

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
VODARSTVA IN  
KOMUNALNEGA  
INŽENIRSTVA

Kandidatka:

**NINA GORANC**

**IZDELAVA IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z  
RAZLIČNO IZBIRO PORAZDELITEV**

Diplomska naloga št.: 186/VKI

**DEVELOPMENT AND COMPARISON OF IDF CURVES  
WITH DIFFERENT CHOICE OF DISTRIBUTIONS**

Graduation thesis No.: 186/VKI

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Šraj

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Dušan Žagar

**Somentor:**

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 28. 5. 2012

»Ta stran je namenoma prazna«

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Podpisana NINA GORANC izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »IZDELAVA IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z RAZLIČNO IZBIRO PORAZDELITEV«

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 15.5.2012

NINA GORANC

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>556.06:556.12(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Nina Goranc</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mojca Šraj</b>
<b>Somentor:</b>	<b>prof. dr. Mitja Brilly</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Izdelava in primerjava ITP krivulj z različno izbiro porazdelitev</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>93 str., 39 preg., 49 sl., 81 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>ITP krivulje, verjetnostna analiza, empirične enačbe, program Rain, porazdelitve, maksimalne letne intenzitete padavin</b>

### **Izveleček**

Krivulje intenziteta – trajanje – povratna doba padavin (ITP krivulje) predstavljajo razmerje med intenziteto in trajanjem padavinskega dogodka z določeno povratno dobo. V praksi imajo širok pomen in uporabo. Namen diplomske naloge je predstaviti ITP krivulje, njihov postopek izdelave ter uporabo v hidrologiji, ugotoviti vpliv izbire časa med posameznimi padavinskimi dogodki na letne maksimalne intenzitete padavin ter izračunati in primerjati ITP krivulje za izbrano padavinsko postajo z uporabo različnih porazdelitev.

V prvem delu diplomske naloge so predstavljene ITP krivulje, ki jih izdelujemo na podlagi statistične analize preteklih padavinskih dogodkov, njihov pomen in uporaba. Predstavljena je izbira podatkov za analizo in verjetnostna teorija, ki je potrebna za izdelavo krivulj. Narejen je tudi pregled empiričnih enačb, ki se uporabljajo v svetu.

V praktičnem delu naloge je kratka predstavitev programa RainPlot, s katerim smo za daljše obdobje meritev izračunali maksimalne letne intenzitete. Za izbrano meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad smo najprej želeli ugotoviti vpliv izbire različnih trajanj med posameznimi padavinskimi dogodki na maksimalne letne intenzitete. Nato smo z verjetnostno analizo in izbiro različnih porazdelitev ugotavljali vpliv izbire porazdelitve na rezultate ITP krivulj. Testiranje ujemanja za izbrano porazdelitev smo izvedli s pomočjo dveh testov, in sicer Hi-kvadrat in Kolmogorov-Smirnov testa. S štirimi različnimi 30-letnimi obdobji maksimalnih letnih intenzitet padavin pa smo na koncu primerjali še vpliv obdobja na rezultate ITP krivulj. S tem smo poskušali ugotoviti tudi vpliv podnebnih sprememb na ITP krivulje.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 556.06:556.12(043.2)  
**Author:** Nina Goranc  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.  
**Co-advisor:** Prof. Mitja Brilly, Ph.D.  
**Title:** Development and comparison of IDF curves with different choice of distributions  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Notes:** 93 p., 39 tab., 49 fig., 81 eq.  
**Key words:** IDF curves, frequency analysis, empirical equations, program Rain, distributions, annual maximum rainfall intensities

**Abstract**

Intensity – duration – frequency rainfall curves (IDF curves) indicate the relationship between the intensity and duration of a rainfall event with a given return period. Their purpose and use is very wide in practice. The purpose of this work is to present IDF curves and their development and application in hydrology, to determine the influence of choice of the time between rainfall events and to compare the results with different choice of distribution.

First part of the thesis presents the IDF curves, which are produced on the basis of statistical analysis of past rainfall events, their meaning and use. The choice of the data sample and the theory of frequency analysis is presented. Also the review of empirical equations most often used in the world is made.

In the practical part of the work there is a short presentation of program RainPlot. Annual maximum intensities for a long period of measurements were calculated with this program. The influence of the choice of different time between storms was investigated for selected meteorological station Ljubljana-Bežigrad. With the frequency analyses the influence of the choice of distribution on the IDF curves was determined. With two tests, Chi-square and Kolmogorov-Smirnov test, agreement of empirical and theoretical distributions were tested. With four different 30-year periods of annual maximum rainfall intensity, sample effect on results of IDF curves was compared, and thus also the impact of climate change on the IDF curves.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in vodenje pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorju prof. dr. Mitji Brillyu. Zahvaljujem se tudi družini, ki mi je v času študija stala ob strani.

Zahvala gre tudi Agenciji RS za okolje za posredovane podatke.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>KRIVULJE INTENZITETA – TRAJANJE – POVRATNA DOBA ALI ITP KRIVULJE</b>	<b>2</b>
2.1	Splošno.....	2
2.2	Intenziteta.....	4
2.3	Trajanje.....	4
2.4	Povratna doba in pogostost.....	4
2.5	Zgodovina ITP krivulj.....	5
2.6	Padavinski podatki in regionalizacija.....	6
<b>3</b>	<b>IZDELAVA ITP KRIVULJ</b> .....	<b>8</b>
3.1	Uvod.....	8
3.2	Izbira podatkov.....	9
3.3	Verjetnostna analiza padavin.....	11
3.3.1	Splošno.....	11
3.3.2	Postopek verjetnostne analize.....	13
3.3.3	Teoretične porazdelitve.....	14
3.3.3.1	<i>Normalna porazdelitev</i> .....	15
3.3.3.2	<i>Logaritemsko normalna porazdelitev</i> .....	15
3.3.3.3	<i>Porazdelitev ekstremnih vrednosti ali GEV porazdelitev</i> .....	16
3.3.3.4	<i>Ekstremna porazdelitev tipa I ali Gumbelova porazdelitev</i> .....	16
3.3.3.5	<i>Pearsonova porazdelitev tipa III</i> .....	17
3.3.3.6	<i>Log-Pearsonova porazdelitev tipa III</i> .....	17
3.3.4	Empirične porazdelitve za umestitev meritev v graf.....	18
3.4	Testiranje ujemanja.....	20
3.4.1	$\chi^2$ ali Hi-kvadrat test.....	20
3.4.2	Kolmogorov - Smirnov test.....	22
3.5	Empirične ITP enačbe.....	23
3.5.1	Enačba Sherman.....	24
3.5.2	Enačba Bernard.....	26
3.5.3	Enačba Talbot ali Steel in McGhee.....	28
3.5.4	Enačba Kimijima.....	29
3.5.5	Enačba dr. Ichikuro (Ibrahim, 2005):.....	30
3.5.6	Enačba Gert in sod.....	30
3.5.7	Enačba Mc Cuen.....	30
3.5.8	Enačba Chen.....	31
3.5.9	Enačba Wenzel.....	31



3.5.10	Enačba Lee in sod. ter enačba Heo in sod. ....	32
3.5.11	Enačba Koutsoyiannis in sod. ....	32
3.5.12	Enačba Ram Babu in sod. ....	33
3.5.13	Enačba Kothyari & Garde ....	35
<b>4</b>	<b>UPORABA ITP KRIVULJ V HIDROLOGIJI.....</b>	<b>36</b>
4.1	Uvod .....	36
4.2	Sintetični histogram padavin .....	36
4.2.1	Histogrami ustvarjeni z eno točko ITP krivulje .....	37
4.2.2	Histogrami ustvarjeni s celotno ITP krivuljo .....	38
4.3	Racionalna metoda.....	39
4.3.1	Intenziteta padavin .....	39
<b>5</b>	<b>PROGRAM RAIN .....</b>	<b>40</b>
5.1	Uvod .....	40
5.2	Namestitev programa.....	40
5.2.1	Datoteka »rainfall«.....	41
5.2.2	Datoteka »rainfall_stats«.....	41
5.2.3	Nastavitve baze podatkov kot sistema DSN.....	41
5.3	Splošno o RainPlotu .....	42
5.4	Uporaba programa RainPlot .....	42
5.4.1	Uvod.....	42
5.4.2	Urejanje privzetih hidroloških nastavitvev.....	44
5.4.3	Izbira podatkov.....	44
5.4.4	Nadzor kakovosti podatkov.....	47
5.4.5	Obdelava podatkov.....	47
5.4.6	Analiza podatkov.....	51
<b>6</b>	<b>PRIPRAVA PODATKOV ZA NJIHOVO NADALJNO UPORABO V PROGRAMU RAINPLOT.....</b>	<b>56</b>
6.1	Opis meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad.....	56
6.2	Priprava padavinskih podatkov.....	57
<b>7</b>	<b>VPLIV IZBIRE ČASA MED POSAMEZNIMI PADAVINSKIMI DOGODKI NA MAKSIMALNE LETNE INTENZITETE .....</b>	<b>58</b>
7.1	Izračun maksimalnih intenzitet padavin z različno izbiro časa med dogodki.....	58
7.2	Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet različnih trajanj in z različno izbiro časa med posameznimi dogodki .....	59
7.3	Primerjava rezultatov intenzitet po Gumbelovi porazdelitvi za 24-urno trajanje padavin in različna časovna trajanja med dogodki .....	61

<b>8</b>	<b>IZRAČUN IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z UPORABO RAZLIČNIH PORAZDELITEV .....</b>	<b>64</b>
8.1	Uvod.....	64
8.2	Rezultati za različne porazdelitve in 5-minutno trajanje padavin .....	65
8.3	Rezultati za različne porazdelitve in 10-minutno trajanje padavin .....	66
8.4	Rezultati za različne porazdelitve in 15-minutno trajanje padavin .....	67
8.5	Rezultati za različne porazdelitve in 20-minutno trajanje padavin .....	68
8.6	Rezultati za različne porazdelitve in 30-minutno trajanje padavin .....	69
8.7	Rezultati za različne porazdelitve in 60-minutno trajanje padavin .....	70
8.8	Rezultati za različne porazdelitve in 2-urno trajanje padavin .....	71
8.9	Rezultati za različne porazdelitve in 6-urno trajanje padavin .....	72
8.10	Rezultati za različne porazdelitve in 12-urno trajanje padavin.....	73
8.11	Rezultati za različne porazdelitve in 24-urno trajanje padavin.....	74
8.12	ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo III porazdelitvijo .....	75
8.13	Testiranje ujemanja .....	76
8.14	Analiza rezultatov .....	81
<b>9</b>	<b>IZRAČUN IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z ZAJEMOM RAZLIČNIH 30-LETNIH OBDOBIJ .....</b>	<b>83</b>
9.1	Uvod.....	83
9.2	Izračun maksimalnih intenzitet padavin za različna 30-letna obdobja.....	83
9.3	Analiza in primerjava rezultatov .....	85
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČKI.....</b>	<b>88</b>
<b>VIRI .....</b>		<b>90</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Statistične porazdelitve in njihove funkcije gostote verjetnosti .....	14
Preglednica 2: Pregled empiričnih porazdelitev za umestitev meritev v graf .....	19
Preglednica 3: Podatki Hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) porazdelitve .....	21
Preglednica 4: Mejne vrednosti $D$ Kolmogorov-Smirnov testa za različne intervale zaupanja .....	22
Preglednica 5: Ocenjeni ITP parametri Shermanove enačbe za zavarovano območje SNNPR za 2, 5 in 10-letno povratno dobo .....	25
Preglednica 6: Ocenjeni ITP parametri Shermanove enačbe za zavarovano območje SNNPR za 25, 50 in 100-letno povratno dobo .....	26
Preglednica 7: Parametra $a$ in $b$ za mesto Montana glede na različno povratno dobo .....	27
Preglednica 8: Intenzitete padavin v odvisnosti od trajanja in povratne dobe za mesto Montana .....	27
Preglednica 9: Parametri $a$ , $b$ in $e$ enačbe Kimijima za postajo Hanoi .....	29
Preglednica 10: Vrednosti koeficientov enačbe Wenzel za 10-letno povratno dobo za 10 mest v Združenih državah Amerike .....	31
Preglednica 11: Koeficienti $K$ , $a$ , $b$ in $n$ enačbe Ram Babu za različne cone in postaje v Indiji .....	34
Preglednica 12: Vrednosti konstante $C$ enačbe Kothyari & Garde za posamezno cono v Indiji .....	35
Preglednica 13: Maksimalne letne intenzitete padavin (mm/h) z 2-urnim časom med posameznimi padavinskimi dogodki .....	58
Preglednica 14: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 6 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur) .....	60
Preglednica 15: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 12 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur) .....	60
Preglednica 16: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 24 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur) .....	61
Preglednica 17: Intenzitete padavin (mm/h) za 24-urno trajanje in različne čase med posameznimi padavinskimi dogodki po Gumbelovi porazdelitvi .....	62
Preglednica 18: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 5-minutno trajanje padavin .....	65
Preglednica 19: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 10-minutno trajanje padavin .....	66
Preglednica 20: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 15-minutno trajanje padavin .....	67
Preglednica 21: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 20-minutno trajanje padavin .....	68
Preglednica 22: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 30-minutno trajanje padavin .....	69
Preglednica 23: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 60-minutno trajanje padavin .....	70
Preglednica 24: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 2-urno trajanje padavin ..	71
Preglednica 25: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 6-urno trajanje padavin ..	72
Preglednica 26: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 12-urno trajanje padavin ..	73

---

Preglednica 27: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 24-urno trajanje padavin	74
Preglednica 28: Maksimalne intenzitete (mm/h) ITP krivulj po log-Pearsonovi III porazdelitvi .....	75
Preglednica 29: Podatki o prostostnih stopnjah za različne porazdelitve za Hi-kvadrat test.....	76
Preglednica 30: Rezultati izbranih porazdelitev za različna trajanja dobljeni s Hi-kvadrat testom .....	76
Preglednica 31: Rezultati izbranih porazdelitev za različna trajanja dobljeni s Kolmogorov-Smirnov testom .....	77
Preglednica 32: Izbira najboljše teoretične porazdelitve .....	77
Preglednica 33: Maksimalne intenzitete padavin (mm/h) za 10-letno povratno dobo in različne porazdelitve .....	81
Preglednica 34: Maksimalne intenzitete padavin (mm/h) za 100-letno povratno dobo in različne porazdelitve .....	82
Preglednica 35: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1951-1980.	83
Preglednica 36: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1961-1990.	84
Preglednica 37: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1971-2000.	84
Preglednica 38: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1981-2010.	84
Preglednica 39: Maksimalne intenzitete padavin (mm/h) po Gumbelovi porazdelitvi za različna 30-letna obdobja za trajanji 5 in 10 minut .....	85

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz več ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Postojna (1970-2008).....	3
Slika 2: ITP krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za postajo Postojna (1970-2008) .....	3
Slika 3: Karta izohiet za 100-letno povratno dobo s trajanjem 24 ur za ZDA .....	6
Slika 4: Karte izohiet za parametre enačbe Kimijima za 100-letno povratno dobo: a) parameter $a$ , b) parameter $e$ , in c) parameter $b$ , ter d) primer ITP krivulj z uporabo zgornjih parametrov za nemerjeno lokacijo Hungyen v Vietnamu.....	7
Slika 5: Transformacija krivulj iz komulativne porazdelitvene funkcije - CDF v ITP krivuljo .....	8
Slika 6: Metoda serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo .....	9
Slika 7: Primer izbire podatkov z obema metodama na podlagi podatkov za 20-letno povratno dobo .	10
Slika 8: Primerjava metode letnih maksimumov in metode serije dogodkov nad mejno vrednostjo ....	11
Slika 9: ITP krivulje za več različnih povratnih dob za mesto Montana v Švici .....	28
Slika 10: Zemljevid Indije razdeljene na cone .....	33
Slika 11: Trikotna oblika histograma. ....	38
Slika 12: Histogram izdelan po izmenični blok metodi za podatke mesta Denver .....	39
Slika 13: Zavihek System DSN.....	41
Slika 14: RainStart-ov glavni meni .....	43
Slika 15: Rainplot-ov glavni meni .....	43
Slika 16: RainPlot-ove hidrološke nastavitve .....	44
Slika 17: Okno, v katerem uvozimo podatke iz Access-a.....	45
Slika 18: Izbira podatkov in sporočilo o uporabljenih inštrumentih .....	46
Slika 19: Natančen prikaz datuma s točno uro, ter poljubna izbira obsega podatkov .....	46
Slika 20: Možnosti pri ukazu nadzora kakovosti podatkov .....	47
Slika 21: Podatki o času in količini padavin posamezne nevihte .....	48
Slika 22: Izbor določene nevihte s pomočjo gumba za izbiro .....	49
Slika 23: Prikaz grafa nevihte .....	49
Slika 24: Izbira lastnosti grafa.....	50
Slika 25: Graf, ki zajema vrednosti različnih neviht, ki med seboj niso povezane.....	50
Slika 26: Podatki o intenziteti razvrščeni od največjega do najmanjšega .....	51
Slika 27: Okno za analizo podatkov .....	52
Slika 28: Analiza intenzitet za 30 minutno trajanje .....	53
Slika 29: Analiza vseh trajanj s pomočjo Pearson-ove tipa III porazdelitve.....	54
Slika 30: Graf ITP krivulj .....	55
Slika 31: Meteorološki opazovalni prostor Ljubljana Bežigrad, slikan proti zahodu .....	56
Slika 32: Intenzitete padavin (mm/h) za 24-urno trajanje in z različnimi časi med dogodki po Gumbelovi porazdelitvi.....	62
Slika 33: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 5-minutno trajanje padavin.....	65
Slika 34: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 10-minutno trajanje padavin.....	66
Slika 35: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 15-minutno trajanje padavin.....	67
Slika 36: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 20-minutno trajanje padavin.....	68
Slika 37: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 30-minutno trajanje padavin.....	69

---

Slika 38: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 60-minutno trajanje padavin .....	70
Slika 39: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 2-urno trajanje padavin .....	71
Slika 40: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 6-urno trajanje padavin .....	72
Slika 41: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 12-urno trajanje padavin .....	73
Slika 42: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 24-urno trajanje padavin .....	74
Slika 43: ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo III porazdelitvijo .....	75
Slika 44: Primerjava empirične (Weibull) in teoretične porazdelitve, ki se najbolj prilega danim podatkom različnih trajanj s Hi-kvadrat testom .....	79
Slika 45: Primerjava empirične (Weibull) in teoretične porazdelitve, ki se najbolj prilega danim podatkom različnih trajanj s Kolmogorov-Smirnov testom .....	80
Slika 46: ITP krivulje za 10-letno povratno dobo in različne porazdelitve .....	81
Slika 47: ITP krivulje za 100-letno povratno dobo in različne porazdelitve .....	82
Slika 48: Primerjava maksimalnih letnih intenzitet (mm/h) različnih povratnih dob po Gumbelovi porazdelitvi za 5-minutno trajanje padavin .....	86
Slika 49: Primerjava maksimalnih letnih intenzitet (mm/h) različnih povratnih dob po Gumbelovi porazdelitvi za 10-minutno trajanje .....	87

## 1 UVOD

Pod padavinami razumemo vso vodo, ki pade na Zemljino površje. Naj bo to dež, rosenje, sneg, toča, babje pšeno, itd. Padavine so lahko v trdem ali tekočem stanju in so sestavna komponenta hidrološkega kroga (Raiford in sod., 2007), tj. stalni proces kroženja, obnavljanja in izguba vode na Zemlji. Njihova intenziteta se spreminja glede na prostor in čas (Brilly in Šraj, 2005). Vrednosti intenzitet padavin podanega trajanja in povratne dobe pa lahko podamo v obliki preglednic, krivulj ali na kartah izohiet (Ghahraman in Hosseini, 2005).

Nastanek padavin se začne z dviganjem vlažnih toplih zračnih mas, ki se pri gibanju navzgor ohlajajo, kar privede do kondenzacije vodnih hlapov. Med hlajenjem se zmanjšuje sposobnost absorpcije vlage in povečuje relativna vlažnost zračnih mas. To poteka vse dokler zrak ne postane popolnoma nasičen z vlago oz. se ohladi do točke rosišča. Nato vlaga v zraku dobiva obliko drobnih kapljic vode ali ledu (oblaki), ki se med seboj lepijo in povečujejo. Ko je njihova masa dovolj velika, se pod vplivom gravitacije izločajo v obliki padavin različnih oblik. Lahko se tudi zgodi, da ne pride do nastanka padavin. V tem primeru se oblaki razkropijo, voda pa izhlapi ali sublimira (Brilly in Šraj, 2005).

V današnjih časih je globalno segrevanje planeta vse bolj opazno in prepoznavno, zato dejstva da segrevanje vpliva na intenziteto in pogostost padavin ne gre spregledati. Da bi bolje zavarovali ljudi in njihova premoženja pred naravnimi nesrečami, kot so npr. poplave, suše, močna deževja, ki se nanašajo na povratno dobo ekstremnih dogodkov, inženirji po celem svetu izdelujejo in posodablajo ITP krivulje (Soro in sod., 2010). Te dobimo na podlagi statistične analize preteklih padavinskih dogodkov in predstavljajo razmerje med intenziteto in trajanjem padavin z določeno povratno dobo (Smart, 2010). Temeljijo na diskretnem trajanju in povratni dobi. Da bi se izognili subjektivnim odločitvam pri oblikovanju empiričnih enačb za ITP krivulje, so strokovnjaki razvili več ITP modelov krivulj, ki se vsesplošno uporabljajo po celem svetu (Ghahraman in Hosseini, 2005).

Začetek razvoja ITP krivulj sega v leto 1932, ko so začeli razvijati ITP razmerja (Amin in Shaaban, 2004). Leta 1960 so v razvitih državah začeli izdelovali karte intenzitet, ki so se nanašale na točno določene povratne dobe in trajanja, kakor tudi za določeno mesto. Zanimanje zanje pa je v zadnjih nekaj desetletjih vedno večje, prav tako kot tudi za njihova posodabljanja in obnavljanja za različne dele sveta. ITP krivulje se uporablja za različne namene, med drugim tudi pri načrtovanju kanalizacijskih in odvodnih sistemov, zmogljivosti črpališč, za izgradnjo vodnih objektov, itd. (AlHassoun, 2011).

Namen diplomske naloge je predstaviti ITP krivulje padavin, njihov postopek izdelave ter uporabo v hidrologiji, predstaviti program RainPlot, ki je bil narejen namenoma za države Bližnjega vzhoda za izdelavo ITP krivulj, prikazati vpliv izbire časa med posameznimi padavinskimi dogodki na letne maksimalne intenzitete padavin, izračunati in primerjati ITP krivulje z uporabo različnih porazdelitev ter narediti testiranje ujemanja, ter primerjati ITP krivulje z različnimi 30-letnimi obdobji.

## 2 KRIVULJE INTENZITETA – TRAJANJE – POVRATNA DOBA ALI ITP KRIVULJE

### 2.1 Splošno

ITP razmerje lahko zapišemo kot (Minh Nhat in sod., 2006):

$$i = f(T, d), \quad (1)$$

kjer je:

$i$  intenzivnost padavin [mm/h],

$d$  trajanje padavin [min],

$T$  povratna doba [leta].

Koutsoyiannis in sod. (1998) so ITP razmerje označili kot matematično razmerje med intenziteto  $i$ , trajanjem  $d$  in povratno dobo  $T$ .

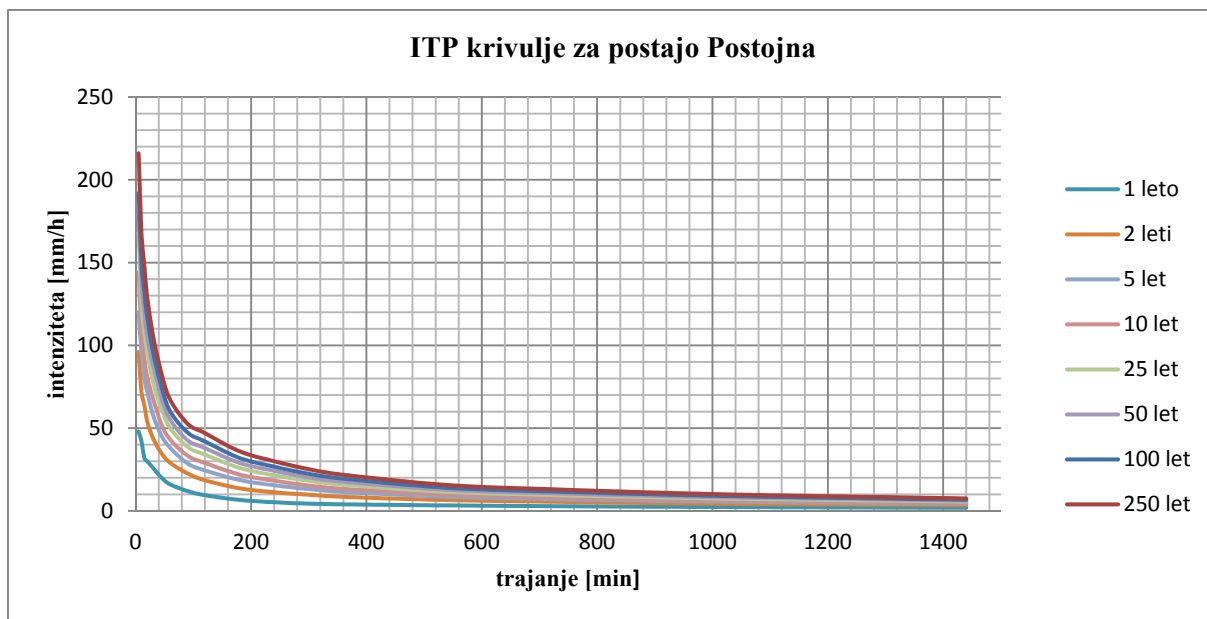
Zaradi drugačnih začetnic besed v angleškem jeziku, poznamo tudi nekoliko drugačno okrajšavo za ITP krivulje, in sicer IDF (intensity – duration – frequency) krivulje. Panjan in sod. (2005) pa v svojem članku z naslovom Statistična analiza gospodarsko enakovrednih nalivov omenjajo ITP krivulje kot gospodarsko enakovredne nalive ali GEN.

ITP krivulja je orodje, ki karakterizira padavinski vzorec za določeno območje (IDF CURVE, 2010). Je grafična ponazoritev intenzitete padavin glede na podan časovni interval (Gerb in Moges, 2009). Horizontalna os predstavlja trajanje, vertikalna os pa intenziteto padavin. Največkrat je več krivulj z različno povratno dobo predstavljenih na enem grafu.

Medtem, ko so lastnosti ekstremnih padavin lahko zelo različne za različne oblike padavin in različne letne čase, oblikovana ITP razmerja dovoljujejo delitev na več komponent. Različne komponente se nanašajo na različne oblike padavin ali različne letne čase, odvisno od tipa delitve (Willems, 2000).

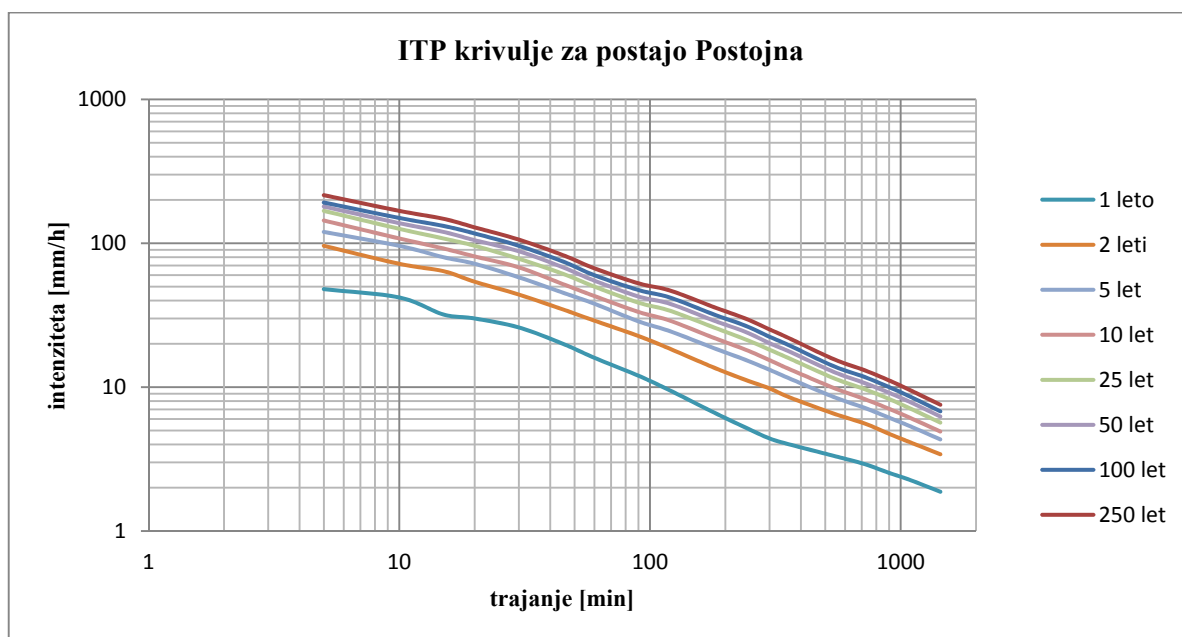
Na sliki 1 je prikazan primer ITP krivulj za meteorološko postajo Postojna za obdobje 1970 do 2008 (ARSO, 2012).





Slika 1: Prikaz več ITP krivulj za različne povratne dobe za postajo Postojna (1970-2008)

Zaradi lažjega odčitavanja podatkov z grafa, je ITP krivulje najbolje prikazati na dvojni logaritemski skali (slika 2), kjer se njihov izgled nekoliko spremeni, in sicer v ravne vzporedne črte (Soro in sod., 2010), kar je primernejše za odčitavanje.



Slika 2: ITP krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za postajo Postojna (1970-2008)

Pomemben podatek za razumevanje ITP krivulj je, da ITP razmerje ne izhaja iz določene nevihte. Torej ne prikazuje verjetnosti, da se bo zgodila točno določena nevihta, temveč verjetnost intenzitete na podlagi podatkov iz številnih nepovezanih neviht. Pri tem je potrebno določiti nekatere spremenljivke, ki so vezane na lokalne in meteorološke pogoje (AlHassoun, 2011).

## 2.2 Intenziteta

Intenziteta padavin je količina padavin v časovni enoti (Mikoš in sod., 2002), ki se spreminja prostorsko in časovno (Brilly in Šraj, 2005). Visoka intenziteta padavin prikazuje močno deževje, nizka pa rahle padavine. Enote zanjo so različne, lahko je npr. v mm/h, mm/min, itd.

V španskem Državnem meteorološkem inštitutu so pred nekaj leti definirali različne intenzivnosti padavin kot:

- rahel dež (light rainfall) =  $I \leq 2$  mm/h,
- zmerne padavine (moderate rainfall) =  $2 < I \leq 15$  mm/h,
- močne padavine (heavy rainfall) =  $15 < I \leq 30$  mm/h,
- zelo močne padavine (very heavy rainfall) =  $30 < I \leq 60$  mm/h,
- naliv (torrential rainfall) =  $I > 60$  mm/h.

Te meje precej varirajo glede na različne države, kar pomeni, da bi zelo težko dobili univerzalno klasifikacijo intenzivnosti padavin za celoten svet (Llasat, 2001).

## 2.3 Trajanje

Trajanje padavin je obdobje med začetkov in koncem padavin, celotnih ali tistih, ki presegajo določen prag (Mikoš in sod., 2002).

## 2.4 Povratna doba in pogostost

Povratna doba dogodka, v našem primeru intenziteta padavin, je povprečno obdobje let med dežjem določene intenzitete in dežjem enake ali večje intenzitete (Mikoš in sod., 2002), ter označuje kako redko oz. pogosto se ta dogodek ponovno pojavi. Ali drugače, povratna doba je statistično določeno obdobje med ponovitvijo takšnih dogodkov (Hvitved-Jacobsen in sod., 2010).

Pojem povratna doba ali povratni interval » $T$ « je definiran kot inverzna funkcija verjetnosti pojavljanja:

$$T(x) = P_x(x)^{-1} \quad (2)$$

Npr. krivulja z 10-letno povratno dobo pomeni, da ima 1/10 ali 10% verjetnost v letu, da bo dosežena ali presežena taka intenziteta padavin. To v daljšem obdobju pomeni, da se bo dogodek zgodil v povprečju enkrat v desetih letih oz. desetkrat v 100 letih (Brilly in Šraj, 2005).

Pogostost nekega hidrološkega dogodka je verjetnost, da se bo vrednost diskretne ali kontinuirane (neprekinjene, stalne) spremenljivke zgodila v katerem koli letu. Bolj ustrezen izraz bi bil prekoračitev verjetnosti ali pogostosti. Verjetnost nima merske enote in ne pomeni redne ponovitve. Nasprotna njej je povratna doba, ki ima enote v letih (Viessman in Lewis, 2003).

Povratno dobo lahko izrazimo tudi z naslednjo enačbo (Minh Nhat in sod., 2006):

$$F_x(x) = 1 - \frac{1}{T(x)}, \quad (3)$$

pri čemer  $F_x(x)$  predstavlja porazdelitveno funkcijo,  $T(x)$  pa povratno dobo.

Tipične povratne dobe za katere se običajno računa ITP krivulje so: 2, 5, 10, 25, 50, in 100 - letna povratna doba (IDF CURVE, 2010).

## 2.5 Zgodovina ITP krivulj

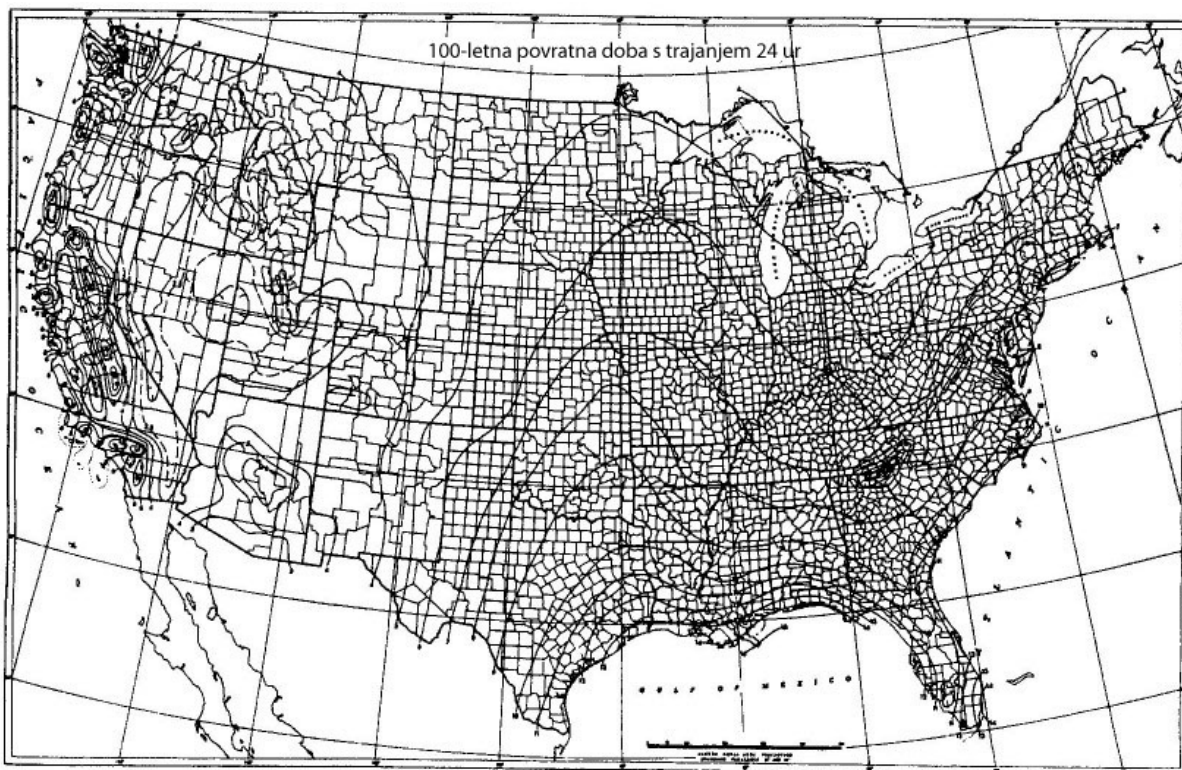
Razmerje med intenziteto, trajanjem in povratno dobo je eno najbolj uporabljenih orodij v vodnih tehničnih virih, bodisi za načrtovanje, razvoj in upravljanje projektov vodnih virov ali varstva proti poplavam (Koutsoyiannis in sod., 1998).

Začetek razvoja ITP krivulj sega v leto 1932, ko je eno izmed prvih oblik enačb oz. razmerij ITP krivulj izrazil Bernard (Amin in Shaaban, 2004). Od takrat je bilo izdelanih več različnih oblik enačb za več delov sveta. V Združenih državah Amerike ITP krivulje uporabljajo že od leta 1935 (Dupont in Allen, 1999). V zadnjih nekaj desetletjih pa je zanimanje zanje vse večje (AlHassoun, 2011), prav tako kot tudi zanimanje za njihova posodabljanja in obnavljanja za različne dele sveta. Več o tem v poglavju 3.5.

Leta 1960 so v več razvitih državah začeli preučevati geografsko porazdelitev ITP razmerja in izdelovati karte intenzitet, ki so se nanašale na točno določene povratne dobe in trajanja, kakor tudi za določeno mesto. Leta 1961 so jih v Združenih državah Amerike objavili na primer pri U. S. Weather Bureau v tehničnem dokumentu št. 40, ki ga imenujejo TP 40 (Amin in Shaaban, 2004). Karte v TP 40 so bile izdelane za trajanja od 30 minut do 24 ur in za povratno dobo od enega leta do sto let. Hershfield je naredil interpolacijske diagrame za oceno padavin, ki niso prikazane na kartah. Kasneje so U. S. National Weather Service v publikaciji poznani kot HYDRO 35 predstavili karte izohiet za trajanja od 5 do 60 minut (Chow in sod., 1988). V zadnjem času pa jih izdelujejo pri NOAA (Miller in sod. leta 1973 za področje zahoda, Frederick in sod. leta 1977 za vzhodni in celinski del Združenih držav Amerike). Te karte so predstavljene v več hidroloških učbenikih in priročnikih (Koutsoyiannis in sod., 1998).

V Združenem kraljestvu in Irski je karte izdelal inštitut za hidrologijo (NERC, 1975). Podobne karte so bile izdelane tudi drugod po svetu, v Avstraliji (Canterford in sod., 1987), v Indiji (UNESCO, 1974), na Šri Lanki (Baghirathan in Shaw, 1978), v SWA-Namibija (Pitman, 1980), v Italiji, natančneje v Toskani (Pagliara in Viti, 1993). V veliko razvijajočih se državah teh kart ni bilo izdelanih vse do danes (Koutsoyiannis in sod., 1998).

V nadaljevanju (slika 3) je predstavljen primer karte izohiet za 100-letno povratno dobo s trajanjem 24 ur za ZDA. Padavine so prikazane v inčih.



