavin v 1. kvartilu",
col.main="black", cex.main=0.9)
. kumnomkv2<-kumpikekv2
. kumnomkv2<-rbind(rep(0, nrow(kumpikekv2)),
kumnomkv2, rep(1, nrow(kumpikekv2)))
. matplot(nat, kumnomkv2, type='l', col="black", xlab="Normirano trajanje
padavin", ylab="Normirana vsota padavin", lty="solid")
. title(main="Graf normiranih vsotnih krivulj\n padavin v 2. kvartilu",
col.main="black", cex.main=0.9)
. kumnomkv3<-kumpikekv3
. kumnomkv3<-rbind(rep(0, nrow(kumpikekv3)),
kumnomkv3, rep(1, nrow(kumpikekv3)))
. matplot(nat, kumnomkv3, type='l', col="black", xlab="Normirano trajanje
padavin", ylab="Normirana vsota padavin", lty="solid")
. title(main="Graf normiranih vsotnih krivulj\n padavin v 3. kvartilu",
col.main="black", cex.main=0.9)

```

```
. kumnomkv4<-kumpikekv4
. kumnomkv4<-rbind(rep(0,nrow(kumpikekv4)),
  kumnomkv4,rep(1,nrow(kumpikekv4)))
. matplot(nat,kumnomkv4,type='l',col="black",xlab="Normirano trajanje
  padavin",ylab="Normirana vsota padavin",lty="solid")
. title(main="Graf normiranih vsotnih krivulj\n padavin v 4. kvartilu",
  col.main="black",cex.main=0.9)
. #V tem delu izdelamo grafe, ki prikazujejo točke, kjer brezdimenzijske
  krivulje sekajo vertikalne linije normiranega časa v razmikih 0,05
. matplot(nat,kumnomkv1,type='p',col="black",xlab="Normirano trajanje
  padavin",ylab="Normirana vsota padavin",pch=".")
. title(main="1. kvartil", col.main="black",cex.main=1)
. matplot(nat,kumnomkv2,type='p',col="black",xlab="Normirano trajanje
  padavin",ylab="Normirana vsota padavin",pch=".")
. title(main="2. kvartil", col.main="black",cex.main=1)
. matplot(nat,kumnomkv3,type='p',col="black",xlab="Normirano trajanje
  padavin",ylab="Normirana vsota padavin",pch=".")
. title(main="3. kvartil", col.main="black",cex.main=1)
. matplot(nat,kumnomkv4,type='p',col="black",xlab="Normirano trajanje
  padavin",ylab="Normirana vsota padavin",pch=".")
. title(main="4. kvartil", col.main="black",cex.main=1)
. #Risanje kumulativnih krivulj
. padkvartil1zagraf<-cbind(rep(0,nrow(padkvartil1)), padkvartil1)
. kumkv1orig<-apply(padkvartil1zagraf, 1,
  function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. plot(unlist(kumkv1orig),type="n",xlim=c(1,max(sapply(kumkv1orig,lengt
  h))),col="black",xlab="Trajanje padavin [min]",ylab="Vsota padavin
  [mm]",xaxt="n")
. mapply(lines,kumkv1orig,col="black",lty=1)
. axis(1, at=(0:100)*10, labels=(0:100)*50)
. title(main="1. kvartil", col.main="black")
. padkvartil2zagraf<-cbind(rep(0,nrow(padkvartil2)), padkvartil2)
. kumkv2orig<-apply(padkvartil2zagraf, 1,
  function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. plot(unlist(kumkv2orig),type="n",xlim=c(1,max(sapply(kumkv2orig,lengt
  h))),col="black",xlab="Trajanje padavin [min]",ylab="Vsota padavin
  [mm]",xaxt="n")
. mapply(lines,kumkv2orig,col="black",lty=1)
. axis(1, at=(0:100)*20, labels=(0:100)*100)
. title(main="2. kvartil", col.main="black")
. padkvartil3zagraf<-cbind(rep(0,nrow(padkvartil3)), padkvartil3)
. kumkv3orig<-apply(padkvartil3zagraf, 1,
  function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. plot(unlist(kumkv3orig),type="n",xlim=c(1,max(sapply(kumkv3orig,lengt
  h))),col="black",xlab="Trajanje padavin [min]",ylab="Vsota padavin
  [mm]",xaxt="n")
. mapply(lines,kumkv3orig,col="black",lty=1)
. axis(1, at=(0:100)*20, labels=(0:100)*100)
. title(main="3. kvartil", col.main="black")
. padkvartil4zagraf<-cbind(rep(0,nrow(padkvartil4)), padkvartil4)
. kumkv4orig<-apply(padkvartil4zagraf, 1,
  function(x)cumsum(na.exclude(x)))
. plot(unlist(kumkv4orig),type="n",xlim=c(1,max(sapply(kumkv4orig,lengt
  h))),col="black",xlab="Trajanje padavin [min]",ylab="Vsota padavin
```

