

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Maja Meze

Analiza padavinskih razmer septembra 2007 v zahodni Sloveniji

Diplomska naloga št.: 109

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 2. 7. 2008

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

**Podpisana Maja Meze izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
» Analiza padavinskih razmer septembra 2007 v zahodni Sloveniji «**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, _____2008

IZJAVA O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali predavatelji Vodarstva in komunalnega inženirstva:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.12(043.2)
Avtor:	Maja Meze
Mentor:	prof. dr. Matjaž Mikoš
Somentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Naslov:	Analiza padavinskih razmer septembra 2007 v zahodni Sloveniji
Obseg in oprema:	89 str., 19 pregl., 31 graf., 25 sl., 12 en.
Ključne besede:	statistična hidrologija, ekstremne padavine, hudourniške poplave, statistične porazdelitve, momenti L

Izvleček

Namen diplomske naloge je podrobna analiza padavin, ki so padle 18. septembra 2007. V začetku so opisani postopki merjenja in napovedovanja padavin ter njihova porazdelitev in spremembe v količinah po Sloveniji. Sledi kratek opis poplav ter njihova pogostost na povodju Selške Sore. Podrobneje je opisana vremenska situacija, razvoj vremena, predhodno napovedane padavine ter prostorska in časovna porazdelitev padavin 18. septembra 2007. Predstavljene so tudi statistične porazdelitve in metode, s katerimi si pomagamo pri analizi ekstremnih padavin ter metoda momentov L. Računi temeljijo na podatkih o padavinah, ki so jih posredovali iz Agencije RS za okolje. Pri računanju je bil uporabljen program v okolju Microsoft Excela s podporo programskega jezika Visual Basic. Program podpira določene dvo- ali tri-parametrične porazdelitve ter metodo momentov L. V zadnjem delu diplomske naloge so tako predstavljeni rezultati ekstremnih padavin in njihove povratne dobe. Izračuni so narejeni za porazdelitve Pearson III, Log Pearson III ter Gumbelovo porazdelitev na podlagi navadnih momentov in momentov L. Gumbelova porazdelitev se je pokazala za najbolj ustrezno.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.12(043.2)
Author: Maja Meze
Supervisor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Co-supervisor: prof. dr. Mitja Brilly
Title: Analysis of extreme precipitation conditions in
September 2007 in Western Slovenia
Notes: 89 p., 19 tab., 31 grap., 25 fig., 12 eq.
Key words: statistical hydrology, extreme precipitation, flash floods,
statistical distributions, L-moments

Abstract

The purpose of this graduation thesis is detailed analysis of rainfall on September 18, 2007. First part of the report includes description of measurement methods, prediction and distribution of the rainfall, and quantity differences around Slovenia. Moreover, short description of floods and floods frequency in basin of Selška Sore. Afterwards, there is temporal-spatial distribution, weather development, preliminary rainfall prediction and distribution of the rainfall defined. Thesis includes also an introduction of statistical distribution and methods, which can be used for extreme rainfall and L-moments analysis. Calculations are based upon rainfall data, which was presented from Environmental Agency of the Republic of Slovenia. For calculation it was used Microsoft Excel program with macro support of Visual Basic program language. Program supports selected two- or three-parametric distribution and L-moments method. In the final part of the paper, there are results of extreme and return period of the rainfall presented. Calculations was made for Pearson III, Log Pearson III and Gumbel distribution that are based on ordinary moments and L-moments. The final conclusion is, that the most suitable results are given by Gumbel distribution.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju prof. dr. Mitji Brillyu. Posebna zahvala gre tudi Krištofu Kučiču za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalila bi se še moji mami, ki mi je skozi vsa leta stala ob strani in mi omogočila študij ter Žigu in vsem ostalim prijateljem za vso podporo.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 PADAVINE	2
2.1 Merjenje padavin	2
2.2 Napovedovanje padavin	5
2.3 Padavinske razmere v Sloveniji	6
2.3.1 Prostorska porazdelitev padavin	6
2.3.2 Časovna porazdelitev padavin	7
2.3.3 Spremembe količine padavin	7
2.4 Ekstremne padavine	9
3 POPLAVE	11
3.1 Značilnosti poplav	11
3.2 Pogostost poplav	11
3.3 Poplave 18.09.2007	13
3.3.1 Predhodno napovedane padavine	13
3.3.2 Vremenska situacija	14
3.3.3 Razvoj vremena	15
3.3.4 Krajevna in časovna porazdelitev padavin	18
4 STATISTIČNA ANALIZA PADAVIN	25
4.1 Analiza dogodka	25
4.2 Metode ocenjevanja parametrov	26
4.2.1 Metoda momentov	26
4.2.2 Metoda največjega verjetja	26
4.2.3 Metoda momentov L	26
4.3 Momenti porazdelitev	27
4.4 Izbira ustrezne porazdelitve	39

4.5 Teoretične porazdelitve	30
4.5.1 Eksponentna porazdelitev	30
4.5.2 Normalna ali Gaussova porazdelitev	30
4.5.3 Logaritemsko normalna porazdelitev	32
4.5.4 Generalizirana logistična porazdelitev	33
4.5.5 Porazdelitev ekstremnih vrednosti	34
4.5.6 Porazdelitev Pearson III	36
4.5.7 Logaritemska Pearson III porazdelitev	49
5 METODA MOMENTOV L	41
5.1 Momenti L verjetnostnih porazdelitev	41
5.2 Momenti L in urejenostna statistika	43
5.3 Vzorčni momenti L	46
5.4 Uporaba metode momentov L	47
6 RAČUNSKI PRIMER	49
6.1 Priprava podatkov	49
6.2 Primerjava maksimalnih padavin na osnovi 1 ure i na osnovi 5 min	57
6.3 Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin	62
6.4 Prikaz praktičnega izračuna	64
6.5 Račun s programom	67
6.5.1 Vhodni podatki	67
6.5.2 Račun in rezultati po porazdelitvi Pearson III z metodo WRC, Pearson III z metodo momentov L in Log Pearson III po metodi WRC	68
6.5.3 Račun in rezultati po navadni porazdelitvi Gumbel ter Gumbel z momentami L	72
6.6 Časovna analiza padavin 18.9.2007	81
7 ZAKLJUČEK	83

VIRI

84

PRILOGA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Maksimalne dnevne padavine v posameznem letu	49
Preglednica 2: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana	52
Preglednica 3: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Kneške Ravne	53
Preglednica 4: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Davča	54
Preglednica 5: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Davča	54
Preglednica 6: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Kneške Ravne	55
Preglednica 7: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana	56
Preglednica 8: Izračun delnih vsot	64
Preglednica 9: Rezultati porazdelitve Log Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	68
Preglednica 10: Rezultati porazdelitve Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	69
Preglednica 11: Rezultati porazdelitve Pearson III z metodo momentov L za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	70
Preglednica 12: Količina padavin za povratne dobe 20, 100 in 500 let po navadni Gumbelovi metodi za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let	72

Preglednica 13: Povratne dobe padavin 18. septembra 2007 po navadni Gumbelovi metodi za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let	73
Preglednica 14: Dnevne padavine 18.9.2007 in povratna doba po metodi navadnega Gumbela	79
Preglednica 15: Rezultati padavin 18.9.2007 in njihove povratne dobe za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let	80
Preglednica 16: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi 5 minutnih intenzitet na padavinski postaji Davča	81
Preglednica 17: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi polne ure na padavinski postaji Davča	81
Preglednica 18: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi 5 minutnih intenzitet na padavinski postaji Kneške Ravne	82
Preglednica 19: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi polne ure na padavinski postaji Kneške Ravne	82

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Škofja Loka za obdobje 1961-2007	19
Grafikon 2: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Zgornja Sorica za obdobje 1961-2007	19
Grafikon 3: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Železniki za obdobje 1961-2007	20
Grafikon 4: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Dražgoše za obdobje 1961-2007	20
Grafikon 5: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Letališče J.P. Ljubljana za obdobje 1963-2007	20
Grafikon 6: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Davča za obdobje 1963-2007	21
Grafikon 7: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Kneške Ravne za obdobje 1963-2007	21
Grafikon 8: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Davča za leta 1999, 2004 in 2007	58
Grafikon 9: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Kneške Ravne za leta 1975, 2000 in 2007	59
Grafikon 10: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana za leta 1970, 1980 in 2004	60
Grafikon 11: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 30 let	60
Grafikon 12: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Davča za niz podatkov 9 let	61
Grafikon 13: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana za niz podatkov 25 let	61
Grafikon 14: Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana za obdobje od 1970 do 2004	62

Grafikon 15: Primerjava maksimalnih dnevni in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Kneške Ravne za obdobje od 1975 do 2007	62
Grafikon 16: Primerjava maksimalnih dnevni in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Davča za obdobje od 1999 do 2007	63
Grafikon 17: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Log Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	69
Grafikon 18: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	70
Grafikon 19: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Pearson III z metodo momentov L za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	71
Grafikon 20: Grafični prikaz primerjave metod za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let	71
Grafikon 21: Grafični prikaz količine padavin, ki je padla 18. septembra 2007 in povratne dobe po navadni metodi Gumbela za Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let	73
Grafikon 22: Grafični prikaz izračunanih dnevni padavin na podlagi niza podatkov 45 let in 24-urnih padavin na podlagi niza podatkov 9 let za povratno dobo 20, 100, 500 in 800 let za padavinsko postajo Davča	74
Grafikon 23: Grafični prikaz izračunanih dnevni padavin na podlagi niza podatkov 45 let, 24-urnih ter 24-urnih korigiranih padavin na podlagi niza podatkov 9 let za povratno dobo 20, 100, 500 in 800 let za padavinsko postajo Davča	75
Grafikon 24: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Letališče J.P. Ljubljana na podlagi niza podatkov 45 let	76
Grafikon 25: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Kneške Ravnena podlagi niza podatkov 45 let	76

Grafikon 26: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Škofja Loka na podlagi niza podatkov 47 let	77
Grafikon 27: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Zgornja Sorica na podlagi niza podatkov 47 let	77
Grafikon 28: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Železniki na podlagi niza podatkov 47 let	78
Grafikon 29: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Davča na podlagi niza podatkov 45 let	78
Grafikon 30: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9.2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Dražgoše na podlagi niza podatkov 47 let	79
Grafikon 31: Grafični prikaz rezultatov padavin 18.9.2007 za padavinsko postajo Kneške Ravnena na podlagi niza podatkov 30 let	80

KAZALO SLIK

Slika 1: Ombrograf (dežemer)	3
Slika 2: Totalizator	3
Slika 3: Omrežje SIRAD	3
Slika 4: Območje pri simulaciji ALADIN/SI s prikazanim reliefom	4
Slika 5: Povprečna letna višina padavin v obdobju 1971-2000	7
Slika 6: Statistično značilni trendi v letni količini padavin za obdobje 1971-2005	8
Slika 7: Statistično značilni trendi v količini padavin po letnih časih za obdobje 1971-2005	9
Slika 8: Napovedane 24-urne padavine z modelom ALADIN/SI iz zagonov 17.9.2007 in 18.9.2007 ob 0:00 po UTC	14
Slika 9: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 6:00	15
Slika 10: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 9:30	16
Slika 11: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 12:10	16
Slika 12: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 14:00	17
Slika 13: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 16:00	17
Slika 14: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 19:50	18
Slika 15: Dnevna količina padavin od 8. ure 18. septembra 2007 do 8. ure 19. septembra 2007	22
Slika 16: Močna bočna erozija Zadnje Sore je močno preoblikovala strugo in odnesla nekaj metrov ceste	23
Slika 17: Obsežne poplave Selške Sore pri Praprotnem med Železniki in Škofjo Loko 18. septembra popoldne	23
Slika 18: Potok Pruharca je s plavjem zasul Zali Log. Stanje dan po katastrofalni ujmi	23
Slika 19: Podivjana Sora v Škofji Loki	24
Slika 20: Poplavljen dvorana Poden v Škofji Loki	24
Slika 21: Ujma 18. september v Železnikih	24
Slika 22: Sredina porazdelitve	44
Slika 23: Razpršenost porazdelitve	44

Slika 24: Simetrija porazdelitve 44

Slika 25: Sploščenost oziroma koničastost porazdelitve 45

1 UVOD

Osnovna dejavnost uporabne meteorologije je napovedovanje vremena, ki temelji na numeričnih izračunih, teoretične osnove napovedovanja pa so rezultat mnogih let usmerjenega raziskovanja na tem področju. Največji problem pri napovedovanju vremena predstavljajo neurja. Opozorilo pred pojavom močnih neviht je lahko izdano 24 ur vnaprej, vendar niti uro vnaprej ni moč z gotovostjo napovedati območja, ki ga bo ujma prizadela.