Slika 3: Karta izohiet za 100-letno povratno dobo s trajanjem 24 ur za ZDA (prirejeno po Mays, 2011, str. 248)

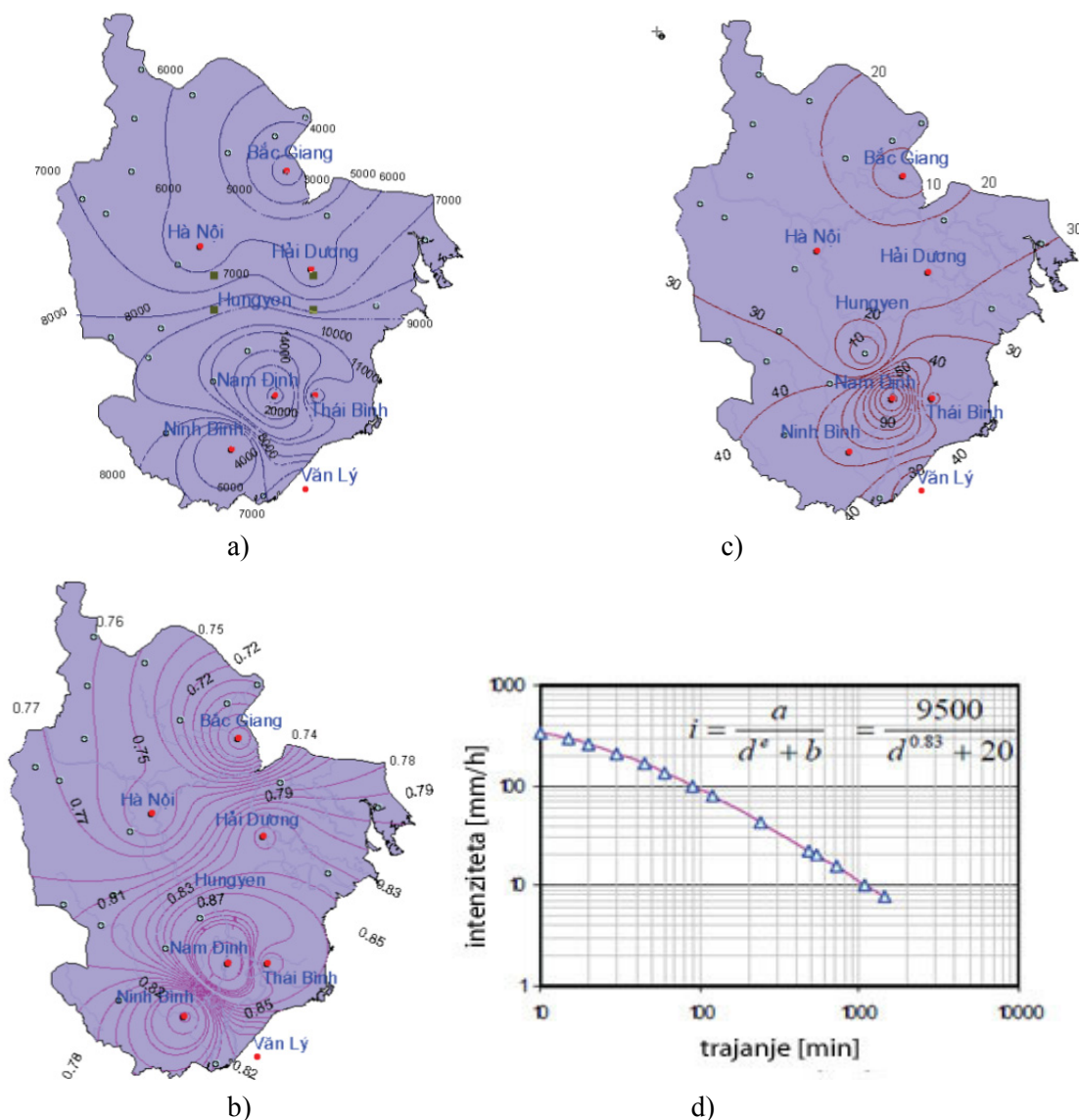
## 2.6 Padavinski podatki in regionalizacija

Za hidrološke analize, načrtovanje, razvoj in upravljanje projektov vodnih virov so zelo pomembne zanesljive ocene intenzitete padavin. Razmerje intenziteta - trajanje - povratna doba zajema ocene intenzitete padavin za različna trajanja ter ponavljajoče se intervale (Minh Nhat in sod., 2006).

Za pridobitev padavinskih podatkov o količini oz. intenziteti dežja so potrebne večletne meritve in intenzivne raziskave na posameznih padavinskih postajah, saj so le te pomembna osnova za načrtovanje ITP krivulj. V veliko državah in na nekaterih merskih postajah, so take informacije omejene ali celo vmesno primanjkujejo (Hvitved-Jacobsen in sod., 2010). Pri Agenciji RS za okolje (ARSO, 2009) menijo, da ima izračun ITP krivulj pomen le za nize podatkov, ki so daljši od 10 let. Medtem, ko pri WMO (Svetovna meteorološka organizacija) priporočajo padavinske podatke vsaj za obdobje 30 let, za načrtovanje kanalizacijskih sistemov pa zadoščajo podatki za obdobje 10 do 15 let, če ni drugih (Panjan in sod., 2005). Za izgradnjo jezov na večjih rekah potrebujemo 100-letno povratno dobo, medtem ko so prepusti na mostovih dimenzionirani na 20-letno povratno dobo (Okonkwo in Mbajorgu, 2010).

Za merjenje padavin istega kraja je pomembno, da je prostor opazovanja skozi leta enak in se njegova okolica bistveno ne spreminja, ter da je v uporabi enak instrument in enak način odčitavanja podatkov. Če se kateri dejavnik od naštetih spremeni, podatki niso več homogeni. Zato so pomembni metapodatki, ki vsebujejo podatke o vseh dejavnikih, ki vplivajo na meteorološke spremenljivke (Nadabath, 2008).

Meritve padavin z dežemeri so točkovne meritve, zato so ITP krivulje v osnovi narejene za točno določeno lokacijo. Toda potrebe po ITP krivuljah so širše, kar pomeni, da jih potrebujemo tudi za ostala vmesna območja. Ta problem lahko rešimo s pomočjo regionalizacije. Ko določimo parametre ITP enačbe za določeno povratno dobo, jih z uporabo Arc view/GIS interpoliramo. Tako dobimo karte izohiet (slika 4), ki jih uporabljamo za izdelavo ITP krivulj vmesnih, nemerjenih območij oz. katerekoli točke na njih (Minh Nhat in sod., 2006).



Slika 4: Karte izohiet za parametre enačbe Kimijima za 100-letno povratno dobo: a) parameter  $a$ , b) parameter  $e$ , in c) parameter  $b$ , ter d) primer ITP krivulj z uporabo zgornjih parametrov za nemerjeno lokacijo Hungyen v Vietnamu (prirejeno po Minh Nhat in sod., 2006)

### 3 IZDELAVA ITP KRIVULJ

#### 3.1 Uvod

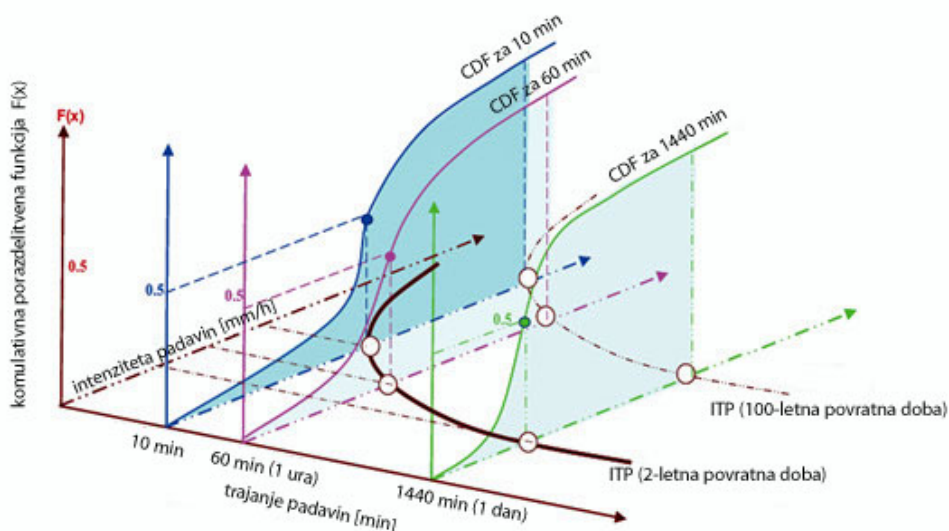
Tipična tehnika za določanje ITP krivulj je sestavljena iz treh korakov.

Prvi korak je verjetnostna analiza. Najprej izberemo ustrezno teoretično porazdelitveno funkcijo za vsako skupino, ki je sestavljena iz vrednostnih podatkov za določeno trajanje (Soro in sod., 2010). Porazdelitve so lahko naslednje: Gumbelova, Pearson tipa III, log-normalna porazdelitev, itd. Nato izberemo še empirično porazdelitev za umestitev meritev v graf. Izbiramo lahko med naslednjimi: Weibull, Gringorten, Čegodajev, Blom, itd. S pomočjo izbrane verjetnostne porazdelitvene funkcije izračunamo intenzitete padavin (kvantile<sup>1</sup>) za določeno trajanje in izbrane povratne dobe (Minh Nhat in sod., 2006). Podatke obdelamo tudi z empirično porazdelitvijo.

Sledi testiranje ujemanja. Poznamo različne metode za primerjanje in izbiranje porazdelitve, ki se najbolj prilega danemu vzorcu. Za testiranje lahko uporabimo  $\chi^2$  test, Kolmogorov-Smirnov test, itd. Teoretične in empirične porazdelitve je možno tudi vizualno primerjati, tako da jih umestimo na isti graf (Soro in sod., 2010).

Zadnji korak je lahko iskanje ustrezne empirične enačbe za vsako povratno dobo posebej. Vrednosti parametrov ITP enačbe lahko določimo z metodo najmanjših kvadratov odstopanj (Soro in sod., 2010).

Na sliki 5 je prikaz transformacije krivulj iz komulativne porazdelitvene funkcije-CDF v ITP krivuljo.



Slika 5: Transformacija krivulj iz komulativne porazdelitvene funkcije - CDF v ITP krivuljo (prirejeno po Minh Nhat in sod., 2006)

<sup>1</sup> Kvantili so točke, vzete iz rednih časovnih presledkov iz komulativne porazdelitvene funkcije (CDF) slučajne spremenljivke (Mohymont in sod., 2004).

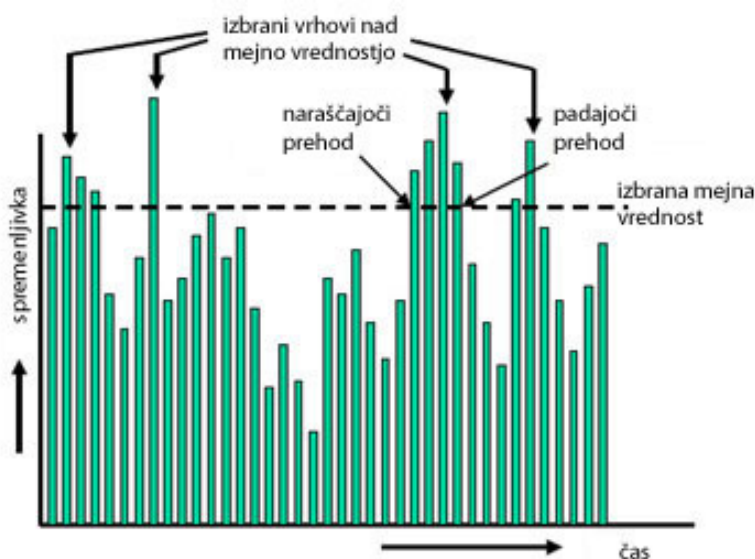
Glavna prednost tega postopka je računalniška enostavnost, ki narekuje ločena računanja v treh korakih. Tehnika ima tudi nekaj pomanjkljivosti. Je oslABLJena, ker v tretjem koraku uporablja empirično ocenjeno funkcijo  $a(T)$ . Druga pomanjkljivost je ta, da je metoda subjektivna, saj so končni parametri odvisni od izbrane povratne dobe iz drugega koraka. Tretja slabost je, da obravnava vse tri spremenljivke enako, čeprav niso iste narave.  $i$  je slučajna spremenljivka,  $d$  je njen parameter in  $T$  je transformacija verjetnostne porazdelitvene funkcije slučajne spremenljivke (Koutsoyiannis, 1998).

### 3.2 Izbira podatkov

Za verjetnostno analizo je najprej potrebna izbira podatkov, ki jih bomo v nadaljevanju obdelovali. Ta se lahko izvede po dveh metodah. Prva je metoda letnega maksimuma, druga pa metoda serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo (POT).

Vsak padavinski dogodek (npr. nevihta) z določenim trajanjem ima svojo maksimalno vrednost intenzitete padavin. Pri metodi letnega maksimuma padavinske dogodke analiziramo tako, da izberemo letno maksimalno vrednost intenzitete za različna trajanja. Torej, če obdelujemo padavinske podatke za obdobje 25 let, bomo dobili 25 vrednosti maksimalnih intenzitet za različna trajanja (DHV Consultatnst BGV & Delft Hydraulics, 2002).

Metoda serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo, imenovana tudi POT metoda, je sestavljena iz delnih padavinskih podatkov nad izbrano mejno vrednostjo (slika 6). Mejna vrednost mora biti izbrana dovolj visoko, da dobimo serijsko neodvisne zaporedne maksimume ali pa izberemo časovni okvir, ki bo izločil nižje maksimume, ki presegajo mejno vrednost, ki pa so še vedno v istem časovnem intervalu. Število vrednosti nad izbrano mejno vrednostjo ni nujno enako številu izbranih let. V primeru, da imamo več zaporednih padavinskih dogodkov, ki presežejo mejno vrednost, med prvim in zadnjim dogodkom znotraj intervala izberemo lokalno maksimalno vrednost in jo obravnavamo kot eno izmed delnih padavinskih podatkov (DHV Consultatnst BGV & Delft Hydraulics, 2002).

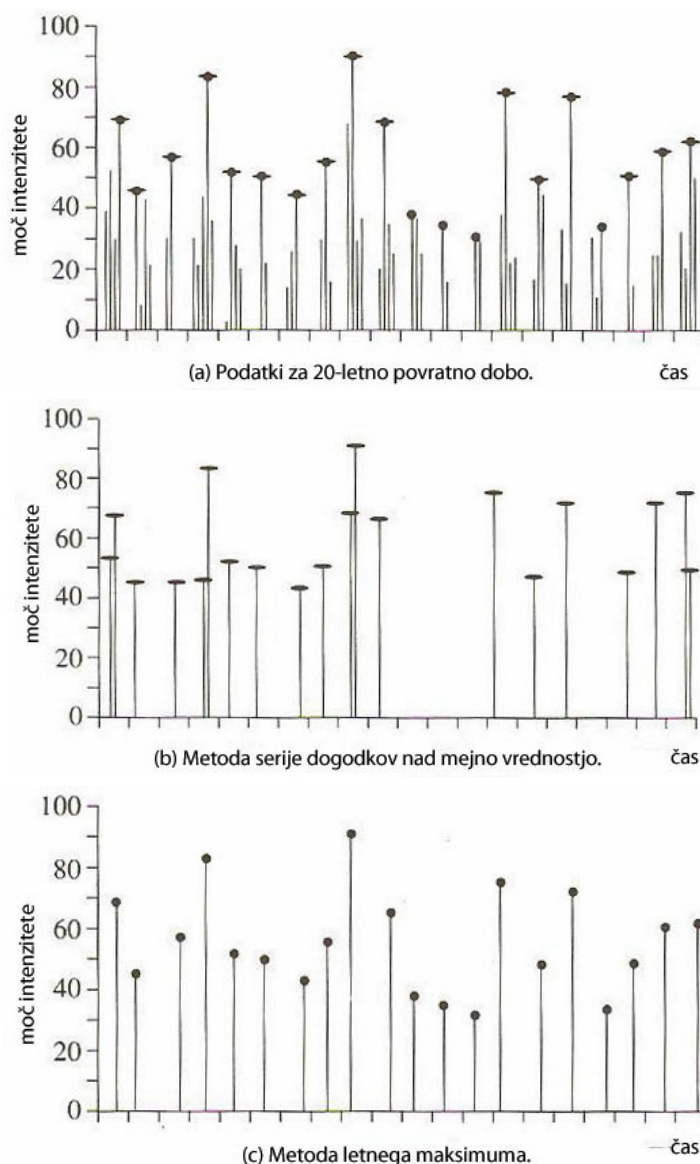


Slika 6: Metoda serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo (prirejeno po DHV Consultatnst BGV & Delft Hydraulics, 2002)



Pri metodi serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo lahko tudi sami določimo število vrednosti maksimalnih intenzitet, ki jih bomo vključili v analizo in sicer tako, da določimo število točk, ki jih bomo upoštevali v vsakem letu.

V nadaljevanju (slika 7) je predstavljen primer izbire podatkov z obema metodama za podatke z 20-letno povratno dobo.



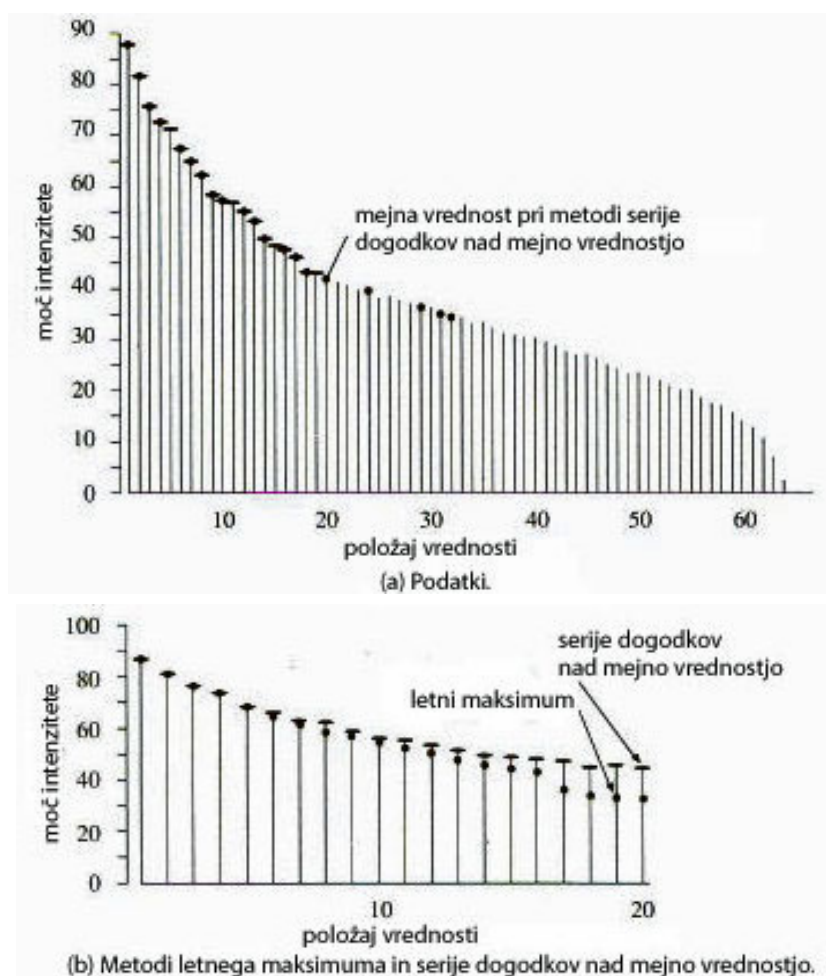
Slika 7: Primer izbire podatkov z obema metodama na podlagi podatkov za 20-letno povratno dobo (prirejeno po Chow in sod., 1988, str. 384)

Lahko se zgodi, da je pri metodi letnega maksimuma letna maksimalna vrednost nekega leta manjša kot druga ali tretja največja vrednost nekega drugega leta. Zato so vrednosti pri metodi serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo na spodjem koncu višje, kot tiste pri metodi letnega maksimuma (slika 8). Posledično bo povratna doba za določeno intenziteto in trajanje, ki temelji na metodi letnih maksimumov daljša (DHV Consultatnst BGV & Delft Hydraulics, 2002). Povratna doba



izračunana iz intenzitet po metodi serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo  $T_E$  je s povratno dobo intenzitet metode letnega maksimuma  $T$  povezana z naslednjim razmerjem (Chow in sod., 1988):

$$T_E = \frac{1}{\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)}. \quad (4)$$



Slika 8: Primerjava metode letnih maksimumov in metode serije dogodkov nad mejno vrednostjo (prirejeno po Chow in sod., 1988, str. 385)

### 3.3 Verjetnostna analiza padavin

#### 3.3.1 Splošno

Cilj verjetnostne analize je, da iz podatkovnih nizov pridobimo bistvene informacije, tako da iz velikih nizov dobimo manjše nize podatkov. Orodje za obvladovanje velikega števila podatkov je statistika. Statistike so iz podatkov slučajnega vzorca izračunane vrednosti, ki povzemajo njegove pomembne lastnosti in jim pravimo statistični parametri. Statistični parametri so torej ocene karakteristik populacije (karakterističnih števil) (Chow in sod., 1988). V našem primeru so podatki maksimalne intenzitete padavin.

Z hidrološko verjetnostno analizo določamo velikost hidroloških spremenljivk, ki ustrezajo podani verjetnosti ali ponovitvenemu intervalu. Ponovitveni interval oz. povratna doba je definirana kot povprečni interval v daljšem časovnem obdobju, v katerem je pripadajoča vrednost hidrološke spremenljivke dosežena ali presežena. Najpogosteje uporabljeni hidrološki spremenljivki, ki se jih uporablja pri hidrološki verjetnostni analizi, sta pretok in padavine (Cheng in sod., 2011).

Pri hidrološki verjetnostni analizi se običajno uporabljata dve metodi, in sicer grafična metoda in metoda verjetnostnega faktorja oz. linearne transformacije (Cheng in sod., 2011). Grafična metoda je pravzaprav empirična porazdelitev, uporabljena za umestitev meritev v graf, s katero želimo testirati ujemanje teoretične porazdelitve z meritvami (poglavje 3.4.). Enačba linearne transformacije je predstavljena v poglavju 3.3.2.

### **Slučajna spremenljivka**

Slučajno spremenljivko označujemo z velikimi tiskanimi črkami (npr.  $X, Y, Z, \dots$ ). Ta lahko zavzame različne vrednosti, ki jih označujemo z malimi črkami (npr.  $x, y, z, \dots$ ) in sestavljajo zalogo vrednosti slučajne spremenljivke. Katero vrednost spremenljivka zavzame je odvisno od slučaja (Turk, 2009).

Ločimo diskretno in zvezno slučajno spremenljivko. Pri diskretni je zaloga vrednosti lahko končno ali neskončno število diskretnih vrednosti (število poplav v nekem kraju na določeno časovno obdobje), pri zvezni pa končni ali neskončni interval realnih števil (čas, ki mine med dvema zaporednima poplavama). Poznamo tudi kombinacijo obeh, torej diskretno-zvezno slučajno spremenljivko (količina padavin v nekem kraju v določenem kratkem časovnem obdobju) (Turk, 2009).

Vrednost spremenljivke  $X$  pripadajoče povratne dobe  $T$ , označena z  $x_T$ , je definirana kot (Cheng in sod., 2011):

$$P(X \geq x_T) = \frac{1}{T}. \quad (5)$$

Enačba prikazuje verjetnost dogodka, ki se bo zgodil v katerem koli letu, obratno sorazmernega določeni povratni dobi (Chow in sod., 1988).

### **Porazdelitvena ali komulativna porazdelitvena funkcija (CDF)**

Porazdelitvena funkcija (angl. cumulative distribution function – CDF) je definirana kot verjetnost, da slučajna spremenljivka zavzame manjšo ali enako vrednost od  $x$ . Označimo jo z  $F(x)$  in zapišemo:

$$F_x(X) = P[X \leq x]. \quad (6)$$

Definicija velja za diskretno in prav tako tudi za slučajno spremenljivko.

### 3.3.2 Postopek verjetnostne analize

Predvidevamo, da imamo naključni vzorec  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  hidrološke spremenljivke  $X$  poznane tipa porazdelitve. Vrednost  $x_T$  spremenljivke  $X$  pripadajoče povratne dobe  $T$ , je dobljena z naslednjimi postopki verjetnostne analize (Cheng in sod., 2011).

- Najprej izračunamo statistične parametre po metodi momentov, in sicer srednjo vrednost  $\bar{x}$ , standardno deviacijo  $s^2$  in koeficient asimetrije  $C_S$  za naključne vzorce  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ .
- Določimo vrednost verjetnostnega faktorja  $K_T$  z uporabo ustrezne navedene enačbe za izbrano porazdelitev. Verjetnostni faktorji naključnih spremenljivk log-normalne in Pearson tipa III porazdelitve se ne nanašajo na povratno dobo  $T$ . Razmerje med  $K_T$  in  $T$  je vgrajeno v vrednost standardnega normalnega odstopanja  $z$ .
- Vrednosti maksimalne količine padavin z določeno povratno dobo je možno statistično oceniti z osnovno enačbo linearne transformacije za hidrološko verjetnostno analizo, ki jo je predlagal Chow (1951) (Chow in sod., 1988):

$$x_T = \mu_x + K_T * \sigma_x \quad \text{ali} \quad (7)$$

$$x_T = \bar{x} + K_T * s, \quad (8)$$

kjer je verjetnostni faktor  $K_T$  funkcija  $T$  in je posebno porazdeljen za vsako porazdelitev,  $\mu$  ( $\bar{x}$ ) je povprečje in  $\sigma_x$  ( $s$ ) standardna deviacija (Cheng in sod., 2011).

- Za logaritemske porazdelitvene funkcije zgornjo enačbo pretvorimo v logaritemsko (Chow in sod., 1988):

$$y_T = \bar{y} + K_T * s_y \quad \text{ali} \quad (9)$$

$$Y = \log x_T = \log \mu + K_T * \log \sigma. \quad (10)$$

Aritmetična sredina je najbolj znana ocena srednje vrednosti. V enačbi linearne transformacije je aritmetična sredina ali povprečje izračunano po naslednji enačbi (Chow in sod., 1988):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (11)$$

kjer je:

$n$  velikost vzorca,

$x_i$  vrednost elementa vzorca.

Standardna deviacija je ocenjena kot (Chow in sod., 1988):

$$s = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}. \quad (12)$$

Koeficient asimetrije (Chow in sod., 1988):

$$C_s = n \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}. \quad (13)$$

Koeficient asimetrije je zelo občutljiv na velikost vzorca  $n$ . Zato sta Bobee in Robitaille (1977) predlagala uporabo prilagojenega koeficienta asimetrije za porazdelitvi Pearson tipa III in log-Pearson tipa III (Cheng in sod., 2011):

$$C_s' = C_s \frac{[n(n-1)]^{1/2}}{n-2} \left( 1 + \frac{8.5}{n} \right). \quad (14)$$

### 3.3.3 Teoretične porazdelitve

Največkrat uporabljene teoretične porazdelitve za izračun ITP krivulj so: log-normalna, Gumbelova, GEV, Pearson tipa III, log-Pearson tipa III (preglednica 1).

Preglednica 1: Statistične porazdelitve in njihove funkcije gostote verjetnosti (Chow in sod., 1988; Maidment, 1993; Šenocak in Acar, 2007)

Porazdelitev:	Funkcija gostote verjetnosti:	Območje:
<b>Normalna</b>	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right]$ (15)	$-\infty < x < \infty$
<b>Logaritemsko normalna</b>	$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right]$ (16) kjer je $y = \log x$	$0 < x < \infty$
<b>Gumbel</b>	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ \left( -\frac{x-u}{\alpha} \right) - \exp \left( -\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$ (17)	$-\infty < x < \infty$
<b>GEV</b>	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - k \left( \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k-1}} e^{-\left[ 1 - k \left( \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]} \frac{1}{k}$ (18)	
<b>Pearson tipa III</b>	$f(x) = \frac{1}{\alpha(\beta)} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)}$ (19) kjer je $\Gamma$ funkcija game	$-\infty < x < \infty$

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 1

<b>Log-Pearson tipa III</b>	$f(x) = \frac{1}{\alpha x(\beta)} \left[ \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right]^{\beta-1} e^{-\left\{ \frac{\ln(x) - \gamma}{\alpha} \right\}} \quad (20)$	$x > 0$
-----------------------------	--	---------

### 3.3.3.1 Normalna porazdelitev

Normalna porazdelitev predstavlja najpomembnejšo in največkrat uporabljeno porazdelitev v statistiki. Imenujemo jo tudi Gaussova porazdelitev po nemškem matematiku Johann Carl Friedrich Gauss, ki jo je uporabljal med prvimi. Uporabil jo je tudi pri analizi eksperimentalnih napak, zato se imenuje tudi porazdelitev napake (Turk, 2009). V hidrologiji se uporablja za opisovanje pojavov, kot sta na primer letni pretok vodotoka ali letne obremenitve onesnaževanja (Maidment, 1993).

Normalno porazdelitev se uporablja za slučajne spremenljivke, ki so zvezno porazdeljene. Porazdelitev je dvoparameterska, in ker je simetrična, je koeficient asimetrije enak nič. V enačbi funkcije gostote verjetnosti za normalno porazdelitev, enačba (15), parameter  $\mu_y$  vpliva na lego krivulje, parameter  $\sigma_y$  pa na njeno obliko (Brilly in Šraj, 2005).

Integral porazdelitvene funkcije normalne porazdelitve je naslednji:

$$F_X(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m_X}{\sigma_X}\right)^2} dx \quad (21)$$

### 3.3.3.2 Logaritemsko normalna porazdelitev

Imenujemo jo tudi lognormalna porazdelitev. Izhaja iz normalne porazdelitve. Če je slučajna spremenljivka  $X$  porazdeljena normalno in velja zveza  $Y = \ln X$ , potem je slučajna spremenljivka  $Y$  porazdeljena logaritemsko normalno. Porazdelitev slučajne spremenljivke  $X$  je normalna, če gre število slučajnih spremenljivk  $X$  proti neskončnosti. Za logaritemsko porazdeljene podatke izračunamo statistične elemente.

Funkcija porazdelitve je dvoparameterska, porazdelitev je asimetrična. Določena je samo za vrednosti strogo pozitivnih slučajnih spremenljivk  $x$ . Pri nekaterih primerih slučajna spremenljivka  $X$  ni povsem običajno porazdeljena. To lahko rešimo z upoštevanjem parametra  $\zeta$ , kar sledi:  $Y = \ln(X - \zeta)$ . Ter tako dobimo triparametrsko logaritemsko normalno porazdelitev (Maidment, 1993).

Verjetnostni faktor se izračuna po naslednji enačbi (Cheng in sod., 2011):

$$K_T = \frac{\exp\left\{\left[\ln(1 + C_V^2)\right]^{1/2} z - \left[\ln(1 + C_V^2)\right] / 2\right\} - 1}{C_V} \quad (22)$$

kjer je koeficient variacije  $C_v = \frac{\sigma}{\mu}$ .

Enačba za hidrološko verjetnostno analizo ima logaritemsko obliko.

### 3.3.3.3 Porazdelitev ekstremnih vrednosti ali GEV porazdelitev

Poznamo tri porazdelitve ekstremnih vrednosti, in sicer:

- ekstremna porazdelitev tipa I (EVI) ali Gumbelova porazdelitev,
- ekstremna porazdelitev tipa II (EVII) ali Fréchetova porazdelitev,
- ekstremna porazdelitev tipa III (EVIII) ali Weibullova porazdelitev.

Jenkinson je vse tri tipe porazdelitev združil v eno samo splošno porazdelitev ekstremnih vrednosti (GEV), v kateri so zajete lastnosti vseh treh tipov porazdelitev. Verjetnostna porazdelitvena funkcija ima naslednjo obliko (Chow in sod., 1988):

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - k \frac{x-u}{\alpha} \right)^{1/k} \right], \quad (23)$$

kjer so  $k$ ,  $\alpha$  in  $u$  oblikovni, merilni in lokalni parametri, ki jih je potrebno določiti. Poznamo tri omejitve:

- za  $k = 0$ , dobimo ekstremno porazdelitev tipa I in velja, da je  $x$  neomejen,
- za  $k < 0$ , dobimo ekstremno porazdelitev tipa II in velja, da je  $(u + \alpha/k) \leq x \leq \infty$ ,
- za  $k > 0$ , dobimo ekstremno porazdelitev tipa III in velja, da je  $-\infty \leq x \leq (u + \alpha/k)$ .

Za vse tri primere predpostavimo, da je parameter  $\alpha$  pozitiven (Chow in sod., 1988).

### 3.3.3.4 Ekstremna porazdelitev tipa I ali Gumbelova porazdelitev

Ekstremno porazdelitev tipa I imenujemo tudi Gumbelova porazdelitev, in sicer po nemško-ameriškem matematiku Emilu Juliusu Gumbel. Je najpogosteje uporabljena porazdelitev pri računanju ekstremnih vrednosti za hidrološke analize, še posebej za analize padavin (AllHassoun, 2011).

Kumulativna porazdelitvena funkcija ima sledečo obliko (Mays in sod., 2004):

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x-u}{\alpha} \right) \right]. \quad (24)$$

Parametra  $u$  in  $\alpha$  dobimo z enačbama:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi}, \quad (25)$$

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha. \quad (26)$$

$u$  je način porazdelitve oz. točka največje gostote verjetnosti.

Verjetnostni faktor se izračuna po naslednji enačbi (Chow in sod., 1988):

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}, \quad (27)$$

kjer je  $T$  povratna doba dogodka.

### 3.3.3.5 Pearsonova porazdelitev tipa III

Je ena od gama porazdelitev in je troparameterska ter asimetrična porazdelitev. Njen verjetnostni faktor je odvisen od povratne dobe  $T$  in koeficienta asimetrije  $C_S$ . Ko je  $C_S$  enak 0, je verjetnostni faktor enak standardni normalni spremenljivki  $z$ . Za  $C_S$  različen od 0 je Kitte (1977) za  $K_T$  oblikoval naslednjo enačbo (Chow in sod., 1988):

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5, \quad (28)$$

kjer je  $k = \frac{C_S}{6}$ . Indeks  $z$  predstavlja standardno normalno odstopanje s preseženo verjetnostjo  $1/T$ .

Vrednost  $z$  za podano povratno dobo sta podala Abramowitz in Stegun (1965), in sicer (Chow in sod., 1988):

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}, \quad (29)$$

kjer je:

$$w = \left[ \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}. \quad (30)$$

Enačba velja za  $0 < p \leq 0.5$ , kar pomeni, da velja samo za povratno dobo enako ali večjo od dveh let ( $p = 1/T$ ) (Chow in sod., 1988).

### 3.3.3.6 Log-Pearsonova porazdelitev tipa III

Izhaja iz Pearsonove porazdelitve, kar pomeni, da omenjeni porazdelitvi logaritmi verjetnostne spremenljivke tudi sledijo. Pri tej porazdelitvi hidrološke podatke najprej pretvorimo v logaritemske,

in sicer  $y = \log x$ . Običajno uporabljamo logaritme z osnovo 10. Za logaritemske podatke prav tako izračunamo aritmetično sredino, standardno deviacijo in koeficient asimetrije (Mays in sod., 2004).

Verjetnostni faktor  $K_T$  je odvisen od povratne dobe  $T$  in koeficienta asimetrije  $C_S$  (Chow in sod., 1988). Njegova enačba za verjetnostni faktor je enaka enačbi Pearsonove porazdelitve tipa III (Cheng in sod., 2011).

Pri hidrološki verjetnostni analizi uporabimo logaritemsko obliko enačbe verjetnostnega faktorja.

### 3.3.4 Empirične porazdelitve za umestitev meritev v graf

Z empirično porazdelitvijo določimo verjetnost posameznega merjenega podatka in na ta način lahko poiščemo teoretično porazdelitev, ki se najbolj prilega meritvam. Elemente vzorca najprej razvrstimo od najmanjšega do največjega in določimo verjetnost posameznega elementa. Taki ureditvi pravimo ranžirna vrsta. Empirična porazdelitvena funkcija ima naslednjo obliko:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ \frac{m}{n} & x_1 \leq x < x_n \\ 1 & x \geq x_n \end{cases}, \quad (31)$$

kjer je:

- $m$  mesto elementa  $x$  v ranžirni vrsti - rang,
- $x_1$  najmanjši element,
- $x_n$  največji element,
- $n$  število elementov vzorca.

Zgornja enačba je poznana pod imenom California. Za  $m = n$  dobimo verjetnost enako 1, kar ni smiselno. Da bi enačbo prilagodili, so jo spremenili v naslednjo obliko (Chow in sod., 1988):

$$F(x) = \frac{m-1}{n}. \quad (32)$$

Vendar tudi rezultatov te enačbe ni lahko prikazati, saj je pri  $m = 1$  verjetnost enaka 1 (Chow in sod., 1988).

Empirične porazdelitve ne dopuščajo možnosti verjetnosti dogodka zunaj intervala  $(x_1, x_n)$ , nas pa zanima verjetnost celotne populacije in ne samo analiziranega vzorca. Zato so različni avtorji podali različne enačbe za določanje relativnega ranga, ki dopuščata del verjetnosti zunaj intervala vzorca (Brilly in Šraj, 2005).

Večina empiričnih porazdelitev je predstavljena na sledeč način (Chow in sod., 1988):



$$F(x) = \frac{m - b}{n + 1 - 2b}, \quad (33)$$

kjer je  $b$  parameter, ki zavzema vrednosti med 0 in 0.5 (Maidment, 1993). V preglednici 2 so podane najpogosteje uporabljene empirične enačbe, vrednosti koeficienta  $b$  in letnice izida enačbe.

Preglednica 2: Pregled empiričnih porazdelitev za umestitev meritev v graf (Rakhecha in Singh, 2009; Weissman in Lewis, 2003)

Enačba:	Vrednost koeficienta $b$ :	Empirična porazdelitvena funkcija $F(x)$ :	Leto izida:
<i>California</i>		$\frac{m}{n}$ (34)	1923
<i>Hazen</i>	0.5	$\frac{m - 0.5}{n}$ (35)	1930
<i>Beard</i>		$1 - (0.5)^{1/n}$ (36)	
<i>Weibull</i>	0	$\frac{m}{n + 1}$ (37)	1939
<i>Čegodajev</i>	0.3	$\frac{m - 0.3}{n + 0.4}$ (38)	1955
<i>Blom</i>	$\frac{3}{8}$	$\frac{m - \frac{3}{8}}{n + \frac{1}{4}}$ (39)	1958
<i>Tukey</i>	$\frac{1}{3}$	$\frac{3m - 1}{3n + 1}$ (40)	1962
<i>Gringorten</i>	0.44	$\frac{m - 0.44}{n + 0.12}$ (41)	1963
<i>Cunnane</i>	0.4	$\frac{m - 0.4}{n + 0.2}$ (42)	1989

Naj omenim, da vse enačbe dajo enako vrednost na sredini porazdelitve, vendar drugačno umestitev meritev na koncih porazdelitve. Yevjevich je leta 1972 primerjal več enačb in ugotovil, da naj bi se Gringortenovo enačbo uporabljalo za ekstremne vrednosti pri Gumbelovi porazdelitvi (Rakhecha in Singh, 2009). Enačbo Čegodajev pogosto uporabljajo v U.S.S.R. (Unija Sovjetske Socialistične Republike) in vzhodnih državah Evrope.