```
      [mm]", xaxt="n")
. mapply(lines, kumkv4orig, col="black", lty=1)
. axis(1, at=(0:10)*200, labels=(0:10)*1000)
. title(main="4. kvartil", col.main="black")
. #Za vsak kvartil posebej izdelamo tabelo z binarnimi kodami BSC
. # !!!POZOR!!! Za delovanje tega dela programa moramo namestiti
      knjižnico plyr
. #BSC za prvi kvartil
. BSCKv1=data.frame(matrix(NA, nrow=length(kumkv1), ncol=4))
. p<-1
. temp<-data.frame(c(1:19))
. while(p<length(kumkv1)+1){
.   temp[,1]<-c(kumpikekv1[,p]-cumsum(rep(c(1/19), each=19)))
.   if(sum(temp[1:5,1])<0){
.     BSCKv1[p,1]<-0
.   } else
.   {BSCKv1[p,1]<-1}
.   if(sum(temp[6:10,1])<0){
.     BSCKv1[p,2]<-0
.   } else
.   {BSCKv1[p,2]<-1}
.   if(sum(temp[11:15,1])<0){
.     BSCKv1[p,3]<-0
.   } else
.   {BSCKv1[p,3]<-1}
.   if(sum(temp[16:19,1])<0){
.     BSCKv1[p,4]<-0
.   } else
.   {BSCKv1[p,4]<-1}
.   p<-p+1
. }
. #BSC za drugi kvartil
. BSCKv2=data.frame(matrix(NA, nrow=length(kumkv2), ncol=4))
. p<-1
. temp<-data.frame(c(1:19))
. while(p<length(kumkv2)+1){
.   temp[,1]<-c(kumpikekv2[,p]-cumsum(rep(c(1/19), each=19)))
.   if(sum(temp[1:5,1])<0){
.     BSCKv2[p,1]<-0
.   } else
.   {BSCKv2[p,1]<-1}
.   if(sum(temp[6:10,1])<0){
.     BSCKv2[p,2]<-0
.   } else
.   {BSCKv2[p,2]<-1}
.   if(sum(temp[11:15,1])<0){
.     BSCKv2[p,3]<-0
.   } else
.   {BSCKv2[p,3]<-1}
.   if(sum(temp[16:19,1])<0){
.     BSCKv2[p,4]<-0
.   } else
.   {BSCKv2[p,4]<-1}
.   p<-p+1
```



```
. }  
. #BSC za tretji kvartil  
. BSCKv3=matrix(NA, nrow=length(kumkv3), ncol=4)  
. p<-1  
. temp<-data.frame(c(1:19))  
. while(p<length(kumkv3)+1){  
.   temp[,1]<-c(kumpikekv3[,p]-cumsum(rep(c(1/19), each=19)))  
.   if(sum(temp[1:5,1])<0){  
.     BSCKv3[p,1]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv3[p,1]<-1}  
.   if(sum(temp[6:10,1])<0){  
.     BSCKv3[p,2]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv3[p,2]<-1}  
.   if(sum(temp[11:15,1])<0){  
.     BSCKv3[p,3]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv3[p,3]<-1}  
.   if(sum(temp[16:19,1])<0){  
.     BSCKv3[p,4]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv3[p,4]<-1}  
.   p<-p+1  
. }  
. #BSC za četrti kvartil  
. BSCKv4=matrix(NA, nrow=length(kumkv4), ncol=4)  
. p<-1  
. temp<-data.frame(c(1:19))  
. while(p<length(kumkv4)+1){  
.   temp[,1]<-c(kumpikekv4[,p]-cumsum(rep(c(1/19), each=19)))  
.   if(sum(temp[1:5,1])<0){  
.     BSCKv4[p,1]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv4[p,1]<-1}  
.   if(sum(temp[6:10,1])<0){  
.     BSCKv4[p,2]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv4[p,2]<-1}  
.   if(sum(temp[11:15,1])<0){  
.     BSCKv4[p,3]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv4[p,3]<-1}  
.   if(sum(temp[16:19,1])<0){  
.     BSCKv4[p,4]<-0  
.   } else  
.   {BSCKv4[p,4]<-1}  
.   p<-p+1  
. }  
. #Sedaj izdelamo tabelo k kateri piše koliko neviht ustreza posameznemu  
.   BSC  
. #Izdelamo dummy matriko in jo pripnemo datotekam BSCKv1, BSCKv2,... zato,  
.   da bodo prisotne vse možne kombinacije BSC, ko jih bomo šteli  
. BSCKprimeri=matrix(NA, nrow=16, ncol=4)
```