V Sloveniji močni nalivi najpogosteje nastanejo kot splet različnih vremenskih dogajanj. Največkrat nastanejo ob močnem in trajnejšem dviganju vlažnega in razmeroma toplega zraka. Posebno močne padavine pa se pojavijo, kjer se dvigovanju zraka v ciklonalnem območju pridruži še dvigovanje zraka zaradi vpliva gorskih pregrad. Na ta način dobimo v Sloveniji najbolj izdatne padavine jeseni, kot so se zgodile septembra 2007.

Glavni vzroki nastanka močnih neviht 18. 09. 2007 so bili:

- razgibanost terena,
- stalen dotok vlažnega zraka od jugozahoda,
- močna nestabilnost ozračja in
- striženje vetra v plasti od tal do 6 km višine.

Ker je takšnih neviht vse več, je ena pomembnih nalog meteorološke in hidrološke stroke iskanje čim boljše metode za napovedovanje ekstremnih dogodkov.

Ena novejših metod za izračun povratnih dob in padavin je metoda momentov L, ki jo bom podrobneje predstavila v svoji diplomski nalogi.

2 PADAVINE

2.1 Merjenje padavin

Meteorološke meritve in opazovanja so osnova za razumevanje, spremljanje in predvidevanje razvoja vremena. Izvajajo se na meteoroloških postajah po enotnih mednarodnih predpisih. Mreža meteoroloških postaj se je glede na potrebe širila do sredine 80-ih let 20. stoletja, kasneje pa je število postaj začelo upadati. Veliko postaj je do danes prenehalo delovati, nastale pa so nove.

Glede na vrsto spremenljivk, ki jih na posameznih postajah merijo oziroma opazujejo, in na način meritev, delimo meteorološke postaje na klimatološke, padavinske in avtomatske. Medtem ko nekateri neprekinjeni nizi podatkov s padavinskih in klimatoloških postaj segajo v drugo polovico 19. stoletja, se avtomatske postaje uveljavljajo šele v zadnjih 20-ih letih.

Padavine lahko merimo z ombrometri (dežemeri), ombrografi in totalizatorji ter v zadnjem času tudi s pomočjo meteoroloških radarjev. Višino padavin v krajših časovnih obdobjih merimo z ombrometrom (dežemerom). Dnevna višina padavin se izmeri vsak dan ob 7. uri. To pomeni, da vsak dan izmerimo padavine, ki so padle prejšnji dan, podatek pa se pripiše dnevu meritve.

Ombrograf je ombrometer, ki je opremljen z mehanizmom za registriranje padavin. Omogoča nam neprekinjene meritve in nam točno prikaže, kdaj v dnevu je deževalo in kako močno. Na manj dostopnih območjih merimo skupno letno višino padavin s totalizatorji. Poleg klasičnih meritev dobivamo podatke o višini padavin tudi s pomočjo avtomatskih meritev, ki zagotavljajo podatke v krajših časovnih razdobjih (ARSO, 2005a).



Slika 1: Ombrograf (dežemer),
(ARSO, 2005a).



Slika 2: Totalizator (ARSO, 2005a).

Agencija RS za okolje ima v upravljanju in vzdrževanju tudi slovensko vremensko radarsko omrežje SIRAD, ki je sestavljeno iz radarske merilne postaje na Lisci pri Sevnici in iz radarskega omrežnega centra na ARSO v Ljubljani. Radarska postaja meri padavine vsakih 10 minut do razdalje 200 km in višine 15 km. Podatki se sproti prenašajo v omrežni center, ki iz njih izdeluje namenske numerične in grafične produkte (ARSO, 2005b).

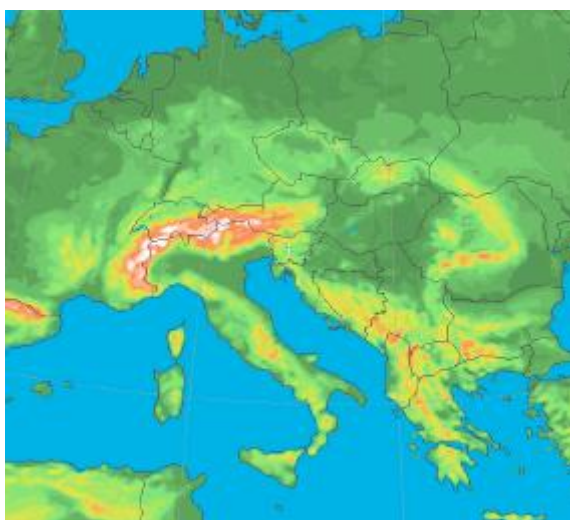


Slika 3: Omrežje SIRAD (ARSO, 2005b).

Radarske slike so nam v veliko pomoč pri natančni prostorski porazdelitvi padavin. Na podlagi radarskih meritev lahko lokalno določimo prostorsko povezanost padavin, nato pa s pomočjo ombrometrskih meritev za vsako točko v prostoru določimo absolutno vrednost padavin. Meritve so zelo pomembne pri konvektivnih procesih kot so neurja ter nevihte, ker so omejena na zelo ozka območja in jih z navadnimi meritvami včasih sploh ne zaznamo.

Od leta 1997 uporabljajo na Agenciji RS za okolje model ALADIN, ki je meteorološki spektralni številčni model za simulacijo dogajanj v ozračju nad omejenim območjem. Uporabljajo ga v konfiguraciji z imenom ALADIN/SI za analizo in napovedovanje vremena nad srednjo Evropo, Alpami in osrednjim severnim Sredozemljem. Za model je značilno, da ima 258 x 244 x 37 modelskih točk in 37 računskih nivojev v vertikalni smeri. Njegova horizontalna ločljivost je 9,5 km ter časovni korak 400 sekund. Glavni produkti modela pa so (ARSO, 2005c):

- vizualizirana polja izbranih meteoroloških spremenljivk,
- napoved padavin za izbrane kraje in povodja,
- meteogrami za določene kraje,
- prognostični vertikalni profili za določene kraje,
- vertikalni krajevni preseki v različnih smereh preko Alp,
- napoved vetra pri tleh v večji ločljivosti (2,5 km) – ALADIN/DADA,
- simulirana satelitska slika.



Slika 4: Območje pri simulaciji ALADIN/SI s prikazanim reliefom (ARSO, 2005c).

2.2 Napovedovanje padavin

Napovedovanje vremena je osnovna dejavnost uporabne meteorologije, ki dandanes temelji na numeričnih izračunih, teoretične osnove napovedovanja pa so rezultat mnogih let usmerjenega raziskovanja na tem področju. Za analizo vremena uporabljamo skoraj izključno objektivne metode. Podatke izmerjene na klasičen način, podatke daljinskega zaznavanja (radar, sateliti, GPS...) in ostale podatke pa obdelamo z računalniškimi modeli, tako da dobimo globalno tridimenzionalno sliko o stanju ozračja.

Glede na čas vremenske napovedi lahko značilnosti prognostičnega procesa razdelimo na (ARSO, 2005d):

- kratkoročno napoved 0 – 72 h
 - nowcasting 0 – 2 h
 - zelo kratkoročna napoved 2 – 12 h
- srednjeročno napoved 72 – 240 h
- dolgoročno napoved > 240 h
 - mesečna, sezonska napoved.

Nastanek in razvoj nekaterih vremenskih pojavov, ki lahko povzročijo ujmo, meteorologi spremljajo že od zametka, torej od njihove prve napovedi. Tako so za zelo kratkoročne napovedi in opozorila pomembne tudi srednjeročne napovedi.

Slovenija je za napovedovanje vremena in izjemnih pojavov zaradi svoje lege zelo zahtevno območje. Zelo pomembno je, da meteorološka služba napovedane dogodke pravilno vstavi v prostor in čim bolj natančno določi verjetnost njihovega nastanka. Zato potrebujemo dobro mrežo avtomatskih merilnikov ter z radarsko sliko pokrito Slovenijo.

Največji problem za napovedovanje predstavljajo neurja. Močni nevihtni oblaki se lahko razvijejo že v dobri uri in opustošijo posamezna območja. Opozorilo pred pojavom močnih neviht je sicer lahko izdano 24 ur vnaprej, vendar niti uro vnaprej ni moč z gotovostjo napovedati območja, ki ga bo takšna ujma prizadela (ARSO, 2006a).

Vremenski pojavi so v zadnjih letih vse bolj intenzivni. Zato je zelo pomembno, da se meteorološka služba nenehno posodablja. Pomembno pa je tudi dobro obveščanje o bližnjih vremenskih ujmah. Nesreč in škode sicer ne bomo preprečili, lahko pa se bomo na predvidene dogodke pripravili in na ta način omilili škodo.

2.3 Padavinske razmere v Sloveniji

Porazdelitev padavin v Sloveniji kaže veliko prostorsko in časovno raznolikost, ki je posledica vpliva geografske lege Slovenije, razgibanosti njenega površja in značilnosti posameznih vremenskih tipov.

2.3.1 Prostorska porazdelitev padavin

Največ padavin v Sloveniji pade, ko z jugozahodnimi vetrovi priteka nad naše kraje topel in vlažen zrak iz Sredozemlja in se nato vzpenja preko gorskih pregrad. Prvo pregrado predstavljata Trnovski gozd in Snežnik, naslednjo pa Julijske in Savinjske Alpe. Tako imajo Trnovski gozd, Snežnik in Savinjske Alpe nad 2500 mm, Julijci pa nad 3500 mm padavin letno. Večina površin osrednjega in zahodnega dela Slovenije dobi od 1250 do 1750 mm padavin letno, Kočevsko pa tudi nad 1750 mm. Bolj ko gremo proti vzhodu in severovzhodu pa se količina padavin zmanjšuje. Tako dosežejo Bela krajina, Dolenjska in Štajerska le od 1000 mm do 1250 mm padavin letno, v Prekmurju pa letna količina padavin ne preseže več 900 mm.

V najbolj namočenih predelih Slovenije pade v povprečju štirikrat več padavin kot v najbolj sušnih. Zahodni Julijci, kjer povprečna letna višina padavin krepko presega 3000 mm, sodijo po količini padavin med najbolj namočena območja v Evropi (ARSO, 2005a).



Slika 5: Povprečna letna višina padavin v obdobju 1971-2000 (ARSO, 2007a).

2.3.2 Časovna porazdelitev padavin

Slovenija tudi glede časovne razporeditve padavin ni enotna. Čeprav nimamo izrazito suhega in izrazito mokrega obdobja, so kljub temu opazne razlike v količini padavin med letnimi časi in meseci.

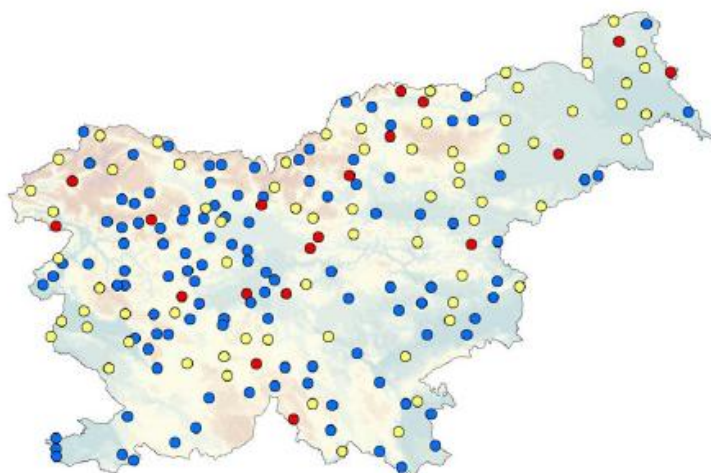
Kraji v zahodnem delu Slovenije imajo dva značilna padavinska viška, konec pomladi in jeseni. Po namočenosti posebej izstopa november, najmanj padavin pa v povprečju pade februarja. Kraji v severozahodnem delu Slovenije so že pod vplivom celinskega podnebja in jim največ padavin prinesejo poletne plohe in nevihte. Čeprav je v splošnem največji primanjkljaj padavin poleti, pa poletne padavine velikokrat predstavljajo naravno ujmo. Najbolj suhi meseci pa so zimski meseci.