Najpogosteje se uporablja enačba Weibull, ki ima več statističnih utemeljitev. Če je število elementov vzorca enakomerno razporejeno med 0 in 100 procentov verjetnosti, potem je  $n + 1$  intervalov,  $n - 1$  med podatkovnimi točkami in 2 na koncu. Weibullova enačba vključuje leto daljšo povratno dobo kot je dolžina zapisa največje vrednosti (Chow in sod., 1988). Je najbolj učinkovita enačba za umestitev meritev v graf za neopredeljene porazdelitve in od leta 1948 še vedno najbolj uporabna enačba empiričnih porazdelitev, ki so jo priporočili kot standardno. Zelo je uporabna pri računanju s preprostimi podatki (Weissman in Lewis, 2003).

### 3.4 Testiranje ujemanja

Testiranje ujemanja oz. preizkušanje statističnih domnev je sklepanje o ujemanju s pomočjo statistične analize. Preizkušamo domneve o ujemanju statistik vzorca s parametri teoretične porazdelitvene funkcije celotne populacije (Brilly in Šraj, 2005). Testiranje uporabljamo torej zato, da potrdimo ustreznost zapisa vzorca porazdeljenega po določeni izbrani teoretični porazdelitvi (Šenocak in Acar, 2007). Pri testiranju najprej določimo ničelno hipotezo  $H_0$ , ki jo želimo testirati, in alternativno hipotezo  $H_1$ , ki pa je alternativna ničelni. Nato je potrebno izračunati statistiko za izbrano stopnjo tveganja  $\alpha$  in določiti meje kritičnega območja. Če izračunana statistika pade v območje zavrnitve ničelne domneve, domnevo zavrnemo, drugače pa je ne moremo zavrniti.

Statistična hipoteza oz. domneva je nedokazana trditev o lastnosti slučajne spremenljivke (Brilly in Šraj, 2005). Poznamo parametrske in neparametrske teste. Prvi se pri znanem tipu porazdelitvene funkcije nanašajo le na vrednost parametrov, od katerih je funkcija  $F(x)$  odvisna. Drugi pa se nanaša na obliko porazdelitvenega zakona, lahko tudi na vrednosti parametrov, kar pa ni nujno. Pri danem problemu je običajno možnih več hipotez, ki so med seboj nezdružljive in jih imenujemo dopustne hipoteze (Jamnik, 1980).

Testiranje lahko izvedemo z različnimi testi. V nadaljevanju sta opisana dva neparametrska testa (Mohymont in sod., 2004), in sicer  $\chi^2$  test ter Kolmogorov - Smirnov test.

#### 3.4.1 $\chi^2$ ali Hi-kvadrat test

Hi-kvadrat test ima zelo široko uporabo v statistiki, zato lahko z njim preizkušamo zelo različne domneve. Lahko ga na primer uporabimo pri testiranju diskretnih in zveznih porazdelitev. Nas konkretno zanima ali empirično razvrščeni merjeni podatki oziroma vzorci ustrezajo predpostavljeni teoretični porazdelitvi (Brvar, 1997).

Test začnemo tako, da najprej rezultate meritev ali vzorce ( $X_j, j = 1, \dots, n$ ) razvrstimo v  $k$  razredov in s tem dobimo opazovana števila elementov v posameznem razredu  $f_{ti}, ti = 1, \dots, k$ . Število razredov mora biti večje ali enako 5 in absolutna frekvenca večja od 5. Nato predpostavimo ničelno  $H_0$  in alternativno hipotezo  $H_1$ .  $H_0$  predstavlja ujemanje empirične in teoretične porazdelitve. Izberemo si interval zaupanja in izračunamo meje kritičnega območja. Če je vrednost statistike  $\chi^2$  večja od  $\chi^2_{1-\alpha}$ , ničelno domnevo zavrnemo in sklepamo, da se podatki ne ujemajo z izbrano teoretično porazdelitvijo (Brilly in Šraj, 2005). Če so opazovane verjetnosti blizu pričakovanim verjetnostim, bo rezultat  $\chi^2$  majhen in bo pomenil dobro ujemanje porazdelitev (Šenocak in Acar, 2007).

V preglednici 3 so podatki Hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) porazdelitve, ki se jih uporablja pri testiranju hipotez s 95% stopnjo zaupanja.

Preglednica 3: Podatki Hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) porazdelitve (Brilly in Šraj, 2005, str. 52)

$\nu$	$\chi^2_{0,95}$
1	3.841
2	5.991
3	7.815
4	9.488
5	11.070
6	12.592
7	14.067
8	15.507
9	16.919
10	18.307
11	19.675
12	21.026
13	22.362
14	23.685
15	24.996
16	26.296
17	27.587
18	28.869
19	30.144
20	31.410
21	32.671
22	33.924
23	35.172
24	36.415
25	37.652
26	38.885
27	40.113
28	41.337
29	42.557
30	43.773
40	55.758
50	67.505
60	79.082
100	124.342

Vrednost statistike  $\chi^2$  testa je definirana z enačbo:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (f_i - f_{ii})^2 / f_{ii}. \quad (43)$$

Parametri enačbe so naslednji:

$f_i$  vrednost empirične porazdelitve,

$f_{ii}$  vrednost teoretične porazdelitve.

Statistika sledi Hi-kvadrat porazdelitvi, katere parameter  $\nu$  predstavlja prostorsko stopnjo in ima naslednjo obliko enačbe:

$$\nu = k - \rho - 1, \quad (44)$$

kjer je:

$k$  število razredov,

$\rho$  število parametrov teoretične porazdelitve ocenjenih iz vzorca.

### 3.4.2 Kolmogorov - Smirnov test

Test temelji na empirični porazdelitveni funkciji in je primeren le za testiranje zveznih porazdelitev. Testiramo samo maksimalno odstopanje med teoretično in empirično funkcijo vzorca. Elemente vzorca je potrebno najprej razvrstiti od najmanjšega do največjega. Ničelna domneva, ki jo testiramo je, da elementi vzorca sledijo določeni teoretični porazdelitvi. Vrednost testne statistike je naslednja (Brilly in Šraj, 2005):

$$D = \max_{i=1}^N |F_X(x_i) - F_n(x)| \quad (45)$$

Rezultat je enak največji absolutni razliki med teoretično in empirično porazdelitveno funkcijo, kjer je:

$F_X(x_i)$  teoretična porazdelitvena funkcija,

$F_n(x)$  empirična porazdelitvena funkcija in jo določimo kot:  $F_n(x) = i / N$ , kjer je  $i$  mesto elementa v urejenem vzorcu oz. ranžirni vrsti.

Na podlagi izbranega intervala zaupanja in mejne vrednosti (preglednica 4) domnevo zavrnemo ali pa ne. Test je zelo uporaben pri majhnih vzorcih.

Preglednica 4: Mejne vrednosti  $D$  Kolmogorov-Smirnov testa za različne intervale zaupanja (Brilly in Šraj, 2005, str. 68)

N	$\alpha$			
	0.2	0.1	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 4

40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N>50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

### 3.5 Empirične ITP enačbe

Empirične ITP enačbe so tipične enačbe, ki predstavljajo razmerje med odvisnimi in neodvisnimi spremenljivkami, torej t.j. razmerje med maksimalno količino padavin kot odvisno spremenljivko in ostalima neodvisnima parametroma: trajanje padavin in povratno dobo. Empirične enačbe nimajo teoretičnih osnov in so izključno empirične metode (Dingman, 1994). Podatki o intenziteti - trajanju - povratni dobi (ITP) so dostopni v različnih oblikah, in sicer kot krivulje, tabele in enačbe (Beadles, 2003).

V hidrologiji se uporablja več oblik ITP enačb, ki so prilagojene za specifično območje. Vsaka ITP krivulja ima različno vrednost parametrov, ti pa se razlikujejo glede na meroslovne pogoje in lokacijo.

Označimo z  $i$  intenziteto padavin (mm/h), z  $d$  trajanje padavin (min) in s  $T$  povratno dobo (leta). Iz tega sledi matematični izraz za ITP razmerje (Mohymont in sod., 2004):

$$i = f(T, d), \quad (46)$$

in pomeni, da je intenziteta padavin funkcija spremenljivk  $T$  in  $d$ . ITP razmerje ima naslednjo osnovno obliko:

$$i = \frac{a(T)}{b(d)}. \quad (47)$$

V enačbi (47) je odvisnost od trajanja padavin in odvisnost od povratne dobe oblikovana z dvema ločenima enačbama  $a(T)$  in  $b(d)$ . Razmerje (47) je nadalje parametrizirano kot:

$$i = \frac{a(T, p1)}{b(d, p2)} \quad (48)$$

kjer sta  $p1$  in  $p2$  vektorja parametrov. Tako lahko rečemo, da je ocena ITP krivulje posledica ocene teh parametrov. Razmerje ITP oblikuje skupino vzporednih padajočih krivulj. Intenziteta pada s trajanjem in narašča s povratno dobo. Običajno je imenovalac razmerja (48) izbran kot (Mohymont in sod., 2004):

$$b(d) = (d + \theta)^\eta, \quad (49)$$

kjer sta  $\theta$  in  $\eta$  parametra, ki jih je potrebno oceniti.  $\theta$  je izražen v minutah,  $\eta$  pa nima dimenzij, ter velja:  $\theta > 0$  in  $0 < \eta < 1$ . Funkcija  $b(d)$  je popolnoma empirična. Medtem pa, ko je funkcija  $a(T)$  lahko podana z naslednjima alternativnima razmerjema (Koutsoyiannis in sod., 1988):

$$a(T) = \lambda T^k, \quad (50)$$

$$a(T) = c + \lambda \ln T, \quad (51)$$

kjer je  $k$  brezdimenzijski parameter,  $\lambda$  in  $c$  pa sta parametra z enakimi dimenzijami kot naključna spremenljivka  $y$ . Prva oblika razmerja (50) je najstarejša in do pred kratkim najpogosteje uporabljena. Ti odnosi so precej empirični in preprosti za uporabo, ne pa tudi skladni s funkcijo verjetnostne porazdelitve, ki je primerna za računanje maksimalnih intenzitet padavin (Koutsoyiannis in sod., 1988).

Ni potrebe, da bi funkcijo  $a(T)$  uvajali kot empirično, saj jo je povsem mogoče določiti z matematično obliko kumulativne porazdelitvene funkcije maksimalnih letnih vrednosti padavin  $I(d)$ . S teorijo ekstremnih vrednosti se lahko pokaže, da je najverjetnejša uporabljena GEV porazdelitev ali njena poenostavljena oblika Gumbelova porazdelitev (Mohyont in sod., 2004).

V nadaljevanju je predstavljenih nekaj oblik ITP enačb. Enačbe iste oblike imajo lahko drugačne oznake parametrov. Isto enačbo se lahko uporablja na različnih delih sveta, vendar z različnimi vrednostmi parametrov. Prikazanih je nekaj primerov uporabe in ocene parametrov za specifična območja in določene povratne dobe.

Naj bo:

$i$	intenziteta padavin [mm/h],
$t$	trajanje [min],
$a, b$ , in $e$	stalni (empirični parametri odvisni od določene lokacije) parametri, ki so vezani na meroslovne pogoje in imajo samo pozitivne vrednosti (Minh Nhat, 2006). Parameter $a$ je koeficient z enotami mm/h, $b$ je časovna konstanta v minutah in $e$ je eksponent, ki je običajno manjši od 1 (Gerb in Moges, 2009).

Zgornje oznake veljajo za enačbe: Sherman, Bernard, Talbot ali Steel in Mcghee, Kimijima, dr. Ichikuro (poglavja 3.5.1-3.5.5).

### 3.5.1 Enačba Sherman

Izpeljal jo je Sherman leta 1931 in je najbolj pogosta oblika empiričnih ITP enačb, ki se jo še danes veliko uporablja (Minh Nhat, 2006):

$$i = \frac{a}{(t+b)^e} \quad (52)$$

Primer 1: Za mesto Atlanta v državi Georgia v Združenih državah Amerike za 25-letno povratno dobo veljajo naslednji parametri:  $a = 72.79$ ,  $e = 0.7475$  in  $b = 13$ . Te so vstavili v enačbo Sherman in dobili:

$$i = \frac{72.79}{(t+13)^{0.7475}} \quad (53)$$

Omenjeni parametri se lahko uporabijo za katerokoli trajanje 25-letne povratne dobe (Beadles, 2003).

Primer 2: V Etiopiji, natančneje v rezervatu/zavarovanem območju SNNPR - Southethn Nations Nationalities and People Regional State, prav tako uporabljajo za izračun ITP krivulj Sherman-ovo enačbo. Parametri enačbe se tudi tukaj razlikujejo od parametrov drugih območij in so prikazani v preglednicah 5 in 6.

Sherman-ova enačba z nekoliko drugačnimi oznakami parametrov, in sicer (Gerb in Moges, 2009):

$$I = \frac{A}{(D+B)^C}, \quad (54)$$

kjer je:

- $I$  intenziteta padavin [mm/h],
- $D$  trajanje padavin [min],
- $A$  parameter [mm/h],
- $B$  časovna konstanta [min],
- $C$  eksponent, vrednost je običajno manjša od ena.

Preglednica 5: Ocenjeni ITP parametri Shermanove enačbe za zavarovano območje SNNPR za 2, 5 in 10-letno povratno dobo (prirejeno po Gerb in Moges, 2009)

Ime postaje:	2-letna povratna doba			5-letna povratna doba			10-letna povratna doba		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>Aman</b>	2470.83	20.55	0.95	3117.48	25.79	0.94	3259.4	27.8	0.92
<b>Arbaminch</b>	1862.35	16.33	0.95	2703.13	22.96	0.96	3165.89	25.8	0.96
<b>Areka</b>	1387.59	2.8	0.9	3117.48	4.62	0.9	1927.23	4.62	0.9
<b>Awassa</b>	1238.34	0.1	0.87	3226.63	12.74	0.98	3653.69	13.48	0.98
<b>Billate</b>	1393.18	4.09	0.91	1616.06	2.58	0.89	1856.77	3.2	0.89
<b>Dilla</b>	1540.04	2.76	0.91	2167.66	6	0.92	2493.53	7.47	0.92
<b>Gidole</b>	1753.47	9.23	0.92	2253.04	10.65	0.92	2667.47	12.7	0.92
<b>Gore</b>	1722.91	5.37	0.94	2037.28	4.47	0.94	2170.17	3.97	0.93
<b>Jinka</b>	1082.55	1.35	0.86	1175.23	0.99	0.83	1255.04	2	0.82

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 5

<b>Konso</b>	1357.97	4.47	0.92	1719.28	4.63	0.93	2026.57	5.62	0.94
<b>M/Abaya</b>	960.35	2.58	0.85	1631.72	8.76	0.89	2038.97	11.15	0.91
<b>Masha</b>	1275.01	0.04	0.89	1528.14	2.09	0.86	1921.1	7.47	0.87
<b>Sawla</b>	1987.81	14.47	0.97	2136.07	13.76	0.93	1940.82	11.12	0.89
<b>Sekoru</b>	1615.4	10.09	0.93	2028.28	2.09	0.94	2297	8.76	0.94
<b>Sodo</b>	1889.95	12.7	0.92	2428.47	13.76	0.92	2933.14	10.91	0.93
<b>Wushwush</b>	1570.95	0.03	0.91	1969.86	9.22	0.93	2338.01	3.44	0.94
<b>Woliso</b>	3109.4	42.42	1.02	3365.95	10.95	1.02	3605.08	29	1.02
<b>Hosana</b>	546.34	0.53	0.77	828.81	0.53	0.82	987.28	0.6	0.83
<b>Gojeb</b>	840.72	34.03	0.82	1768.13	55.42	0.92	2967.4	71.99	0.99

Preglednica 6: Ocenjeni ITP parametri Shermanove enačbe za zavarovano območje SNNPR za 25, 50 in 100-letno povratno dobo (prirejeno po Gerb in Moges, 2009)

Ime postaje:	25-letna povratna doba			50-letna povratna doba			100-letna povratna doba		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<b>Aman</b>	3222.23	29	0.9	3092.32	29.03	0.88	3032.42	30.01	0.86
<b>Arbaminch</b>	4388.28	34.27	0.98	4914.46	36.88	0.98	5903.33	42.13	1
<b>Areka</b>	1992.46	3.97	0.89	1964.22	2.91	0.87	1988.51	2.58	0.86
<b>Awassa</b>	4174.17	14.35	0.97	4582.97	15.09	0.97	5071.28	16.33	0.97
<b>Billate</b>	2314.5	5.6	0.9	2702.43	7.47	0.92	3114.5	9.24	0.93
<b>Dilla</b>	2807.34	8.7	0.92	2978.77	9.23	0.91	3175.53	10.09	0.91
<b>Gidole</b>	3007.71	13.48	0.92	3361.77	15.03	0.93	3647.97	15.95	0.93
<b>Gore</b>	2154.34	2.09	0.91	2091.12	0.53	0.9	2164.44	0.53	0.89
<b>Jinka</b>	1271.9	2.1	0,8	1288.91	2.53	0.79	1286.48	2.58	0.77
<b>Konso</b>	2500.73	7.47	0.96	2869.26	8.69	0.98	3306.14	10.1	0.99
<b>M/Abaya</b>	2527.86	13.42	0.92	2904.89	15.09	0.93	3255.91	16.33	0.93
<b>Masha</b>	2617.62	16.33	0.88	3185.68	23.3	0.89	4045.19	32.27	0.91
<b>Sawla</b>	1656.52	7.47	0.85	1445.53	4.47	0.81	1314.43	2.6	0.79
<b>Sekoru</b>	2676.53	8.71	0.95	2948.03	8.6	0.96	3088.25	7.47	0.96
<b>Sodo</b>	3540.04	10.09	0.94	4113.34	10.09	0.95	4711.54	10.09	0.96
<b>Wushwush</b>	2015.58	0.53	0.91	2088.62	2.58	0.9	1742.19	0.04	0.87
<b>Woliso</b>	3646.82	25.8	1.02	3700.04	23.27	1.02	3603.1	20.56	1.01
<b>Hosana</b>	1173.46	0.04	0.85	1301.85	0.04	0.86	1427.72	0.01	0.87
<b>Gojeb</b>	4978.4	88.05	1.06	7986.2	104.67	1.12	11664.4	117.38	1.17

Iz preglednic 5 in 6 je razvidno, da so za vsako povratno dobo ocenjeni drugačni parametri. To pomeni, da so le-ti odvisni od povratne dobe. Iste parametre lahko uporabimo za različna trajanja, vendar v sklopu iste povratne dobe.

### 3.5.2 Enačba Bernard

Izpeljana je bila leta 1932 (Minh Nhat, 2006):



$$i = \frac{a}{t^e}. \quad (55)$$

*Primer 3:* Mesto Montana v Švici upošteva za izračun ITP krivulj za daljša trajanja enačbo Bernard, vendar uporablja nekoliko drugačne oznake parametrov, in sicer:

$$i = \frac{a}{t^b}, \quad (56)$$

kjer je:

*i* maksimalna intenziteta padavin [mm/h],

*t* trajanje padavin [min ali h],

*a, b* lokalna parametra, ki običajno zavzemata vrednosti med 0.3 in 0.8. Odvisna sta od povratne dobe in se ju lahko izračuna s programom Hydrolab (preglednica 7).

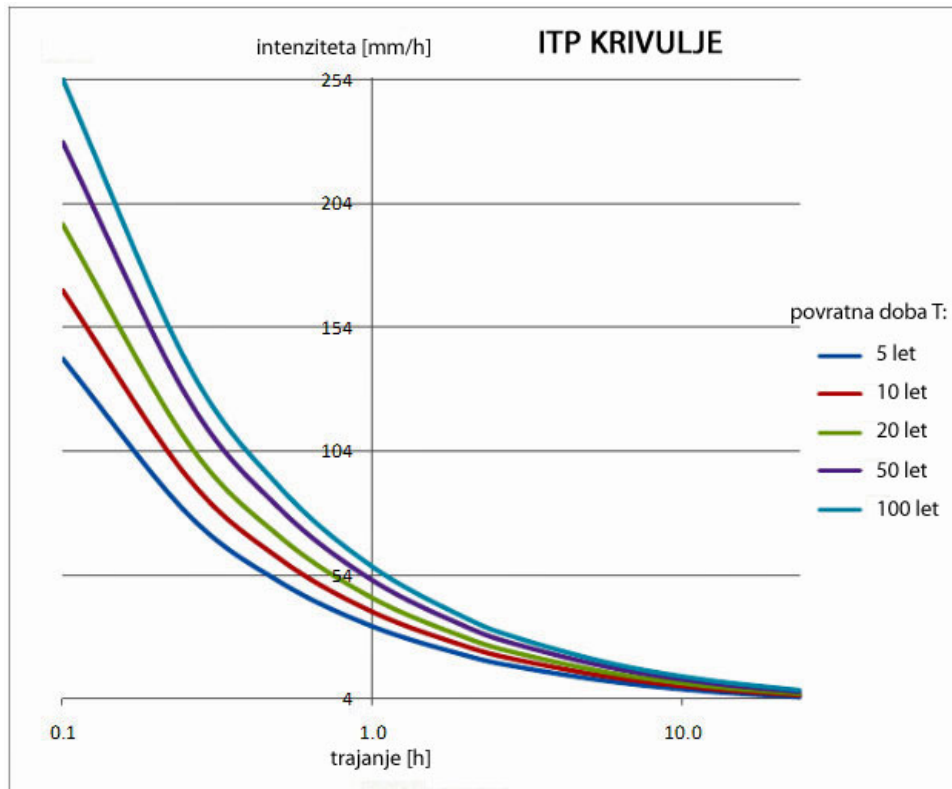
Preglednica 7: Parametra *a* in *b* za mesto Montana glede na različno povratno dobo (prirejeno po Hydro Europe, 2012)

T [leta]/Parameter	a [mm/h]	b
5	33.204	0.630
10	39.046	0.637
20	44.675	0.642
50	51.857	0.645
100	57.315	0.648

V nadaljevanju je prikazana preglednica intenzitete padavin (preglednica 8). Na podlagi ocenjenih koeficientov in meritev podatkov so izdelali ITP krivulje (slika 9).

Preglednica 8: Intenzitete padavin v odvisnosti od trajanja in povratne dobe za mesto Montana (prirejeno po Hydro Europe, 2012)

Trajanje padavin [h]	Povratna doba T [leta]				
	5	10	20	50	100
0.1	141.6	169.2	195.8	229.1	254.7
0.25	79.5	94.4	108.8	126.8	140.7
0.5	51.4	60.7	69.7	81.1	89.8
1	33.2	39	44.7	51.9	57.3
2	21.458	25.111	28.633	33.158	36.583
3	16.622	19.396	22.073	25.526	28.133
6	10.742	12.474	14.147	16.321	17.957
12	6.942	8.022	9.067	10.436	11.462
24	4.486	5.159	5.811	6.673	7.316



Slika 9: ITP krivulje za več različnih povratnih dob za mesto Montana v Švici (prirejeno po Hydro Europe, 2012)

### 3.5.3 Enačba Talbot ali Steel in McGhee

Steel in McGhee sta leta 1979 izpeljala empirično enačbo za Združene države Amerike, in sicer za trajanje manj kot dve uri in za katerokoli povratno dobo (Goel in Sarkar, 2007; Minh Nhat, 2006):

$$i = \frac{a}{t + b} \quad (57)$$

Konstanti  $a$  in  $b$  sta lahko izračunani kot (Ibrahim, 2005):

$$a = \frac{[\sum(I * t)] [\sum(I^2)] - [\sum(I^2 * t)] [\sum(I)]}{N [\sum(I^2)] - [\sum(I)] [\sum(I)]}, \quad (58)$$

$$b = \frac{[\sum(I)] [\sum(I * t)] - N [\sum(I^2 * t)]}{N [\sum(I^2)] - [\sum(I)] [\sum(I)]}, \quad (59)$$

kjer je  $N$  število podatkov v letih.

### 3.5.4 Enačba Kimijima

Enačba je sledeča (Mint Nhat in sod., 2006):

$$i = \frac{a}{t^e + b}. \quad (60)$$

*Primer 4:* Enačbo Kimijima uporabljajo v Vietnamu, natančneje na postaji Hanoi, kjer imajo naslednje ocene parametrov (preglednica 9).

Preglednica 9: Parametri  $a$ ,  $b$  in  $e$  enačbe Kimijima za postajo Hanoi (prirejeno po Minh Nhat in sod., 2006)

Povratna doba T [leta]/Parameter	a	b	e
200	7084.931	28.843	0.754
100	5506.794	22.112	0.752
50	4553.066	18.121	0.762
20	3934.044	15.565	0.782
10	3410.582	13.471	0.821
5	3111.113	12.51	0.853
3	2767.134	11.335	0.863
2	2349.924	9.81	0.851

Zgornje štiri enačbe: Sherman, Bernard, Talbot in Kimijima so osnovne oblike enačb ITP krivulj za različne dele USA (Ghahraman in Hosseini, 2005). Iz primerov je razvidno, da se uporabljajo tudi drugod po svetu. Vse štiri enačbe so se do sedaj pogosto uporabljale v hidrologiji (Minh Nhat, 2006).

Z daljšanjem trajanja padavin pri dani povratni dobi se intenziteta ali količina padavin zmanjšuje. Enačbe so veljavne za določeno podano povratno dobo, in če se njena vrednost spremeni, potem se spremenijo tudi vrednosti parametrov. Parametre je možno izraziti tudi s preprostimi eksponentnimi tipi enačb. Te enačbe so funkcije lokalnih meteoroloških parametrov in povratne dobe. Sledita dva primera (Ghahraman in Hosseini, 2005):

$$a = k_1 * T^{k_2}, \quad (61)$$

$$e = k_3 * T^{k_4}, \quad (62)$$

kjer je:

$T$  povratna doba,  
 $k_1, k_2, k_3, k_4$  lokalni konstantni parametri.

V nadaljevanju je predstavljenih še nekaj oblik ITP enačb. Nekateri avtorji so navedli empirične enačbe, ki so tipične za točno določena mesta (npr. v ZDA, Koreji, ...).

**3.5.5 Enačba dr. Ichikuro (Ibrahim, 2005):**

$$i = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (63)$$

Konstanti  $a$  in  $b$  lahko zapišemo kot:

$$a = \frac{[\sum(I * \sqrt{t})][\sum(I^2)] - [\sum(I^2 * \sqrt{t})][\sum(I)]}{N[\sum(I^2)] - [\sum(I)][\sum(I)]}, \quad (64)$$

$$b = \frac{[\sum(I)][\sum(I * \sqrt{t})] - N[\sum(I^2 * \sqrt{t})]}{N[\sum(I^2)] - [\sum(I)][\sum(I)]}, \quad (65)$$

kjer je  $N$  število podatkov v letih.

To enačbo, poleg Talbot in Sherman enačbe, uporabljajo v Indoneziji (Ibrahim, 2005).

**3.5.6 Enačba Gert in sod.**

Enačba, ki velja za državo Pennsylvania v ZDA (Goel in Sarkar, 2007), je naslednja:

$$I(t) = (1 + 0.42 \log^t 24) R_{24}, \quad (66)$$

kjer je:

$I(t)$  padavinski seštevek,

$t$  trajanje [h],

$R_{24}$  24-urni padavinski seštevek.

**3.5.7 Enačba Mc Cuen**

Leta 1989 je Mc Cuen podal matematično razmerje ITP krivulj za izračun elementov hidrološkega načrtovanja za mesto Baltimore v Marylandu (ZDA) (Goel in Sarkar, 2007):

$$i = \frac{a}{t + b} \quad \text{za } t \leq 2 \text{ uri}, \quad (67)$$

$$i = ct^d \quad \text{za } t > 2 \text{ ur}, \quad (68)$$

kjer je:

$i$  intenziteta [inch/h],  
 $t$  trajanje [h],  
 $a, b, c$  in  $d$  parametri, ki se spreminjajo glede na povratno dobo.

### 3.5.8 Enačba Chen

Enačba Chen ima naslednjo obliko (Goel in Sarkar, 2007):

$$I_t^T = \frac{aI_1^{10} \log(10^{2-x} T^{x-1})}{(t+b)^c}, \quad (69)$$

kjer je:

$I_t^T$  intenziteta padavin [inc/h] za povratno dobo  $T$  [leta] in trajanje  $t$  [min],  
 $x$  količina frekvenčnega razmerja ( $R_t^{100} / R_t^{10}$ ),  
 $a, b$  in  $c$  parametri odvisni od regionalnega razmerja ( $R_t^{100} / R_t^{10}$ ).

### 3.5.9 Enačba Wenzel

Wenzel (1982) je za nekatera mesta v ZDA izpeljal enačbo oblike (Chow in sod., 1988):

$$i = \frac{c}{T_d^e + f}, \quad (70)$$

pri čemer je:

$i$  intenziteta padavin [inch/h],  
 $T_d$  trajanje [min],  
 $c, e$  in  $f$  parametri odvisni od lokacije in povratne dobe.

Primer 5: V preglednici 10 so prikazane vrednosti koeficientov enačbe Wenzel za 10-letno povratno dobo za 10 mest v Združenih državah Amerike.

Preglednica 10: Vrednosti koeficientov enačbe Wenzel za 10-letno povratno dobo za 10 mest v Združenih državah Amerike (prirejeno po Chow in sod., 1988)

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

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 10

<b>Miami</b>	124,2	0,81	6,19
<b>New York</b>	78,1	0,82	6,57
<b>Santa Fe</b>	62,5	0,89	9,1
<b>St. Louis</b>	104,7	0,89	9,44

### 3.5.10 Enačba Lee in sod. ter enačba Heo in sod.

V Koreji se uporabljajo naslednje tri ITP enačbe (Kim in sod., 2008):

$$I(t) = \frac{a}{t^n + b}, \quad (71)$$

$$I(t, T) = \frac{a + b \log T}{c + t^n}, \quad (72)$$

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}}. \quad (73)$$

Pri čemer je:

$I(t), I(t, T)$	intenziteta padavin [mm/h],
$t$	trajanje [min],
$T$	povratna doba [leta],
$a, b, c, d, n$	parametri za vsako merjeno postajo.

Prva, enačba (71), je tipična enačba, ki se lahko spremeni v enačbo Talbot ali Sherman ali pa japonski tip enačbe. Drugo enačbo, enačbo (72), so izpeljali Lee in sod. (1993), tretjo, enačbo (73), pa Heo in sod. (1999). Zadnji dve enačbi imata večjo natančnost, čeprav vsebujeta več parametrov in povratno dobo  $T$  (Kim in sod., 2008).

### 3.5.11 Enačba Koutsoyiannis in sod.

Koutsoyiannis in sod. so uporabili več ustreznih statističnih porazdelitev (Gumbel, log Pearson III, log normalna, ...) za zanesljivo ocenjevanje parametrov in predlagali splošno obliko ITP enačbe, ki omogoča opis geografskih spremenljivosti z regionalizacijo ITP krivulj. Enačba torej dovoljuje izračun ITP krivulj tudi za nemerjena območja in je sledeče oblike (Koutsoyiannis in sod., 1988):

$$i = \frac{\omega}{(d^v + \theta)^n}, \quad (74)$$

kjer so  $\omega$ ,  $\nu$ ,  $\theta$  in  $\eta$  ne-negativni koeficienti in velja  $\nu^* \eta \leq 1$ . Slednja neenakost izhaja iz zahteve, da je višina padavin  $h = i^*d$  naraščajoča funkcija  $d$ -ja oz. trajanja padavin (Goel in Sarkar, 2007).

Enačba je empirična in nima nikakršnih teoretičnih utemeljitev. Lahko bi rekli, da so vsa tipična ITP razmerja za določeno povratno dobo poseben primer zgornje, splošne ITP enačbe (Koutsoyiannis in sod., 1988).

### 3.5.12 Enačba Ram Babu in sod.

Potem, ko so analizirali značilnosti padavin za 42 postaj, so izpeljali naslednjo splošno ITP enačbo za Indijo (Goel in Sarkar, 2007):

$$I = \frac{KT^a}{(t+b)^n}. \quad (75)$$

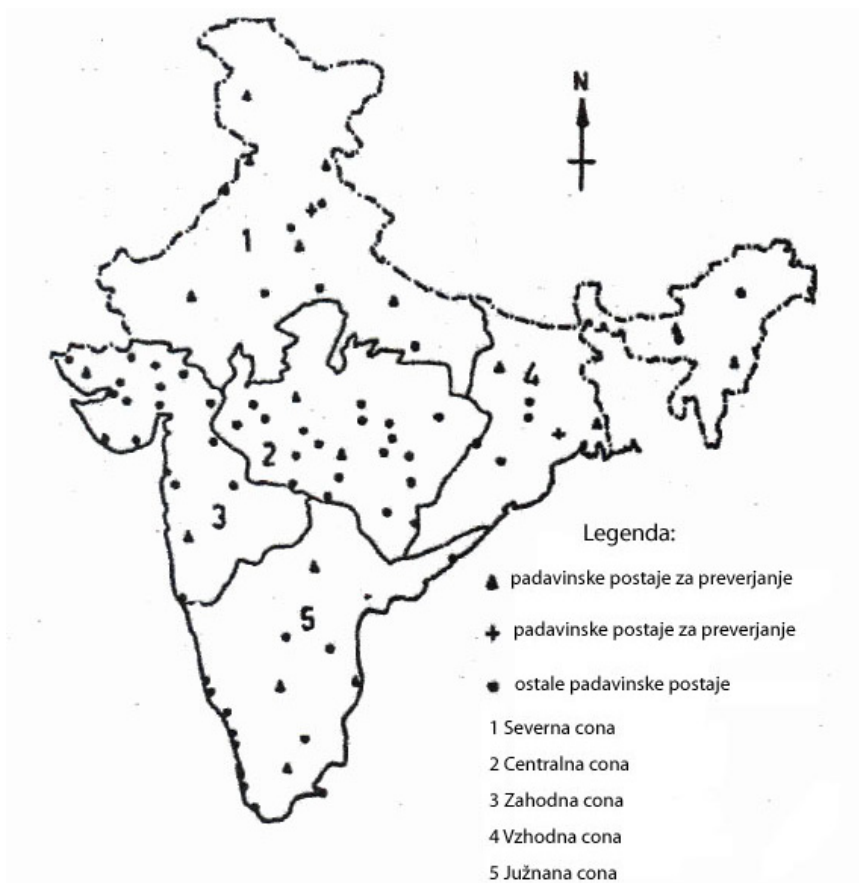
Kjer je:

$I$  intenziteta padavin [cm/h],

$T$  povratna doba [leta],

$t$  trajanje padavin [h],

$K, a, b, n$  parametri za različne cone (slika 10) in postaje v Indiji (preglednica 11).



Slika 10: Zemljevid Indije razdeljene na cone (prirejeno po Goel in Sarkar, 2007)

Preglednica 11: Koeficienti  $K$ ,  $a$ ,  $b$  in  $n$  enačbe Ram Babu za različne cone in postaje v Indiji (prirejeno po Goel in Sarkar, 2007)

Cona:	Postaja:	K	a	b	n
Severna cona	Agra	4.911	0.1667	0.25	0.6293
	Allahabad	8.57	0.1692	0.5	1.019
	Amristar	14.41	0.1304	1.4	1.2963
	Dehradun	6	0.22	0.5	0.8
	Jaipur	6.219	0.1026	0.5	1.1172
	Jodhpur	4.098	0.1677	0.5	1.0359
	Lucknow	6.074	0.1813	0.5	1.0331
	New Delhi	5.208	0.1574	0.5	1.1072
	Srinagar	1.503	0.273	0.25	1.0636
Northern Zone	5.914	0.1623	0.5	1.0127	
Centralna cona	Bagra-tawa	8.5704	0.2214	1.25	0.9331
	Bhopal	6.9296	0.1892	0.5	0.8767
	Indore	6.928	0.1394	0.5	1.0651
	Jabalpur	11.379	0.1746	1.25	1.1206
	Jagdapur	4.7065	0.1084	0.25	0.9902
	Nagpur	11.45	0.156	1.25	1.0324
	Punase	4.7011	0.2608	0.5	0.8653
	Raipur	4.683	0.1389	0.15	0.9284
	Thikrl	6.088	0.1747	1	0.8587
Central Zone	7.4645	0.1712	0.75	0.9599	
Zahodna cona	Aurangabad	6.081	0.1459	0.5	1.0923
	Bhuj	3.823	0.1919	0.25	0.9902
	Mahabaleshwar	3.483	0.1267	0	0.4853
	Nandurbar	4.254	0.207	0.25	0.7704
	Vengurla	6.863	0.167	0.75	0.8683
	Veraval	7.787	0.2087	0.5	0.8908
	Western Zone	3.974	0.1647	0.15	0.7327
Vzhodna cona	Agarthala	8.097	0.1177	0.5	0.8191
	Dumdum	5.94	0.115	0.15	0.9241
	Gauhati	7.206	0.1557	0.75	0.9401
	Gaya	7.176	0.1483	0.5	0.9459
	Imphal	4.939	0.134	0.5	0.9719
	Jamshedpur	6.93	0.1307	0.5	9.8737
	Jharsuguda	8.598	0.1392	0.75	0.874
	North Lakhimpur	14.07	0.1256	1.25	1.073
	Sagarisland	16.524	0.1402	1.5	0.9635
	Shillong	6.728	0.1502	0.75	0.9575
	Eastern Zone	6.933	0.1353	0.5	0.8801
Južna cona	Bangalore	6.275	0.1262	0.5	1.128
	Hyderabad	5.25	0.1354	0.5	1.0295
	Kodaikanal	5.914	0.1711	0.5	1.0088
	Madras	6.126	0.1664	0.5	0.8027
	Mangalore	6.744	0.1395	0.5	0.9374
	Tiruchirapalli	7.135	0.1638	0.5	0.9624
	Trivandrum	6.762	0.1536	0.5	0.8158
	Visakhapatnam	6.646	0.1692	0.5	0.9963
Southern Zone	6.311	0.1523	0.5	0.9465	



### 3.5.13 Enačba Kothyari & Garde

Kasneje sta Kothyari in Garde na podlagi analiziranih 80 padavinskih merskih postaj izpeljala naslednjo ITP enačbo za Indijo (Goel in Sarkar, 2007):

$$I_t^T = C \frac{T^{0.20}}{t^{0.71}} (R_{24}^2)^{0.33} \quad (76)$$

kjer je:

$I_t^T$  intenziteta padavin [mm/h] za povratno dobo  $T$  [leta] in trajanje  $t$  [h],

$C$  konstanta (vrednosti za regije oz. cone so podane v preglednici 12),

$R_{24}^2$  2-letna povratna doba in 24-urne padavine [mm].

Preglednica 12: Vrednosti konstante  $C$  enačbe Kothyari & Garde za posamezno cono v Indiji (Goel in Sarkar, 2007)

Geografska cona	Cona na sliki 10	Vrednost C
Severna Indija	1	8
Vzhodna Indija	4	9.1
Centralna Indija	2	7.7
Zahodna Indija	3	8.3
Južna Indija	5	7.1

## 4 UPORABA ITP KRIVULJ V HIDROLOGIJI

### 4.1 Uvod

Za hidrološko modeliranje je zelo pomembna natančnost zbranih podatkov padavin, ki jih potrebujemo za dimenzioniranje in predstavljajo vhodne podatke za hidrološke modele. Obstaja več različnih načinov določevanja padavin za dimenzioniranje. Nekateri temeljijo na količini padavin v izbrani točki, drugi na natančnem opisu časovne razporeditve padavin, spet tretji na izohietnih kartah, ki prikazujejo regionalno prostorsko razporeditev padavin (Prodanovic in Simonovic, 2004).