```

. BSCprimeri[1,]<-c(0,0,0,0)
. BSCprimeri[2,]<-c(0,0,0,1)
. BSCprimeri[3,]<-c(0,0,1,0)
. BSCprimeri[4,]<-c(0,0,1,1)
. BSCprimeri[5,]<-c(0,1,0,0)
. BSCprimeri[6,]<-c(0,1,0,1)
. BSCprimeri[7,]<-c(0,1,1,0)
. BSCprimeri[8,]<-c(0,1,1,1)
. BSCprimeri[9,]<-c(1,0,0,0)
. BSCprimeri[10,]<-c(1,0,0,1)
. BSCprimeri[11,]<-c(1,0,1,0)
. BSCprimeri[12,]<-c(1,0,1,1)
. BSCprimeri[13,]<-c(1,1,0,0)
. BSCprimeri[14,]<-c(1,1,0,1)
. BSCprimeri[15,]<-c(1,1,1,0)
. BSCprimeri[16,]<-c(1,1,1,1)
. BSCkv1 <- rbind(BSCkv1, BSCprimeri)
. BSCkv2 <- rbind(BSCkv2, BSCprimeri)
. BSCkv3 <- rbind(BSCkv3, BSCprimeri)
. BSCkv4 <- rbind(BSCkv4, BSCprimeri)
. library(plyr)
. BSCstevilokv1<-ddply(BSCkv1,.(X1,X2,X3,X4),nrow)
. BSCstevilokv2<-ddply(BSCkv2,.(X1,X2,X3,X4),nrow)
. BSCstevilokv3<-ddply(BSCkv3,.(X1,X2,X3,X4),nrow)
. BSCstevilokv4<-ddply(BSCkv4,.(X1,X2,X3,X4),nrow)
. BSCtabela=data.frame(matrix(NA, nrow=16, ncol=4))
. BSCtabela[,1]<-BSCstevilokv1[,5]
. BSCtabela[,2]<-BSCstevilokv2[,5]
. BSCtabela[,3]<-BSCstevilokv3[,5]
. BSCtabela[,4]<-BSCstevilokv4[,5]
. BSCtabela[,1]<-BSCtabela[,1]-rep(c(1),each=16)
. BSCtabela[,2]<-BSCtabela[,2]-rep(c(1),each=16)
. BSCtabela[,3]<-BSCtabela[,3]-rep(c(1),each=16)
. BSCtabela[,4]<-BSCtabela[,4]-rep(c(1),each=16)
. rownames(BSCtabela)<-
  c("0000","0001","0010","0011","0100","0101","0110","0111","1000","10
  01","1010","1011","1100","1101","1110","1111")
. colnames(BSCtabela)<-c("1. kvartil","2. kvartil","3. kvartil","4.
  kvartil")
. BSCtabela$Sum<-
  c(sum(BSCtabela[,1]),sum(BSCtabela[,2]),sum(BSCtabela[,3]),sum(BSCt
  abela[,4]),sum(BSCtabela[,5]),sum(BSCtabela[,6]),sum(BSCtabela[,7]),
  sum(BSCtabela[,8]),sum(BSCtabela[,9]),sum(BSCtabela[,10]),sum(BSCt
  abela[,11]),sum(BSCtabela[,12]),sum(BSCtabela[,13]),sum(BSCtabela[,1
  4]),sum(BSCtabela[,15]),sum(BSCtabela[,16]))
. #Risanje grafa razporeditve BSC
. #za ta del je potrebno namestiti paket ggplot, grid in gridExtra
. library(ggplot2)
. library(gridExtra)
. library(grid)
. BSCtabelaodst<-BSCtabela
. BSCtabelaodst[,1]<-(BSCtabelaodst[,1]/sum(BSCtabelaodst[,1]))*100
. BSCtabelaodst[,2]<-(BSCtabelaodst[,2]/sum(BSCtabelaodst[,2]))*100
. BSCtabelaodst[,3]<-(BSCtabelaodst[,3]/sum(BSCtabelaodst[,3]))*100

```