2.3.3 Spremembe količine padavin

Čeprav se ob globalnih spremembah predvidevajo tudi spremembe v količini padavin, te na letni ravni niso zelo očitne. Na številnih merilnih mestih v Sloveniji je sicer opaziti statistično

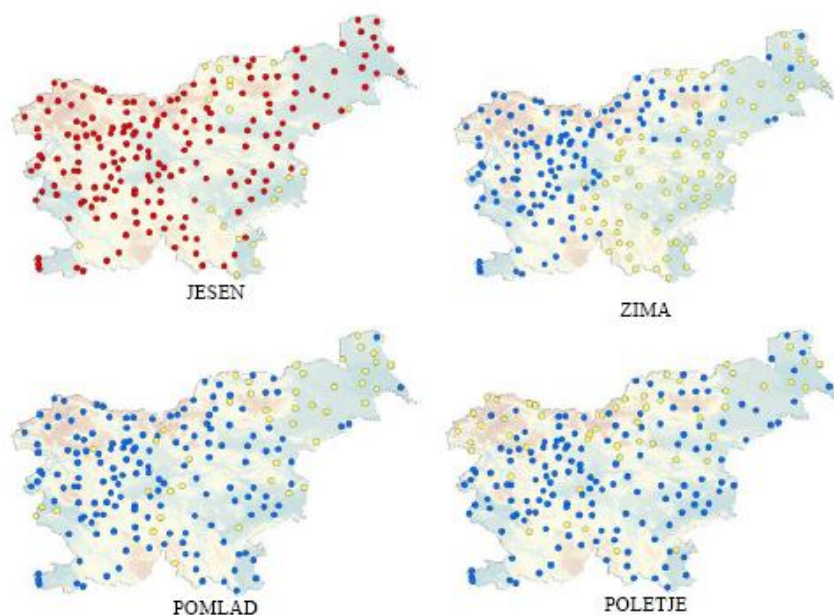
značilno zmanjšanje letne količine, vendar pa je veliko tudi merilnih mest, kjer sprememb v letni količini ni ali se je celo povečala (ARSO, 2007a).

Na spodnji sliki so prikazani statistično značilni trendi v letni količini padavin na merilnih postajah, ki so delale neprekinjeno v obdobju 1971-2005. Rdeč znak pomeni statistično značilno naraščanje letne količine padavin, moder pa statistično značilno upadanje ter rumeni znak pomeni, da trend ni statistično značilen.



Slika 6: Statistično značilni trendi v letni količini padavin za obdobje 1971-2005 (ARSO, 2006b).

Precej bolj enotna slika se pokaže, če gledamo, kako se količina padavin spreminja znotraj posameznih sezon. Jeseni se njihova količina povečuje skoraj po vsej državi razen na manjših območjih v Beli krajini, v okolici Brežic in na Koroškem, kjer ni statistično značilnih sprememb. Pozimi je značilen enoten prostorski vzorec. Količina padavin se zmanjšuje v vsej zahodni Sloveniji ter na Koroškem in Pohorju, medtem ko v vzhodni polovici sprememb v zimski količini padavin ni. Spomladi je opaziti dokaj enotno upadanje padavin po vsej državi razen v vzhodni Štajerski, Prekmurju in na Goričkem. Poleti pa je padavin manj povsod razen v višjih legah Alp, kjer ni opaziti sprememb (ARSO, 2007a).



Slika 7: Statistično značilni trendi v količini padavin po letnih časih za obdobje 1971-2005 (ARSO, 2006b).

Spremembe letne količine padavin, ki jih napovedujejo globalne spremembe, v Sloveniji še niso očitne. Lahko pa opazimo, da se spreminja padavinski režim. Jesenski višek je vse bolj izrazit, v preostalih mesecih pa se količina padavin zmanjšuje.

2.4 Ekstremne padavine

Na ozemlju Slovenije se stikajo in součinkujejo sredozemsko, alpsko oziroma predalpsko in celinsko podnebje, kar je vzrok za raznolik padavinski režim in temu primerne padavinske maksimume. Ločimo nalive, ki trajajo od nekaj minut do nekaj ur, obilne dnevne ter večdnevne padavine.

Močni nalivi v Sloveniji nastanejo najpogosteje kot splet različnih vremenskih dogajanj. Največkrat nastanejo ob močnem in trajnejšem dviganju vlažnega in razmeroma toplega zraka. Posebno močne padavine pa se pojavijo, kjer se dviganju zraka v ciklonalnem območju pridruži še dviganje zraka zaradi vpliva gorskih ovir. Na ta način dobimo v Sloveniji najbolj izdatne padavine jeseni ob kombinaciji ciklonalnih in orografskih padavin z nevihtami.

Vseh ekstremnih padavinskih dogodkov z gostoto padavinske merilne mreže ne moremo zaznati. Najtežje je zaznati kratkotrajne intenzivne padavine, ki imajo lahko zelo lokalni značaj. Trajanje kratkih nalivov in ploh je omejeno na nekaj minut do ure, njihova jakost pa je v povprečju skoraj enaka po celi Sloveniji. Močni kratkotrajni nalivi povzročajo hudourniške poplave in prožijo zemeljske plazove. Dolgotrajne padavine, ki trajajo od 12 do 24 ur, pa kažejo večje razlike med posameznimi območji. Pričakovana maksimalna jakost padavin za 24-urni interval je v Julijcih na Voglu trikrat večja kot v severovzhodni Sloveniji.

Pogostost neviht v Sloveniji je med najvišjimi v Evropi. Pas največje nevihtne pogostosti poteka čez osrednjo Slovenijo nad vzhodno Avstrijo. Najvišje povprečje števila nevihtnih dni ima Slovenj Gradec, in sicer 49 dni letno. Povprečje v Sloveniji pa je 38 nevihtnih dni letno.

3 POPLAVE

3.1 Značilnosti poplav

Poplave so naraven pojav, ki s pomočjo geoloških procesov preoblikujejo zemeljsko površje. Poplavna območja so sestavni del vodotokov, ki predstavljajo pomemben vodni ekosistem in vplivajo na vodni režim, predvsem pri zmanjševanju konic poplavnih valov in bogatenju podtalnice.

Poplave se med seboj zelo razlikujejo. Odvisne so lahko od množine padavin ter od številnih drugih geografskih dejavnikov. Ločimo več vrst poplav, in sicer hudourniške poplave, nižinske poplave, poplave na kraških poljih, morske poplave ter mestne poplave.

V naših krajih poplave največkrat nastopijo zaradi intenzivnih padavin. Ker se v večini nahajamo v povirju vodotokov, so najpogostejše kratkotrajne večurne hudourniške poplave, z izjemo območja Drave in Mure, kjer lahko poplave trajajo tudi več dni. Pri hudourniških poplavah je značilno, da vode hitro narastejo ter prenašajo veliko količino plavja, ki ga odlagajo na vršajih ali na ravnini. So kratke in lahko po nekaj urah upadejo. Pojavljajo se ob mnogih manjših hudournikih v gorskem svetu, hribovjih in gričevjih ter ob nekaterih večjih rekah, kot so Savinja, Mislinja, Kamniška Bistrica ter Sora.

3.2 Pogostost poplav

Vse pogostejše poplave s katastrofalnimi posledicami se pripisujejo spreminjanju globalnih klimatskih razmer in vplivu človekovega posega v prostor ter s tem v odtočni režim. Vendar pa prvi primer prevladuje, kajti poplave v večini povzročijo predvsem obilne padavine. Posegi človeka v prostor lahko poplave dodatno okrepijo, vendar pa jih ne povzročijo. Pomemben vzrok povečanja posledic poplav je naraščanje prebivalstva v Sloveniji. Veliko ljudi se je po drugi svetovni vojni naselilo na ravninskih poplavnih območjih ali ob strugah hudourniških voda v višje ležečih dolinah. K temu pa je pripomogla tudi gradnja industrijskih in infrastrukturnih objektov ter širitev kmetijske proizvodnje.

Kot primer pogostih poplav, lahko omenimo povodje Selške Sore ter pretežno njenih hudourniških pritokov. Selška Sora na Gorenjskem močno izstopa po izjemno visokih vodah oziroma hudourniških poplavah. V zadnjih 17 letih je imela visoke vode že štirikrat, in sicer v letih 1990, 1995, 1998 in 2007. Najhujše hudourniške poplave so bile leta 2007, njihove posledice pa so primerljive le s posledicam poplav v letu 1990 v Savinjski dolini in delih povodja Kamniške Bistrice.

Visoke vode so se leta 1990 pojavile 1. novembra, ko so obilne in dolgotrajne padavine zajele velik del Slovenije ter prizadele mnoga povodja. Na sledečih avtomatskih padavinskih postajah so bile 2. novembra izmerjene naslednje vrednosti: Zgornja Sorica 100,3 mm; Železniki 101,2 mm; Dražgoše 91,8 mm ter Davča 90,2 mm. Najbolj prizadete so bile Kamniška Bistrica, Savinja, Sava Bohinjka, Idrijca, Tržiška Bistrica ter Selška Sora. Selška Sora in Davščica sta presegle visoke vode z dvajset oziroma petdeset letno povratno dobo (Q_{20} oziroma Q_{50}), na nekaterih odsekih hudourniških pritokov pa so dosegale Q_{100} . Najbolj prizadet je bil južni del povodja, torej desni pritoki Davščice, Prednje in Zadnje Smoleve, Kršivnika in Luša, nekoliko manj pa levi pritoki Dašnice, Selnice, in Češnjice. Selška Sora je poplavela del Železnikov (Klabus, 2007).

V letu 1995 so padavine zajele zahodne dele povodja Selške Sore kar dvakrat v desetih dneh. Prvič 8. in 9. septembra, ko so visoke vode najbolj prizadele povodja Zadnje Sore, Davščice, Sorškega potoka in Nidrarske grape. Dnevne količine padavin, ki so bile izmerjene 9. septembra na avtomatski padavinski postaji Davča, so presegle 75 mm, na padavinski postaji Zgornja Sorica pa so namerili 124,4 mm. Visoke vode so bile ocenjene med Q_{20} in Q_{50} , na nekaterih odsekih pa so presegle Q_{50} . Železniki so bili poplavljeni, močno poškodovana je bila cesta Železniki-Petrovo Brdo, poplavljeni so bili tudi zaselki v Podroštu ter na daljših odsekih so bile zasute struge. Najbolj prizadeta pa je bila Davščica. Lokalni močni nalivi so 19. septembra zajeli še povodji Prednje in Zadnje Smoleve. Na padavinski postaji Železniki so bile izmerjene dnevne padavine 106,5, visoke vode pa so presegle Q_{50} .

Visoke vode so se leta 1998 prav tako pojavile dvakrat. Prve obilne padavine so trajale od 5. do 8. oktobra. Zajele so celo Gorenjsko, najhujše posledice visokih voda pa so bile v zahodnem delu povodja Selške Sore. Povodja so v nekaj dneh prejela izjemno količino

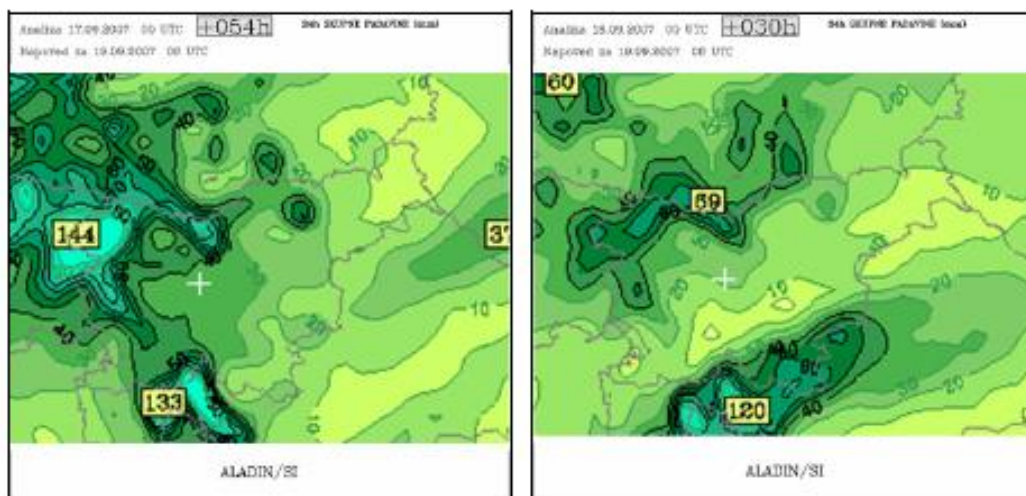
padavin, na račun katerih so bili odtoki ocenjeni na več kot Q_{50} . Najhuje prizadeta so bila povodja Zadnje Sore, Sorškega potoka, Davščice, Prednje in Zadnje Smoleve, Plenshaka, Dašnice, Češnjice, Kršivnika, Bukovščice ter Luše. Čez mesec dni pa so obilne padavine ponovno zajele zahodni del povodja Selške Sore. Močno deževje 4. in 5. novembra je povečalo posledice, ki so nastale pred mesecem dni, povzročilo pa je tudi nove. Največ posledic je bilo predvsem na povodju Davščice in Zadnje Sore. Dnevne padavine, ki so bile izmerjene na padavinskih postajah, so bile: Zgornja Sorica 124,5 mm; Železniki 91,8 mm; Dražgoše 93,2 mm; Kneške Ravne 163,6 mm ter Davča 98,3 mm. Visoke vode na zahodnem delu Selške Sore so bile ocenjene na Q_{10} do Q_{20} .