ITP krivulje se v hidrologiji najpogosteje uporabljajo za izdelavo sintetičnega histograma padavin (poglavje 4.1) pri hidrološkem modeliranju in določanju visokovodnih valov z določeno povratno dobo in pri racionalni metodi za določitev maksimalnega pretoka majhnih nemerjenih porečij (poglavje 4.2). Poleg tega se v vodarstvu uporabljajo tudi za dimenzioniranje kanalizacijskih omrežij in črpališč, določitev dotoka za komunalne čistilne naprave, določanje trajanja in pogostosti preliivanja razbremenilnikov in zadrževalnikov (Panjan in sod., 2005), itd.

### 4.2 Sintetični histogram padavin

Padavinski histogram je zasnovan na količini oz. intenziteti padavin kot funkcija časa in je osnovni podatek za izračun površinskega odtoka. Sintetični histogram padavin lahko določimo sami ali pa s pomočjo računalniškega programa na podlagi preteklih padavinskih podatkov, pri čemer moramo upoštevati pogoj, da so padavine znotraj računskega intervala razporejene časovno in prostorsko enakomerno (Brilly in Šraj, 2005).

Sintetični histogrami so lahko izdelani na podlagi izmerjenih padavinskih podatkov za določen kraj ali z uporabo sintetičnih metod, ki lahko zajamejo lastnosti padavin določenega kraja (Prodanovic in Simonovic, 2004). Brilly in Šraj (2005) navajata, da sintetične padavine določimo na podlagi natančne statistične analize podatkov o padavinah za daljše obdobje. Poznamo več različnih metod za izdelavo sintetičnih histogramov padavin. Veneziano in Villani (1999) sta predlagala, da lahko večino metod razvrstimo v štiri skupine, in sicer:

- histogrami preproste geometrijske oblike, ki potrebujejo eno točko z ITP krivulje,
- histogrami ustvarjeni na podlagi uporabe celotne ITP krivulje,
- histogrami ustvarjeni z uporabo standardiziranih profilov pridobljenih neposredno iz padavinskih podatkov,
- histogrami ustvarjeni na podlagi simulacije stohastičnih modelov.

V nadaljevanju sta na kratko predstavljeni prvi dve skupini, ki temeljita na ITP krivuljah. Pri vsaki je opisana po ena metoda, ki je zanjo značilna.

#### 4.2.1 Histogrami ustvarjeni z eno točko ITP krivulje

Metode iz te skupine potrebujejo za izdelavo histograma intenziteto padavin iz ene točke ITP krivulje. Določi se povratna doba  $T$  in trajanje  $t_d$ , povprečno vrednost intenzitete padavin pa odčita iz grafa ITP krivulje. Za povprečno intenziteto celotnega trajanja nevihte največkrat uporabljamo pravokotne histograme. Ta postopek se pogosto uporablja v kombinaciji z racionalno metodo pri dimenzioniranju infrastrukture za zaščito pred poplavami. Metode iz te skupine ne dajejo posebnega poudarka na količino celotnih padavin nevihte. Metode so preproste in enostavne za izdelavo, vendar nimajo trdnih osnov in njihov rezultat je lahko pristranska ocena. Metodi, ki spadata v to skupino, sta na primer trikotna in linearno-eksponentna (Prodanovic in Simonovic, 2004). Prva je predstavljena v nadaljevanju.

##### *Trikotna metoda*

Pri tej metodi je oblika histograma trikotna (slika 11). Če poznamo projektno količino padavin  $P$  in skupno trajanje padavin  $T_d$ , potem lahko določimo osnovno dolžino in višino trikotnika. Skupna količina padavin histograma je podana z enačbo (Chow in sod., 1988):

$$P = \frac{1}{2} T_d h, \quad (77)$$

kjer je:

$T_d$  osnovna dolžina,

$h$  količina padavin.

Iz enačbe sledi izračun višine:

$$h = \frac{2P}{T_d}. \quad (78)$$

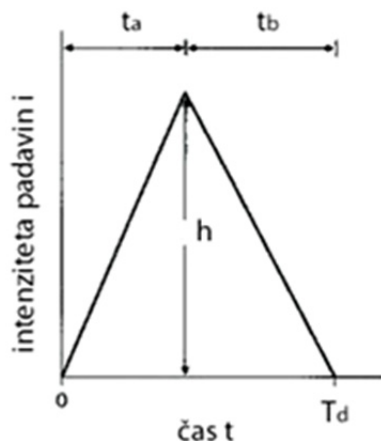
Koeficient  $r$  je definiran kot razmerje med časom  $t_a$ , ki je potreben od začetka pa do vrha trikotnika, in trajanjem padavin  $T_d$  (Chow in sod., 1988):

$$r = \frac{t_a}{T_d}. \quad (79)$$

Če je vrednost koeficienta  $r$  enaka 0.5, je vrh intenzitete na sredini nevihte. Če je koeficient manjši od 0.5, je vrh intenzitete pred sredinsko točko histograma, in obratno. Čas  $t_b$ , ki je potreben od vrha histograma pa do njegovega konca, je podan kot (Chow in sod., 1988):

$$t_b = T_d - t_a = (1-r)T_d. \quad (80)$$

Pri trikotni metodi so pomembne tri točke  $(t, i)$ :  $(0, 0)$ ,  $(t_a, h)$ ,  $(T_d, 0)$  (Prodanovic in Simonovic, 2004).



Slika 11: Trikotna oblika histograma (prirejeno po Chow in sod., 1988, str. 464).

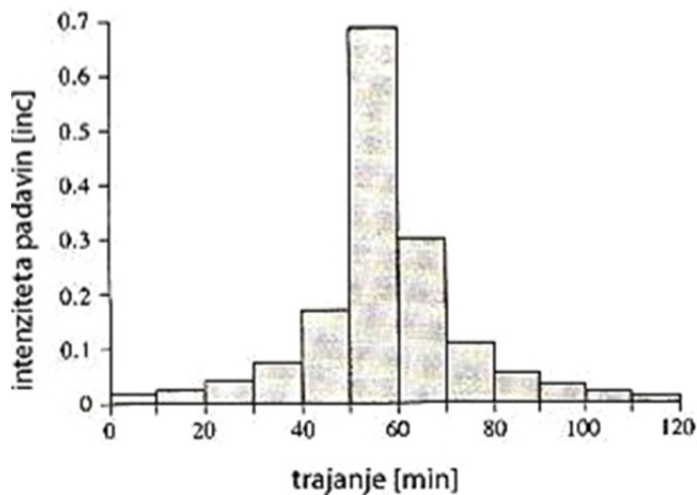
#### 4.2.2 Histogrami ustvarjeni s celotno ITP krivuljo

Pri metodah iz te skupine je potrebna uporaba celotne ITP krivulje za določeno povratno dobo ter za specifičen kraj. Te metode imajo nekaj pomanjkljivosti, prav tako kot tudi ITP krivulje same. Intenzitete padavin so dejansko povprečja nekega trajanja, ki ne predstavljajo prave dolžine padavin (Prodanovic in Simonovic, 2004). V nadaljevanju je predstavljena metoda iz te skupine.

##### *Izmenična blok metoda*

Izmenična blok metoda je preprosta metoda za ustvarjanje histogramov s pomočjo ITP krivulj. Količina padavin, ki se zgodi v  $n$  zaporednih časovnih intervalih pri  $\Delta t$  trajanju, je enaka seštevku celotnega trajanja  $T_d = n \cdot \Delta t$ . Ko določimo povratno dobo, iz ITP krivulj odčitamo ustrezno intenziteto padavin za posamezna trajanja  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ . Z odštevanjem zaporednih vrednosti padavinskih intenzitet, dobimo količine padavin, ki se jih dodaja k vsaki dodatni časovni enoti  $\Delta t$ . Ti prirastki oz. bloki so razporejeni v časovno zaporedje z maksimalno intenziteto na sredini zahtevanega trajanja  $T_d$ . Ostale intenzitete pa so razporejene v padajočem vrstnem redu izmenično na desno in levo stran od sredinske maksimalne intenzitete (Chow in sod., 1988).

Na sliki 12 je prikazan histogram, ki je izdelan po izmenični blok metodi. Podatki so vzeti za mesto Denver v Združenih državah, in sicer za 2-urno nevihto za 10-letno povratno dobo z 10-minutnimi meritvami.



Slika 12: Histogram izdelan po izmenični blok metodi za podatke mesta Denver (prirejeno po Chow in sod., 1988, str. 467)

### 4.3 Racionalna metoda

Racionalno metodo je prvi predstavil Emil Kuichling leta 1889 v Združenih državah (Viessman in Lewis, 2003). Uporablja se jo za izračun maksimalnega pretoka, najpogosteje za namene dimenzioniranja kanalizacijskih meteornih vod z urbanih površin, v hidrologiji pa tudi za določitev največjega odtoka z manjših ruralnih porečij (Brilly in Šraj, 2006). Racionalna enačba je definirana z izrazom (Brilly in Šraj, 2006; Žugaj, 2009):

$$Q_M = 0,278 * C * i * A, \quad (81)$$

kjer je:

- $Q_M$  maksimalni pretok [ $m^3/s$ ],
- $C$  koeficient odtoka [-],
- $i$  intenziteta padavin za dimenzioniranje [ $mm/h$ ],
- $A$  površina razvodja porečja [ $km^2$ ].

#### 4.3.1 Intenziteta padavin

Intenziteta padavin  $i$ , je povprečna količina padavin za določeno povodje ali podpovodje (Chow in sod., 1988). Je funkcija geografske lokacije, povratne dobe in padavinskega trajanja (Thompson in sod., 2007). Za določitev intenzitete padavin, moramo najprej določiti trajanje in povratno dobo. Trajanje je enako času koncentracije, ki je definirano kot čas potreben, da do prereza priteče voda iz najbolj oddaljenih delov porečja (Brilly in Šraj, 2005). Povratna doba pa je določena s pomočjo standardov dimenzioniranja ali pa jo izbere inženir sam kot oblikovni parameter (Chow in sod., 1988). Razmerje med intenziteto, trajanjem in povratno dobo predstavljajo ITP krivulje. Iz njih razberemo intenziteto padavin za dimenzioniranje za določeno povratno dobo in trajanje. Za nekatera območja oz. točke ITP krivulje že obstajajo, za druga pa jih je potrebno določiti po postopku, kot je naveden v poglavju 3.

## 5 PROGRAM RAIN

### 5.1 Uvod

Program RAIN je bil izdelan namenoma za Projekt intenzivnosti padavin Bližnjega vzhoda, natančneje območja Izraela, Jordanije in Palestine. V prvotnem namenu za zbiranje podatkov intenzitet padavin v regiji. Z njim lahko digitaliziramo podatke iz ombrografskega zapisa, shranjujemo, analiziramo, poročamo, kartiramo in izmenjujemo podatke (Morin in sod., 2006).

Program je zasnovan na podlagi uporabe samostojne namizne zbirke podatkov, kot so na primer: MS Access, SQL Server Personal Edition, in zbirke podatkov odjemalec-strežnik, kot so: Oracle, SQL Server, Ingres. Za obdelavo podatkov več meteoroloških postaj je priporočljiva uporaba zmogljivejših programov za obdelovanje podatkov kot so: Oracle, Microsoft SQL Server, IBM Informix (Rainfall Intensity Project Time, 2005).

V nadaljevanju je kratka predstavitev programa. Opisan je postopek namestitve (poglavje 5.2), ter opis in uporaba (poglavji 5.3 in 5.4) programa. Kot primer so uporabljeni podatki za postajo Haifa v Izraelu, ki so obdelani v programu Microsoft Access. Podatki so zbrani za obdobje 1955-1995.

### 5.2 Namestitev programa

**Opomba:** za operacijske sisteme Windows 95, 98 ali ME so navodila nekoliko drugačna.

Koraki za namestitev programa so sledeči (Rainfall Intensity Project Time, 2005):

- 1) Prenesemo in shranimo datoteko RainPlot.msi, ki jo dobimo na spletni strani: <http://exact-me.org/ri/products.htm>. Program običajno namestimo na lokalni disk C:\Program Files\RainPlot.
- 2) Za začetek namestitve je potreben dvojni klik na RainPlot.msi. Med zagonom program nekajkrat opozori, da ga ni mogoče namestiti, takrat kliknemo Nadaljuj in namestitev programa se bo normalno izvedla do konca.
- 3) Program bo na namizju ustvaril ikone oz. bližnjice petih programov: RainStart, RainPlot, RainDigitizer, RainView in RainShare. Ob končani namestitvi je bližnjicam potrebno podati pot do izhodišča oz. namestitvene mape. To naredimo tako, da z desnim klikom na vsako od zgoraj naštetih ikon izberemo Lastnosti, ter v zavihek Bližnjica pod Izhodišče vnesemo c:\Program Files\rainplot.

Za namestitev novejših različic programa prenesemo in shranimo datoteko rainplot.exe na mesto, kjer je shranjena že obstoječa različica rainplot.exe. Tako nas računalnik samodejno opozori ali želimo novejšo različico zamenjati s staro.

Za pravilno delovanje programa je potrebno na računalnik naložiti dve podatkovni bazi. V eno vstavimo naše podatke, druga pa služi za shranjevanje statističnih analiz in poročil padavinskih

intenzitet, ki se ustvarijo v programu RainPlot. Podatki iz podatkovnih baz Access se nato preko ODBC vmesnika (System DSN) prenesejo v program Rainplot (Rainfall Intensity Project Time, 2005). V nadaljevanju sta predstavljeni Access-ovi podatkovni bazi »rainfall« in »rainfall\_stats«.

### 5.2.1 Datoteka »rainfall«

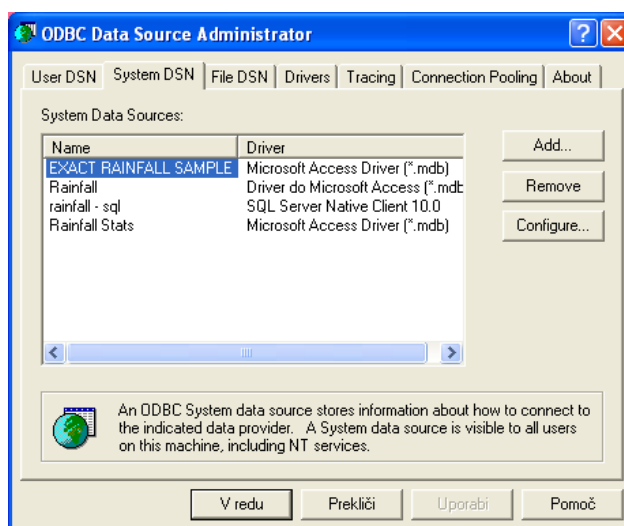
V podatkovno bazo »rainfall« shranjujemo podatke. Vsebuje 14 tabel, ki so med seboj povezane s primarnim ključem. Svoje podatke o času trajanja padavin in njegovi količini lahko vstavimo v že obstoječo bazo »rainfall«, in sicer v tabelo CHART (Rainfall Intensity Project Time, 2005).

### 5.2.2 Datoteka »rainfall\_stats«

Podatkovna baza »rainfall\_stats«, ki je sestavljena iz 10 tabel, omogoča začasno shranjevanje statističnih analiz in poročil padavinskih intenzitet, ki jih naredi program RainPlot. Vsakič, ko si uporabnik izbere nove podatke za analizo, se podatkovna baza prepíše. V tej podatkovni bazi spremembe niso dovoljene (Rainfall Intensity Project Time, 2005).

### 5.2.3 Nastavitve baze podatkov kot sistema DSN

Z namenom, da bi povezali zahtevane baze podatkov z programom Rain, moramo najprej vsako označiti kot sistem DSN. To naredimo v Nadzorni plošči v mapi Skrbniška orodja izberemo mapo Viri podatkov (ODBC). V zavihku System DSN (slika 13) kliknemo Dodaj. Nato poiščemo gonilnik, ki ustreza bazi podatkov programske opreme, ki jo uporabljamo in kliknemo Dokončaj. V prikazanem primeru je bil izbran Microsoft Access Driver (\*.mdb).



Slika 13: Zavihek System DSN

Pri izbiri MS Access podatkovne zbirke, se nam pojavi okno, v katerega vpišemo ime izbrane datoteke, ter s klikom na gumb Izberi poiščemo izbrano podatkovno zbirko.

### 5.3 Splošno o RainPlotu

Rainplot je običajen Visual Basic program, ki:

- dovoli uporabniku, da se poveže z izbrano relacijsko podatkovno bazo,
- naloži in prikaže maksimalne intenzitete padavin, skupek padavin, itd.,
- zagotavlja veliko število statističnih analiz podanih podatkov,
- testira ujemanje porazdelitev,
- samodejno prikaže tabele in izriše grafe,
- samodejno ustvari in tiska prilagojene intenzitete padavin in poročila.

Na podlagi posameznih neviht program lahko določi maksimalne intenzitete, ki jih pridobi preko dveh različnih metod. Podpira veliko število teoretičnih porazdelitev in empiričnih porazdelitev za umestitev meritev v graf. Omogoča testiranje ujemanje teoretičnih porazdelitev z podanimi podatki maksimalnih intenzitet izbranega trajanja.

Teoretične porazdelitve, ki jih lahko uporabimo so naslednje: normalna porazdelitev, dvo-parametrsko logaritemsko normalna porazdelitev, tri-parametrsko logaritemsko normalna porazdelitev, Pearsonova porazdelitev tipa III, logaritemsko Pearsonova porazdelitev tipa III, ekstremna porazdelitev tipa I ali Gumbelova porazdelitev, porazdelitev ekstremnih vrednosti ali GEV porazdelitev. Program vsebuje naslednje empirične porazdelitve za umestitev meritev v graf: Weibull, California, Foster, Exceedence, General Equation, Beard, Cunnane, Matalas.

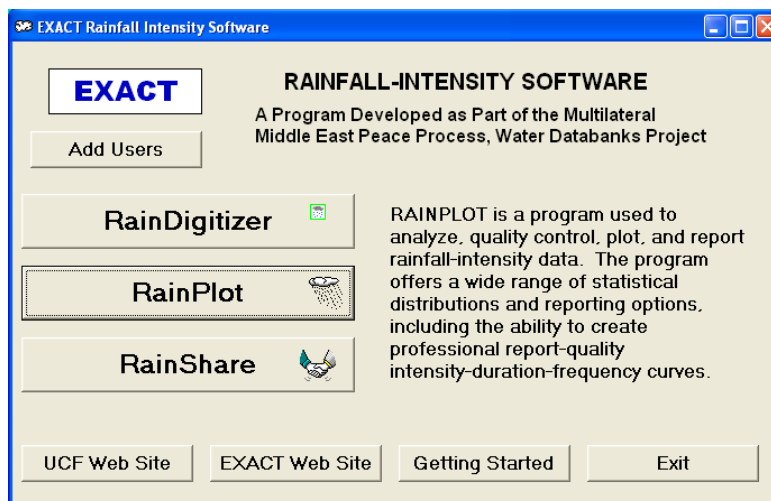
Program omogoča izračun maksimalnih intenzitet za različna izbrana trajanja. Običajno so to naslednja trajanja: 5, 10, 15 in 30 minut, ter 1, 2, 3, 6, 12 in 24 ur. Program ima sposobnost analizirati intenzitete padavin tudi za trajanja daljša od 24 ur, npr. 48, 96, 120 in 240 ur (Morin in sod., 2006).

### 5.4 Uporaba programa RainPlot

#### 5.4.1 Uvod

Z dvojnimi klikom na ikono RainStart se nam odpre glavni meni Rain programske opreme (slika 14). Ikona predstavlja vmesnik programov RainDigitizer, RainPlot in RainShare.



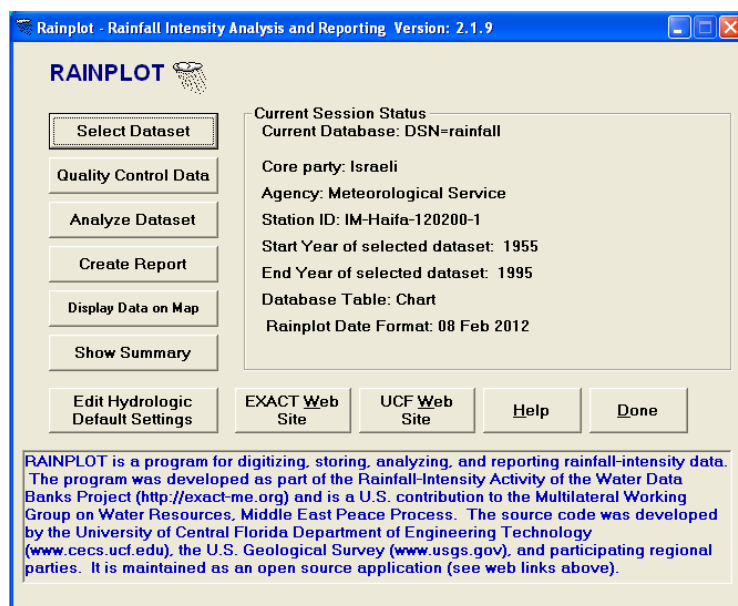


Slika 14: RainStart-ov glavni meni

Z izbiro RainPlot se prikaže njegov glavni meni (slika 15), v katerem je šest gumbov za aktiviranje glavnih značilnosti programa:

- Izbira podatkov (Select Dataset),
- Nadzor kakovosti podatkov (Quality Control data),
- Analiza podatkov (Analyze Dataset),
- Ustvari poročilo (Create report),
- Prikaži podatke na zemljevidu (Display Data on Map),
- Prikaži povzetek (Show Summary).

RainPlot-ov glavni meni vsebuje tudi pet dodatnih gumbom, ki se nahajajo na spodnjem delu okna (slika 15). Z njimi lahko urejamo in spreminjamo privzete hidrološke nastavitve (Edit Hydrologic Default Settings), poiščemo pomoč pri uporabi programa (EXACT Web Site, UFC Web Site, Help) ali pa zapremo program in se vrnemo v RainStartov glavni meni (Done).

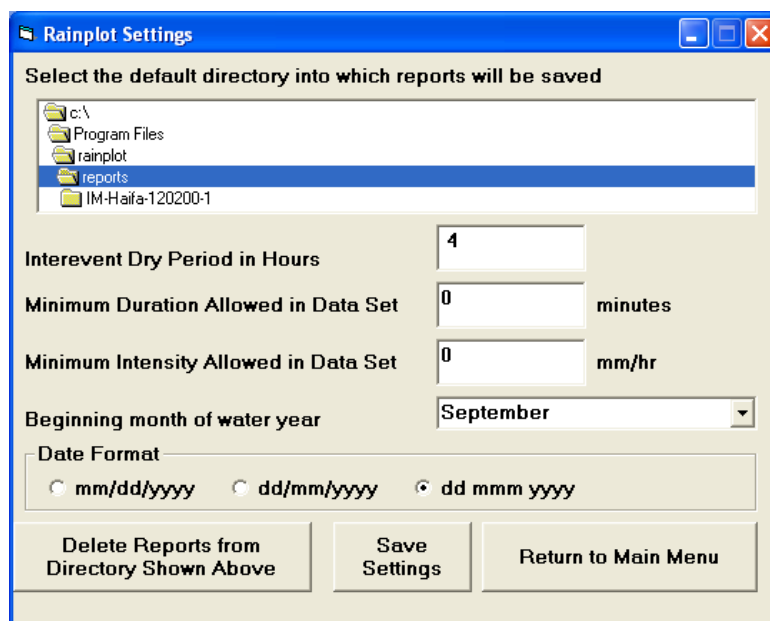


Slika 15: Rainplot-ov glavni meni

V nadaljevanju sledijo navodila o urejanju hidroloških nastavitev programa, ter nadzor kakovosti in analiza podatkov.

#### 5.4.2 Urejanje privzetih hidroloških nastavitev

V oknu s hidrološkimi nastavitvami RainPlot-a (Edit Hydrologic Default Settings) (slika 16), natančneje v zgornjem belem delu okna, si najprej izberemo mapo, v katero se bodo shranjevala poročila v obliki jpg in html datoteke. S tem nam program omogoča, da lahko poročila kadarkoli znova pregledamo.



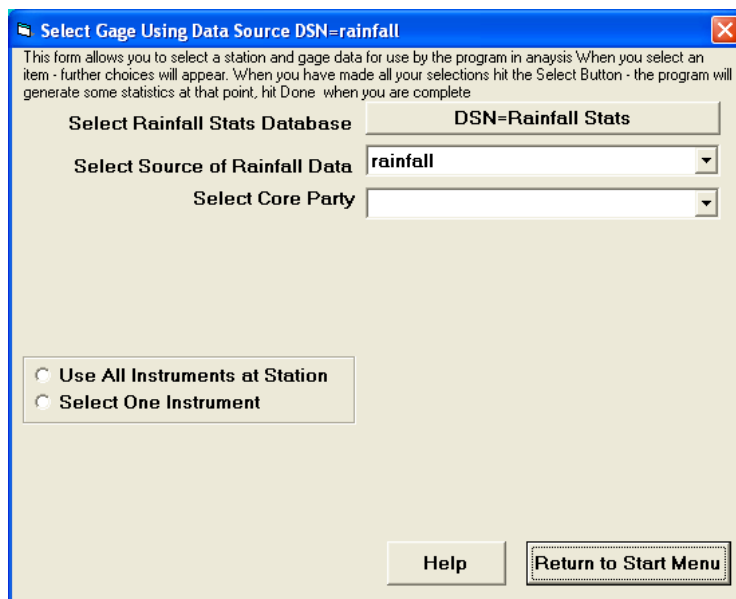
Slika 16: RainPlot-ove hidrološke nastavitve

V nastavitvah določimo tudi:

- vmesni čas, ki je izražen v urah in predstavlja obdobje med nevihtama, ko ni bilo padavin (Interevent Dry Period in Hours),
- dovoljeno minimalno trajanje med zapisanimi podatki (Minimum Duration Allowed in Data Set),
- dovoljeno minimalno intenziteto med zapisanimi podatki (Minimum Intensity Allowed in Data Set),
- začetni mesec deževnega obdobja (Beginning month of water year),
- obliko zapisa datuma (Date format).

#### 5.4.3 Izbira podatkov

Najprej je potrebno uvoziti podatke iz Access-ove podatkovne baze v program RainPlot. To naredimo z klikom na gumb za izbiro podatkov (Select Dataset) (slika 17).



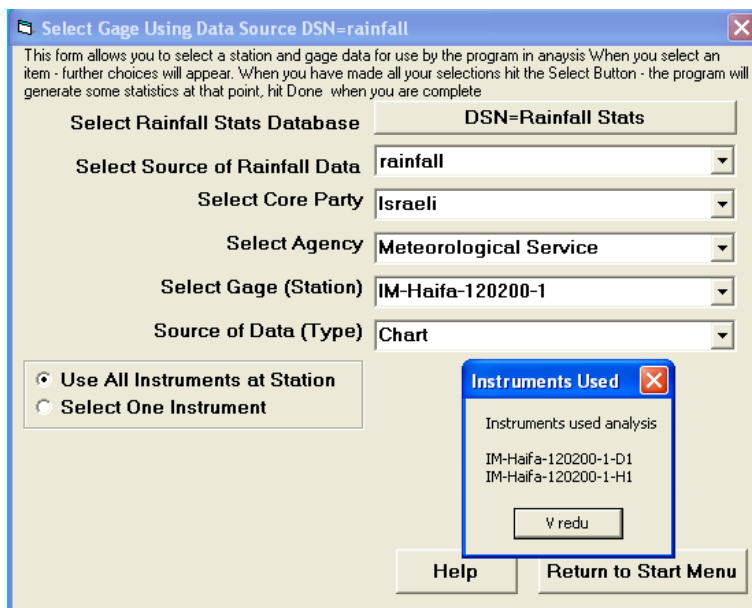
Slika 17: Okno, v katerem uvozimo podatke iz Access-a

Povezati se je potrebno z datoteko »rainfall\_stats«, kjer se bodo začasno shranjevali statistični rezultati izbranih podatkov. Nato si izberemo datoteko, v katero smo shranili naše podatke o količini padavin in njihovem trajanju, in jo želimo uporabiti. Z klikom na gumb za izbiro, se nam bodo pojavile samo datoteke, ki smo jih predhodno označili kot 'Sistem DSN'. Izberemo datoteko »rainfall«.

Nadalje določimo še (slika 18) (Rainfall Intensity Project Time, 2005):

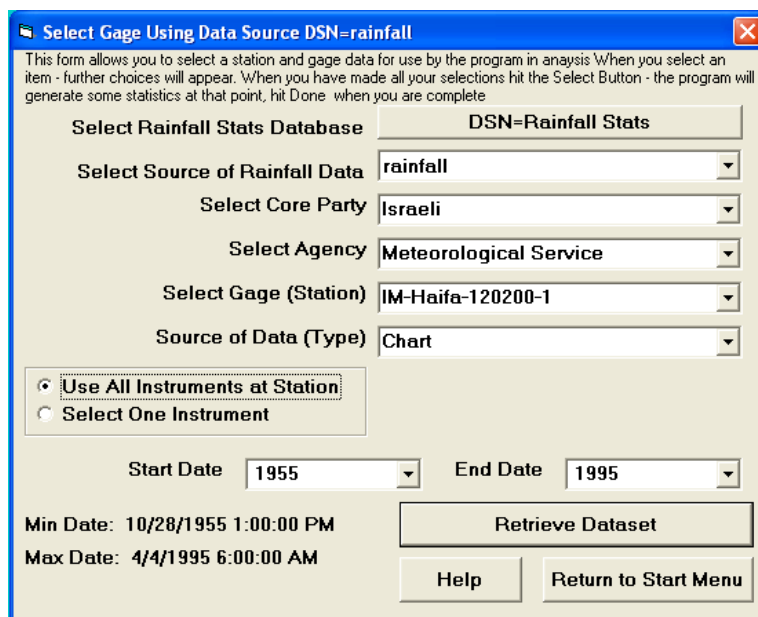
- območje, ki je odgovorno za zbrane podatke (Select Core Party),
- agencijo (Select Agency),
- postajo (Select Gage (Station)),
- vrsto podatkov (Source Data),
- izberemo inštrumente, ki so kadarkoli zbirali podatke za izbrano postajo (Select All Instruments at Station) ali en inštrument, ki nas zaradi določenih razlogov posebej zanima (Select One Instrument).

Po navadi izberemo podatke vseh inštrumentov določene postaje. Pojavi se nam okno s sporočilom o uporabljenih inštrumentih (slika 18).



Slika 18: Izbira podatkov in sporočilo o uporabljenih inštrumentih

Po potrditvi se pojavi časovni obseg podatkov, kateri so pripravljene za uporabo (slika 19). Po želji lahko sami določimo začetek in konec obsega podatkov.

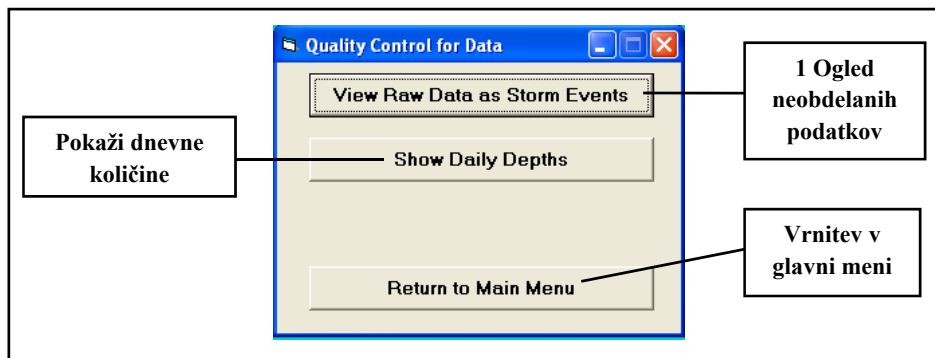


Slika 19: Natančen prikaz datuma s točno uro, ter poljubna izbira obsega podatkov

Za potrditev in vnos podatkov kliknemo gumb za priklic podatkov (Retrieve Dataset). Program nam sporoča, da so podatki naloženi v začasno mapo »rainfall\_stats«. S klikom na gumb V redu so podatki pripravljene na analizo.

#### 5.4.4 Nadzor kakovosti podatkov

S klikom na gumb za nadzor kakovosti podatkov (Quality Control Data), se pojavi naslednje okno (slika 20).



Slika 20: Možnosti pri ukazu nadzora kakovosti podatkov

##### *1 Ogled neobdelanih podatkov*

S to izbiro se nam pokaže preglednica s podatki o času in količini padavin za posamezno nevihto (slika 21). Nevihte so ločene z drugače obarvanim ozadjem, belim in rumenim, in odebeljeno črno horizontalno črto. Preglednica je opremljena s podatki o inštrumentu, začetnem in končnem času meritve, količini padavin, intenziteti, trajanju, ter s stolpcema o skupnem seštevku količine padavin in trajanju. Slednji nista prikazani v preglednici na sliki.

#### 5.4.5 Obdelava podatkov

##### *Nevihtni dogodek*

Prvi, skrajno levi stolpec na sliki 21, nam pove zaporedno številko nevihte, ki se je zgodila, glede na uporabljene podatke, ter njeno zaporedno merjenje.

##### *2 Pojdi na nevihto*

Z gumbom za izbiro lahko izbiramo med datumi in začetki trajanja vseh neviht, ki so vključene v podatkovno bazo. Z izbiro nevihte se podatki v preglednici avtomatsko premaknejo na mesto izbrane nevihte. Izbrano nevihto lahko vključimo v nadaljnjo obdelavo.

Na sliki 22 je prikazan izbor nevihte z datumom 3.3.1974 in začetkom ob 6:00 zjutraj.

**Show Raw Data for IM-Haifa-120200-1**

Storm Event	Instrument Code ID	Start Time	End Time	Depth (mm)	Intensity (mm/hr)	Duration (min)
462: 4	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 13:36	30 Nov 1963 13:48	0.640	3.200	12.0
462: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 13:48	30 Nov 1963 13:56	0.540	4.050	8.0
462: 6	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 16:32	30 Nov 1963 16:44	5.640	27.072	12.5
462: 7	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 16:44	30 Nov 1963 17:16	0.100	0.189	31.7
462: 8	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 17:16	30 Nov 1963 17:52	0.620	1.043	35.7
462: 9	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 17:52	30 Nov 1963 18:06	0.070	0.286	14.7
463: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 23:23	30 Nov 1963 23:30	0.750	6.279	7.2
463: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 23:30	30 Nov 1963 23:39	4.420	28.414	9.3
463: 3	IM-Haifa-120200-1-H1	30 Nov 1963 23:39	30 Nov 1963 23:47	0.140	1.050	8.0
463: 4	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 02:22	01 Dec 1963 02:44	2.890	7.942	21.8
463: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 02:44	01 Dec 1963 02:50	2.510	28.238	5.3
463: 6	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 05:31	01 Dec 1963 05:37	0.130	1.265	6.2
463: 7	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 05:37	01 Dec 1963 06:00	0.070	0.188	22.3
464: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 14:00	01 Dec 1963 14:08	0.110	0.825	8.0
464: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 14:52	01 Dec 1963 15:06	0.220	0.966	13.7
464: 3	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 15:06	01 Dec 1963 15:21	0.210	0.796	15.8
464: 4	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 15:44	01 Dec 1963 15:50	0.100	1.059	5.7
464: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 16:07	01 Dec 1963 16:16	0.170	1.113	9.2
464: 6	IM-Haifa-120200-1-H1	01 Dec 1963 18:05	01 Dec 1963 18:36	0.190	0.372	30.7

Go to Storm: **\*\* Select Date \*\*** Times shown are local times.

Buttons: Show Storm Plots, Plot Date Range, Sort on Current Column, Show 24 Hr Depths, Display Report, Help, Return to Main Menu.

Callout boxes:

- Nevihtni dogodek **462:6**
- Številka nevihte
- merjenje
- 2 Pojdi na nevihto
- 3 Prikaži graf nevihte
- 4 Obseg podatkov na grafu
- 5 Razvrščanje podatkov po stolpcu
- Prikaži poročilo
- Pomoč
- Vrnitev v glavni meni
- 6 Prikaži dnevne količine

Slika 21: Podatki o času in količini padavin posamezne nevihte

Show Raw Data for IM-Haifa-120200-1

Storm Event	Instrument Code ID	Start Time	End Time	Depth (mm)	Intensity (mm/hr)	Duration (min)
1009: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 06:49	02 Mar 1974 07:29	0.290	0.430	40.5
1009: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 07:29	02 Mar 1974 08:00	0.260	0.509	30.7
1010: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 22:22	02 Mar 1974 22:32	0.260	1.586	9.8
1010: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 22:32	02 Mar 1974 22:45	1.220	5.422	13.5
1010: 3	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 22:45	02 Mar 1974 23:06	0.440	1.267	20.8
1010: 4	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 23:06	02 Mar 1974 23:41	0.200	0.350	34.3
1010: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	02 Mar 1974 23:41	03 Mar 1974 00:12	0.090	0.170	31.8
1011: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 06:00	03 Mar 1974 06:05	0.340	3.497	5.8
1011: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 08:26	03 Mar 1974 08:38	0.260	1.282	12.2
1011: 3	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 08:38	03 Mar 1974 08:49	0.310	1.666	11.2
1011: 4	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 08:49	03 Mar 1974 09:07	0.170	0.561	18.2
1011: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 09:07	03 Mar 1974 09:17	0.660	3.960	10.0
1011: 6	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 09:17	03 Mar 1974 09:26	0.890	6.162	8.7
1011: 7	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 09:26	03 Mar 1974 09:33	1.140	10.010	6.8
1011: 8	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 09:33	03 Mar 1974 09:53	0.290	0.835	20.8
1011: 9	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 09:53	03 Mar 1974 10:00	0.800	7.579	6.3
1011: 10	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Mar 1974 10:00	03 Mar 1974 10:08	0.290	2.175	8.0
1012: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	15 Mar 1974 06:00	15 Mar 1974 06:08	0.320	2.351	8.2
1012: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	15 Mar 1974 06:08	15 Mar 1974 06:15	0.090	0.753	7.2

Go to Storm: 3/3/1974 6:00:00 AM Times shown are local times.