```
. BSCtabelaodst[,4]<-(BSCtabelaodst[,4]/sum(BSCtabelaodst[,4]))*100
. BSCtabelaodst[,5]<-(BSCtabelaodst[,5]/sum(BSCtabelaodst[,5]))*100
. #Razporeditev BSC-skupno
. BSCtabelaodst$BSC<-
  c("0000", "0001", "0010", "0011", "0100", "0101", "0110", "0111", "1000", "10
  01", "1010", "1011", "1100", "1101", "1110", "1111")
. Grafskupno <- data.frame(BSC = factor(BSCtabelaodst$BSC,
  levels=BSCtabelaodst$BSC), Nevihte = BSCtabelaodst$Sum)
. Grafskupno$BSC <- factor(Grafskupno$BSC, levels =
  Grafskupno$BSC[order(Grafskupno$Nevihte,decreasing = TRUE)])
. ggplot(data=Grafskupno, aes(x=BSC, y=Nevihte)) +
  geom_bar(stat="identity") +xlab("BSC") + ylab("Nevihte po posameznem
  BSC [%]") +
. ggtitle("Razporeditev BSC")
. #Razporeditev BSC-po kvartilih
. BSCtabelaodst$Sum<-NULL
. BSCtabelaodst$BSC<-NULL
. par(mar=c(3.1, 5.1, 3.1, 6.1), xpd=TRUE)
. barplot(as.matrix(BSCtabelaodst),main = "Porazdelitev BSC po
  kvartilih", col=c("orange", "red", "dodgerblue", "deepskyblue", "darkslat
  egray1", "darkslategray", "forestgreen", "darkseagreen", "gold"),ylab="Po
  razdelitev [%]")
. legend("right",inset=c(-0.2,0), legend =
  c("0000", "0001", "0010", "0011", "0100", "0101", "0110", "0111", "1000", "10
  01", "1010", "1011", "1100", "1101", "1110", "1111"),
  fill =
  c("orange", "red", "dodgerblue", "deepskyblue", "darkslategray1", "darksl
  ategray", "forestgreen", "darkseagreen", "gold"),
  cex=0.7 ,title="BSC")
.
. #Izdelava normiranega histograma
. #1. kvartil
. NH1<- matrix(unlist(Huffkv1[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH1zmanjsevalec<- matrix(unlist(Huffkv1[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH1<-NH1[,-1]
. NH1zmanjsevalec<-NH1zmanjsevalec[,-21]
. NormHistkv1<-NH1-NH1zmanjsevalec
. barplot(NormHistkv1,names.arg =
  c(1:20/20),ylim=c(0,0.2),cex.axis=0.9,cex.names=0.7,las =
  2,xlab="Normirano trajanje padavin",ylab="Normirana kolicina
  padavin")
. title(main="Normiran histogram za 1. kvartil", col.main="black")
. #2. kvartil
. NH2<- matrix(unlist(Huffkv2[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH2zmanjsevalec<- matrix(unlist(Huffkv2[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH2<-NH2[,-1]
. NH2zmanjsevalec<-NH2zmanjsevalec[,-21]
. NormHistkv2<-NH2-NH2zmanjsevalec
. barplot(NormHistkv2,names.arg =
  c(1:20/20),ylim=c(0,0.2),cex.axis=0.9,cex.names=0.7,las =
  2,xlab="Normirano trajanje padavin",ylab="Normirana kolicina
  padavin")
. title(main="Normiran histogram za 2. kvartil", col.main="black")
. #3. kvartil
```

```
. NH3<- matrix(unlist(Huffkv3[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH3zmanjsevalec<- matrix(unlist(Huffkv3[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH3<-NH3[, -1]
. NH3zmanjsevalec<-NH3zmanjsevalec[, -21]
. NormHistkv3<-NH3-NH3zmanjsevalec
. barplot(NormHistkv3,names.arg =
  c(1:20/20),ylim=c(0,0.2),cex.axis=0.9,cex.names=0.7,las =
  2,xlab="Normirano trajanje padavin",ylab="Normirana kolicina
  padavin")
. title(main="Normiran histogram za 3. kvartil", col.main="black")
. #4. kvartil
. NH4<- matrix(unlist(Huffkv4[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH4zmanjsevalec<- matrix(unlist(Huffkv4[,5]), ncol = 21, byrow = TRUE)
. NH4<-NH4[, -1]
. NH4zmanjsevalec<-NH4zmanjsevalec[, -21]
. NormHistkv4<-NH4-NH4zmanjsevalec
. barplot(NormHistkv4,names.arg =
  c(1:20/20),ylim=c(0,0.2),cex.axis=0.9,cex.names=0.7,las =
  2,xlab="Normirano trajanje padavin",ylab="Normirana kolicina
  padavin")
. title(main="Normiran histogram za 4. kvartil", col.main="black")
.
proc.time() - ptm
```