Visoke vode v letu 2007 so podrobneje opisane v naslednjem poglavju.

3.3 Poplave 18. 09. 2007

3.3.1 Predhodno napovedane padavine

Na Agenciji RS za okolje uporabljajo za napovedovanje vremena model ALADIN/SI. Omogoča zaznavanja in napovedovanje vremenskih pojavov ustrezno majhnih razsežnosti. Na spodnjih slikah sta prikazani napovedi 24-urnih vsot padavin (od 18. 9. 2007 ob 6:00 do 19. 9. 2007 ob 6:00 po UTC). Vsote padavin so napovedane z zagonom modela 17. 9. 2007 ob 0:00 po UTC in 18. 9. 2007 ob 0:00 po UTC za 54 in 30 ur vnaprej.



Slika 8: Napovedane 24-urne padavine z modelom ALADIN/SI iz zagonov 17. 9. 2007 in 18. 9. 2007 ob 0:00 po UTC (ARSO, 2007).

Na sliki lahko vidimo, da je model ALADIN/SI dobro določil območje močnejših padavin, vendar pa je podcenil njihovo intenziteto. Če primerjamo padavine, ki so bile izmerjene tisti dan na avtomatskih postajah, je razvidno, da je model ALADIN/SI podal boljše napoved za 54 ur vnaprej kot za 30 ur vnaprej. Kljub temu pa so bila odstopanja še vedno velika.

3.3.2 Vremenska situacija

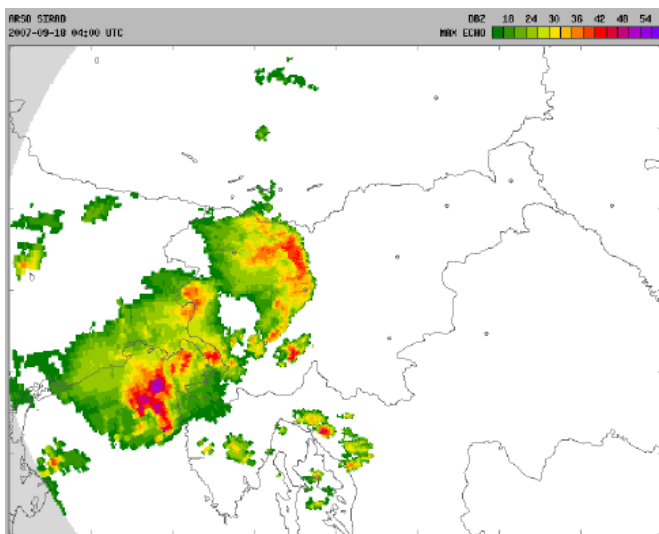
Nad severno Evropo je bilo območje nizkega zračnega pritiska. Hladna fronta se je preko zahodne in srednje Evrope od severozahoda bližala Alpam. Sočasno pa se je preko zahodne Evrope od zahoda proti vzhodu pomikala višinska dolina s hladnim zrakom. Nad nami se je krepil jugozahodni veter. Bistveni vzroki za obilne padavine so bili (ARSO, 2007b):

- razgibanost terena,
- stalen dotok vlažnega zraka od jugozahoda,
- močna nestabilnost ozračja in
- striženje vetra v plasti od tal do 6 km višine.

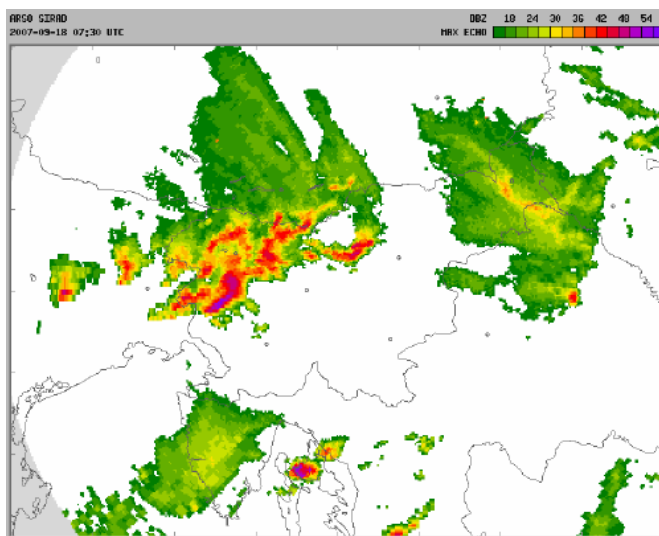
Takšni pogoji so tako 18. septembra 2007 privedli do nastanka močnih neviht. Do izjemnih padavin je prišlo predvsem v goratih predelih Slovenije, ob prehodu hladne fronte pa je močno deževalo tudi v notranjosti države. Najbolj izrazito je bilo v severni polovici Slovenije.

3.3.3 Razvoj vremena

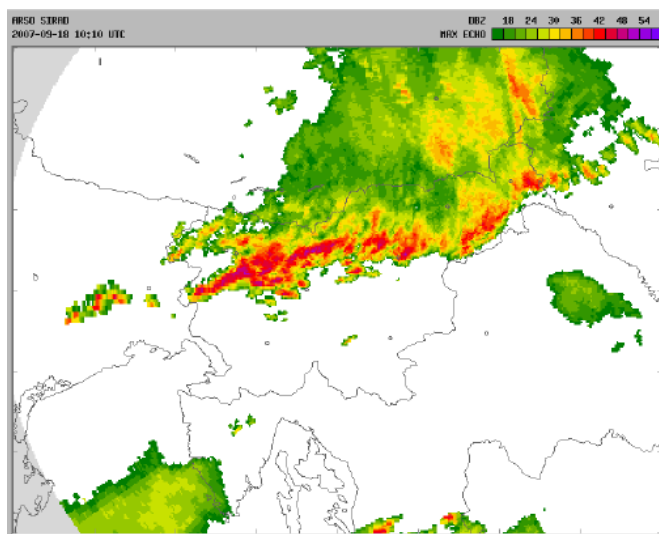
Prvo padavinsko območje se je preko zahodne Slovenije proti vzhodu pomikalo že zjutraj med 5. in 7. uro. Sledil je krajši premor in kmalu po 8. uri so se v hribovitem delu zahodne Slovenije spet pojavljale nevihte. Močni nalivi so omenjen del Slovenije zajeli že okoli 9. ure in 30 minut, vendar se je ta nevihtna cona še pomikala proti vzhodu. Nato se je vzpostavila nevihtna linija iz Posočja preko Idrijsko-Cerkljanskega in Škofjeloškega hribovja do Celjske kotline in je tam obstala skoraj dve uri (ARSO, 2007).



Slika 9: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 6:00 (ARSO, 2007b).

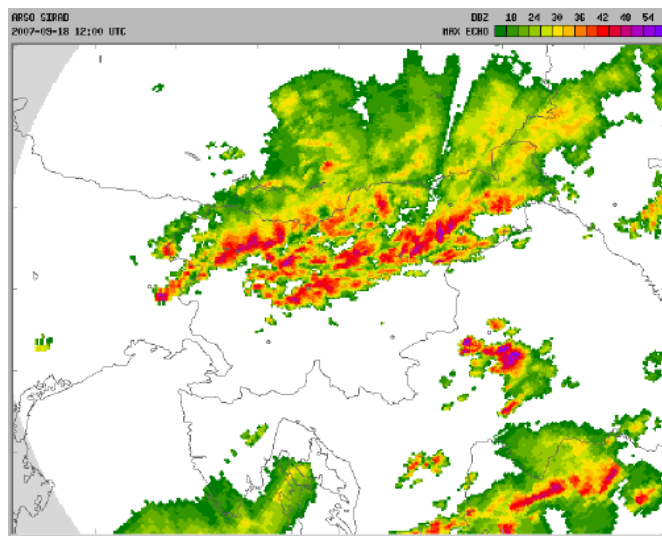


Slika 10: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 9:30 (ARSO, 2007c).

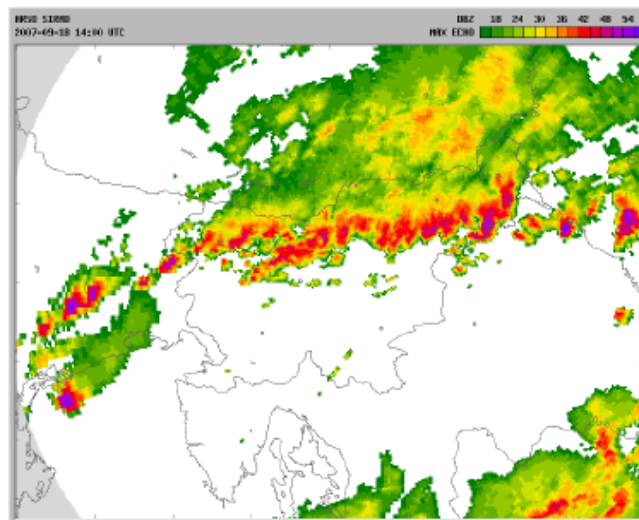


Slika 11: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 12:10 (ARSO, 2007c).

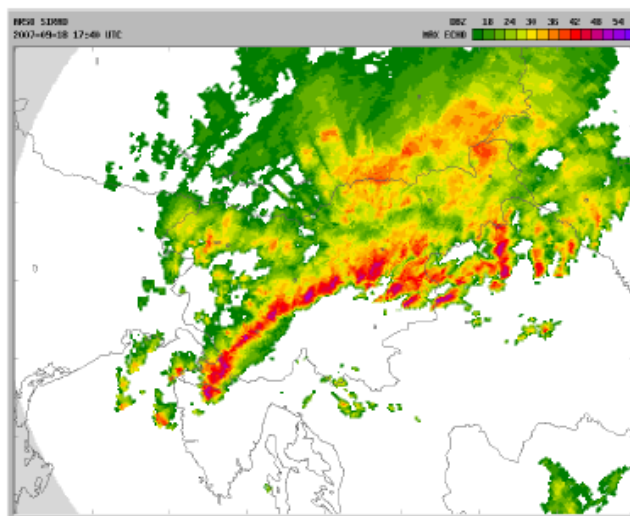
Popoldan so v severni polovici Slovenije nastajale številne plohe z močnimi nalivi. Časovna porazdelitev padavin se je od kraja do kraja lahko zelo močno razlikovala, medtem ko v skupni količini padavin večjih razlik ni bilo. Tako je na primer v Kneških Ravnah in na Voglu, ki sta le 6 km narazen, padla enaka količina padavin, časovni potek pa je bil precej različen (ARSO, 2007).



Slika 12: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 14:00 (ARSO, 2007c).



Slika 13: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 16:00 (ARSO, 2007c).



Slika 14: Radarska slika padavin 18. septembra 2007 ob 19:50 (ARSO, 2007c).

Zvečer je v nižjih plasteh ozračja zapihal zmeren do močan severozahodni veter, nevihte so se pojavljale ob samem prehodu hladne fronte in se s padavinami širile proti južni Sloveniji.

Okoli 19. ure je nastala izrazita nevihtna linija, ki je segala od slovenske Istre do zgornjega Posotelja. V skrajni zahodni Sloveniji so padavine ponehale okoli 21. ure, takrat so bile nevihte z močnimi nalivi predvsem v južni in vzhodni Sloveniji. Na najbolj prizadetem območju (Bohinj, Selška dolina, Cerkljansko) je prenehalo deževati okoli 22. ure. V severovzhodni Sloveniji je dež ponehal med 23:30 in 0:40. Najdlje je deževalo v jugovzhodni Sloveniji, tam je dež ponehal okoli 2:30 ure (ARSO, 2007c).

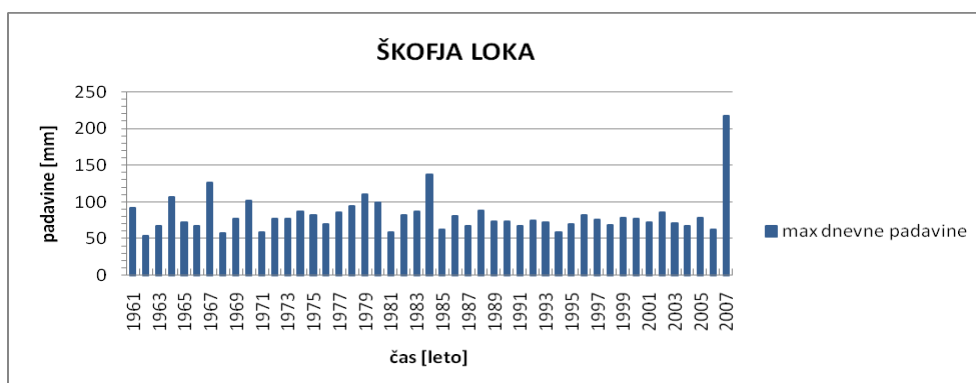
3.3.4 Krajevna in časovna porazdelitev padavin

Padavine, ki so padle 18. septembra 2007, so se od kraja do kraja zelo razlikovale. Nevihte so bile lokalno zelo omejene, tako da so posledično nastale velike razlike v količini padavin že na majhnih razdaljah, in sicer tudi na območju, kjer je padlo največ padavin.