Show Storm P: 1/21/1974 10:31:00 PM, 2/20/1974 6:00:00 AM, 3/2/1974 6:49:00 AM, 3/2/1974 10:22:00 PM, 3/3/1974 6:00:00 AM, 3/15/1974 6:00:00 AM, 3/15/1974 7:25:00 PM, 4/3/1974 6:00:00 AM

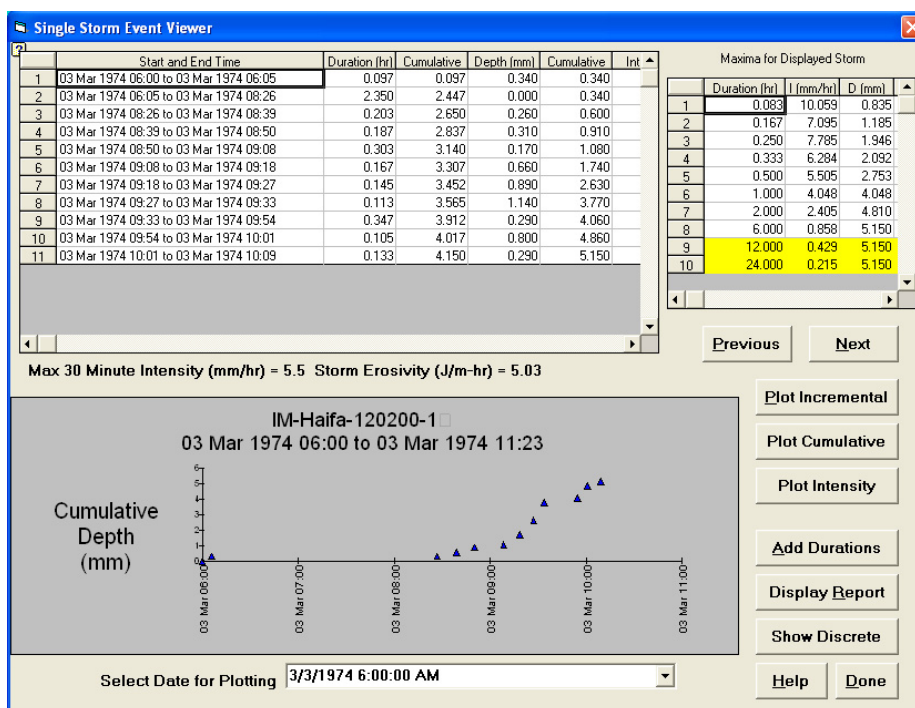
Sort on Current Column Show 24 Hr Depths

Display Report Help Return to Main Menu

Slika 22: Izbor določene nevihte s pomočjo gumba za izbiro

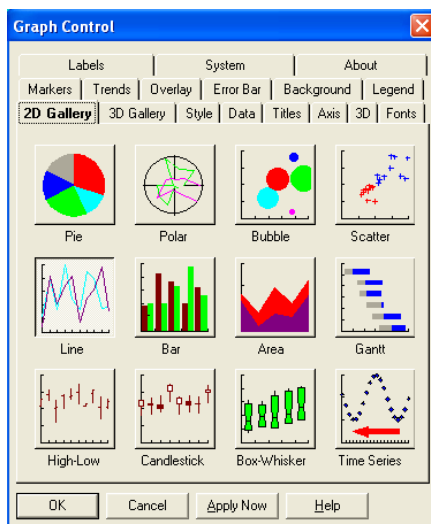
### 3 Prikaži graf nevihte

Z ukazom se nam prikažeta dve preglednici in graf (slika 23). Prva preglednica vsebuje podatke posamezne nevihte, to so podatki o začetku in koncu posameznih merjenj nevihte, trajanje, količina, skupno trajanje ter količino, in erozivnost padavin. Druga preglednica prikazuje maksimalne vrednosti intenzitet za različna trajanja, maksimalno količino padavin, ter začetek intervala nevihtnega dogodka.



Slika 23: Prikaz grafa nevihte

Graf (slika 23) prikazuje odvisnost količine padavin od časa za izbran padavinski dogodek. Pri izrisu grafa imamo za os y dve možnosti, in sicer količino padavin (Plot Incremental) ali intenziteto padavin (Plot Intensity). Z desnim miškinim klikom na graf lahko spreminjamo njegove lastnosti (Graph Control) (slika 24), kot na primer: vrsto grafa, oznake, naslov, oblika črk, ozadje, legenda, osi ipd.

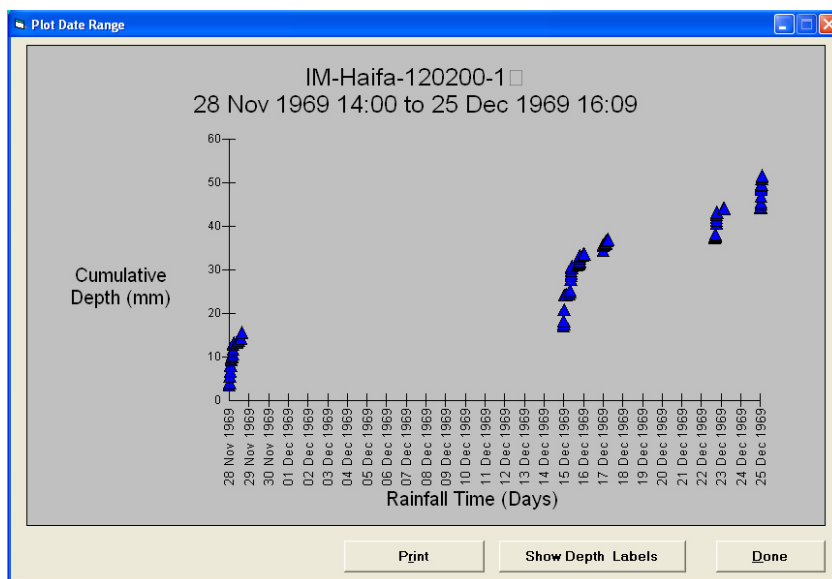


Slika 24: Izbira lastnosti grafa

Za izbiro drugačnih trajanj maksimalnih vrednosti pa uporabimo gumb za dodajanje trajanj (Add Durations).

#### 4 Obseg podatkov na grafu

Naslednji ukaz uporabimo, če želimo graf sestaviti iz različnih zaporednih vrednosti, ki ne pripadajo isti nevihti (slika 25). V prvotni preglednici (slika 21) je potrebno najprej označiti določene vrstice podatkov, ki nas zanimajo.



Slika 25: Graf, ki zajema vrednosti različnih neviht, ki med seboj niso povezane



### 5 Razvrščanje podatkov po stolpcu

Z ukazom lahko razvrščamo podatke od najmanjšega do največjega in obratno. Na sliki 26 so podatki intenzitet razvrščeni od najmanjšega do največjega.

Storm Event	Instrument Code ID	Start Time	End Time	Depth (mm)	Intensity (mm/hr)	Duration (min)	Cumulative Depth (mm)
876: 5	IM-Haifa-120200-1-H1	27 Feb 1971 14:48	27 Feb 1971 15:20	0.090	0.167	32.3	
1800: 17	IM-HAIIFA-120200-1-D1	21 Dec 1986 13:25	21 Dec 1986 13:57	0.090	0.167	32.3	1
554: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	21 Mar 1965 14:43	21 Mar 1965 15:52	0.190	0.167	68.2	
1132: 1	IM-HAIIFA-120200-1-D1	02 Feb 1976 06:00	02 Feb 1976 07:58	0.330	0.167	118.3	
496: 9	IM-Haifa-120200-1-H1	13 Feb 1964 00:08	13 Feb 1964 00:30	0.060	0.167	21.5	
557: 9	IM-Haifa-120200-1-H1	24 Mar 1965 02:13	24 Mar 1965 03:03	0.140	0.167	50.2	
903: 7	IM-Haifa-120200-1-H1	20 Dec 1971 16:03	20 Dec 1971 16:24	0.060	0.167	21.5	
505: 25	IM-Haifa-120200-1-H1	10 May 1964 13:46	10 May 1964 14:00	0.040	0.167	14.3	1
930: 47	IM-Haifa-120200-1-H1	07 Feb 1972 12:28	07 Feb 1972 12:50	0.060	0.167	21.5	1
830: 10	IM-Haifa-120200-1-H1	27 Nov 1970 15:23	27 Nov 1970 15:37	0.040	0.167	14.3	
1989: 1	IM-HAIIFA-120200-1-D1	01 Apr 1990 23:57	02 Apr 1990 00:58	0.170	0.168	60.8	
2010: 24	IM-HAIIFA-120200-1-D1	30 Jan 1991 16:16	30 Jan 1991 17:52	0.270	0.168	96.5	2
1245: 6	IM-HAIIFA-120200-1-D1	17 Oct 1977 00:52	17 Oct 1977 04:30	0.610	0.168	218.0	1
1662: 4	IM-HAIIFA-120200-1-D1	14 Mar 1984 08:50	14 Mar 1984 09:47	0.160	0.168	57.2	
103: 2	IM-Haifa-120200-1-H1	18 Jan 1957 21:37	18 Jan 1957 22:59	0.230	0.168	82.2	
2032: 2	IM-HAIIFA-120200-1-D1	09 Apr 1991 13:08	09 Apr 1991 16:49	0.620	0.168	221.3	
265: 12	IM-Haifa-120200-1-H1	03 Jan 1960 09:36	03 Jan 1960 09:54	0.050	0.168	17.8	
415: 14	IM-Haifa-120200-1-H1	11 Dec 1962 04:34	11 Dec 1962 04:52	0.050	0.168	17.8	
1633: 5	IM-HAIIFA-120200-1-D1	05 Dec 1983 05:44	05 Dec 1983 06:23	0.110	0.169	39.2	
939: 72	IM-Haifa-120200-1-H1	16 Mar 1972 11:50	16 Mar 1972 20:01	1.380	0.169	491.2	3
2088: 4	IM-HAIIFA-120200-1-D1	23 Feb 1992 07:12	23 Feb 1992 09:27	0.380	0.169	135.2	
1006: 42	IM-Haifa-120200-1-H1	21 Jan 1974 00:25	21 Jan 1974 00:35	0.030	0.169	10.7	2
936: 40	IM-Haifa-120200-1-H1	14 Mar 1972 07:05	14 Mar 1972 07:26	0.060	0.169	21.3	2
606: 1	IM-Haifa-120200-1-H1	31 Jan 1966 04:33	31 Jan 1966 05:05	0.090	0.169	32.0	
1729: 9	IM-HAIIFA-120200-1-D1	22 Dec 1985 07:59	22 Dec 1985 08:31	0.090	0.169	32.0	1
1229: 20	IM-HAIIFA-120200-1-D1	18 Mar 1977 13:02	18 Mar 1977 13:56	0.150	0.169	53.3	1
870: 19	IM-Haifa-120200-1-H1	13 Feb 1971 02:43	13 Feb 1971 02:54	0.030	0.169	10.7	

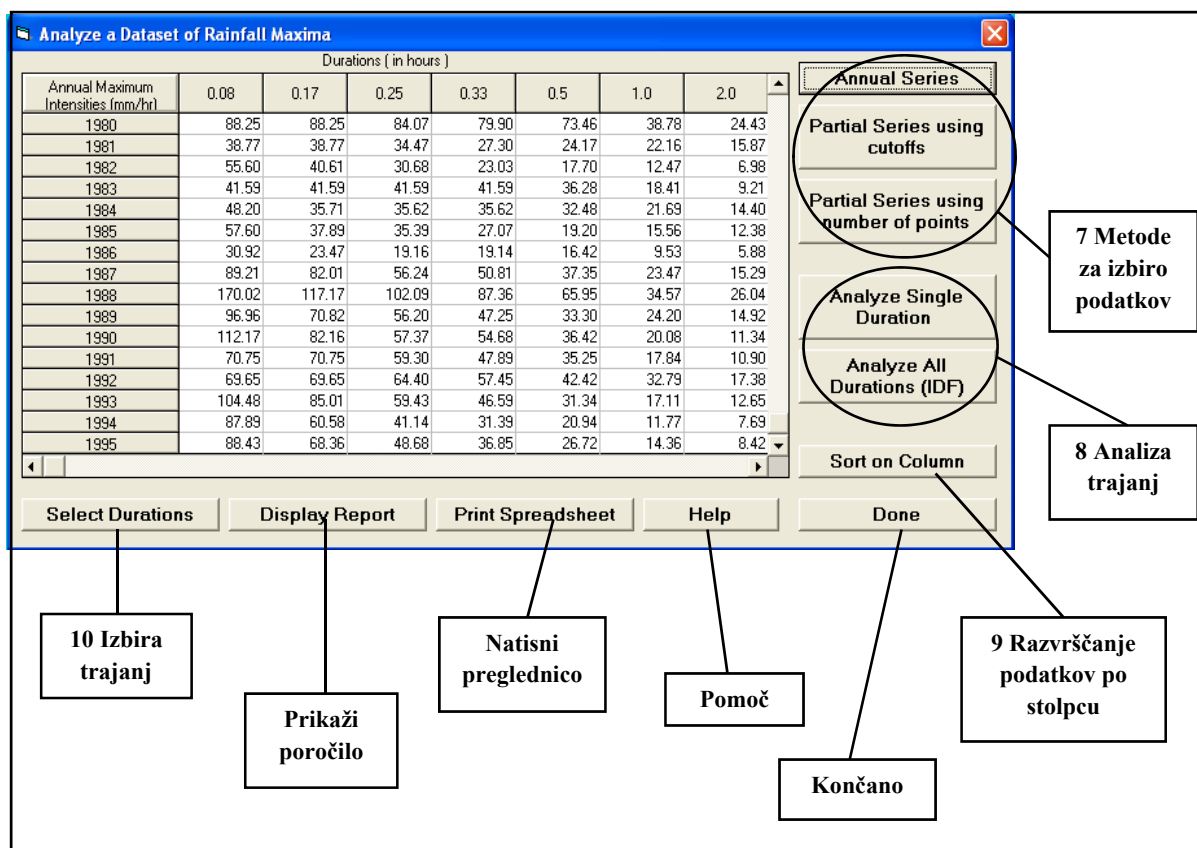
Slika 26: Podatki o intenziteti razvrščeni od največjega do najmanjšega

### 6 Prikaz dnevni vrednosti padavin

Prikazani so podatki trajanja enega dne. Pojavi se preglednica, ki prikazuje datum, količino padavin, ročno merjenih in digitaliziranih vrednosti padavin, ter njihovo razliko v procentih. Do preglednice lahko pridemo tudi z ukazom za prikaz dnevni količin (Show Daily Depths), ki se nahaja v glavnem meniju nadzora kakovosti podatkov.

#### 5.4.6 Analiza podatkov

Na sliki 27 so prikazane maksimalne intenzitete po metodi letnega maksimuma.



Slika 27: Okno za analizo podatkov

Z desnim miškinim klikom na preglednico (slika 27) lahko izbiramo tudi med naslednjimi prikazi preglednic: količino in datumom maksimalnih vrednosti, lahko priključimo podatke o času in količini padavin posamezne nevihte (slika 26) ali izbrišemo vrstic-o/-e podatkov.

### 7 Metode za izbiro podatkov

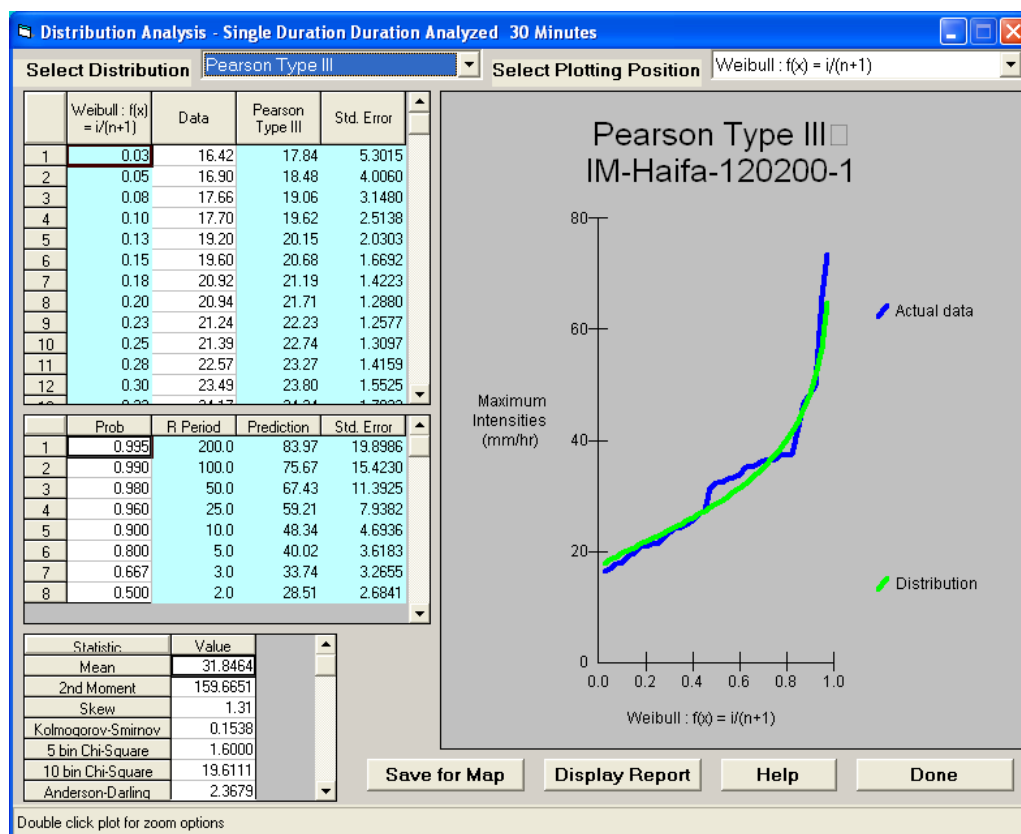
S pomočjo dveh metod izberemo podatke za nadaljnjo verjetnostno analizo. Metodi sta sledeči:

- metoda letnega maksimuma (Annual Series),
- metoda serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo (Partial Series using cutoffs in Partial Series using number of points), pri kateri lahko izberemo mejno vrednost intenzitete ali določimo število točk za analizo.

### 8 Analiza trajanj

#### Analiza enega trajanja

Najprej si izberemo in označimo stolpec posameznega trajanja, katerega želimo vključiti v analizo (slika 27), ter v preglednicah in na grafu prikazati njegove rezultate (slika 28).



Slika 28: Analiza intenzitet za 30 minutno trajanje

Zgornja preglednica rezultatov (slika 28) je sestavljena iz empirične porazdelitve za umestitev meritev v graf, izmerjenih letnih maksimalnih vrednosti intenzitet padavin, izračunane letne maksimalne vrednosti intenzitet z izbrano teoretično porazdelitvijo, ter ocene standardne napake ujemanja izmerjenih letnih maksimalnih vrednosti izbrane teoretične porazdelitve. Program ponuja na izbiro več empiričnih in teoretičnih porazdelitev.

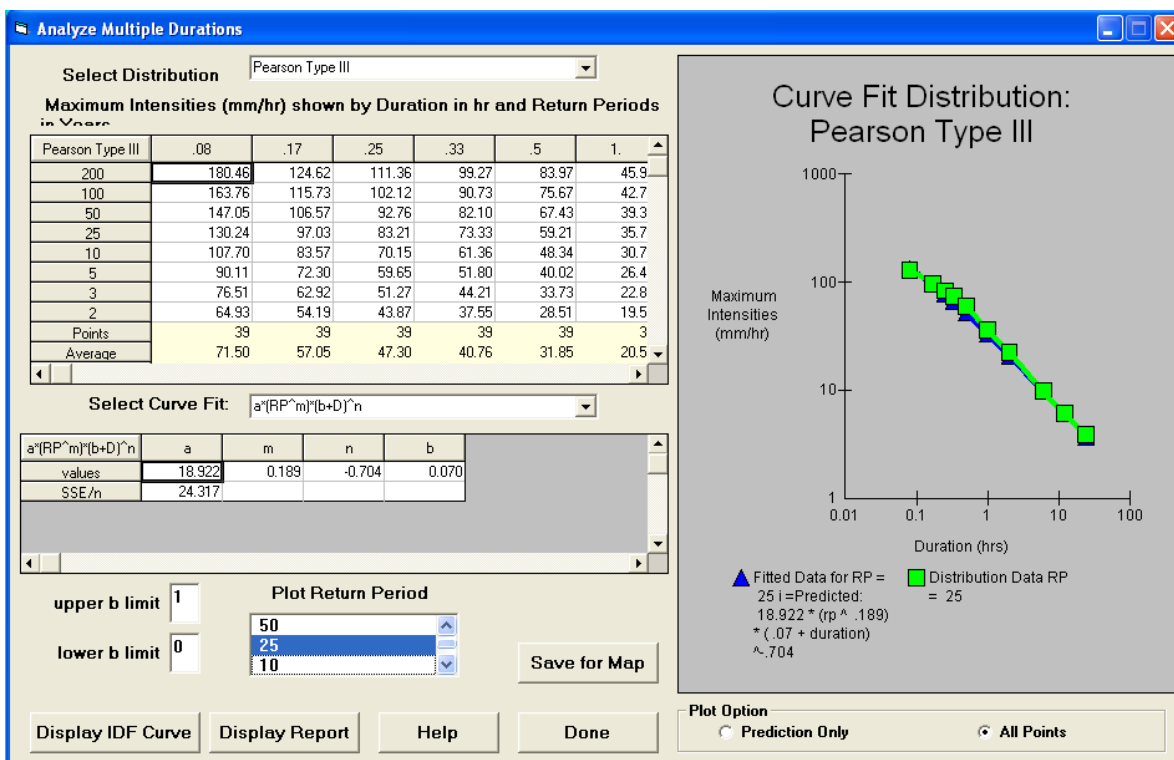
Srednja preglednica (slika 28) prikazuje vrednosti verjetnosti, iz katerih je nadalje izračunana povratna doba. Sledijo izračunane vrednosti intenzitet padavin s teoretično porazdelitvijo, ter ocena standardne napake.

V spodnji preglednici (slika 28) so rezultati testiranja ujemanja med vrednostmi intenzitet izračunanimi s teoretično porazdelitvijo in vrednostmi intenzitet dobljenih z empirično porazdelitvijo za umestitev meritev v graf (Morin in sod., 2006). Za testiranje so na voljo naslednji testi:  $\chi^2$  ali Hi-kvadrat test, Kolmogorov-Smirnov test in Anderson-Darling test. Za izmerjene podatke je izračunana srednja vrednost, drugi moment in koeficient asimetrije.

Na sliki 28 je prikazan primer za 30-minutno trajanje padavine. Izbrana je Weibullova empirična porazdelitev za umestitev meritev v graf in Gumbelova teoretična porazdelitev.

### Analiza vseh trajanj

Na sliki 29 je prikazana preglednica z vrednostmi maksimalnih intenzitet za vsa izbrana trajanja in povratne dobe. Za vsako trajanje je podano število let, ki so vključena v analizo (Points), povprečna vrednost intenzitet (Average) in standardna deviacija (St Dev), ki je izračunana iz vrednosti intenzitet, dobljenih po izbrani metodi za izbiro vzorca (slika 27).



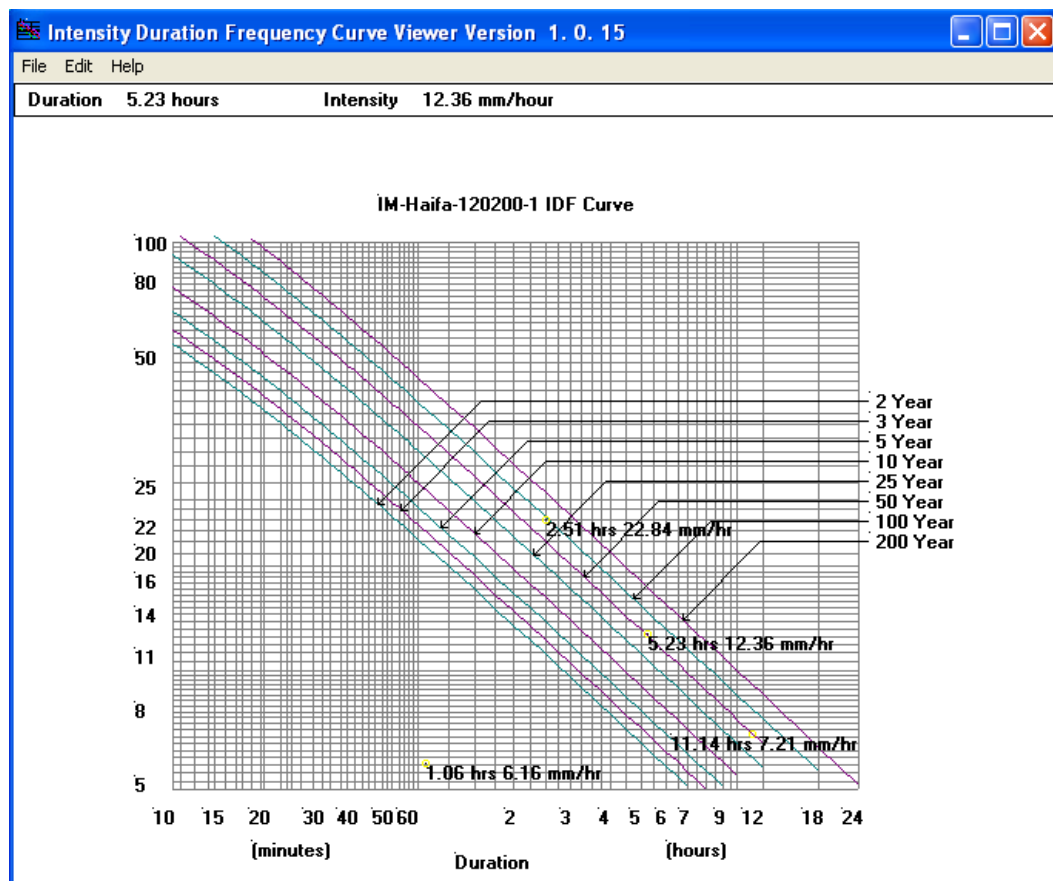
Slika 29: Analiza vseh trajanj s pomočjo Pearson-ove tipa III porazdelitve

Izbiramo lahko med različnimi teoretičnimi porazdelitvami, ter empiričnimi ITP enačbami. Spremenljivki  $b$  je potrebno določiti območje, v katerem se bo njena vrednost nahajala. V polja vpišemo zgornjo mejo (upper  $b$  limit) in spodnjo mejo (lower  $b$  limit).

Na grafu (slika 29) je lahko hkrati prikazanih več krivulj z različnimi povratnimi dobami. Izberemo jih tako, da jih v oknu grafa povratne dobe (Plot Return Period) označimo. Če želimo na grafu prikazati samo krivuljo podano z empirično ITP enačbo, pri možnostih grafa (Plot Option) označimo prikaz empirične ITP enačbe (Prediction Only).

Na sliki 29 so maksimalne vrednosti intenzitet izračunane po Pearsonovi tipa III porazdelitvi. Na grafu maksimalnih intenzitet (mm/h) v odvisnosti od časa (h) sta prikazani ITP krivulji s povratno dobo 25 let. Modra črta predstavlja krivuljo izbrane empirične ITP enačbe, zelena črta pa teoretično porazdelitev.

Za prikaz grafa krivulj intenziteta – trajanje – povratna doba za izbrane podatke (slika 30) kliknemo na gumb za prikaz ITP krivulje (Display IDF Curve) (slika 29). Z klikom na graf, se nam v graf izpišejo vrednosti trajanja v urah in vrednosti intenzitet.



Slika 30: Graf ITP krivulj

Na sliki 30 je za krivuljo s 50-letno povratno dobo pri trajanju 5.23 h vrednost intenzitete 12.36 mm/h.

### 9 Razvrščanje podatkov po stolpcu

Najprej si izberemo stolpec, v katerem želimo razvrstiti podatke. Z ukazom podatke razvrstimo od največjega do najmanjšega.

### 10 Izbira trajanj

Izbiri trajanj uporabimo v primeru, ko pri izbiri podatkov uporabljamo metodo serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo (POT). V preglednico lahko dodajamo poljubna trajanja in mejne vrednosti.

Vrednosti iz preglednic, ki jih dobimo s pomočjo RainPlot programa, lahko uporabimo tudi v drugih aplikacijah.

## 6 PRIPRAVA PODATKOV ZA NJIHOVO NADALJNO UPORABO V PROGRAMU RAINPLOT

### 6.1 Opis meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad

Za pridobitev ITP krivulj smo potrebovali 5-minutne podatke padavin za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad daljšega preteklega obdobja. Podatke nam je posredovala Agencija RS za okolje (2012).

Meteorološka postaja Ljubljana-Bežigrad leži v Ljubljanski kotlini z 299 m nadmorske višine, in sicer sredi mesta Ljubljana. Njen izrazit mestni značaj je pomemben za razumevanje urbanih vplivov na vreme. Meritve in opazovanja na postaji (temperatura, padavine, smer in hitrost vetra, stanje tal, sončno obsevanje, radioaktivnost, ipd.) so se začele decembra leta 1947. Opazovalni prostor, velik 50 m × 70 m, se nahaja na travnati površini (slika 31). V smeri sever, jug in zahod je obdan z drevesi, ki so oddaljena približno 30 do 50 m, okoli njega stojijo stavbe različnih velikosti. Agencija RS za okolje je od opazovalnega prostora oddaljena 50 m proti vzhodu.



Slika 31: Meteorološki opazovalni prostor Ljubljana Bežigrad, slikan proti zahodu (Nadbath, 2008)

Od junija 1993 obstaja samodejna meteorološka postaja. Njena prednost je takojšnja dostopnost podatkov, ter petminutne izmerjene vrednosti parametrov, ki se merijo 24 ur na dan. Postaja ima tudi nekaj slabosti, ena od njih je občutljivost na izredne vremenske dogodke, kot so na primer nevihte, intenzivno sneženje, vihar. To privede do manjkajočih podatkov, ki so v takih vremenski razmerah pomembni za klimatološko obdelavo ali pri načrtovanju poseganja v prostor. Samodejne meteorološke postaje tudi ne morejo opraviti celotnega dela opazovalca, saj ne morejo izmeriti določenih spremenljivk, kot sta na primer oblačnost in oblika padavin (Nadbath, 2008).

## 6.2 Priprava padavinskih podatkov

Digitalne podatke za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad smo pridobili za obdobje od 5.4.1948 do 1.1.2011. Med podatki so bile tudi vrednosti -9.9, kar pomeni, da ni bilo meritev, ter vrednosti -8.8, ki predstavljajo sneženje. Pozimi, do leta 1953, ni bilo meritev.

Pridobljene podatke smo najprej pravilno razvrstili in jih nato vstavili v Access-ovo podatkovno bazo, kjer so se preko ODBC vmesnika prenesli v program RainPlot. S programom RainPlot smo z metodo letnega maksimuma pridobili rezultate letnih maksimalnih intenzitet padavin za različna izbrana obdobja. Metodo smo izbrali zaradi njene sistematične izbire podatkov, in ker pri njej ni potrebno postavljati nobenih omejitev, kot je to potrebno pri metodi serije dogodkov nad izbrano vrednostjo. Rezultate ITP krivulj različnih avtorjev, ki so pridobljeni z metodo letnega maksimuma, je tudi lažje primerjati med seboj.

Ker je program RainPlot že nekoliko starejši in omejen z 16-bitnim integer-jem, kar pomeni, da omogoča vključevanje le določenega maksimalnega števila vhodnih podatkov, in sicer 32 786, smo podatke razdelili na več delov, ki niso presegali te omejitve, poleg tega pa smo seveda uporabili tudi prekrivanja med obdobji, da smo dobili prave robne vrednosti. Na ta način smo uporabili program za analizo in izračun maksimalnih letnih intenzitet padavin za posamezna trajanja. Nadaljnje izračune in statistične analize pa smo morali iz tega razloga narediti s programom Excel.

## 7 VPLIV IZBIRE ČASA MED POSAMEZNIMI PADAVINSKIMI DOGODKI NA MAKSIMALNE LETNE INTENZITETE

### 7.1 Izračun maksimalnih intenzitet padavin z različno izbiro časa med dogodki

S pomočjo programa RainPlot smo izračunali maksimalne letne vrednosti intenzitet za različna trajanja in z različno izbiro časa trajanja med dogodki oz. časa med dvema nevihtama, ko ni bilo padavin. Uporabili smo čas razmika med dogodki dveh, štirih, šestih in osmih ur. S tem smo želeli ugotoviti kakšen vpliv na rezultate ima izbira različnih časov med posameznimi padavinskimi dogodki. Pri analizi smo upoštevali podatke meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad za obdobje od leta 1950 do 2010.

Ko smo dobljene rezultate primerjali med seboj, smo ugotovili, da so razlike med podanimi vrednostmi intenzitet največje pri manjših časih trajanja med posameznimi padavinskimi dogodki in večjih trajanjih padavin. Rezultati za čas med dogodki 2 uri so prikazani v preglednici 13. Z odebeljenim in poševnim tiskom so označene vrednosti maksimalnih letnih intenzitet določenega trajanja in leta, ko se vrednosti razlikujejo od vrednosti, dobljenih z drugimi vmesnimi časi.

Preglednica 13: Maksimalne letne intenzitete padavin (mm/h) z 2-urnim časom med posameznimi padavinskimi dogodki

Leto	Trajanje [h]									
	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
1950	79.2	64.67	59.6	49.81	39.2	22.2	12.85	5.35	3.28	<b>1.78</b>
1951	96	79.69	68.4	68.37	52.6	28.6	15.75	5.28	3.95	2.17
1952	183.6	164.07	109.6	109.8	91.2	62.3	31.75	11.23	5.63	<b>2.81</b>
1953	111.6	67.68	53.6	46.2	31.4	16.6	9	5.52	3.57	<b>1.83</b>
1954	75.6	42.54	39.6	35.08	29.2	28.1	19.3	11.05	7.64	4.36
1955	140.4	98.86	75.2	64.23	49.6	28.1	14.9	9.27	5.02	<b>2.8</b>
1956	73.2	45.53	33.2	25.52	19	13.6	10.8	7.47	4.75	<b>2.42</b>
1957	124.8	88.7	71.6	57.04	40	22.6	14.4	6.75	4.55	<b>2.28</b>
1958	84	56.94	47.2	41.42	37.8	22.6	14.55	7.15	4.36	<b>2.19</b>
1959	171.6	114.42	97.6	79.55	54.2	27.4	14.1	8.05	5.19	<b>2.63</b>
1960	151.2	101.8	80	60.66	40.6	20.3	12.2	5.92	4.98	3.61
1961	98.4	57.49	46.4	42.01	41	32.3	18.15	8.62	4.67	<b>2.42</b>
1962	74.4	65.88	46	45.57	37.8	29.8	19.1	9.98	6.73	3.39
1963	97.2	85.77	81.2	68.74	48	29.4	16.3	6.82	4.36	2.62
1964	121.2	66.49	57.6	57.3	40.8	26.6	22.35	10.32	5.17	<b>2.62</b>
1965	138	81.5	76.4	67.83	51.4	29.5	19.7	10.17	6.06	3.87
1966	94.8	73.67	58	56.09	46.8	32.1	19.7	10.03	5.63	<b>3.28</b>
1967	133.2	104.2	71.2	54.05	38.6	19.8	10	5.68	2.84	1.63
1968	102	86.24	60.8	51.92	39.6	20.2	10.15	4.72	2.55	1.83
1969	102	64.7	48	42.32	34.4	25.1	22	9.47	4.87	<b>2.44</b>
1970	84	66.47	64.8	52.78	40	27	17.2	8.02	5.75	3.97
1971	93.6	69.56	63.6	53.43	42	22.1	12.5	5.48	3.67	2.01
1972	164.4	132.42	102	84.92	68	58.4	44.95	18.43	<b>9.23</b>	4.62
1973	108	85.09	67.6	53.14	42.8	29.3	16.7	5.88	4.32	2.65
1974	121.2	96.42	83.2	67.75	49	26.8	15.05	8.7	7.13	<b>5.24</b>

se nadaljuje ...



... nadaljevanje Preglednice 13

1975	78	61.68	41.2	33.31	24.4	16.3	12.2	7.53	6.11	4.16
1976	93.6	79.09	65.2	57.28	57.4	43.4	30.05	11.82	5.91	<b>3.22</b>
1977	70.8	67.68	64	61.79	46.8	24	13.65	7.13	4.8	2.92
1978	80.4	52.7	56.8	48.87	33.4	17.6	10.35	4.98	3.43	<b>2.23</b>
1979	100.8	70.19	70	62.42	56	35.6	21.55	9.67	7.91	4.5
1980	112.8	65.9	49.6	40.53	28.4	15.2	10.05	5.55	4.05	3.58
1981	64.8	59.9	54	53.7	38.8	27.8	21.4	9.65	6.46	4.03
1982	134.4	78.47	72.8	68.11	50.2	35	21.05	7.53	4.23	<b>3</b>
1983	124.8	65.87	55.2	54.27	47.4	34.4	17.6	7.82	<b>4.54</b>	4.33
1984	93.6	64.09	52	44.09	33.4	25.5	14.8	7.37	4.32	<b>2.2</b>
1985	134.4	98.22	71.2	62.4	57.8	37.8	19.4	6.68	3.47	3.36
1986	114	80.85	71.2	55.25	39	28.5	21.45	8.98	4.49	2.89
1987	134.4	92.22	81.6	76.18	56.8	32.2	20.05	6.9	4.21	<b>2.36</b>
1988	148.8	123.98	98.4	82.13	65.4	36.7	29.6	13.1	<b>6.87</b>	<b>3.43</b>
1989	88.8	82.7	71.6	62.13	52.6	28.2	23.15	10.37	5.35	<b>3.15</b>
1990	102	102	102	102	96	57	28.6	9.57	6.11	3.39
1991	46.8	38.93	34.4	32.39	29	20.1	14.95	7.75	5.48	3.33
1992	87.6	80.95	73.2	64.21	49.6	25.8	13.1	6.13	4.28	3.55
1993	63.6	63.51	48.8	41.7	33.2	25.6	17.55	8.63	6.36	4.04
1994	70.8	43.75	39.2	38.7	31.4	20.2	11.05	5.97	4.48	3.64
1995	100.8	75.55	66.8	62.41	45	25.6	17.15	10.03	7.35	<b>3.75</b>
1996	69.6	49.17	44	41.11	35.4	21.4	13.35	7.7	5.58	3.01
1997	49.2	44.99	43.2	38.7	34.2	23.4	14.5	7.03	4.03	3.05
1998	97.2	80.86	62	58.76	44.2	31.71	24.5	11.97	7.18	4.03
1999	90	65.27	55.6	45.89	41.8	25.2	13.9	8.6	6.44	4.45
2000	151.2	100.1	83.6	70.24	56.4	35.3	20.6	8.25	<b>4.13</b>	<b>2.08</b>
2001	52.8	48.57	47.6	44.41	30	16	10.45	5.3	3.53	2.21
2002	222	160.49	164.8	125.22	83.6	41.8	20.9	7.28	<b>4.38</b>	<b>2.22</b>
2003	94.8	76.18	72.8	63.3	49.6	30.3	18.4	6.73	3.72	<b>1.87</b>
2004	169.2	132.06	141.2	107.95	74.6	40.4	20.2	<b>6.73</b>	<b>4.58</b>	3.25
2005	217.2	148.64	122.4	104.45	96	53.2	28.4	11.05	6.03	3.89
2006	223.2	161.81	141.6	123.06	98.6	54.2	28.8	10.98	<b>5.54</b>	<b>2.77</b>
2007	103.2	80.92	70.8	65.69	60.8	44.4	26.75	11.3	5.69	<b>2.85</b>
2008	87.6	56.3	49.2	39.29	26.2	16.9	12.45	7.25	5.23	2.88
2009	146.4	122.17	83.2	62.76	42.4	23	18.7	8.93	<b>4.47</b>	<b>2.42</b>
2010	117.6	86.86	66.8	54.94	44.6	22.7	12.25	6.37	4.23	3.53

Iz preglednice 13 je razvidno, da se največje razlike pojavijo pri intenzitetah padavin s trajanjem 24 ur. Nekaj razlik je tudi pri 12-urnem trajanju padavin, pri 6-urnem trajanju je samo ena razlika. Pri krajših trajanjih pa razlik ni.

## 7.2 Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet različnih trajanj in z različno izbiro časa med posameznimi dogodki

S pomočjo vgrajenega orodja v programu Excel smo dobili rezultate statistične analize. V nadaljevanju je prikazana statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin različnih trajanj (6, 12 in 24 ur) za različne izbrane čase med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6 in 8 ur) (preglednice 14-16).

Preglednica 14: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 6 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur)

<i>Statistična analiza/Vmesni čas</i>	<i>2 ure</i>	<i>4 ure</i>	<i>6 ur</i>	<i>8 ur</i>
Aritmetična sredina	8.262	8.311	8.311	8.315
Standardna napaka	0.31	0.31	0.31	0.309
Mediana	7.75	7.82	7.82	7.82
Mod	11.05	11.05	11.05	11.05
Standardni odklon	2.42	2.419	2.419	2.416
Varianca	5.857	5.85	5.85	5.836
Sploščenost porazdelitve	3.769	3.671	3.671	3.692
Asimetričnost porazdelitve	1.35	1.298	1.298	1.3
Razpon	13.71	13.71	13.71	13.71
Minimalna vrednost	4.72	4.72	4.72	4.72
Maksimalna vrednost	18.43	18.43	18.43	18.43
Vsota	503.99	506.96	506.96	507.19
Število podatkov	61	61	61	61

Glede na to, da so vrednosti intenzitet pri 6-urnem trajanju padavin enake, razen za vrednost intenzitete v letu 2004, so si rezultati statistične analize precej podobni oz. enaki za različne čase med posameznimi dogodki. Ugotovili smo, da določene vrednosti statistik glede na daljšanje časa med posameznimi dogodki naraščajo. Tako pri 6-urnem trajanju padavin z daljšanjem vmesnega časa naraščajo aritmetična sredina, mediana in vsota intenzitet. Analiza je podala enake rezultate za minimalno in maksimalno vrednost ter mod. Standardna napaka, razen pri 8 urnem trajanju, ki je 0.309, znaša 0.31.

Preglednica 15: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 12 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur)

<i>Statistična analiza/Vmesni čas</i>	<i>2 ure</i>	<i>4 ure</i>	<i>6 ur</i>	<i>8 ur</i>
Aritmetična sredina	5.096	5.127	5.138	5.138
Standardna napaka	0.169	0.169	0.169	0.169
Mediana	4.8	4.87	4.98	4.98
Mod	5.63	5.63	5.63	5.63
Standardni odklon	1.319	1.319	1.317	1.317
Varianca	1.739	1.739	1.733	1.733
Sploščenost porazdelitve	0.568	0.525	0.526	0.526
Asimetričnost porazdelitve	0.706	0.65	0.628	0.628
Razpon	6.68	6.69	6.69	6.69
Minimalna vrednost	2.55	2.55	2.55	2.55
Maksimalna vrednost	9.23	9.24	9.24	9.24
Vsota	310.87	312.75	313.42	313.42
Število podatkov	61	61	61	61

Glede na daljšanje časa med posameznimi dogodki tudi pri 12-urnem trajanju padavin naraščajo aritmetična sredina, mediana in vsota intenzitet. Minimalna vrednost podatkov je prav tako pri vseh štirih časih enaka. Maksimalna vrednost je pri vmesnem času 2 uri malenkost nižja kot pri ostalih časih. Asimetričnost porazdelitve, glede na daljšanje časa med posameznimi dogodki pada. Ocena standardne napake je pri vseh štirih vmesnih časih enaka, in sicer 0.169, in tako manjša od standardnih napak pri 6-urnem trajanju padavin. Standardni odklon in varianca podata dve različni vrednosti za vsa štiri vmesna trajanja, ki ločita krajši in daljši trajanji, in s trajanjem padata.

Preglednica 16: Statistična analiza maksimalnih letnih intenzitet padavin (mm/h) s trajanjem 24 ur in z različno izbiro časa med posameznimi padavinskimi dogodki (2, 4, 6, 8 ur)

<i>Statistična analiza/Vmesni čas</i>	<i>2 ure</i>	<i>4 ure</i>	<i>6 ur</i>	<i>8 ur</i>
Aritmetična sredina	3.066	3.174	3.211	3.248
Standardna napaka	0.107	0.109	0.106	0.104
Mediana	3	3.05	3.05	3.1
Mod	2.42	1.83	2.27	3.87
Standardni odklon	0.833	0.85	0.826	0.812
Varianca	0.693	0.723	0.683	0.66
Sploščenost porazdelitve	-0.536	-0.403	-0.323	-0.292
Asimetričnost porazdelitve	0.357	0.278	0.286	0.237
Razpon	3.61	3.85	3.85	3.85
Minimalna vrednost	1.63	1.63	1.63	1.63
Maksimalna vrednost	5.24	5.48	5.48	5.48
Vsota	187.04	193.59	195.87	198.1
Število podatkov	61	61	61	61

Kot pri ostalih dveh trajanjih, tudi pri 24-urnem trajanju padavin z daljšanjem časa med dogodki naraščajo aritmetična sredina, mediana in vsota intenzitet. Minimalna vrednost podatkov je pri vseh štirih časih enaka, medtem ko je maksimalna vrednost pri dveh urah nižja, pri ostalih časih pa enaka. Standardna napaka je najmanjša pri vmesnem času 8 ur in največja pri času 4 ure. Glede na rezultate 6, 12 in 24-urnega trajanja se standardna napaka manjša z daljšanjem trajanja padavin.

### 7.3 Primerjava rezultatov intenzitet po Gumbelovi porazdelitvi za 24-urno trajanje padavin in različna časovna trajanja med dogodki

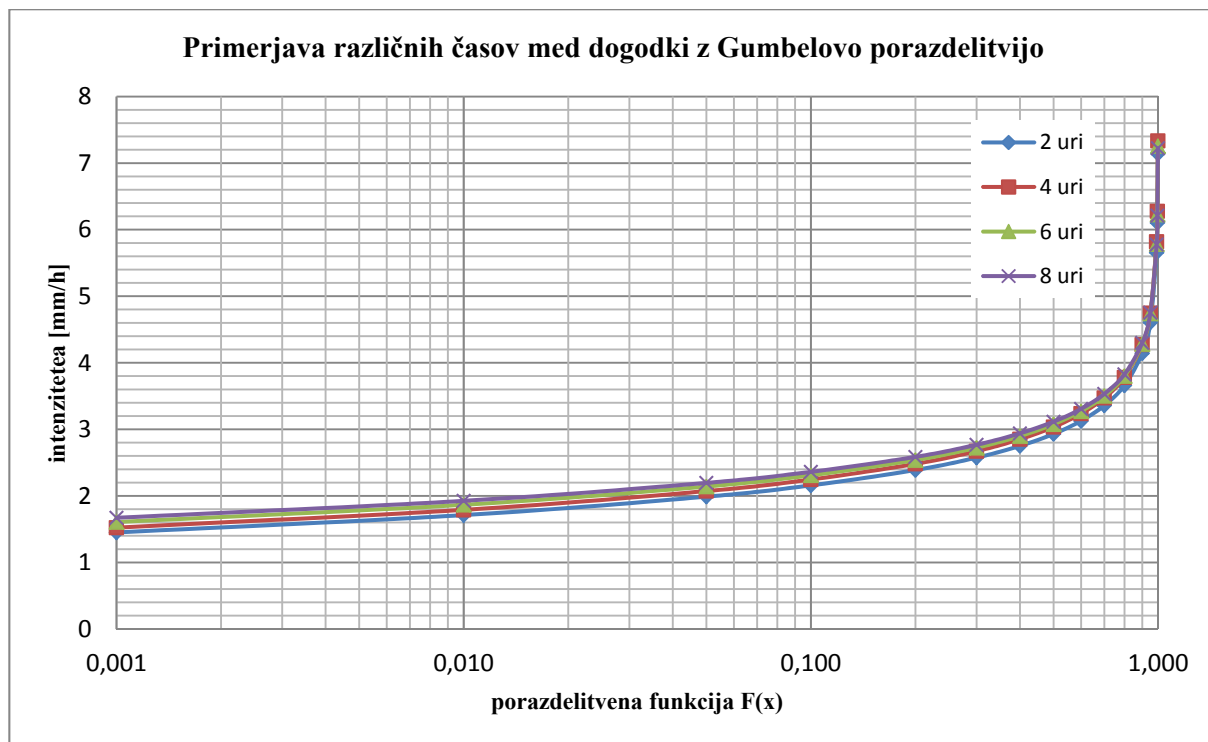
Ker so bile največje razlike med vrednostmi pri nevihti s trajanjem 24 ur, smo se odločili, da poskušamo ugotoviti vpliv teh razlik na rezultate. Izbrali smo Gumbelovo porazdelitev, ker je ena najpogosteje uporabljenih metod za računanje povratnih dob za ekstremne vrednosti padavin. Uporabljajo jo tudi na Agenciji RS za okolje. Metoda poda dobre rezultate tudi za povratne dobe, ki petkrat presegajo dolžino obdobja s podatki (ARSO, 2009). Najnižji letni maksimum padavin v obdobju meritev je določen s povratno dobo enega leta.

V preglednici 17 so prikazani rezultati letnih maksimalnih intenzitet  $i$  (mm/h) za Gumbelovo porazdelitvijo za 24-urno trajanje padavin za vse štiri izbrane čase med posameznimi padavinskimi

dogodki glede na porazdelitveno funkcijo  $F(z)$  in povratno dobo  $T$  (leta). Rezultati so prikazani tudi grafično (slika 32).

Preglednica 17: Intenzitete padavin (mm/h) za 24-urno trajanje in različne čase med posameznimi padavinskimi dogodki po Gumbelovi porazdelitvi

F(z)	T [let]	Čas med dogodki:			
		2 uri	4 ure	6 ur	8 ur
0.001	1	1.45	1.52	1.61	1.67
0.01	1.01	1.71	1.79	1.87	1.93
0.05	1.05	1.99	2.07	2.14	2.2
0.1	1.11	2.16	2.25	2.31	2.36
0.2	1.25	2.39	2.48	2.54	2.59
0.3	1.43	2.57	2.67	2.72	2.77
0.4	1.67	2.75	2.85	2.9	2.94
0.5	2	2.93	3.04	3.08	3.12
0.6	2.5	3.13	3.24	3.27	3.31
0.7	3.3	3.36	3.47	3.5	3.53
0.8	5	3.66	3.78	3.8	3.83
0.9	10	4.14	4.27	4.28	4.3
0.95	20	4.61	4.75	4.74	4.75
0.99	100	5.66	5.82	5.78	5.78
0.995	200	6.1	6.28	6.23	6.21
0.999	1000	7.14	7.34	7.26	7.22



Slika 32: Intenzitete padavin (mm/h) za 24-urno trajanje in z različnimi časi med dogodki po Gumbelovi porazdelitvi

Intenziteta do povratne dobe 10 let z daljšanjem časa trajanja med posameznimi padavinskimi dogodki in z večanjem povratne dobe narašča. To je razvidno tudi iz grafa in preglednice (slika 32 in preglednica 17), kjer so pri 8-urnem času med posameznimi dogodki in manjši porazdelitveni funkciji oz. povratni dobi razlike največje. Glede na ostala časovna trajanja pri povratni dobi 100 let in več dobimo največjo intenziteto pri 4-urnem času med posameznimi padavinskimi dogodki. Minimalne vrednosti intenzitet so vedno pri 2-urnem časovnem trajanju med posameznimi padavinskimi dogodki.

## 8 IZRAČUN IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z UPORABO RAZLIČNIH PORAZDELITEV

### 8.1 Uvod

Da bi ugotovili vpliv izbire porazdelitve pri izdelavi ITP krivulj, smo naredili analizo z različnimi teoretičnimi porazdelitvami. Pri primerjavi ITP krivulj smo upoštevali 5-minutne padavinske podatke z meteorološke postaje Ljubljana-Bežigrad za obdobje 1950-2010. Da smo lahko primerjali različne teoretične porazdelitve med seboj, smo v analizi vedno upoštevali enako število let zbranih podatkov. Za zajem podatkov za obdobje dolgo 61 let smo se odločili zato, ker je pri analizi pomembno daljše obdobje zbranih podatkov, ker podajo natančnejše in bolj zanesljive rezultate. Seveda pa smo pri takih analizah vedno omejeni z nizi podatkov, ki so sploh na voljo oz. z obdobjem meritev.

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati maksimalnih intenzitet (mm/h) z različno verjetnostjo pojavljanja (preglednice 18-27 in slike 33-42) za 10 izbranih trajanj (5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 in 1440 minut) za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad. Za verjetnostno analizo smo izbrali naslednje porazdelitve, ki se tudi najpogosteje uporabljajo v hidrologiji:

- normalna,
- logaritemsko normalna,
- Gumbelova,
- Pearsonova III,
- logaritemsko Pearsonova III.

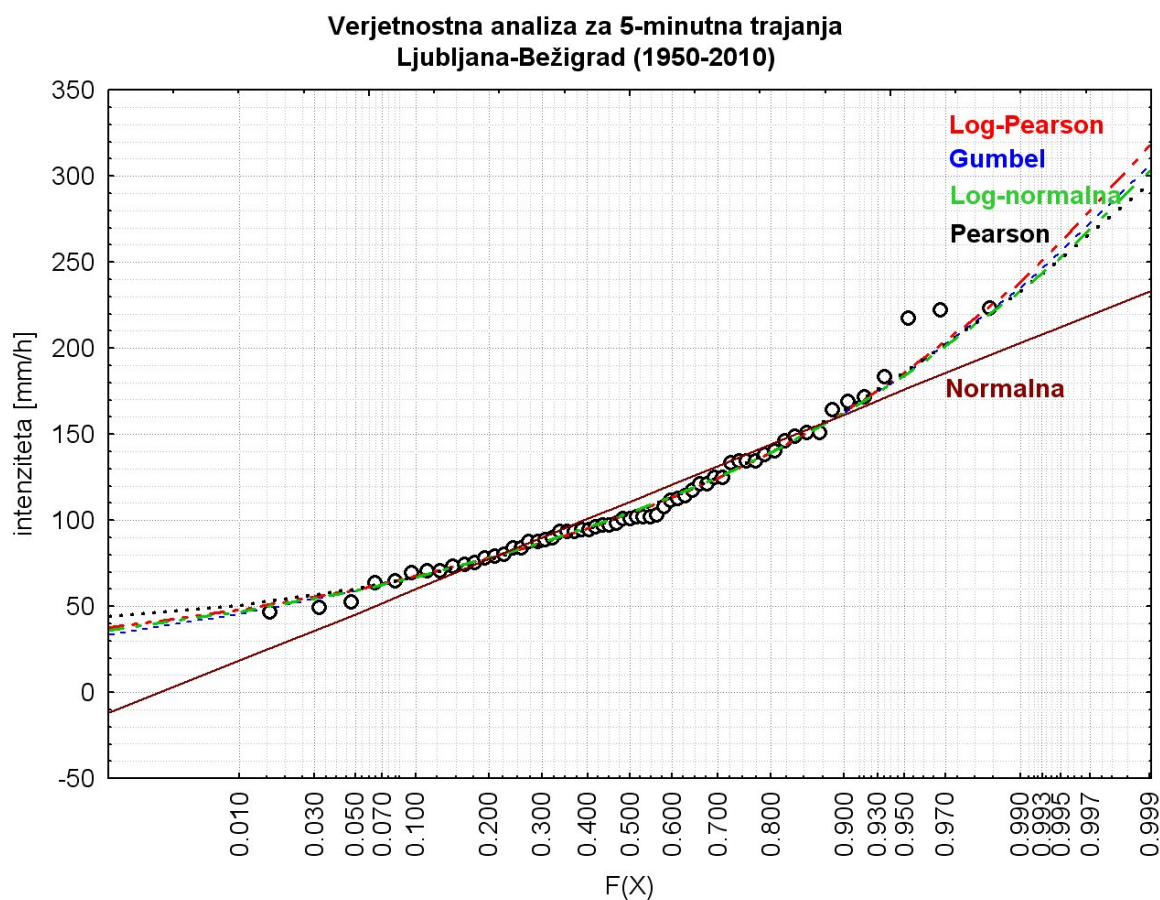
Za umestitev meritev v graf smo uporabili Weibull-ovo empirično porazdelitev. Upoštevali smo štiri urni vmesni čas med posameznimi padavinskimi dogodki. Tudi v literaturi se običajno ti časi gibljejo med štirimi in šestimi urami.

S pomočjo testiranja ujemanja smo določili teoretično porazdelitev, ki zagotavlja najboljše ujemanje z izmerjenimi podatki. Uporabili smo dva testa, in sicer Kolmogorov-Smirnov test in Hi-kvadrat test.

## 8.2 Rezultati za različne porazdelitve in 5-minutno trajanje padavin

Preglednica 18: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 5-minutno trajanjem padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-11.48	36.03	33.37	44.40	37.83
0.01	18.60	46.81	45.88	50.75	48.08
0.05	45.52	59.15	59.14	60.17	59.85
0.10	60.17	67.19	67.29	67.01	67.42
0.20	77.58	78.18	78.34	77.27	78.02
0.30	90.25	87.29	87.28	86.13	86.81
0.40	100.94	95.80	95.71	94.75	95.18
0.50	110.83	104.41	104.34	103.71	103.80
0.60	120.73	113.79	113.76	113.62	113.31
0.70	131.42	124.88	124.85	125.26	124.54
0.80	144.08	139.43	139.29	140.32	139.24
0.90	161.50	162.24	162.49	163.91	162.91
0.95	176.14	184.28	184.69	185.80	185.73
0.99	203.06	232.90	235.00	233.03	238.58
0.995	212.56	252.96	256.46	252.34	261.83
0.999	233.14	302.57	306.21	295.82	317.86



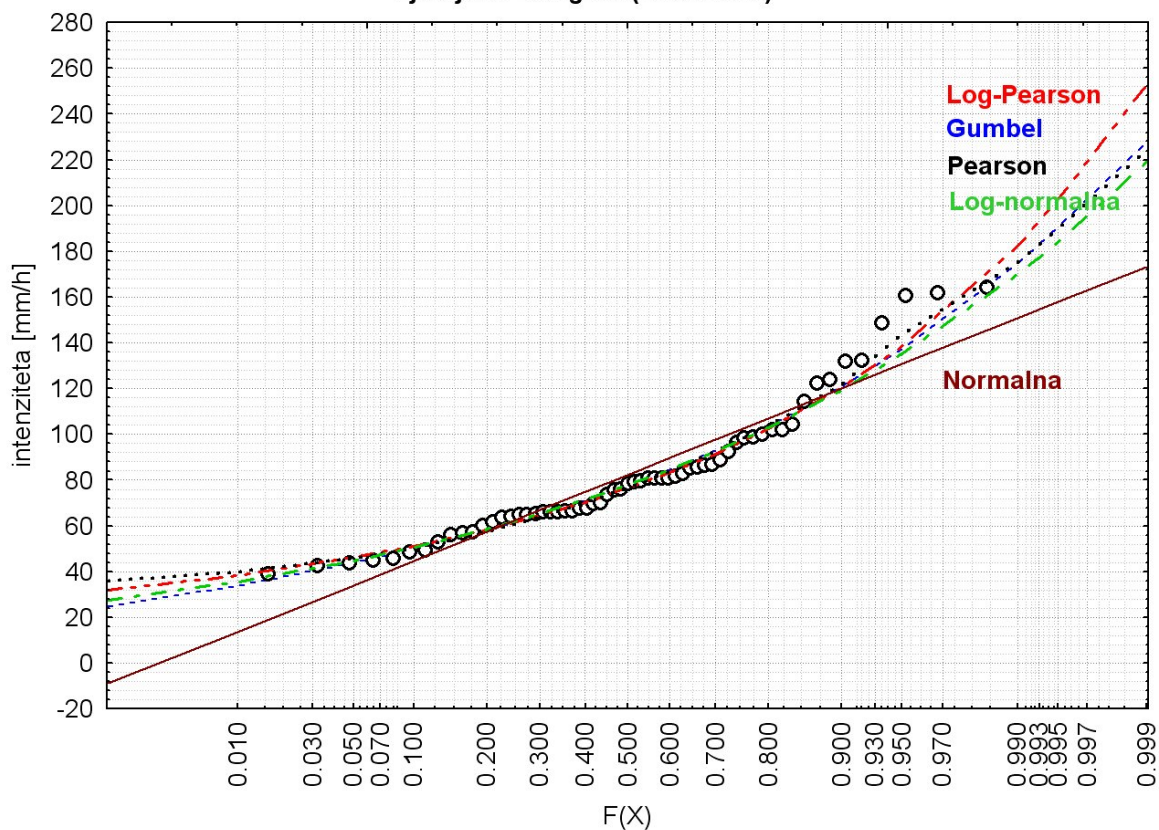
Slika 33: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 5-minutno trajanje padavin

### 8.3 Rezultati za različne porazdelitve in 10-minutno trajanje padavin

Preglednica 19: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 10-minutno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
<b>0.001</b>	-8.61	27.58	24.74	35.93	31.76
<b>0.01</b>	13.76	35.58	34.04	39.70	38.38
<b>0.05</b>	33.78	44.69	43.91	45.76	46.14
<b>0.10</b>	44.67	50.60	49.97	50.38	51.20
<b>0.20</b>	57.62	58.64	58.18	57.51	58.39
<b>0.30</b>	67.04	65.29	64.84	63.82	64.45
<b>0.40</b>	74.99	71.47	71.11	70.05	70.31
<b>0.50</b>	82.35	77.72	77.52	76.61	76.43
<b>0.60</b>	89.71	84.52	84.53	83.91	83.27
<b>0.70</b>	97.66	92.53	92.77	92.59	91.48
<b>0.80</b>	107.08	103.01	103.52	103.90	102.46
<b>0.90</b>	120.03	119.39	120.77	121.80	120.55
<b>0.95</b>	130.92	135.16	137.28	143.79	138.63
<b>0.99</b>	150.94	169.77	174.70	175.05	182.40
<b>0.995</b>	158.01	184.00	190.65	190.12	202.52
<b>0.999</b>	173.31	219.05	227.65	224.09	253.14

Verjetnostna analiza za 10-minutna trajanja  
Ljubljana-Bežigrad (1950-2010)



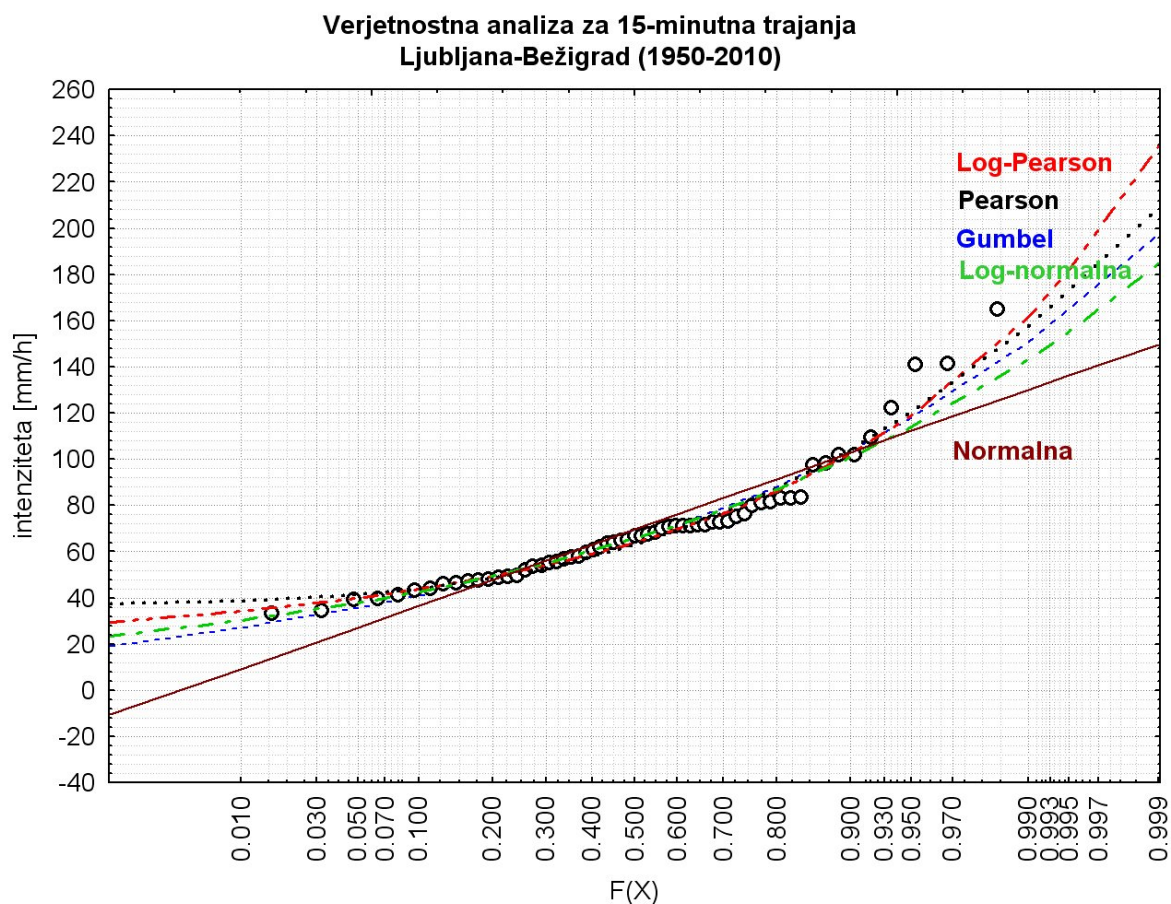
Slika 34: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 10-minutno trajanje padavin



### 8.4 Rezultati za različne porazdelitve in 15-minutno trajanje padavin

Preglednica 20: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 15-minutno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-10.35	23.35	18.99	37.61	29.43
0.01	9.33	30.11	27.18	38.68	34.14
0.05	26.94	37.81	35.85	41.37	39.87
0.10	36.53	42.79	41.19	43.93	43.72
0.20	47.92	49.59	48.41	48.52	49.32
0.30	56.21	55.19	54.27	53.03	54.12
0.40	63.20	60.41	59.78	57.80	58.86
0.50	69.68	65.69	65.43	63.10	63.89
0.60	76.15	71.42	71.60	69.26	69.60
0.70	83.15	78.18	78.85	76.86	76.58
0.80	91.43	87.02	88.30	87.16	86.10
0.90	102.83	100.83	103.48	104.10	102.30
0.95	112.41	114.13	118.01	120.50	118.98
0.99	130.03	143.31	150.93	157.43	161.45
0.995	136.24	155.30	164.96	173.02	181.83
0.999	149.71	184.84	197.52	208.78	235.29

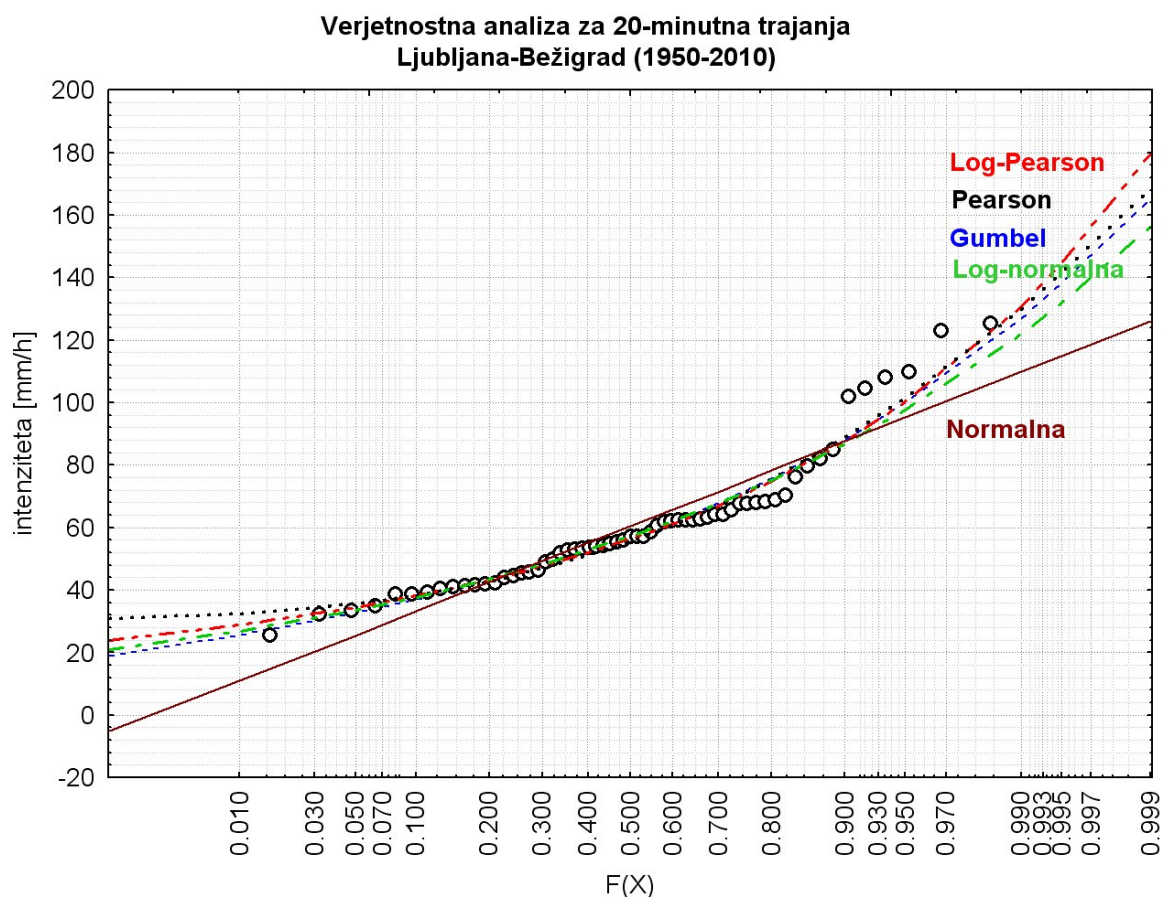


Slika 35: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 15-minutno trajanje padavin

## 8.5 Rezultati za različne porazdelitev in 20-minutno trajanje padavin

Preglednica 21: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 20-minutno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-5.13	20.97	18.90	30.84	24.04
0.01	10.99	26.84	25.61	32.46	28.88
0.05	25.42	33.47	32.71	35.64	34.52
0.10	33.26	37.74	37.08	38.33	38.17
0.20	42.60	43.54	43.00	42.77	43.36
0.30	49.38	48.31	47.79	46.88	47.71
0.40	55.11	52.74	52.31	51.09	51.91
0.50	60.41	57.20	56.93	55.64	56.28
0.60	65.72	62.04	61.98	60.80	61.15
0.70	71.44	67.73	67.92	67.05	66.98
0.80	78.23	75.15	75.66	75.37	74.76
0.90	87.56	86.69	88.09	88.77	87.51
0.95	95.41	97.76	99.99	101.53	100.19
0.99	109.83	121.93	126.95	129.79	130.70
0.995	114.92	131.81	138.45	141.61	144.64
0.999	125.95	156.07	165.11	168.48	179.54

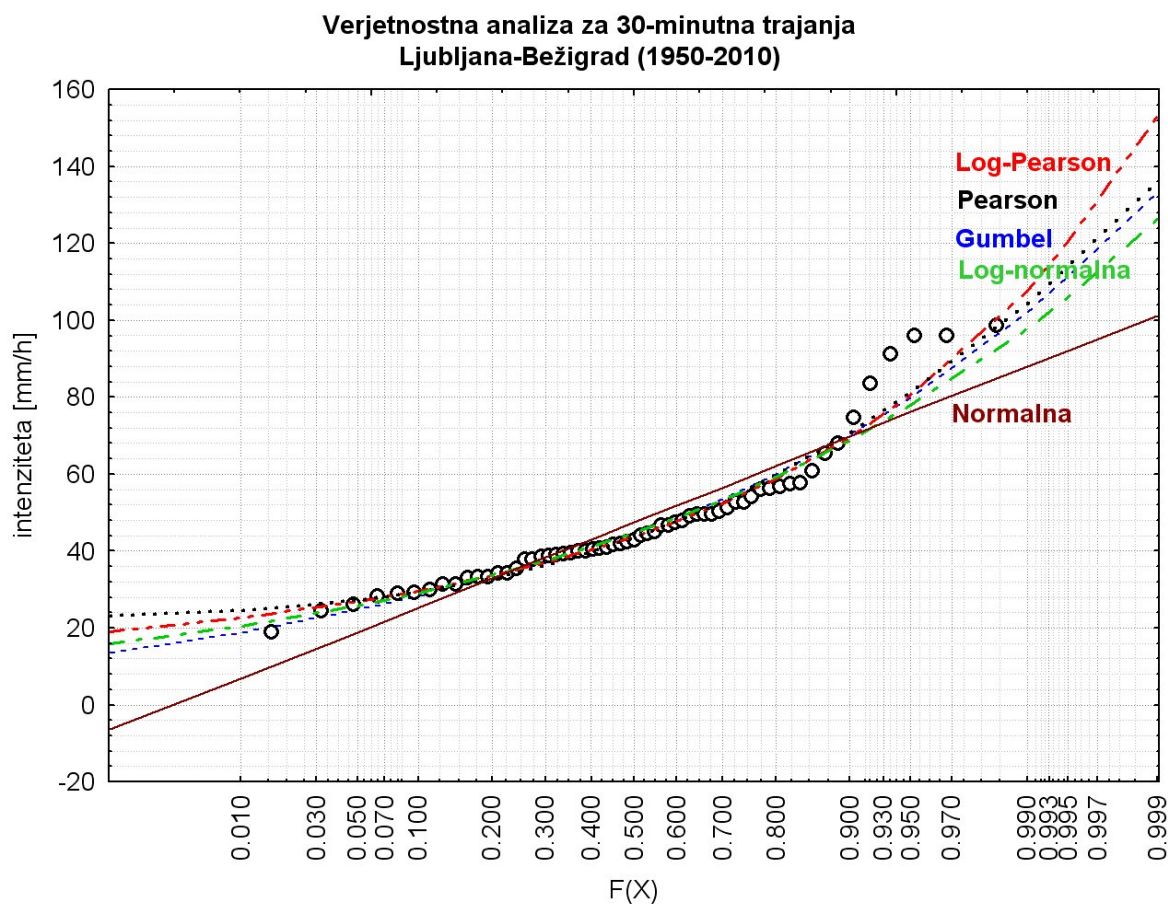


Slika 36: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 20-minutno trajanje padavin

## 8.6 Rezultati za različne porazdelitve in 30-minutno trajanje padavin

Preglednica 22: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 30-minutno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-6.28	15.87	13.43	23.22	19.13
0.01	6.94	20.48	18.92	24.54	22.66
0.05	18.77	25.73	24.75	27.15	26.84
0.10	25.20	29.13	28.33	29.36	29.61
0.20	32.86	33.77	33.19	33.00	33.60
0.30	38.42	37.59	37.12	36.37	36.99
0.40	43.12	41.16	40.82	39.82	40.29
0.50	47.47	44.76	44.61	43.55	43.78
0.60	51.81	48.68	48.75	47.78	47.70
0.70	56.51	53.30	53.62	52.91	52.45
0.80	62.08	59.34	59.97	59.73	58.87
0.90	69.73	68.78	70.16	70.72	69.64
0.95	76.16	77.88	79.92	81.18	80.55
0.99	87.99	97.84	102.03	104.36	107.66
0.995	92.16	106.05	111.45	114.04	120.44
0.999	101.21	126.27	133.31	136.08	153.21



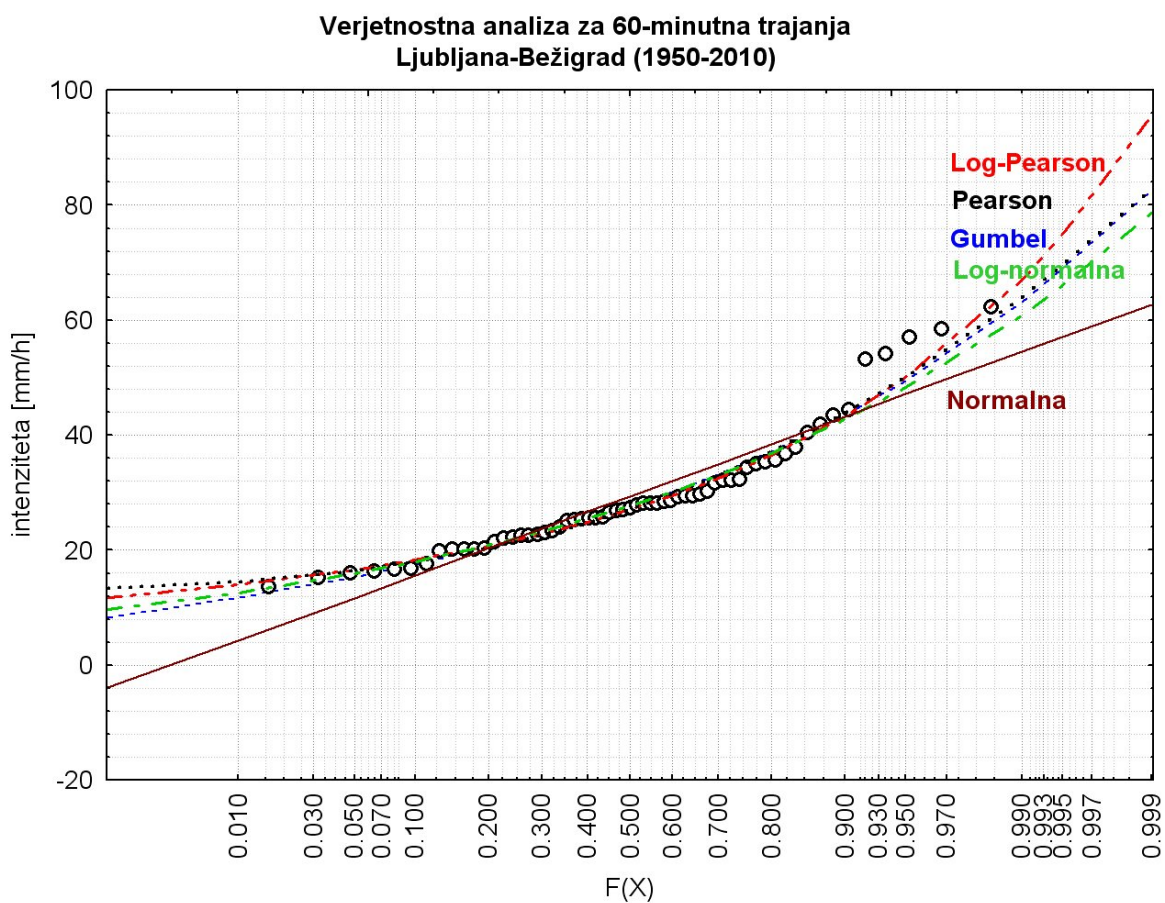
Slika 37: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 30-minutno trajanje padavin



## 8.7 Rezultati za različne porazdelitve in 60-minutno trajanje padavin

Preglednica 23: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 60-minutno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-3.89	9.76	8.32	13.43	11.78
0.01	4.30	12.62	11.72	14.50	13.97
0.05	11.62	15.87	15.33	16.41	16.56
0.10	15.61	17.99	17.55	17.94	18.29
0.20	20.35	20.87	20.55	20.37	20.76
0.30	23.80	23.25	22.99	22.57	22.87
0.40	26.70	25.46	25.28	24.78	24.92
0.50	29.40	27.71	27.63	27.13	27.10
0.60	32.09	30.15	30.19	29.78	29.53
0.70	35.00	33.02	33.21	32.96	32.49
0.80	38.44	36.79	37.14	37.14	36.49
0.90	43.18	42.68	43.45	43.82	43.22
0.95	47.17	48.36	49.50	50.13	50.02
0.99	54.49	60.83	63.19	63.98	66.98
0.995	57.08	65.97	69.02	69.74	74.97
0.999	62.68	78.62	82.56	82.77	95.50