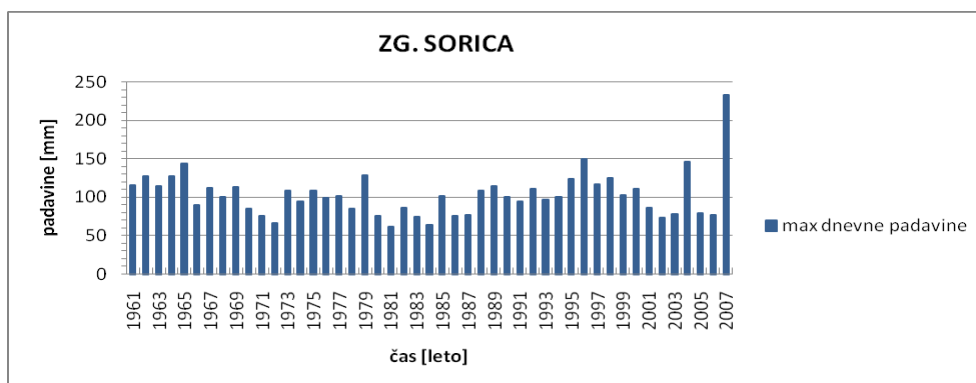
Po podatkih količine padavin, ki so bile izmerjene na avtomatskih padavinskih postajah, je največ padavin padlo v severozahodni Sloveniji (širše območje Bohinja, na Cerkljanskem, Škofjeloškem hribovju ter ponekod v Ljubljanski kotlini), kjer so padavine presegle 200 mm. Dnevne padavine, ki so bile izmerjene 19. septembra na nekaterih padavinskih postajah in so

presegle 200 mm, so bile v Zgornji Sorici 232,5 mm, Škofji Loki 218,0 mm, Kneških Ravnah 304,1 mm, Davči 227,9 mm in na Letališču J. P. Ljubljana 227,1 mm. Nekoliko manj padavin, nad 100 mm, je padlo v severnem delu Ljubljanske kotline ter na posameznih območjih Štajerske (v okolici Celja in posameznih delih Savinjske doline). Najmanj padavin pa je padlo na južnem delu Slovenije, manj kot 40 mm, z izjemo območja Gorjancev in območja med Kočevjem, Podplanino in Bosljiivo Loko.

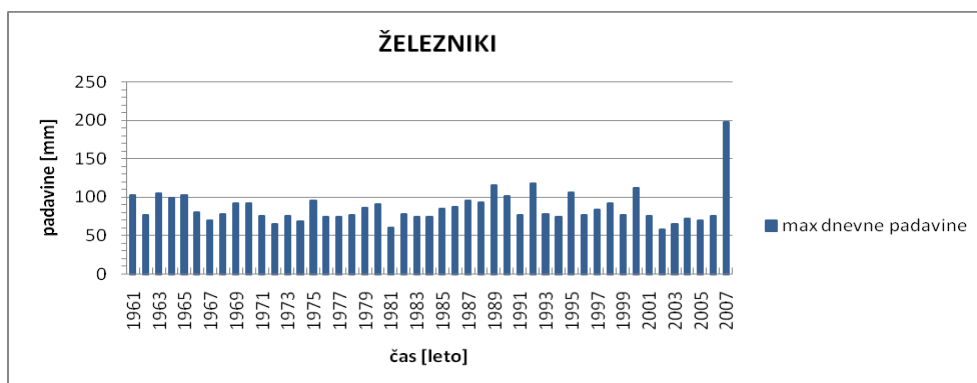
Na spodnjih grafih so prikazane maksimalne dnevne padavine v posameznem letu, ki so bile izmerjene na določenih avtomatskih padavinskih postajah. Razvidno je, da leto 2007 močno izstopa.



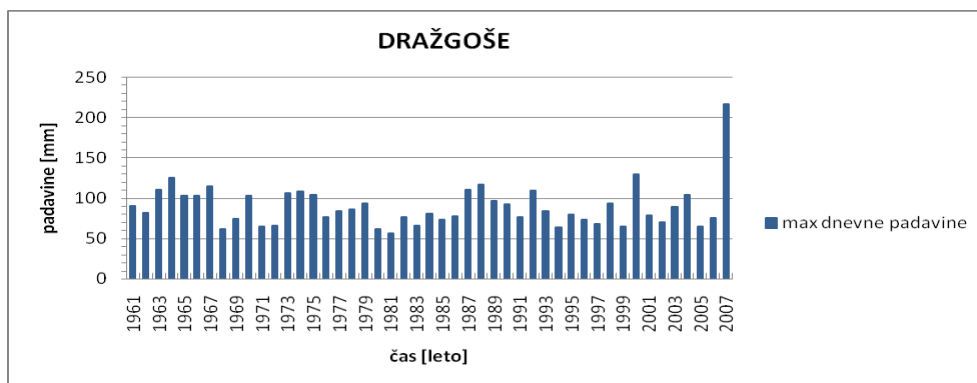
Grafikon 1: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Škofja Loka za obdobje 1961-2007.



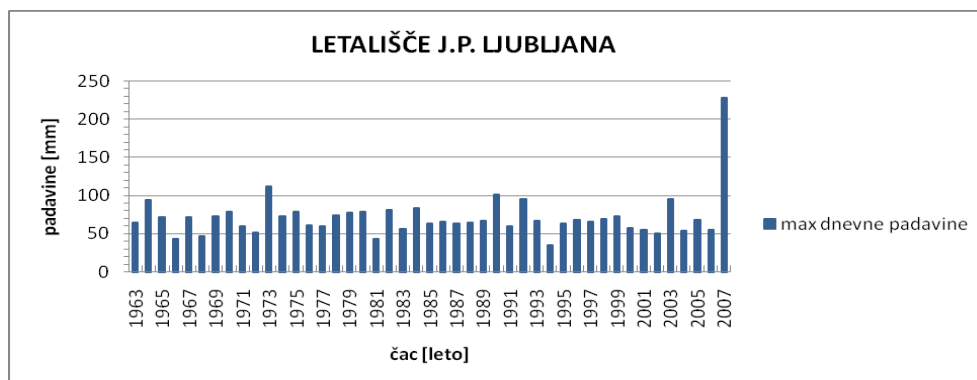
Grafikon 2: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Zgornja Sorica za obdobje 1961-2007.



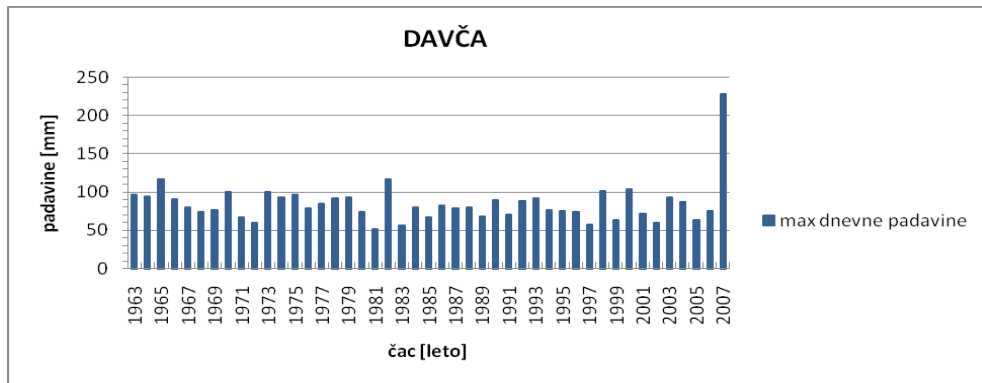
Grafikon 3: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Železniki za obdobje 1961-2007.



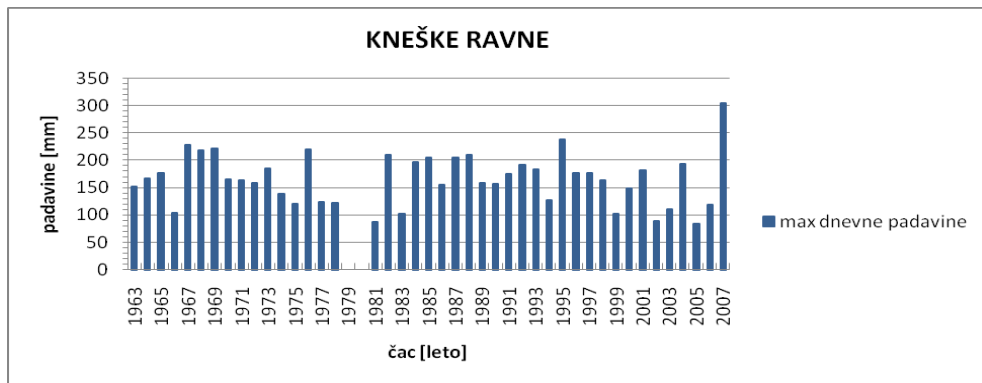
Grafikon 4: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Dražgoše za obdobje 1961-2007.



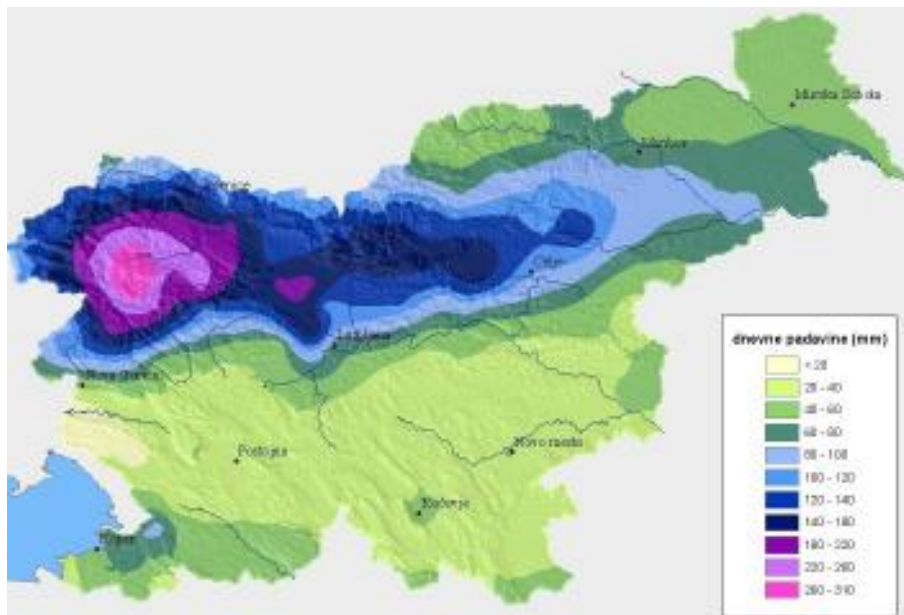
Grafikon 5: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Letališče J. P. Ljubljana za obdobje 1963-2007.



Grafikon 6: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Davča za obdobje 1963-2007.



Grafikon 7: Maksimalne dnevne padavine izmerjene na padavinski postaji Kneške Ravne za obdobje 1963-2007.



Slika 15: Dnevna količina padavin od 8. ure 18. septembra 2007 do 8. ure 19. septembra 2007 (ARSO, 2007b).

Časovna porazdelitev padavin se je med posameznimi kraji v Sloveniji zelo razlikovala. Razlike so opazne tudi med kraji, ki imajo majhno medsebojno oddaljenost. Glavnina padavin na celotnem območju je padla v intervalu od 6 do 12 ur in v teh intervalih so bile dosežene tudi najvišje povratne dobe.

Zaradi izjemno velike količine padavin v kratkem času so nastopile katastrofalne hudourniške poplave, ki so naredile veliko gmotno škodo predvsem na območju med Kranjem in Tolminom. Obsežne poplave so bile tudi v severnem delu Ljubljanske kotline in v porečju Savinje (ARSO, 2007b).



Slika 16: Močna bočna erozija Zadnje Sore je močno preoblikovala strugo in odnesla nekaj metrov ceste (ARSO, 2007b).



Slika 17: Obsežne poplave Selške Sore pri Praprotnem med Železniki in Škofjo Loko 18. septembra popoldne (ARSO, 2007b).



Slika 18: Potok Pruharca je s plavjem zasul Zali Log. Stanje dan po katastrofalni ujmi (ARSO, 2007b).



Slika 19: Podivjana Sora v Škofji Loki
(http://blog.ice_heki.com/index.php/poplava-fotke).



Slika 20: Poplavljeni dvorana Poden v Škofji Loki
(http://blog.ice_heki.com/index.php/poplava-fotke).



Slika 21: Ujma 18. september v Železnikih
(http://pudl.photovillage.org/gallery/2414/Poplava_Železniki_18_09_2007).

4 STATISTIČNA ANALIZA PADAVIN

4.1 Analiza dogodka

Ekstremen vremenski dogodek lahko definiramo kot vsak dogodek, ko neka meteorološka spremenljivka doseže minimalno ali maksimalno vrednost. Tako lahko med ekstremne dogodke štejemo dneve, ko so bili doseženi letni, mesečni ali dnevni ekstremi padavin. Najbolj pomembni so dogodki, ki povzročijo škodo. Pri tem pa ni nujno, da katera od spremenljivk dosežene ekstremno vrednost. Velik pomen ima tudi čas, v katerem se dogodek zgodi. Kako vpliva ekstremen vremenski dogodek na okolje, je torej odvisno od številnih dejavnikov, kot so prilagojenost okolja, od časa, ko se dogodek zgodi, od vremena v predhodnem času itd..

Ekstremni dogodki, kot so ekstremni nalivi, se pojavljajo občasno. Statistično lahko predvidimo, kako pogosto se v povprečju ekstremni dogodek zgodi, z izračunom povratnih dob. Ta izračun temelji na statistični analizi niza izmerjenih maksimalnih padavin. Smiselno je, da so nizi vhodnih podatkov daljši od 10 let.

Povratna doba nekega dogodka je povprečni interval časa, znotraj katerega je vrednost dogodka dosežena ali presežena enkrat. Tako se na primer za povratno dobo 10 let ustrezna višina padavin pojavi v povprečju enkrat vsakih 10 let oziroma pričakujemo, da se bo dogodek pojavil 10 krat v 100 letih ali v povprečju vsakih 10 let.

V statistiki poznamo več metod za oceno ekstremnih vrednosti količin. Te nam na osnovi krajšega niza podatkov omogočajo oceno ekstremov v daljšem časovnem obdobju. Vse gradijo na predpostavki, da se klimatske razmere glede na obravnavano obdobje ne bodo spremenile, in upoštevajo statistike večletnega niza meteoroloških merjenj (aritmetično sredino, oceno variance, letne ekstreme itd.) (ARSO, 2003a).

4.2 Metode ocenjevanja parametrov

Vsaki porazdelitvi pripadajo določeni parametri, ki jih običajno ne poznamo. Na osnovi statistik, ki jih iz vzorca izračunamo, lahko parametre ocenimo. Pogoste metode ocenjevanja parametrov oziroma metode ujemanja s porazdelitvijo so: metoda momentov, metoda največjega verjetja in metoda momentov L.

4.2.1 Metoda momentov

Pri metodi momentov ocene parametrov določimo iz ocen prvih nekaj momentov slučajne spremenljivke. Pri tem pa je pomembno, da določimo take ocene parametrov, da bodo momenti slučajne spremenljivke izbrane porazdelitve enaki iz vzorca izračunanim ocenam teh momentov (Turk, 2007). Metoda momentov je najbolj primerna za simetrične porazdelitve. Pri podatkih z veliko asimetričnostjo lahko ocena asimetrije vzorca postane nezanesljiva. Ker se pri padavinskih podatkih pogosto pojavi asimetričnost, je uporaba metode momentov L primernejša od običajne metode momentov.

4.2.2 Metoda največjega verjetja

Verjetnost, da se zgodi nek vzorec, je odvisna od porazdelitve slučajne spremenljivke in njenih parametrov. Pomembno pri metodi največjega verjetja je, da želimo določiti take ocene parametrov, da bo verjetnost, da se je zgodil vzorec, ki ga imamo na voljo, največja. Slaba stran metode je, da lahko metoda največjega verjetja zahteva reševanje kompleksnih enačb ali uporabo numeričnih optimizacij. Zato lahko rečemo, da je metoda momentov v primerjavi z metodo največjega verjetja enakovredna, če ne celo boljša za ocenjevanje majhnih do srednje velikih vzorcev.

4.2.3 Metoda momentov L

Metoda momentov L je podobna običajni metodi momentov. Temelji na uporabi momentov L in ne na običajnih momentih. Prvotno izhaja metoda iz verjetnostno obteženih momentov.

Postopek uporabe metode momentov L, ki sta jo predstavila Hosking in Wallis leta 1997, je opisan v nadaljevanju diplome.

4.3 Momenti porazdelitev

Slučajne spremenljivke lahko v celoti opisujemo z njihovimi porazdelitvenimi zakoni. Mnogokrat pa imamo na voljo premalo podatkov, da bi v celoti določili porazdelitveni zakon ali potrebujemo le določene lastnosti porazdelitvenega zakona. Te lastnosti imenujemo momenti porazdelitev.

Moment k-tega reda za diskretno in zvezno slučajno spremenljivko je definiran (Turk, 2007):

$$m_x^{(k)} = \sum_{i=1}^n x_i^k p_x(x_i),$$

$$m_x^{(k)} = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f_x(x) dx.$$

Zaradi lastnosti verjetnostne funkcije in gostote verjetnosti je moment ničtega reda vedno enak 1. Moment prvega reda predstavlja pričakovano vrednost ali matematično upanje ali srednjo vrednost slučajne spremenljivke in ga zapišemo:

$$m_x^{(1)} = m_x = E[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_x(x_i),$$

$$m_x^{(1)} = m_x = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f_x(x) dx.$$

Momenti višjega reda nimajo neposrednega pomena.

Ko poznamo pričakovano vrednost m_x slučajne spremenljivke X , lahko definiramo centralni moment k-tega reda za diskretno in zvezno slučajno spremenljivko (Turk, 2007):

$$\mu_x^{(k)} = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^k p_x(x_i),$$

$$\mu_x^{(k)} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^k f_x(x) dx.$$

Centralni moment ničtega reda je prav tako enak 1, centralni moment prvega reda pa je enak 0. Najpogosteje uporabljeni moment je centralni moment drugega reda, s katerim opišemo razpršenost oziroma variabilnost slučajne spremenljivke. Imenujemo ga varianca in je zapisan z naslednjo enačbo za diskretno in zvezno slučajno spremenljivko (Turk, 2007):

$$\mu_x^{(2)} = \text{var } X = D X = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_x(x_i),$$

$$\mu_x^{(2)} = \text{var } X = D X = \sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f_x(x) dx.$$

Geometrijski pomen imata tudi centralna momenta tretjega in četrtega reda. Centralni moment tretjega reda $\mu_x^{(3)}$ je mera za simetričnost, centralni moment četrtega reda $\mu_x^{(4)}$ pa je mera za sploščenost oziroma koničastost.

Z uporabo centralnih momentov lahko zapišemo še tri koeficiente:

- koeficient variacije, ki je relativna mera razpršenosti

$$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x},$$

- koeficient asimetrije

$$\gamma_{1x} = \frac{\mu_x^{(3)}}{\sigma_x^3},$$

- koeficient sploščenosti oziroma koničastosti (koeficient kurtosis)

$$\gamma_{2x} = \frac{\mu_x}{\sigma_x^4} .$$

Centralne momente lahko zapišemo tudi z navadnimi momenti po enačbi:

$$\mu_k = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} m_j m_1^{n-j} .$$

Prvi štirje centralni momenti so tako definirani:

$$\mu_1 = 0 ,$$

$$\mu_2 = -m_1^2 + m_2 ,$$

$$\mu_3 = 2m_1^3 - 3m_1 m_2 + m_3 ,$$

$$\mu_4 = -3m_1^4 + 6m_1^2 m_2 - 4m_1 m_3 + m_4 .$$

4.4 Izbira ustrezne porazdelitve

Pri izbiri ustrezne porazdelitve je najbolj primerno, če izberemo tisto porazdelitev, ki ima najmanjše število parametrov in nam poda zadovoljive rezultate. Pri analizi padavin so najpogosteje uporabljene dvo- ali tri-parametrične porazdelitve, redkeje pa so uporabljene štiri- ali pet-parametrične.

Pri izbiri moramo upoštevati tudi ujemanje porazdelitve s pomočjo deležev momentov L. Parametri porazdelitve morajo biti določeni tako, da so momenti L porazdelitve enaki momentom L vzorčnih podatkov. Za analizo samostojnega merilnega mesta so deleži momentov L določeni neposredno iz podatkov o letnih maksimumih.

Za večino porazdelitev lahko dobimo formulo, ki povezuje parametre porazdelitev z deleži momentov L. Zamenjava vzorčnih momentov L v tej zvezi nam da oceno parametrov porazdelitve.

4.5 Teoretične porazdelitve

Verjetnostni račun obsega veliko število verjetnostnih porazdelitev. Sledi opis nekaterih porazdelitvenih funkcij, ki omogočajo ocenjevanje parametrov z metodo momentov L.

4.5.1 Eksponentna porazdelitev

Porazdelitvena funkcija eksponentne porazdelitve s parametroma μ in σ je definirana:

$$F_x(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right) .$$

Tako je inverzna porazdelitvena funkcija zapisana:

$$x(F) = \mu - \sigma \ln(1 - p) ,$$

funkcija gostote verjetnosti porazdelitve pa:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right) .$$

Parametra porazdelitve μ in σ , ki ju zapišemo z momenti L, sta tako definirana (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$\begin{aligned} \sigma &= 2\lambda_2 , \\ \mu &= \lambda_1 - \sigma . \end{aligned}$$

4.5.2 Normalna ali Gaussova porazdelitev

Normalna porazdelitev je porazdelitev, ki jo dobimo, če seštejemo neskončno mnogo enako porazdeljenih neodvisnih slučajnih spremenljivk. Uporablja se predvsem za analiziranje vzorcev ter analiziranje eksperimentalnih napak oziroma pri raztrosu podatkov od srednje vrednosti. Normalno porazdelitev, pri kateri je pričakovana vrednost enaka nič ($\mu=0$), varianca pa enaka ena ($\sigma^2=1$), imenujemo standardizirana normalna porazdelitev (Turk, 2007).

Funkcija gostote verjetnosti normalne porazdelitve je zapisana z enačbo:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

kjer je x slučajna spremenljivka, σ^2 varianca ter μ srednja vrednost ali matematično upanje, na intervalu $x \in (-\infty, \infty)$.

Porazdelitvena funkcija normalne porazdelitve je podana:

$$F_x(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Funkcijo gostote verjetnosti ter porazdelitveno funkcijo normalne porazdelitve lahko izrazimo s funkcijo gostote verjetnosti in porazdelitveno funkcijo standardizirane normalne porazdelitve (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$f_x(x) = \sigma^{-1} \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right),$$

kjer sta $\phi(x)$ in $\Phi(x)$:

$$\phi(x) = \pi^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right),$$

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt.$$

Parametra porazdelitve μ in σ , ki ju zapišemo z momenti L , sta tako definirana (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$\begin{aligned} \mu &= \lambda_1, \\ \sigma &= \pi^{1/2} \lambda_2. \end{aligned}$$

4.5.3 Logaritemsko normalna porazdelitev

Če je slučajna spremenljivka Z porazdeljena normalno in velja zveza $Z = \ln(X - \mu)$, potem je porazdelitev slučajne spremenljivke X logaritemsko normalna. Porazdelitev (LN3) je tri-parametrična s parametri μ , σ in ξ .

Porazdelitvena funkcija je zapisana:

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x - \mu) - \xi}{\sigma}\right),$$

za $\xi \leq x \leq \infty$ ter v primeru, da je Φ porazdelitvena funkcija standardne normalne porazdelitve.

Če je $\mu = 0$, se enačba poenostavi v porazdelitveno funkcijo dvo-parametrične logaritemsko normalne porazdelitve (LN2).