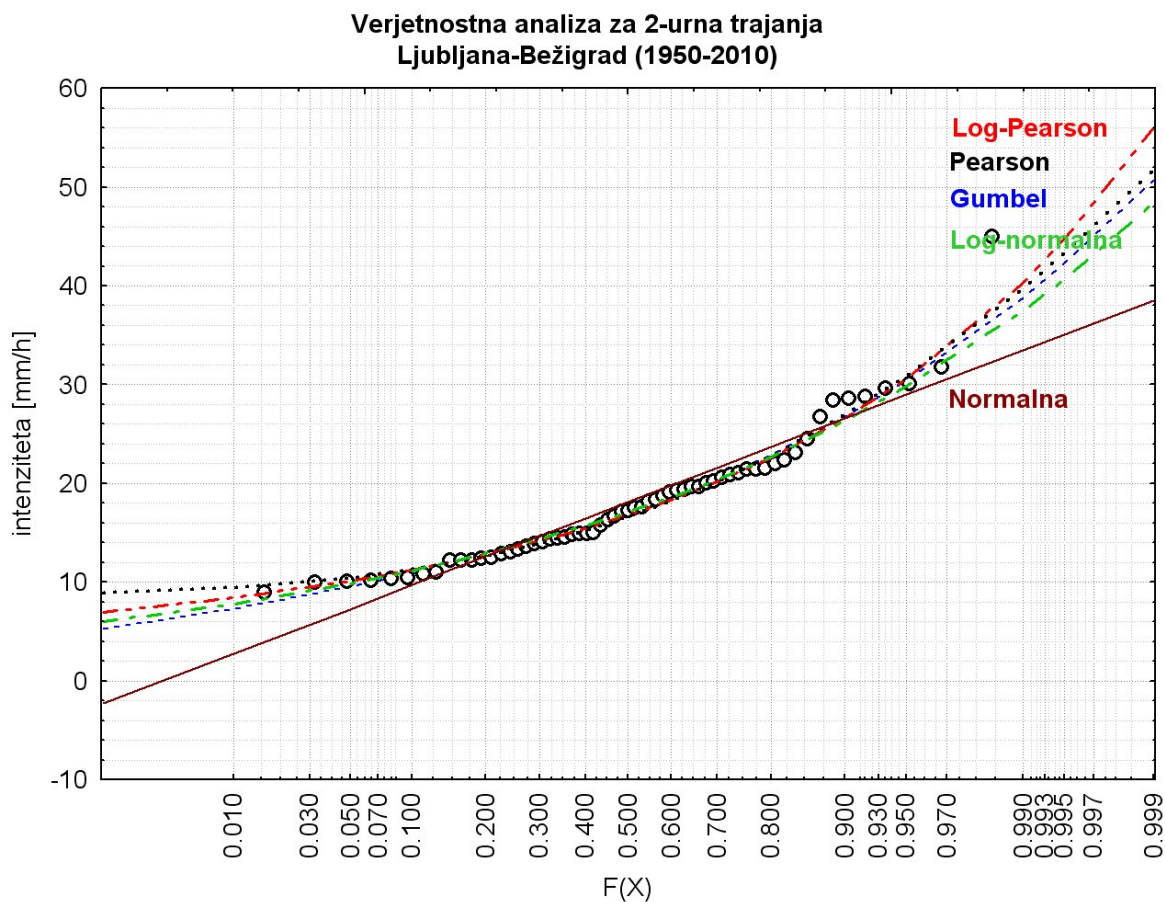


Slika 38: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 60-minutno trajanje padavin

## 8.8 Rezultati za različne porazdelitve in 2-urno trajanje padavin

Preglednica 24: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 2-urno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	-2.22	6.04	5.24	8.95	6.96
0.01	2.78	7.81	7.32	9.45	8.42
0.05	7.26	9.81	9.53	10.44	10.13
0.10	9.70	11.12	10.89	11.28	11.25
0.20	12.60	12.89	12.73	12.65	12.83
0.30	14.71	14.36	14.22	13.93	14.17
0.40	16.49	15.72	15.62	15.24	15.47
0.50	18.14	17.10	17.06	16.65	16.82
0.60	19.78	18.61	18.62	18.26	18.33
0.70	21.56	20.38	20.47	20.20	20.15
0.80	23.67	22.70	22.87	22.78	22.57
0.90	26.57	26.32	26.74	26.95	26.58
0.95	29.01	29.81	30.43	30.91	30.58
0.99	33.49	37.48	38.81	39.69	40.28
0.995	35.07	40.63	42.38	43.36	44.74
0.999	38.50	48.41	50.66	51.71	55.97

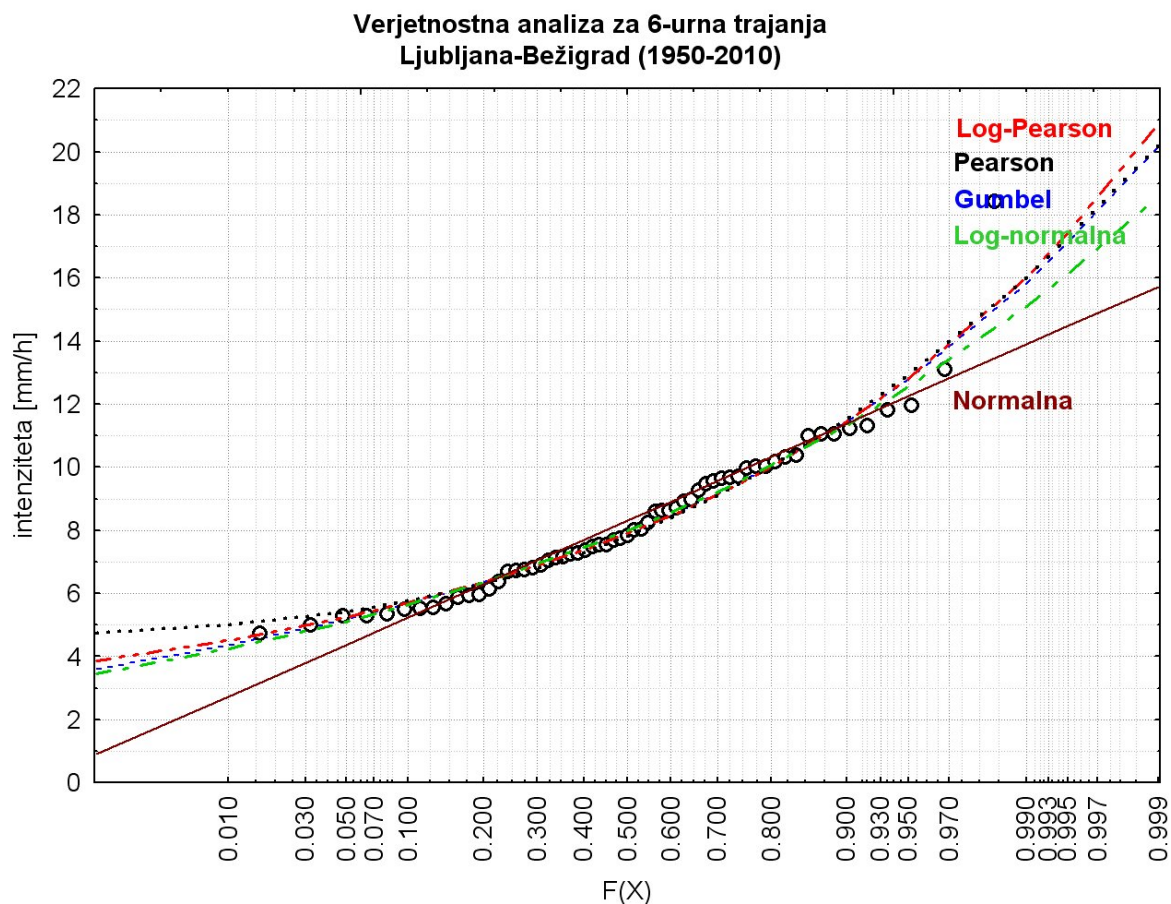


Slika 39: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 2-urno trajanje padavin

## 8.9 Rezultati za različne porazdelitve in 6-urno trajanje padavin

Preglednica 25: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 6-urno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	0.90	3.45	3.62	4.76	3.86
0.01	2.72	4.24	4.37	4.99	4.51
0.05	4.35	5.10	5.18	5.42	5.24
0.10	5.24	5.64	5.67	5.76	5.70
0.20	6.30	6.36	6.34	6.30	6.34
0.30	7.06	6.94	6.88	6.79	6.87
0.40	7.71	7.47	7.39	7.28	7.37
0.50	8.31	8.00	7.92	7.81	7.89
0.60	8.91	8.56	8.49	8.40	8.46
0.70	9.56	9.22	9.16	9.10	9.13
0.80	10.33	10.06	10.04	10.04	10.02
0.90	11.38	11.34	11.44	11.52	11.43
0.95	12.27	12.54	12.79	12.93	12.81
0.99	13.90	15.10	15.84	16.01	16.01
0.995	14.48	16.12	17.14	17.29	17.43
0.999	15.72	18.58	20.15	20.20	20.89



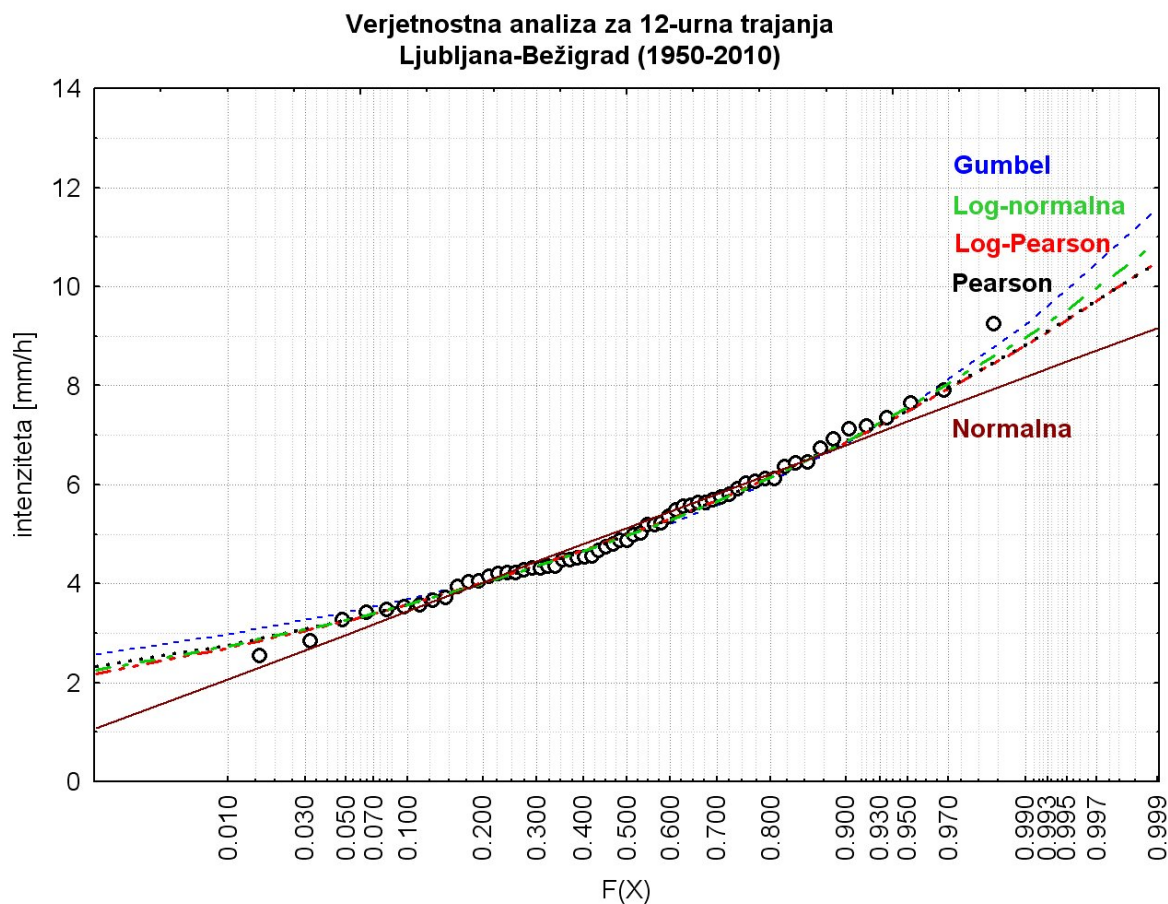
Slika 40: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 6-urno trajanje padavin



### 8.10 Rezultati za različne porazdelitve in 12-urno trajanje padavin

Preglednica 26: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 12-urno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	1.09	2.26	2.57	2.33	2.18
0.01	2.08	2.75	2.98	2.76	2.70
0.05	2.97	3.26	3.42	3.27	3.25
0.10	3.45	3.59	3.69	3.58	3.58
0.20	4.03	4.01	4.05	4.01	4.01
0.30	4.45	4.35	4.35	4.35	4.36
0.40	4.80	4.66	4.63	4.66	4.67
0.50	5.13	4.97	4.91	4.98	4.99
0.60	5.45	5.29	5.22	5.31	5.32
0.70	5.81	5.67	5.59	5.69	5.69
0.80	6.23	6.15	6.07	6.16	6.16
0.90	6.80	6.87	6.83	6.87	6.86
0.95	7.29	7.55	7.57	7.51	7.49
0.99	8.17	8.98	9.23	8.82	8.80
0.995	8.49	9.54	9.94	9.34	9.33
0.999	9.17	10.89	11.58	10.49	10.50

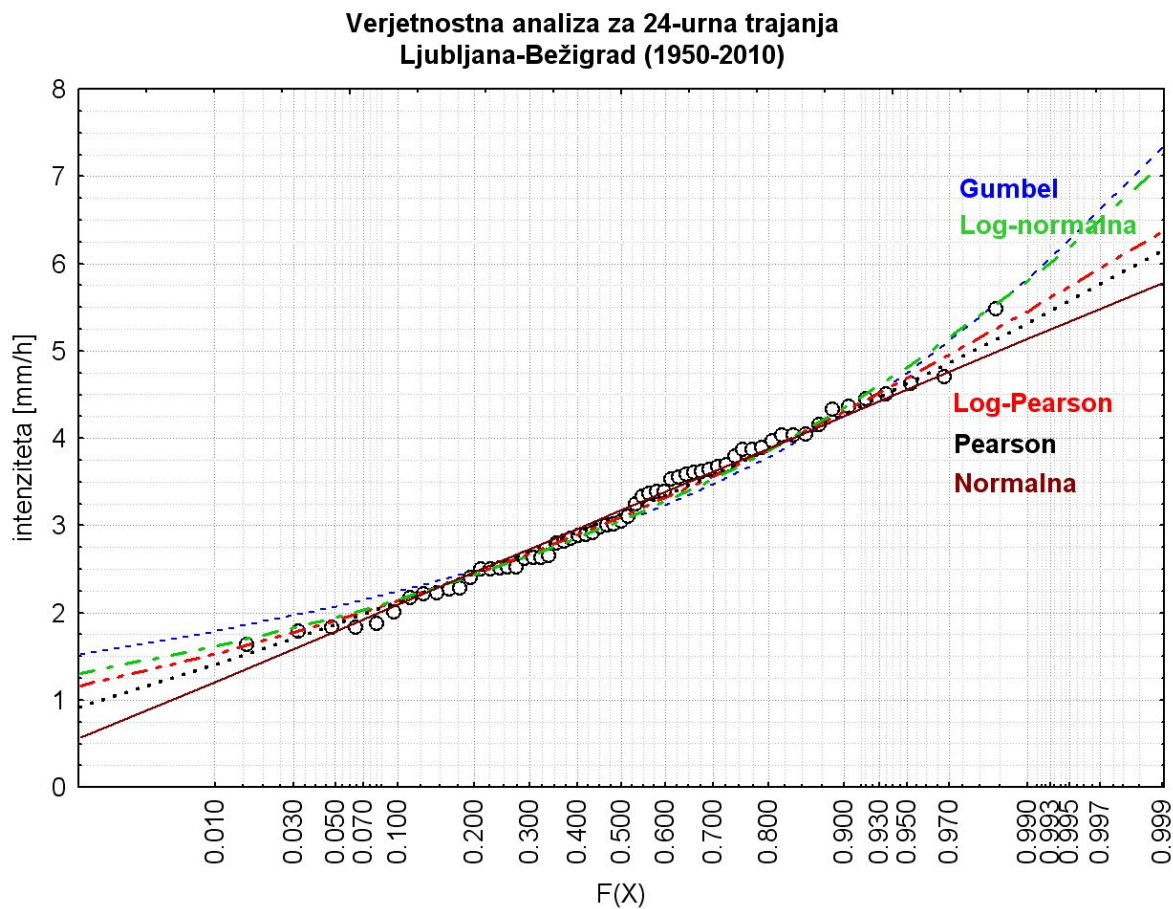


Slika 41: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 12-urno trajanje padavin

### 8.11 Rezultati za različne porazdelitve in 24-urno trajanje padavin

Preglednica 27: Maksimalne intenzitete padavin za različne porazdelitve in 24-urno trajanje padavin

F(x)	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.001	0.57	1.31	1.52	0.92	1.16
0.01	1.21	1.61	1.79	1.40	1.52
0.05	1.78	1.94	2.07	1.86	1.90
0.10	2.09	2.15	2.25	2.12	2.14
0.20	2.47	2.43	2.48	2.45	2.44
0.30	2.74	2.65	2.67	2.70	2.68
0.40	2.96	2.86	2.85	2.92	2.89
0.50	3.17	3.06	3.04	3.13	3.10
0.60	3.38	3.28	3.24	3.35	3.32
0.70	3.61	3.53	3.47	3.58	3.57
0.80	3.88	3.85	3.78	3.87	3.87
0.90	4.25	4.35	4.27	4.28	4.31
0.95	4.56	4.81	4.75	4.63	4.69
0.99	5.14	5.80	5.82	5.32	5.45
0.995	5.34	6.20	6.28	5.58	5.75
0.999	5.78	7.15	7.34	6.14	6.37



Slika 42: Primerjava rezultatov različnih porazdelitev za 24-urno trajanje padavin

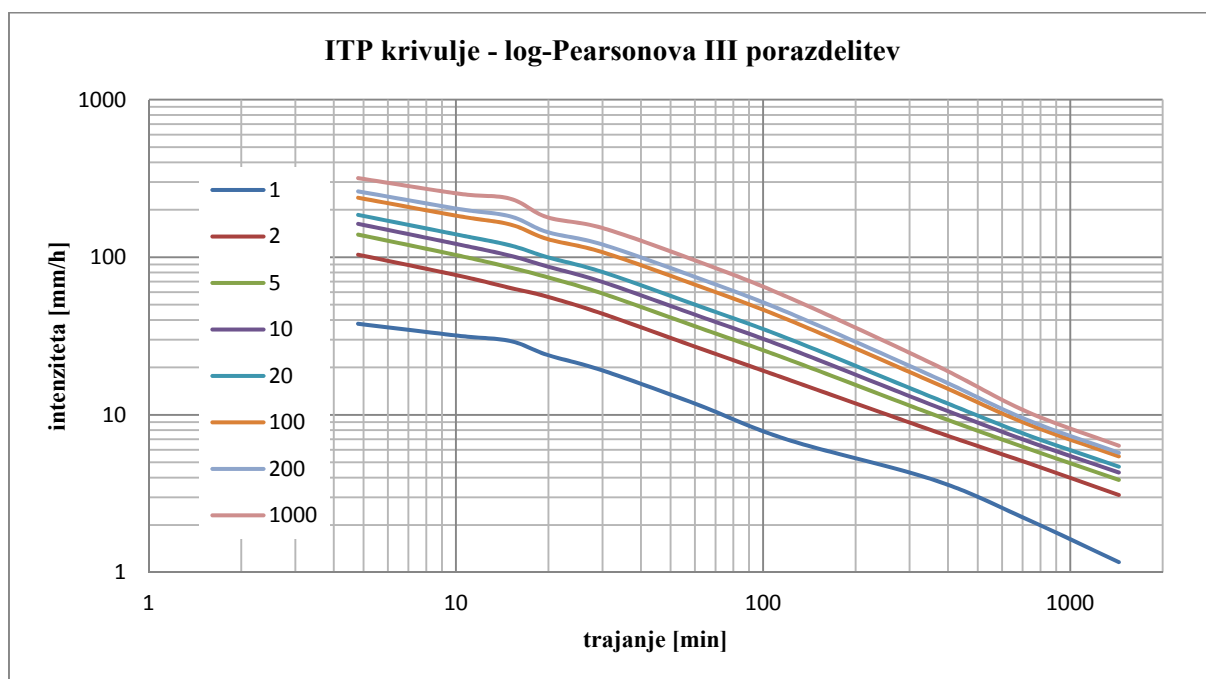


## 8.12 ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo III porazdelitvijo

V preglednici 28 so prikazane maksimalne intenzitete ITP krivulj za različna trajanja, dobljena z log-Pearsonovo III porazdelitvijo. Rezultati so prikazani tudi grafično (sliki 43).

Preglednica 28: Maksimalne intenzitete (mm/h) ITP krivulj po log-Pearsonovi III porazdelitvi

Povratna doba [leta]	Trajanje [min]									
	5	10	15	20	30	60	120	360	720	1440
1	37.83	31.76	29.43	24.04	19.13	11.78	6.96	3.86	2.18	1.16
2	103.80	76.43	63.89	56.28	43.78	27.10	16.82	7.89	4.99	3.10
5	139.24	102.46	86.10	74.76	58.87	36.49	22.57	10.02	6.16	3.87
10	162.91	120.55	102.30	87.51	69.64	43.22	26.58	11.43	6.86	4.31
20	185.73	138.63	118.98	100.19	80.55	50.02	30.58	12.81	7.49	4.69
100	238.58	182.40	161.45	130.70	107.66	66.98	40.28	16.01	8.80	5.45
200	261.83	202.52	181.83	144.64	120.44	74.97	44.74	17.43	9.33	5.75
1000	317.86	253.14	235.29	179.54	153.21	95.50	55.97	20.89	10.50	6.37



Slika 43: ITP krivulje dobljene z log-Pearsonovo III porazdelitvijo

Iz slike 43 je razvidno, da se intenziteta padavin z daljšanjem povratne dobe večja, z daljšanjem trajanja padavin pa pada.

### 8.13 Testiranje ujemanja

Testiranje ujemanja smo izvedli s pomočjo dveh testov, in sicer Hi-kvadrat testa in testa Kolmogorov-Smirnov. Testirali smo ujemanje empirične in teoretične porazdelitve.

Najprej smo postavili ničelno ( $H_0$ ) in alternativno ( $H_1$ ) domnevo:

- $H_0$ : empirična in teoretična porazdelitev se ujemata,
- $H_1$ : empirična in teoretična porazdelitev se ne ujemata.

Za oba primera testov smo si izbrali stopnjo zaupanja  $\alpha$  95%. Kot empirično porazdelitev smo uporabili Weibullovo porazdelitev za umestitev meritev v graf.

Pri Hi-kvadrat testu smo določili tudi število prostostnih stopenj  $v$ . Parametra, ki ju upoštevamo v enačbi, sta število razredov ter število parametrov teoretične porazdelitve. Razen Gumbelove porazdelitve, ki ima tri parametre, imajo vse ostale izbrane porazdelitve dva parametra. V preglednici 29 so podatki o prostostnih stopnjah za vsako porazdelitev in trajanje posebej.

Preglednica 29: Podatki o prostostnih stopnjah za različne porazdelitve za Hi-kvadrat test

Porazdelitev/Čas [h]	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
Normalna	6	5	5	5	5	6	6	4	5	5
Log-normalna	6	4	4	5	6	7	6	6	6	6
Gumbelova	5	4	4	4	4	5	5	3	4	4
Pearsonova III	6	5	5	5	5	6	6	4	5	5
Log-Pearsonova III	6	4	4	5	6	7	6	6	6	6

Glede na dobljeno prostostno stopnjo in interval zaupanja smo iz preglednice 3 odčitali mejno statistiko za Hi-kvadrat. V preglednici 30 so dobljeni rezultati testiranja za izbrane porazdelitve in različna trajanja.

Preglednica 30: Rezultati izbranih porazdelitev za različna trajanja dobljeni s Hi-kvadrat testom

Čas [h]/ Porazdelitev	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.08	17.899	4.138	9.975	10.458	4.076
0.17	14.993	8.333	7.147	6.953	9.062
0.25	13.315	2.529	7.104	7.203	2.712
0.33	9.934	9.907	7.230	8.303	9.878
0.5	17.986	6.100	8.228	7.984	5.641
1	12.778	3.233	5.187	5.459	2.205
2	8.681	6.320	4.982	6.911	6.310
6	2.225	4.474	4.012	6.063	5.191
12	8.121	4.605	4.005	4.819	4.723
24	2.249	1.990	4.872	1.761	1.100

Glede na izračunane testne statistike (preglednica 30) hipotezo zavrnilo pri normalni porazdelitvi za 5, 10, 15, 30-minutno in 1-urno trajanje. Te vrednosti so v preglednici 30 označene z odebelenim tiskom. Za ostala trajanja pri normalni porazdelitvi in za vsa trajanja pri ostalih porazdelitvah pa hipoteza ni zavrnila in sklepamo, da se empirična in teoretična porazdelitev ujemata s 95% verjetnostjo.

Mejna vrednost  $D$  za Kolmogorov-Smirnov test je odvisna od števila podatkov in izbrane stopnje zaupanja. Za izbrano stopnjo zaupanja 95% smo izračunali mejno vrednost 0.174 (preglednica 4). V preglednici 31 so dobljeni rezultati za izbrane porazdelitve izračunani s Kolmogorov-Smirnov testom.

Preglednica 31: Rezultati izbranih porazdelitev za različna trajanja dobljeni s Kolmogorov-Smirnov testom

Čas [h]/ Porazdelitev	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
<b>0.08</b>	0.141	0.078	0.077	0.072	0.073
<b>0.17</b>	0.133	0.064	0.063	0.069	0.058
<b>0.25</b>	0.156	0.083	0.086	0.074	0.062
<b>0.33</b>	0.154	0.092	0.094	0.086	0.079
<b>0.5</b>	0.131	0.062	0.069	0.085	0.065
<b>1</b>	0.146	0.076	0.076	0.061	0.053
<b>2</b>	0.100	0.067	0.060	0.052	0.050
<b>6</b>	0.081	0.054	0.062	0.068	0.064
<b>12</b>	0.090	0.054	0.066	0.057	0.058
<b>24</b>	0.071	0.086	0.109	0.065	0.073

Iz preglednice 31 je razvidno, da so vsi rezultati izbranih porazdelitev in trajanj manjši od mejne vrednosti testa s 95% stopnjo zaupanja. Torej, ker je testna statistika v vseh primerih znotraj intervala zaupanja, ničelne hipoteze ne moremo zavrniti in sklepamo, da se empirična porazdelitev ujema z določeno izbrano teoretično porazdelitvijo s 95% verjetnostjo.

Rezultate, dobljene z obema testoma, smo med seboj primerjali glede na čas trajanja padavin (preglednica 32). Pri izbiri najboljše porazdelitve smo si pomagali tako z grafičnimi rezultati kot z rezultati obeh testov.

Preglednica 32: Izbira najboljše teoretične porazdelitve

Čas [h]/test	$X^2$ test	K-S test	Graf
<b>0.08</b>	Log-Pearson III	Pearson III	Težko določljivo
<b>0.17</b>	Log-normalna	Log-Pearson III	Težko določljivo
<b>0.25</b>	Log-Pearson III	Log-Pearson III	Log-Pearson III
<b>0.33</b>	Pearson III	Log-Pearson III	Težko določljivo
<b>0.5</b>	Log-Pearson III	Log-normalna	Težko določljivo
<b>1</b>	Log-Pearson III	Log-Pearson III	Log-Pearson III

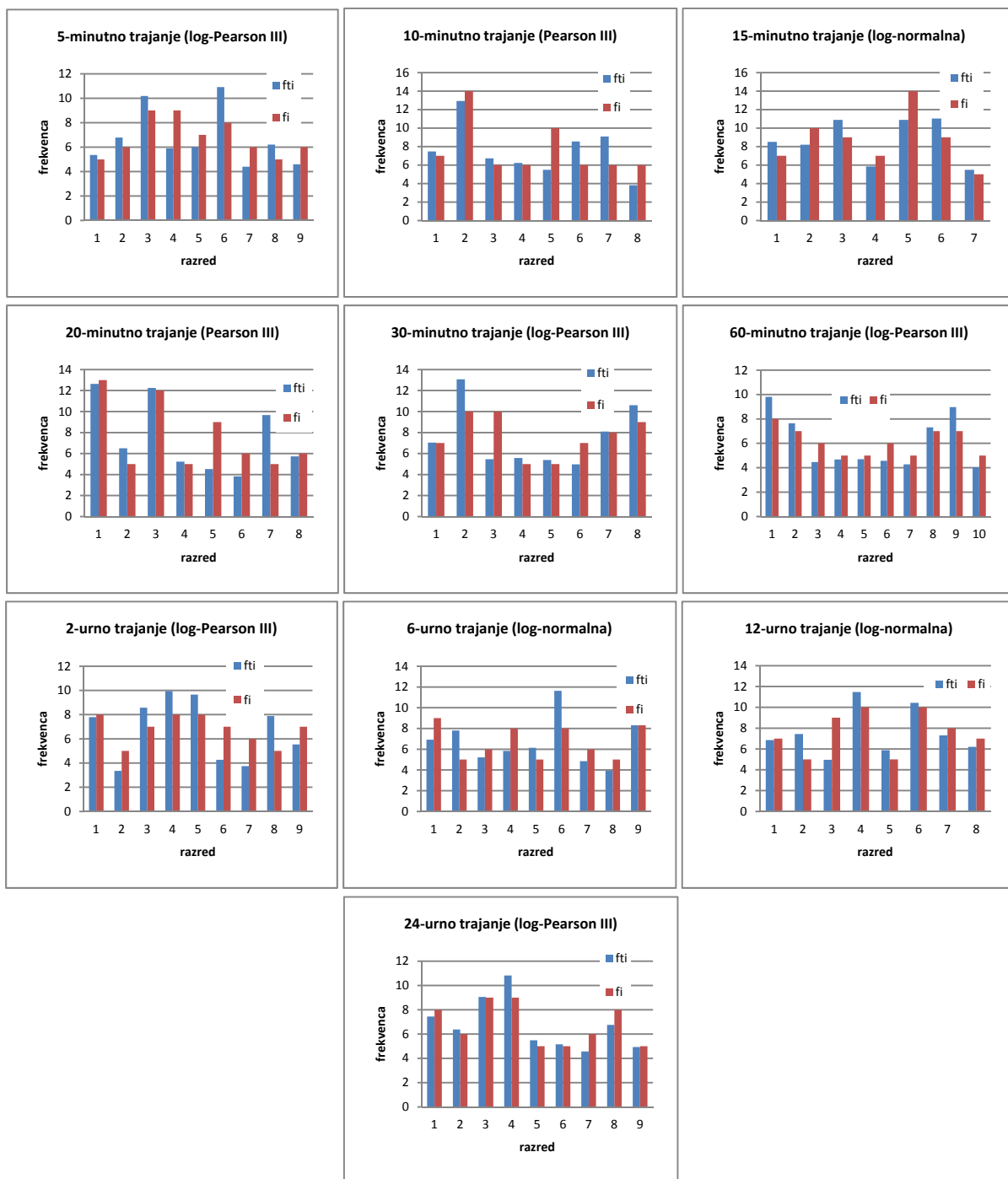
se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 32

<b>2</b>	Log-Pearson III	Log-Pearson III	Log-Pearson III
<b>6</b>	Log-normalna	Log-normalna	Log-normalna
<b>12</b>	Log-normalna	Log-normalna	Log-normalna
<b>24</b>	Log-Pearson III	Pearson III	Težko določljivo

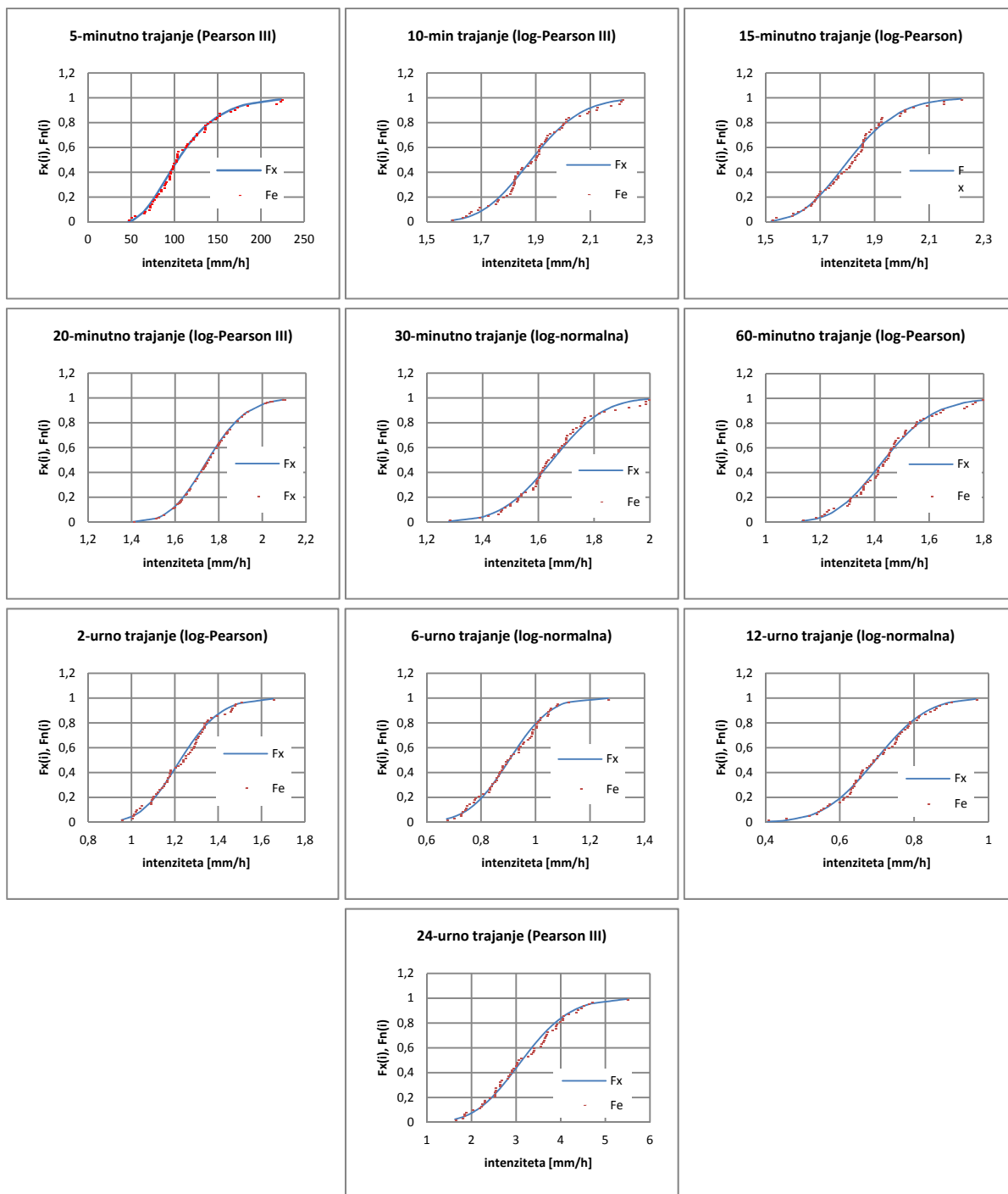
Pri testiranju ujemanja s Hi-kvadrat in Kolmogorov-Smirnov testom dobimo z log-Pearsonovo III porazdelitvijo največkrat najboljše rezultate testiranja, sledi log-normalna, ter Pearsonova III porazdelitev. Za trajanja 15 minut in 1, 2 uri dobimo pri obeh testih enake rezultate, in sicer najboljše ujemanje z izmerjenimi podatki nam poda log-Pearsonova III porazdelitev. Za trajanja 6 in 12 ur pa log-normalna porazdelitev. Za trajanja 5, 10, 20, 30 minut in 24 ur porazdelitvi pri obeh testih nista enaki. Lahko se odločimo za eno ali drugo porazdelitev, saj obe dajeta zadovoljive rezultate.

Na sliki 44 so prikazani rezultati Hi-kvadrat testa in sicer primerjava med dejanskim in pričakovanim številom elementov v razredu. Pričakovano število elementov v razredu je izračunano po teoretični porazdelitvi, ki je bila izbrana s Hi-kvadrat testom. Na grafih je empirična porazdelitev označena z  $f_i$  (rdeča barva), teoretična pa z  $f_{ii}$  (modra barva).



Slika 44: Primerjava empirične (Weibull) in teoretične porazdelitve, ki se najbolj prilega danim podatkom različnih trajanj s Hi-kvadrat testom

Na sliki 45 so prikazani rezultati testa Kolmogorov-Smirnov in sicer primerjava empirične (Weibull) in teoretične porazdelitvene funkcije, ki je bila izbrana s K-S testom. Na grafih je empirična porazdelitev označena z  $F_e$  (rdeča barva), teoretična pa z  $F_x$  (modra barva).



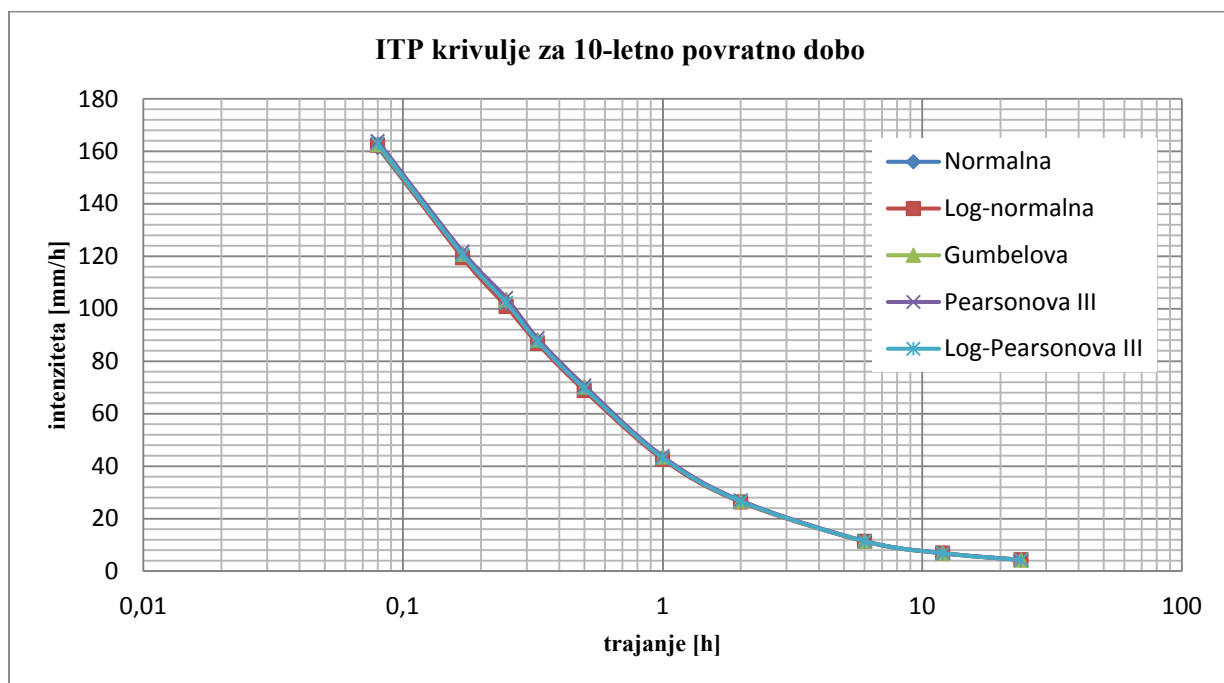
Slika 45: Primerjava empirične (Weibull) in teoretične porazdelitve, ki se najbolj prilega danim podatkom različnih trajanj s Kolmogorov-Smirnov testom

### 8.14 Analiza rezultatov

V preglednici 33 in na sliki 46 je prikazana analiza in primerjava rezultatov za 10-letno povratno dobo.