Inverzna porazdelitvena funkcija tri-parametrične logaritemsko normalne porazdelitve je podana z enačbo:

$$x = \mu + \exp\left(\sigma \cdot \Phi^{-1}\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right).$$

Funkcija gostote verjetnosti porazdelitve pa je:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma(x - \mu)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(\ln(x - \mu) - \xi)^2}{\sigma^2}\right).$$

Parametri logaritemsko normalne porazdelitve, ki jih zapišemo z momenti L so (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$z = \sqrt{\frac{8}{3}} \Phi^{-1}\left(\frac{1+t_3}{2}\right),$$

$$\hat{\xi} \approx 0,999281 \cdot z - 0,006118 \cdot z^3 + 0,000127 \cdot z^5,$$

$$\hat{\sigma} = \ln\left(\frac{l_2}{\text{erf}(z/2)}\right) - \frac{\hat{\xi}}{2},$$

$$\hat{\mu} = l_1 - \exp\left(\hat{\sigma} + \frac{\hat{\xi}^2}{2}\right) .$$

4.5.4 Generalizirana logistična porazdelitev

GLO je tri-parametrična porazdelitev s parametri μ , σ in ξ . Porazdelitvena funkcija GLO je zapisana:

$$F_x \left(\left[1 + \left(1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu)^{\frac{1}{\xi}} \right) \right]^{-1} \right) .$$

Če je $\xi = 0$, se enačba poenostavi in dobimo porazdelitveno funkcijo dvo-parametrične porazdelitve.

Inverzna porazdelitvena funkcija GLO je:

$$x \left(\left[1 - \left(\frac{1-p}{p} \right)^{\xi} \right] \right)^{\xi} = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left(1 - \left(\frac{1-p}{p} \right)^{\xi} \right) ,$$

funkcija gostote verjetnosti GLO pa je zapisana z naslednjo enačbo:

$$f_x \left(\left[1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu)^{\frac{1}{\xi}} \right] \right)^{1/k-1} = \frac{\left(1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu)^{\frac{1}{\xi}} \right)^{1/k-1}}{\sigma \left(1 + \left(1 - \frac{\xi}{\sigma} (x - \mu)^{\frac{1}{\xi}} \right)^{1/k} \right)^2} .$$

Parametri GLO, ki jih zapišemo z momenti L so (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$\hat{\xi} = -t_3 ,$$

$$\hat{\sigma} = \frac{l_2}{\Gamma\left(+\frac{\hat{\xi}}{\xi}\right) \Gamma\left(-\frac{\hat{\xi}}{\xi}\right)} ,$$

$$\hat{\mu} = l_1 + \frac{l_2 - \hat{\sigma}}{\hat{\xi}} .$$

4.5.5 Porazdelitev ekstremnih vrednosti

V inženirstvu nas pogosto zanimajo ekstremne vrednosti določenih spremenljivk. Tako je Jenkinson leta 1955 prvič predstavil generalizirano ekstremno porazdelitev (GEV). Porazdelitev je tri-parametrična s parametri μ , σ in ξ . Ločimo tri uporabljene tipe porazdelitev ekstremnih vrednosti, katere določa oblikovni parameter ξ .

Porazdelitvena funkcija GEV je podana z enačbo:

$$F_x \left(\leftarrow \right) = \exp \left(-1 \left(\xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{1/\xi} \right) \Rightarrow \xi \neq 0 \quad ,$$

$$F_x \left(\leftarrow \right) = \exp \left(-\exp \left(-\left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right)^{1/\xi} \right) \Rightarrow \xi = 0 \quad .$$

Tip porazdelitve ekstremnih vrednosti:

- če je $\xi = 0$, gre za porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I (EV1) oziroma Gumbelovo porazdelitev,
- če je $\xi < 0$, gre za porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa II (EV2) oziroma Fréchetova porazdelitev ter
- če je $\xi > 0$, gre za porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa III (EV3) oziroma Weibullova porazdelitev.

Inverzna porazdelitvena funkcija GEV je:

$$x \left(\leftarrow \right) = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left(- \left(\leftarrow \ln p \right) \right)^{\xi} \Rightarrow \xi \neq 0 \quad ,$$

$$x \left(\leftarrow \right) = \mu - \sigma \ln \left(\leftarrow \ln p \right) \Rightarrow \xi = 0 \quad .$$

Funkcija gostote verjetnosti GEV pa je podana z enačbo:

$$f_x(x) = \frac{\left(1 - \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{1/\xi} \exp\left(-\left(1 - \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{1/\xi}\right)}{\sigma \left(1 - \frac{x - \mu}{\sigma}\right)} \Rightarrow \xi \neq 0 ,$$

$$f_x(x) = \sigma^{-1} \exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(-\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right) \Rightarrow \xi = 0 .$$

Parametri GEV, ki jih zapišemo z momenti L, so tako definirani (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$z = \frac{2}{\ln 3} \frac{\ln 2}{\ln 3} ,$$

$$\hat{\xi} \approx 7,8590z + 2,5994z^2 ,$$

$$\hat{\sigma} = \frac{l_2 \hat{\xi}}{\Gamma(\hat{\xi})} ,$$

$$\hat{\mu} = l_1 + \frac{\hat{\sigma} (\Gamma(\hat{\xi}) - 1)}{\hat{\xi}} .$$

Ker se porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I oziroma Gumbelova porazdelitev zelo pogosto uporablja v hidrološki praksi, bomo za to porazdelitev posebej zapisali še parametre zapisane z momenti L:

$$\sigma = \frac{\lambda_2}{\ln 2} ,$$

$$\mu = \lambda_1 - \gamma\sigma ,$$

kjer je γ Eulerjeva konstanta in ima vrednost $\gamma \approx 0,577216$.

4.5.6 Porazdelitev Pearson III

Pearsonova porazdelitev tretjega tipa je tri-parametrična porazdelitev gama. Ime izhaja iz funkcije gama, ki je definirana:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\alpha-1} dx \quad .$$

Porazdelitev Pearson III ima tri parametre μ , σ in ξ . Funkcija gostote verjetnosti porazdelitve pa je zapisana:

$$f_x = \frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\alpha)} \quad ,$$

kjer sta α in β definirana:

$$\alpha = \frac{4}{\xi^2} \quad ,$$

$$\beta = \frac{1}{2} \sigma |\xi| \quad .$$

Slučajna spremenljivka x lahko zavzame vrednosti med $y < x < \infty$. α pa lahko zavzame pozitivno ali negativno vrednost. V primeru, da ima negativno vrednost postane porazdelitev navzgor omejena, kar pa ni primerno za analizo ekstremnih vrednosti.

Če v zgornji enačbi upoštevamo, da je $y = \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)$,

dobimo:

$$f_y = \frac{y^{\alpha-1} e^{-y}}{\Gamma(\alpha)} \quad .$$

Sedaj lahko zapišemo še porazdelitveni funkciji porazdelitve za slučajni spremenljivki x in y :

$$F_x = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_{-\mu}^x \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right) dx \quad ,$$

$$F_y = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x-\mu}{\beta}} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad .$$

Parametri porazdelitve, ki jih zapišemo z momentni L, so (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$\mu = \lambda_1 \quad ,$$

$$\sigma = \frac{\lambda_2 \pi^{\frac{1}{2}} \alpha^{\frac{1}{2}} \Gamma(\alpha)}{\Gamma\left(\alpha + \frac{1}{2}\right)} \quad ,$$

$$\xi = 2\alpha^{-\frac{1}{2}} \quad .$$

Metoda momentov porazdelitve Pearson III

Prvi moment porazdelitve je definiran:

$$\mu_1 = \frac{1}{\Gamma(\alpha) \beta^\alpha} \int_{-\mu}^{\infty} x \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{x-\mu}{\beta}} dx \quad .$$

Če upoštevamo, da je $y = \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)$,

dobimo naslednje enačbe za μ_1 v odvisnosti od momentov standardizirane porazdelitve

Pearson III:

$$\mu_1 = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\infty} (y + \mu) y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad .$$

Ob nadaljnji izpeljavi dobimo naslednjo enačbo:

$$\mu_1 = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \left(\int_0^{\infty} \beta y^\alpha e^{-y} dy + \mu \int_0^{\infty} y^{\beta-1} e^{-y} dy \right)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \left(\beta \Gamma(\alpha+1) + \mu \Gamma(\alpha) \right)$$

$$\mu_1 = \alpha\beta + \mu \quad .$$

Ob podobni izpeljavi lahko dobimo tudi enačbe za višje momente in koeficient ukrivljenosti, katerih končne enačbe so določene:

$$\mu_2 = \alpha\beta^2 \quad ,$$

$$\mu_3 = 2\alpha\beta^3$$

ter koeficient ukrivljenosti $\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \Rightarrow \gamma_1 = \frac{2}{\sqrt{\alpha}} \quad .$

Če momente μ_1 , μ_2 in γ_1 nadomestimo z njihovimi vzorčnimi vrednostmi m_1 , m_2 in C_s , dobimo oceno parametrov $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$, $\hat{\gamma}$:

$$\hat{\alpha} = \left(\frac{2}{C_s} \right)^2 \quad ,$$

$$\hat{\beta} = \sqrt{\frac{m_2}{\hat{\alpha}}} \quad ,$$

$$\hat{\gamma} = m_1 - \sqrt{m_2 \hat{\alpha}} \quad .$$

4.5.7 Logaritemska Pearson III porazdelitev

Porazdelitev slučajne spremenljivke x je logaritemska Pearson III porazdelitev, če je spremenljivka $\ln x$ porazdeljena po porazdelitvi Pearson III. Porazdelitev je prav tako tri-parametrična s parametri μ , σ in ξ .

Funkcija gostote verjetnosti porazdelitve je definirana:

$$f_x = \frac{\left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)}{\beta x \Gamma(\alpha)},$$

kjer sta α in β določena:

$$\alpha = \frac{4}{\xi^2},$$

$$\beta = \frac{1}{2} \sigma |\xi|.$$

Porazdelitvena funkcija logaritemske Pearson III porazdelitve je:

$$F_x = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_0^x \frac{1}{x} \left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right) dx.$$

Če upoštevamo, da je $y = \left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)$,

dobimo naslednjo enačbo:

$$F_y = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^y y^{\alpha-1} e^{-y} dy.$$

Momente porazdelitve lahko dobimo z naslednjo enačbo:

$$\mu_r = \frac{e^{r\alpha}}{(-r\beta)^\alpha} .$$

Parametre logaritemske Pearson III porazdelitve lahko dobimo na dva načina. Prvi način je posredna metoda momentov, kjer uporabimo naravne logaritme slučajne spremenljivke x ter nato parametre ocenimo kot pri porazdelitvi Pearson III. Drugi način pa je neposredna metoda momentov, kjer metodo momentov uporabimo neposredno na slučajno spremenljivko x .

5 METODA MOMENTOV L

Momenti L so obetajoč opis statističnih lastnosti verjetnostnih porazdelitev, ki jih je razvil Hosking, leta 1990. So analogni običajnim momentom v statistiki, vendar pa imajo v primeru ekstremnih vrednosti bolj robustne lastnosti.

5.1 Momenti L verjetnostnih porazdelitev

Momenti L so alternativna možnost opisa verjetnostnih porazdelitev. Temeljijo na verjetnostno obteženih momentih, ki so za slučajno spremenljivko X s porazdelitveno funkcijo F definirani (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$M_{p,r,s} = E \left\{ x^p \cdot \left[F(x) \right]^r \cdot \left[1 - F(x) \right]^s \right\}. \quad (5.1)$$

Posebna primera verjetnostno obteženih momentov sta $\alpha_r = M_{1,0,r}$ in $\beta_r = M_{1,r,0}$:

$$\alpha_r = \int_0^1 x \left[F(x) \right]^r \left[1 - F(x) \right]^s \cdot du, \quad (5.2)$$

$$\beta_r = \int_0^1 x \left[F(x) \right]^r u^r \cdot du. \quad (5.3)$$

Zaradi njune težavnosti uporabe, pa so se nadalje razvile metode z linearnimi kombinacijami verjetnostno obteženih momentov. Sledila je uporaba skupine ortogonalnih polinomov ali premaknjenih Legendrovih polinomov, za katere veljajo naslednji pogoji (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$P_r^* = \left[P_r^* \right]$... je polinom r-te stopnje,

$$P_r^* = \left[P_r^* \right] = 1,$$

$$\int_0^1 P_r^* \left[P_s^* \right] du = 0 \rightarrow r \neq s.$$

Premaknjeni Legendrovi polinomi so definirani kot ortogonalni polinomi, vendar ne na intervalu $[0, 1]$, temveč na intervalu $[-1, 1]$ ter od tod tudi ime premaknjeni. Zapišemo jih lahko na naslednji način (Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$P_r^* \left(\frac{u-1}{2} \right) = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \cdot u^k, \quad (5.4)$$

kjer je

$$p_{r,k}^* = \frac{(-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k}}{(-1)^k \binom{r+k}{k}}. \quad (5.5)$$

Prvih nekaj premaknjenih Legendrovih polinomov za $r = 0, 1, 2, 3 \dots$ je torej:

$$P_0^* \left(\frac{u-1}{2} \right) = 1,$$

$$P_1^* \left(\frac{u-1}{2} \right) = 2u - 1,$$

$$P_2^* \left(\frac{u-1}{2} \right) = 6u^2 - 6u + 1,$$

$$P_3^* \left(\frac{u-1}{2} \right) = 20u^3 - 30u^2 + 12u - 1.$$

Sledi definicija momentov L za slučajno spremenljivko X s kvantilno funkcijo $x(u)$