Preglednica 33: Maksimalne intenzitete padavin (mm/h) za 10-letno povratno dobo in različne porazdelitve

Trajanje [h]	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.08	161.5	162.24	162.49	163.91	162.91
0.17	120.03	119.39	120.77	121.8	120.55
0.25	102.83	100.83	103.48	104.1	102.3
0.33	87.56	86.69	88.09	88.77	87.51
0.5	69.73	68.78	70.16	70.72	69.64
1	43.18	42.68	43.45	43.82	43.22
2	26.57	26.32	26.74	26.95	26.58
6	11.38	11.34	11.44	11.52	11.43
12	6.8	6.87	6.83	6.87	6.86
24	4.25	4.35	4.27	4.28	4.31



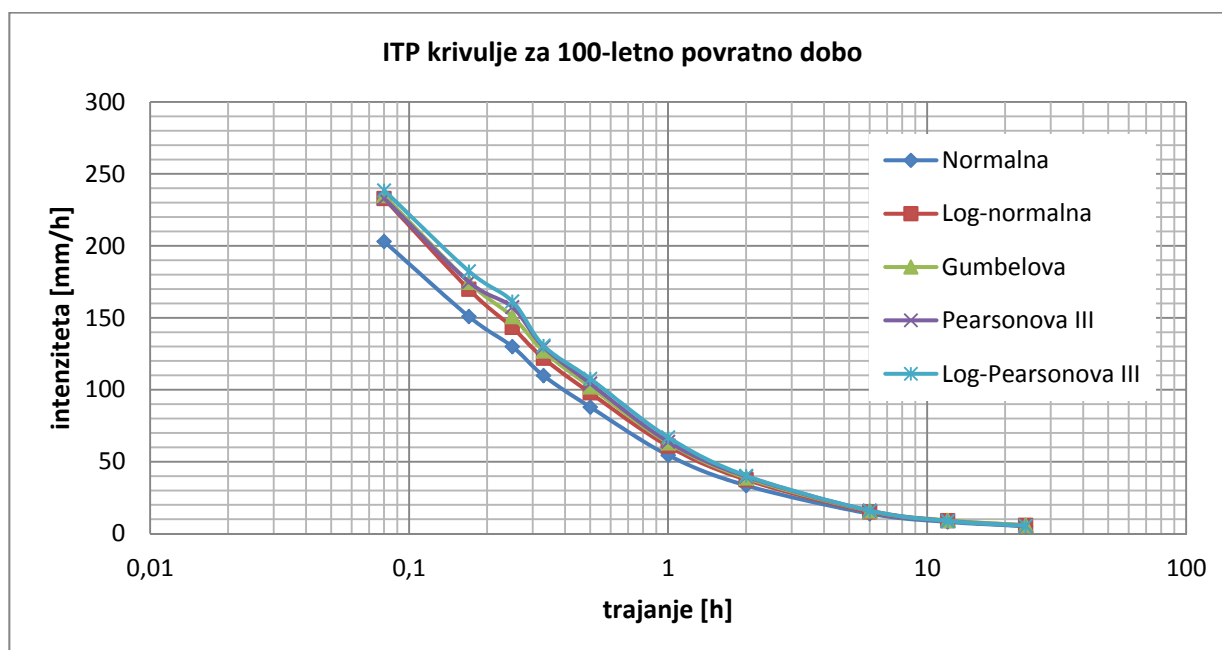
Slika 46: ITP krivulje za 10-letno povratno dobo in različne porazdelitve

Ugotovili smo, da so si rezultati intenzitet za 10-letno povratno dobo vseh uporabljenih porazdelitev med seboj zelo podobni, kar je razvidno tudi iz slike 46. Največje vrednosti intenzitet med izbranimi porazdelitvami smo dobili pri Pearsonovi III porazdelitvi za vsa trajanja in najmanjše pri normalni porazdelitvi, kar je nekako pričakovano.

Podobno analizo smo naredili še za 100-letno povratno dobo. Rezultati analize so prikazani v preglednici 34 in na sliki 47.

Preglednica 34: Maksimalne intenzitet padavin (mm/h) za 100-letno povratno dobo in različne porazdelitve

Trajanje [h]	Porazdelitev				
	Normalna	Log-normalna	Gumbelova	Pearsonova III	Log-Pearsonova III
0.08	203.06	232.9	235	233.03	238.58
0.17	150.94	169.77	174.7	175.05	182.4
0.25	130.03	143.31	150.93	157.43	161.45
0.33	109.83	121.93	126.95	129.79	130.7
0.5	87.99	97.84	102.03	104.36	107.66
1	54.49	60.83	63.19	63.98	66.98
2	33.49	37.48	38.81	39.69	40.28
6	13.9	15.1	15.84	16.01	16.01
12	8.17	8.98	9.23	8.82	8.8
24	5.14	5.8	5.82	5.32	5.45



Slika 47: ITP krivulje za 100-letno povratno dobo in različne porazdelitve

Pri daljših trajanjih padavin so si rezultati intenzitet, dobljenih po različnih porazdelitvah, dokaj podobni. Največja razlika pri 24-urnem trajanju znaša 0.68 mm/h, med Gumbelovo in normalno porazdelitvijo. S krajšanjem trajanja padavin pa se razlike povečujejo (slika 47). Največja razlika pri 5-minutnem trajanju znaša 35.52 mm/h, med logaritemsko Pearsonovo III in normalno porazdelitvijo. Največje vrednosti intenzitet smo pri 100-letni povratni dobi in trajanjih do 6 uri dobili po Log-Pearsonovi III porazdelitvi, pri večjih trajanjih pa po Gumbelovi porazdelitvi. Najmanjše vrednosti intenzitet je tudi tukaj pričakovano dala normalna porazdelitev. Rezultati kažejo, da bi bilo verjetno smiselno za različna trajanja uporabljati različne porazdelitve.



## 9 IZRAČUN IN PRIMERJAVA ITP KRIVULJ Z ZAJEMOM RAZLIČNIH 30-LETNIH OBDOBIJ

### 9.1 Uvod

S štirimi različnimi 30-letnimi obdobji, ki vsebujejo podatke maksimalnih letnih intenzitet padavin, smo primerjali vpliv vzorca na rezultate ITP krivulj. Na ta način smo poskušali ugotoviti tudi vpliv podnebnih sprememb na ITP krivulje. Izbrana so bila naslednja 30-letna obdobja:

- 1951-1980,
- 1961-1990,
- 1971-2000,
- 1981-2010.

Pri verjetnostni analizi z maksimalnimi letnimi intenzitetami padavin smo uporabili Gumbelovo porazdelitev, ki se uporablja v Sloveniji (ARSO, 2009) in čas med posameznimi dogodki 4 ure.

### 9.2 Izračun maksimalnih intenzitet padavin za različna 30-letna obdobja

V preglednicah 35-38 so za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad prikazani rezultati maksimalnih intenzitet padavin za različna 30-letna obdobja, dobljeni po Gumbelovi porazdelitvi.

Preglednica 35: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1951-1980

Povratna doba	Trajanje [h]									
	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
1	51.02	30.37	29.81	24.25	17.30	6.57	2.70	2.78	2.27	1.28
1.01	60.44	38.35	35.49	29.43	21.57	9.98	5.05	3.66	2.74	1.57
1.05	70.43	46.81	41.51	34.92	26.10	13.60	7.55	4.59	3.23	1.89
1.11	76.57	52.01	45.21	38.30	28.88	15.82	9.08	5.16	3.54	2.08
1.25	84.89	59.05	50.23	42.87	32.65	18.83	11.16	5.94	3.95	2.35
1.43	91.62	64.76	54.29	46.58	35.70	21.27	12.85	6.57	4.28	2.56
1.67	97.97	70.14	58.12	50.07	38.58	23.57	14.43	7.16	4.60	2.76
2	104.47	75.64	62.04	53.64	41.52	25.92	16.06	7.77	4.92	2.97
2.5	111.57	81.65	66.32	57.54	44.74	28.49	17.83	8.43	5.27	3.19
3.33	119.91	88.72	71.35	62.13	48.52	31.51	19.92	9.21	5.68	3.45
5	130.79	97.93	77.91	68.12	53.45	35.45	22.64	10.22	6.22	3.80
10	148.26	112.72	88.44	77.72	61.37	41.77	27.01	11.85	7.09	4.35
20	164.98	126.89	98.53	86.92	68.95	47.83	31.19	13.41	7.92	4.88
100	202.87	158.97	121.38	107.75	86.12	61.54	40.66	16.95	9.79	6.08
200	219.03	172.66	131.12	116.64	93.44	67.39	44.70	18.46	10.60	6.59
1000	256.50	204.39	153.71	137.24	110.42	80.95	54.07	21.95	12.45	7.77

Preglednica 36: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1961-1990

Povratna doba	Trajanje [h]									
	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
1	59.99	42.87	36.08	30.95	20.21	11.02	5.26	3.22	2.28	1.54
1.01	67.58	48.77	41.04	35.43	24.50	14.11	7.53	4.09	2.75	1.83
1.05	75.62	55.02	46.29	40.19	29.05	17.38	9.93	5.00	3.24	2.13
1.11	80.56	58.86	49.53	43.12	31.85	19.39	11.41	5.56	3.55	2.32
1.25	87.26	64.06	53.90	47.08	35.64	22.11	13.41	6.32	3.96	2.57
1.43	92.68	68.28	57.45	50.29	38.71	24.31	15.03	6.94	4.30	2.78
1.67	97.79	72.25	60.79	53.32	41.61	26.39	16.55	7.52	4.61	2.97
2	103.02	76.32	64.21	56.41	44.57	28.52	18.12	8.12	4.93	3.17
2.5	108.74	80.76	67.95	59.79	47.81	30.84	19.82	8.77	5.29	3.38
3.33	115.46	85.99	72.34	63.77	51.61	33.57	21.83	9.53	5.70	3.64
5	124.22	92.80	78.07	68.96	56.57	37.14	24.45	10.53	6.24	3.97
10	138.28	103.73	87.26	77.28	64.53	42.85	28.65	12.13	7.11	4.50
20	151.74	114.19	96.07	85.25	72.16	48.33	32.67	13.66	7.94	5.01
100	182.25	137.91	116.01	103.30	89.43	60.73	41.79	17.13	9.82	6.16
200	195.25	148.02	124.51	111.00	96.80	66.02	45.68	18.61	10.62	6.65
1000	225.42	171.47	144.23	128.86	113.88	78.28	54.69	22.04	12.48	7.79

Preglednica 37: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1971-2000

Povratna doba	Trajanje [h]									
	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
1	41.88	33.47	30.48	26.51	18.06	9.91	4.61	3.25	2.57	1.92
1.01	51.21	40.30	36.02	31.47	22.60	13.08	6.90	4.10	3.03	2.18
1.05	61.10	47.53	41.90	36.74	27.42	16.44	9.34	5.00	3.51	2.45
1.11	67.19	51.98	45.51	39.97	30.38	18.51	10.83	5.55	3.81	2.62
1.25	75.43	58.01	50.40	44.36	34.39	21.30	12.86	6.30	4.21	2.85
1.43	82.11	62.89	54.37	47.91	37.64	23.57	14.50	6.91	4.54	3.03
1.67	88.40	67.49	58.10	51.26	40.70	25.71	16.05	7.48	4.85	3.20
2	94.84	72.19	61.92	54.68	43.84	27.89	17.64	8.07	5.16	3.38
2.5	101.87	77.34	66.10	58.42	47.26	30.28	19.36	8.71	5.51	3.57
3.33	110.14	83.38	71.01	62.82	51.28	33.09	21.40	9.46	5.91	3.80
5	120.92	91.27	77.41	68.56	56.53	36.75	24.05	10.44	6.44	4.10
10	138.23	103.92	87.69	77.77	64.95	42.62	28.31	12.01	7.29	4.57
20	154.80	116.04	97.52	86.58	73.02	48.25	32.38	13.52	8.10	5.03
100	192.34	143.49	119.81	106.56	91.29	61.00	41.62	16.94	9.94	6.06
200	208.35	155.19	129.32	115.07	99.08	66.43	45.56	18.39	10.72	6.50
1000	245.48	182.34	151.36	134.83	117.15	79.04	54.69	21.77	12.54	7.52

Preglednica 38: Maksimalne intenzitete (mm/h) po Gumbel-ovi porazdelitvi za obdobje 1981-2010

Povratna doba	Trajanje [h]									
	0.08	0.17	0.25	0.33	0.5	1	2	6	12	24
1	20.42	20.68	13.13	16.67	12.31	10.72	8.45	4.77	3.03	1.92
1.01	35.43	31.14	23.07	24.45	18.63	14.05	10.18	5.37	3.37	2.14
1.05	51.34	42.24	33.61	32.70	25.33	17.58	12.01	6.01	3.73	2.37
1.11	61.12	49.07	40.09	37.77	29.46	19.75	13.14	6.40	3.96	2.51
1.25	74.37	58.31	48.87	44.64	35.04	22.69	14.67	6.93	4.26	2.70
1.43	85.10	65.80	55.98	50.20	39.56	25.07	15.91	7.36	4.51	2.86
1.67	95.22	72.86	62.69	55.44	43.82	27.32	17.08	7.77	4.74	3.01

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 38

<b>2</b>	105.57	80.08	69.55	60.81	48.18	29.62	18.27	8.18	4.98	3.16
<b>2.5</b>	116.87	87.96	77.04	66.67	52.95	32.12	19.57	8.64	5.23	3.32
<b>3.33</b>	130.17	97.24	85.85	73.56	58.55	35.07	21.11	9.17	5.54	3.52
<b>5</b>	147.51	109.33	97.33	82.55	65.85	38.92	23.11	9.87	5.94	3.77
<b>10</b>	175.34	128.75	115.77	96.97	77.58	45.09	26.32	10.98	6.57	4.18
<b>20</b>	201.98	147.34	133.42	110.78	88.81	51.01	29.39	12.05	7.18	4.56
<b>100</b>	262.34	189.44	173.42	142.07	114.24	64.40	36.35	14.47	8.56	5.44
<b>200</b>	288.08	207.40	190.47	155.41	125.09	70.11	39.32	15.50	9.15	5.82
<b>1000</b>	347.78	249.05	230.03	186.35	150.24	83.36	46.21	17.90	10.52	6.69

Iz preglednic 35-38 je razvidno, da intenzitete padavin naraščajo z daljšanjem trajanja padavin in večanjem povratne dobe. Največje razlike vrednosti med trajanji podajo krajša trajanja padavin. Pri večjih trajanjih je razlika med vrednostmi manjša. Vrednosti rezultatov za obdobje 1981-2010 (preglednica 38) nekoliko odstopajo od ostalih treh obdobj (preglednice 35-38).

### 9.3 Analiza in primerjava rezultatov

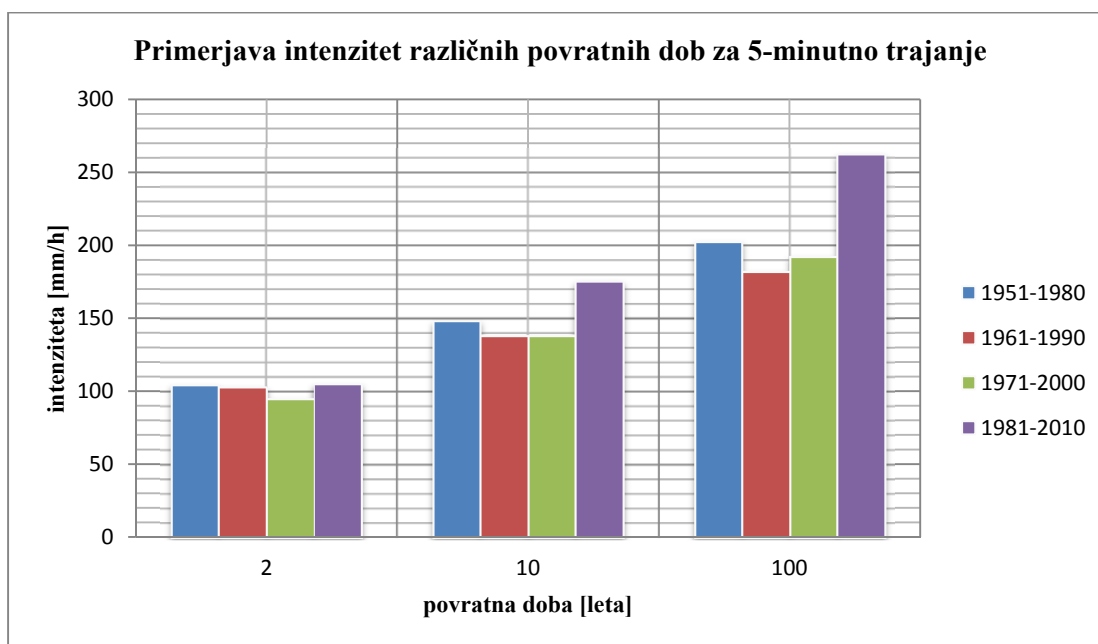
Iz rezultatov preglednic 35-38 je razvidno, da se dobljene intenzitete najbolj razlikujejo pri 5 in 10-minutnih trajanjih, zato smo te vrednosti natančneje analizirali. V preglednici 39 so zbrana 5 in 10-minutna trajanja maksimalnih intenzitet Gumbelove porazdelitve za vsa štiri omenjena obdobja.

Preglednica 39: Maksimalne intenzitete padavin (mm/h) po Gumbelovi porazdelitvi za različna 30-letna obdobja za trajanji 5 in 10 minut

Obdobje	1951 - 1980	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010	1951 - 1980	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010
	Trajanje [h]							
Povratna doba	0.08				0.17			
<b>1</b>	51	60	41.9	20.4	30.4	42.9	33.5	20.7
<b>1.01</b>	60.4	67.6	51.2	35.4	38.4	48.8	40.3	31.1
<b>1.05</b>	70.4	75.6	61.1	51.3	46.8	55	47.5	42.2
<b>1.11</b>	76.6	80.6	67.2	61.1	52	58.9	52	49.1
<b>1.25</b>	84.9	87.3	75.4	74.4	59.1	64.1	58	58.3
<b>1.43</b>	91.6	92.7	82.1	85.1	64.8	68.3	62.9	65.8
<b>1.67</b>	98	97.8	88.4	95.2	70.1	72.3	67.5	72.9
<b>2</b>	104.5	103	94.8	105.6	75.6	76.3	72.2	80.1
<b>2.5</b>	111.6	108.7	101.9	116.9	81.6	80.8	77.3	88
<b>3.33</b>	119.9	115.5	110.1	130.2	88.7	86	83.4	97.2
<b>5</b>	130.8	124.2	120.9	147.5	97.9	92.8	91.3	109.3
<b>10</b>	148.3	138.3	138.2	175.3	112.7	103.7	103.9	128.7
<b>20</b>	165	151.7	154.8	202	126.9	114.2	116	147.3
<b>100</b>	202.9	182.2	192.3	262.3	159	137.9	143.5	189.4
<b>200</b>	219	195.3	208.3	288.1	172.7	148	155.2	207.4
<b>1000</b>	256.5	225.4	245.5	347.8	204.4	171.5	182.3	249

Če pogledamo najprej rezultate 5-minutnega trajanja, ugotovimo (preglednica 39), da najvišje intenzitete izkazuje zadnje obdobje 1981-2010 in sicer za vse povratne dobe, večje od dveh let. Za povratne dobe manjše od 2 leti pa se največje intenzitete pojavljajo v različnih 30-letnih obdobjih, vendar pa največkrat v obdobju 1961-1990. Pri povratni dobi enega leta je izračunana največja intenziteta 60.0 mm/h dosežena v obdobju 1961-1990, najmanjša intenziteta 20.4 mm/h pa v obdobju 1981-2010. Razlika je skoraj trikratna.

Zanimalo nas je tudi, kakšna je razlika med intenzitetami krajših in daljših povratnih dob. Zato smo v graf združili vrednosti intenzitet manjše (2 leti), srednje (10 let) in večje (100 let) povratne dobe za 5-minutno trajanje padavin (sliki 48).



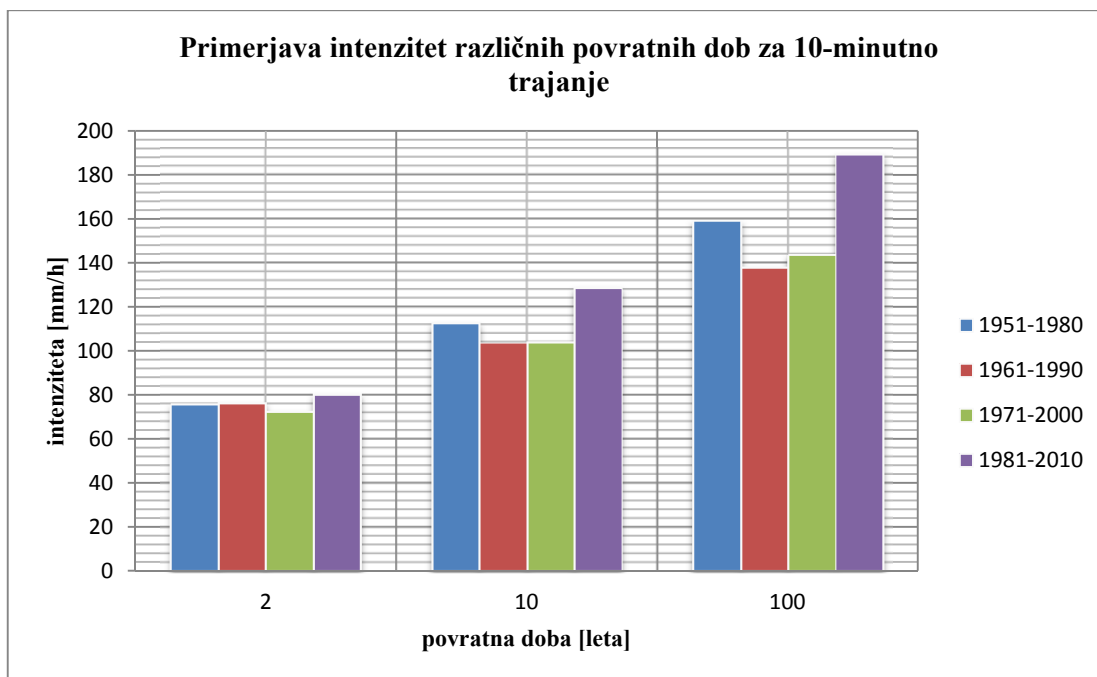
Slika 48: Primerjava maksimalnih letnih intenzitet (mm/h) različnih povratnih dob po Gumbelovi porazdelitvi za 5-minutno trajanje padavin

Maksimalna intenziteta padavin za 2-letno povratno dobo je 106.6 mm/h v obdobju 1981-2010, minimalna pa 94.8 mm/h v obdobju 1971-2000. Pri povratni dobi petih let je maksimalna intenziteta 147.5 mm/h v obdobju 1981-2010, minimalna intenziteta 120.9 mm/h dosežena v obdobju 1971-2000. Pri povratni dobi 100 let je bila maksimalna intenziteta padavin 262.3 mm/h, dosežena prav tako v zadnjem obdobju in minimalna 225.4 mm/h v obdobju 1961-1990. Za omenjene povratne dobe vedno dobimo maksimalno intenziteto v zadnjem obdobju (1981-2010). Za krajšo in srednje dolgo povratno dobo je minimalna intenziteta podana v obdobju 1971-2000, za daljše obdobje pa minimalno vrednost dobimo v obdobju 1961-1990. Iz grafa (slika 48) je razvidno, da so največje razlike med izbranimi intenzitetami pri 100-letni povratni dobi. Razlike med intenzitetami se večajo z daljšanjem povratne dobe.

Podoben trend izkazujejo tudi rezultati za 10-minutna trajanja (preglednica 39). Tudi tu dobimo najvišje intenzitete za zadnje obdobje 1981-2010 in sicer za vse povratne dobe, večje od dveh let. Za povratne dobe manjše od 2 leti pa lahko ugotovimo, da so vse največje intenzitete iz obdobja 1961-

1990. Pri povratni dobi enega leta je bila največja intenziteta 42.9 mm/h dosežena v obdobju 1961-1990, najmanjša 20.7 mm/h pa v obdobju 1981-2010.

Tudi za 10-minutno trajanje padavin smo naredili graf, kjer smo primerjali intenzitete različnih povratnih dob med seboj, ter intenzitete istih povratnih dob različnih obdobj (slika 49).



Slika 49: Primerjava maksimalnih letnih intenzitet (mm/h) različnih povratnih dob po Gumbelovi porazdelitvi za 10-minutno trajanje

Maksimalna intenziteta 2-letne povratne dobe je dosežena v obdobju 1981-2010 z 80.1 mm/h, minimalna pa v obdobju 1971-2000 z 72.2 mm/h. Pri povratni dobi 5 let je maksimalna intenziteta padavin 109.3 mm/h v zadnjem obdobju in minimalna intenziteta padavin 91.3 mm/h iz obdobja 1971-2000. Pri povratni dobi 100 let je bila maksimalna intenziteta padavin 189.4 mm/h dosežena prav tako v obdobju 1981-2010 in minimalna intenziteta 137.9 mm/h, dosežena v obdobju 1961-1990. Iz tega sledi, da so maksimalne vrednosti vedno dobljene v obdobju 1981-2010, minimalne pa v obdobju 1971-2000 za povratno dobo 2 leti, za povratni dobi 5 in 10 let pa v obdobju 1961-1990. Tudi tukaj (slika 49) lahko opazimo, da se razlike med intenzitetami istih povratnih dob povečujejo glede na daljšanje povratne dobe.

Rezultati kažejo, da so se maksimalne intenzitete padavin za vse povratne dobe, večje od 2-letni, v zadnjem 30-letnem obdobju povečale, kar zelo verjetno lahko pripišemo podnebnim spremembam. Za povratne dobe manjše od dveh let pa to ne velja. Torej lahko rečemo, da so se v zadnjem obdobju povečali predvsem ekstremni dogodki z veliko intenziteto padavin.

## 10 ZAKLJUČKI

Padavine so ena glavnih komponent hidrološkega kroga, njihova intenziteta se spreminja glede na prostor in čas. V današnjih časih ne smemo spregledati dejstva, da segrevanje planeta vpliva na intenziteto in pogostost padavin, ter vse več ekstremnih vremenskih dogodkov, ki nas spremljajo v zadnjem času. Ravno zaradi tega inženirji po celem svetu izdelujejo in posodabljujejo ITP krivulje, saj na ta način lahko bolje zavarujejo ljudi in njihova premoženja.

ITP krivulje prikazujejo razmerje med intenziteto in trajanjem z določeno povratno dobo. V praksi imajo ITP krivulje širok pomen in uporabo. Uporablja se jih za izdelavo sintetičnih histogramov padavin pri hidrološkem modeliranju in določanju visokovodnih valov z določeno povratno dobo, pri dimenzioniranju kanalizacijskih omrežij, za načrtovanje ali razvoj vodnih infrastruktur, določanje maksimalnega pretoka, itd.

ITP krivulje lahko izdelamo na podlagi statistične analize preteklih padavinskih dogodkov. Podatki so običajno omejeni oz. vmesno manjkajoči, vendar je pomembno, da zajamemo čim daljše obdobje, saj tako dobimo bolj točne in zanesljive rezultate. Sledi izbira podatkov, ki je mogoča na dva načina, in sicer po metodi letnega maksimuma ali metodi serije dogodkov nad izbrano mejno vrednostjo, imenovano tudi POT metoda.

Izračune ITP krivulj smo naredili za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad in sicer s pomočjo 5-minutnih padavinskih podatkov za obdobje 1950-2010. Izbiro podatkov smo naredili s programom RainPlot, ki na podlagi posameznih neviht določi vrednosti maksimalnih intenzitet. Uporabili smo metodo letnega maksimuma. Saj smo ugotovili, da je izbira metode letnih maksimumov primernejša, ker je izbira podatkov bolj sistematična. Tudi dobljene rezultate različnih avtorjev je na ta način lažje primerjati med seboj. Program RainPlot podpira veliko število teoretičnih in empiričnih porazdelitev za umestitev meritev v graf. Izdelan je bil namenoma za države Bližnjega vzhoda (Izrael, Jordanija, Palestina), njegov prvotni namen pa je bil zbiranje podatkov intenzitet padavin v regiji. Vendar, ker je program nekoliko starejši in omejen z določenim maksimalnim številom vhodnih podatkov, smo nadaljnje izračune in statistične analize morali narediti v programu Excel.

V nalogi smo najprej poskušali ugotoviti vpliv izbire časa med posameznimi dogodki na maksimalne intenzitete padavin različnih trajanj. Največje razlike smo dobili pri krajših časih med posameznimi dogodki in daljših trajanjih padavin. Največje razlike so bile pri 24-urnem trajanju. Statistična analiza za 6, 12 in 24-urna trajanja padavin je pokazala, da glede na daljšanje časa med posameznimi dogodki aritmetična sredina, mediana in vsota intenzitet naraščajo pri vseh treh omenjenih trajanjih. Standardna napaka se večja s krajšanjem trajanja padavin. Rezultate maksimalnih intenzitet padavin 24-urnega trajanja za vse štiri čase med posameznimi padavinskimi dogodki smo nato uporabili za izračun ITP krivulj z uporabo Gumbelove porazdelitve, ki je ena najpogosteje uporabljenih porazdelitev za računanje povratnih dob za ekstremne vrednosti padavin. Ugotovili smo, da intenziteta do povratne dobe 10 let z daljšanjem časa trajanja med posameznimi padavinskimi dogodki in z večanjem povratne dobe narašča.

Naslednji korak je bil izračun in primerjava ITP krivulj z uporabo različnih porazdelitev. Za vsako trajanje posebej smo dobili rezultate verjetnostnih analiz. Ujemanje podatkov s teoretičnimi porazdelitvami smo testirali s Hi-kvadrat in Kolmogorov-Smirnov testoma. Primerjave in testiranja ujemanj so pokazale, da za Ljubljano-Bežigrad največkrat najboljše rezultate da log-Pearsonova III porazdelitev, sledita pa log-normalna in Pearsonova III porazdelitev. Izbira porazdelitve je odvisna tudi od trajanja padavin.

Ko smo s štirimi različnimi 30-letnimi obdobji primerjali vpliv vzorca na rezultate ITP krivulj, smo ugotovili, da so v zadnjem obdobju (1981-2010) intenzitete padavin za povratne dobe, večje od dveh let, povečale, kar zelo verjetno lahko pripišemo podnebnim spremembam. Za povratne dobe manjše od dveh let pa to ne velja. Torej lahko rečemo, da so se v zadnjem obdobju povečali predvsem ekstremni dogodki z veliko intenziteto padavin.

## VIRI

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

[http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by\\_variable/precip-return-periods\\_2008.pdf](http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf) (Pridobljeno 20.7.2011.)

ARSO 2012. Pridobitev podatkov. Sporočilo za: Šraj, M. 2.2.2012. Osebna dokumentacija.

AlHassoun, S. A. 2011. Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region. Journal of King Saud University – Engineering Sciences 23, 2: 81-88.

Amin, M. Z. M., Shaaban, A. J. 2004. The Rainfall Intensity-Duration-Frequency (IDF) Relationship for Ungaged Sites in Peninsular Malaysia Using a Mathematical Formulation. V: Rivers'04. 1<sup>st</sup> International Conference on Managing Rivers in the 21<sup>st</sup> Century: Issues & Challenges: 251 – 258 str.

Beadles, S. J. P. 2003. Developing the perfect storm. Explore the fundamental principles used to define a design storm.

<http://www.ingeofor.it/pdf/art2.pdf> (Pridobljeno 14.8.2011.)

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

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

Brvar, B. 1997. Osnove statistike. Ljubljana, Visoka policijsko-varnostna šola: str. 78.

Cheng, K. S., Chiang, J. L., Hsu, C. W. 2007. Simulation of probability distributions commonly used in hydrological frequency analysis. Hydrological Processes 21, 51-60: 14.

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

DHV Consultatnst BV & Delft Hydraulics, 2002. How to analyse rainfall data.

<http://www.scribd.com/doc/51068058/12-How-to-analyse-rainfall-data> (Pridobljeno 12.6.2011.)

Dingman, S. L. 1994. Physical hydrology. New York [etc.], Macmillan Publishing Company: str. 148.

Dupont, B., Allen, D. 1999. Revision of the Rainfall Intensity Duration curves for the Commonwealth of Kentucky. V: Research report KTC-00-18. KYSPR 98-178: 47 str.



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 Vol.3: Summary of Master Theses from Arba Minch University, Ethiopia. Germany, Printing Office, Universität Siegen: str. 109-125.

Ghahraman, B., Hosseini, S. M. 2005. A new investigation on the performance of rainfall idf models. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering 29, B3: 333-342.

Goel, dr. N. K., Sarkar, S. 2007. Regional rainfall intensity – duration – frequency relationships. V: Design Flood Analysis for Hydropower Projects, August 20-25, 2007: str. 44 – 56.

Hydro Europe. 2012. Statistic Studies.

<http://www.scribd.com/doc/51881805/Rainfall-return-period> (Pridobljeno 4.2.2011.)

Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., Nielsen, A. H. 2010. Urban and highway stormwater pollution: concepts and engineering. Boca Raton, CRC Press: str. 27-30.

Ibrahim, A. B. 2005. Country report od Indonesia. Intensity duration frequency in Indonesia. V: Asian Pacific Friend: Intensity Frequency Duration and Flood Frequencies Determination Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia, June 6-7, 2005: str. 67 – 72.

IDF CURVE. Intensity Duration Frequency Curve – Explained. 2010.

[www.idfcurve.org](http://www.idfcurve.org) (Pridobljeno 14.6.2011.)

Jamnik, R. 1980. Matematična statistika. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 155-156.

Kim, T, Shin, J. Y., Kim, K., Heo, J. H. 2008. Improving Accuracy of IDF Curves Using Long- and Short-duration Separation and Multi-Objective Genetic Algorithm. V: World Environmental and Water Resources Congress 2008 Ahupua'a: 9 str.

Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., Manetas, A. 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensiti-duration-frequency relationships. Journal of Hydrology 206, 1-2: 118–135.

Llasat, M. C. 2001. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: Application to rainfall intensity in the northeast of Spain. Interanational journal of climatology 21: 1385 – 1400.

DOI: 10.1002/joc.692

Maidment, D. R. 1993. Handbook of hydrology. New York [etc.], McGraw Hill: str. 1424.

Mays, W. L. 2004. Urban stormwater management tools. New York [etc.], McGraw Hill: 357 str.

Mays, W. L. 2011. Water Resources Engineering. Hoboken, J. Wiley & Sons: str. 248.

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

<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/> (Pridobljeno 19.7.2011.)

Minh Nhat, L., Tachikawa, Y., Takara, K. 2006. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 49 B: 93-103.

Mohymont, B., Demaree, G. R., Faka, D. N. 2004. Establishment of IDF - curves for precipitation in the tropical area of Central Africa – comparison of techniques and results. Natural Hazards and Earth System Science 4: 375-387.

Morin, J. Arbel, S. Furshpan, A. Weinberger, G. Morin, E. Al-Nsour, I. Haj-Ali, Z. Sabbagh, N. Semawi, M. Sewafteh, K. Asad, Y.A. Eid, A.A. Hamdan, S. and Yasin, A. 2006. Application of Methods for Analysis of Rainfall Intensity in Areas of Israeli, Jordanian, and Palestinian Interest. V: A Report Compiled by the U.S. Geological Survey for the Executive Action Team, Middle East Water Data Bank Project: 31 str.

Nadbath, M. 2008. Meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad = Meteorological station Ljubljana Bežigrad.

<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/stations/ljubljana-bezigrad.pdf>

(Pridobljeno 5.3.2012.)

Okonkwo, G. I., Mbajiorgu, C. C. 2010. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Analyses for South Eastern Nigeria. Agricultural Engineering International: the CIGR Journal 12, 1: 22-30.

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, 9: 600-611.

Prodanovic, P., Simonovic, S. P. 2004. Generation of synthetic design storms for the Upper Thames River basin. V: CFCAS project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions. Project report 5, November 2004: 20 str.

Raiford, J. P., Aziz, N. M., Khad, A. A., Powell, D. N. 2007. Rainfall Depth-Duration-Frequency Relationship for South Carolina, North Carolina, and Georgia. American Journal of Environmental Sciences 3, 2: 78-84.

Rainfall Intensity Project Team, 2005. RAINPLOT. Middle East Rainfall Intensity. Middle East Peace Process, Multilateral Working Group on Water Resources.

[http://exact-me.org/ri/documentation/rainplot/rainplot\\_instructions.htm](http://exact-me.org/ri/documentation/rainplot/rainplot_instructions.htm) (Pridobljeno 28.2.2012.)

Rakhecha, P. R., Singh, V. P. 2009. Applied hydrometeorology. Capital Publishing Company, New Delhi, India: str. 272.

<http://www.scribd.com/doc/33298118/Applied-Hydro-Meteorology> (Pridobljeno 21.7.2011.)

Samawi, M., Sabbagh, N. 2006. Application of Methods for Analysis of Rainfall Intensity in Areas of Israeli, Jordanian, and Palestinian Interest.

[http://balwois.com/balwois/administration/full\\_paper/ffp-529.pdf](http://balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-529.pdf) (Pridobljeno 8.1.2012.)

Şenocak, S., Acar, R. 2007. Modelling of short duration rainfall (SDR) intensity equations for Erzurum. Journal of engineering sciences SAYFA: 75 – 80.

Smart, P. 2010. Understanding hydrology. A Comparison of Hydrologic Methods.

<http://www.hydrocad.net/understanding.htm> (Pridobljeno 13.6.2011.)

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

Thompson, D. B., D., Ph., E., P. 2007. The rational method.

<http://drdbthompson.net/writings/rational.pdf> (Pridobljeno 18.8.2011.)

Turk, G. 2009. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.

Veneziano, D., Villani, P. 1999. Best linear unbiased design hyetograph. Water resources research 35, 9: 2725-2738.

Viessman, W. Jr., Lewis, G. L. 2003. Introduction to hydrology. Fifth edition. Upper Saddle River: Prentice Hall: str. 53, 54.

Willems, P. 2000. Compound intensity/duration/frequency relationship of extreme precipitation for two seasons and two storm types. Journal of Hydrology 233: 189-205.

Žugaj, R. 2009. Hidrologija za agroekologe. Zagreb, Rudarsko-geološko-naftni fakultet: str. 93-96.

<http://rgn.hr/~rzugaj/hidrologija.pdf> (Pridobljeno 13.8.2011.)