(Hosking J.R.M., Wallis J.R., 1997):

$$\lambda_r = \int_0^1 x \left(\frac{u-1}{2} \right) P_{r-1}^* \left(\frac{u-1}{2} \right) du. \quad (5.6)$$

Prvi štirje momenti so torej:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \alpha_0 & &= \beta_0, \\ \lambda_2 &= \alpha_0 - 2\alpha_1 & &= 2\beta_1 - \beta_0, \\ \lambda_3 &= \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 & &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0, \\ \lambda_4 &= \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 & &= 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0, \end{aligned}$$

in še splošni zapis

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \beta_k. \quad (5.7)$$

λ_1 predstavlja srednjo vrednost, λ_2 je mera za razpršenost, λ_3 je mera za simetričnost ter λ_4 je mera za sploščenost oziroma koničastost. Zelo uporabne so tudi zveze med momenti L, za katere velja:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \dots \quad \text{koeficient variacije L,}$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad \dots \quad \text{koeficient asimetrije L,}$$

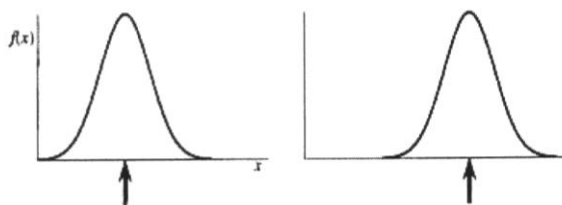
$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad \dots \quad \text{koeficient sploščenosti oziroma koničastosti L.}$$

Koeficient variacije L, koeficient asimetrije L in koeficient sploščenosti oziroma koničastosti L pomagajo pri opisu frekvenčnih porazdelitev. Momenti L frekvenčne porazdelitve pa so uporabni pri izbiri ustrezne porazdelitve ter pri določanju homogenosti in neskladnosti določene regije.

5.2 Momenti L in urejenostna statistika

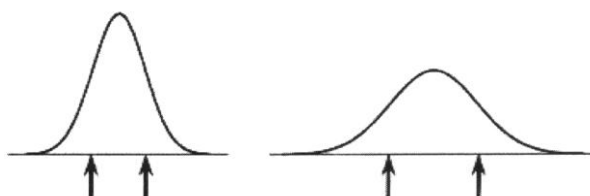
Momente L lahko opišemo tudi kot linearno kombinacijo opazovanih vzorčnih podatkov, ki so razvrščeni v naraščajočem vrstnem redu. Določimo, da je $X_{k:n}$ k-ta najmanjša meritev v vzorcu velikosti n. Tako je urejenost vzorca $X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}$.

V vzorcu velikosti 1 je samo ena meritev $X_{1:1}$. Vsebuje informacijo o sredini porazdelitve. Če je porazdelitev pomaknjena proti višjim vrednostim, potem je tudi vrednost $X_{1:1}$ višja.



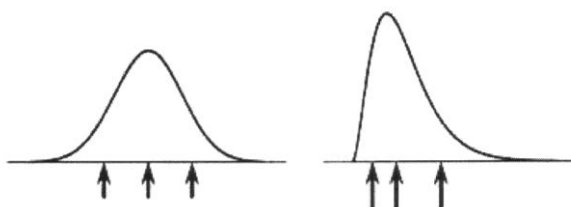
Slika 22: Sredina porazdelitve
(Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997).

V vzorcu velikosti 2 imamo dve meritvi $X_{1:2}$ in $X_{2:2}$. Vzorec vsebuje informacijo o razpršenosti porazdelitve. Tako lahko rečemo, da je razlika $X_{2:2} - X_{1:2}$ mera za razpršenost porazdelitve.

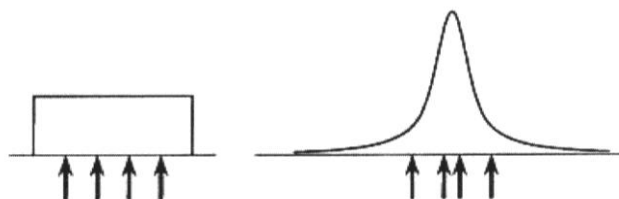


Slika 23: Razpršenost porazdelitve
(Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997).

Vzorec velikosti 3, $X_{1:3} \leq X_{2:3} \leq X_{3:3}$, vsebuje informacijo o simetriji porazdelitve in tako je $X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}$ mera za asimetričnost porazdelitve. Podobno tudi vzorec velikosti 4, $X_{1:4} \leq X_{2:4} \leq X_{3:4} \leq X_{4:4}$, vsebuje informacijo o sploščenosti oziroma o koničastosti porazdelitve ter je $X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}$ mera za sploščenost porazdelitve.



Slika 24: Simetrija porazdelitve
(Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997).



Slika 25: Sploščenost oziroma koničastost porazdelitve
(Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997).

Pokazali smo, da določene linearne kombinacije elementov v urejenem vzorcu vsebujejo določene informacije oziroma lastnosti porazdelitev. Momente L pa lahko definiramo tudi kot pričakovane vrednosti linearnih kombinacij, ki so pomnožene z ustreznimi skalarji. » L « v imenu momenti L pa poudarjajo njihov izvor iz linearnih kombinacij urejenostne statistike. Tako lahko sedaj zapišemo momente L verjetnostne porazdelitve na naslednji način (Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= E \left[X_{1:1} \right] \\ \lambda_2 &= \frac{1}{2} E \left[X_{2:2} - X_{1:2} \right] \\ \lambda_3 &= \frac{1}{3} E \left[X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3} \right] \\ \lambda_4 &= \frac{1}{4} E \left[X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4} \right] \end{aligned}$$

in še v splošni obliki:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \cdot E \left[X_{r-j:r} \right]. \quad (5.8)$$

Pričakovano vrednost urejenostne statistike pa lahko definiramo:

$$E \left[X_{r:n} \right] = \frac{n!}{(n-1)! (n-r)!} \cdot \int_0^1 x \left[u \right]^{r-1} (-u)^{n-r} \cdot du \quad . \quad (5.9)$$

5.3 Vzorčni momenti L

Pri izračunu momentov L je najbolje začeti z oceno verjetnostno obteženih momentov. Ocena temelji na vzorcu velikosti n , ki je urejen v naraščajočem vrstnem redu. Tako je nepristranska ocena verjetnostno obteženega momenta β_r izračunana iz vrednosti podatkov

$x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$, definirana (Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997):

$$b_r = n^{-1} \binom{n-1}{r}^{-1} \sum_{j=r+1}^n \binom{j-1}{r} x_{j:n} . \quad (5.10)$$

Na podlagi zgornje enačbe pa lahko zapišemo naslednje približke momentov:

$$b_0 = n^{-1} \sum_{j=1}^n x_{j:n} ,$$

$$b_1 = n^{-1} \sum_{j=2}^n \frac{j-1}{j-1} x_{j:n} ,$$

$$b_2 = n^{-1} \sum_{j=3}^n \frac{j-1}{j-1} \frac{j-2}{j-2} x_{j:n} ,$$

ter v splošni obliki:

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=r+1}^n \frac{j-1}{j-1} \frac{j-2}{j-2} \dots \frac{j-r}{j-r} x_{j:n} . \quad (5.11)$$

Kjer n predstavlja velikost vzorca, $x_{j:n}$ pa je j -ti element vzorca velikosti n ter urejen v naraščajočem vrstnem redu.

Analogno momentom L lahko tudi vzorčne momente L definiramo (Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., 1997):

$$l_1 = b_0 ,$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 ,$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 ,$$

$$l_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 ,$$

ter v splošni obliki

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* b_k \quad , \quad (5.12)$$

za $r = 0, 1, \dots, n-1$.

Vzorčni moment $L l_r$ je nepristranska ocena λ_r .

Analogno momentom L pa so tudi zveze med vzorčnimi momenti L definirane:

$$t = \frac{l_2}{l_1} \quad , \quad t_3 = \frac{l_3}{l_2} \quad , \quad t_4 = \frac{l_4}{l_2} \quad ,$$

kjer je t koeficient variacije L in zavzema vrednosti med 0 in 1. t_3 je mera simetričnosti ter t_4 mera sploščenosti, ki zavzemata vrednosti med -1 in +1.

5.4 Uporaba metode momentov L

Pojem uporabe metode momentov L je že precej razširjen povsod po svetu. Metoda se je izkazala kot ustrezna in je v nekaterih državah predlagana kot najustreznejša.

V Veliki Britaniji se že od leta 1999 uporablja metoda momentov L . Razvili so tudi program FEH, ki je bil tedaj prvi program z možnostjo uporabe momentov L . Tudi na Irskem so začeli študijo o ustreznosti metode že po letu 2000. 2005 pa so predstavili študijo na vzorcu 98 postaj in dokazali, da je uporaba momentov L bolj ustrezna od dosedanjih metod.

V velikih primerih se metoda momentov L uporablja za določanje visokih vod, vendar pa imamo tudi druge primere. Na Češkem so leta 2002 uporabili momente L pri določevanju najvišjih pričakovanih letnih temperatur. Nizozemci pa so leta 2000 preverjali točnost ocen parametrov z momentu L . V ZDA so prav tako začeli uporabljati metodo momentov L kmalu po predstavitvi in ugotovili, da je metoda najustreznejša za ocenjevanje ekstremnih pojavov. V ZDA se momenti L uporabljajo tudi za napovedovanje ekstremnih padavin.

Znan primer uporabe metode momentov L za analizo ekstremnih padavin je tudi v Italiji.

Študija opisuje primer ekstremnih padavin v vzhodnih Alpah leta 2003. Glavni namen študije je bil pokazati neprizanesljivost kratkotrajnih poplav, ki jih je prinesla nevihta na povodju Tagliamento. Padavine, ki so padle 29. avgusta, so bile neznatne, poleg tega pa so imele veliko prostorsko raznolikost. Študija je temeljila na štirih korakih regionalne frekvenčne analize. Prvi korak je bil priprava podatkov. Uporabili so merilo neskladnosti, s katerim so si pomagali izločiti neustrezne podatke. Primer je temeljil na 63 merilnih postajah, ki so imele

zapis podatkov za povprečno 51 let. Drugi korak je bil test homogenosti, po katerem so določali homogene manjše regije na podlagi H-statistike. V tretjem koraku so določevali ustrezno porazdelitev s pomočjo Z-statistike. Primerjali so zvezo med koeficientom sploščenosti in koeficientov asimetrije za različna trajanja padavin. Zadnji korak pa je bil razvoj regionalnih frekvenčnih zvez.

Študija je bila narejena za 1-urne, 3-urne, 6-urne, 12-urne ter 24-urne padavine.

Najustreznejše porazdelitve so bile GEV in GLO, odvisno od trajanja padavin. Uporabili pa so tudi štiri-parametrično Kappa porazdelitev. Rezultati so bili izjemno visoki. Največje povratne dobe so dobili od 200 do 500 pri 1-urnih in 24-urnih padavinah ter od 500 do 1000 pri 3-urnih, 6-urnih in 12-urnih padavinah.

6 RAČUNSKI PRIMER

6.1 Priprava podatkov

Osnova za izračune so podatki, ki jih je posredovala Agencija RS za okolje. Prvi podatki so dnevne vsote padavin izmerjenih na avtomatskih padavinskih postajah Kneške Ravne, Davča, Letališče J. P. Ljubljana, Železniki, Dražgoše, Zgornja Sorica ter Škofja Loka. Na podlagi le teh so določene maksimalne dnevne količine padavin za posamezna leta, ki so kasneje uporabljene v izračunu.

Drugi podatki so količine padavin na podlagi 5 minutnih intenzitet. Zapis je vseboval le dneve s padavinami ter dneve, ko ni bilo meritev, ni pa vseboval dneve, ko ni bilo padavin. Zato je bilo potrebno že za sam začetek zapise ustrezno urediti. Padavine na podlagi 5-minutnih intenzitet so podane za padavinske postaje Kneške Ravne, Letališče J. P. Ljubljana ter Davčo. Na podlagi teh podatkov so določene 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne in 24-urne padavine. Enkrat na osnovi polne ure ter drugič na osnovi 5 minut.

Preglednica 1: Maksimalne dnevne padavine v posameznem letu.

ŠK. LOKA		ZG. SORICA		ŽELEZNIKI		DRAŽGOŠE	
Leto	Max	Leto	Max	Leto	Max	Leto	Max
1961	92,3	1961	115,6	1961	103	1961	90,5
1962	54,3	1962	127,9	1962	77,5	1962	81,6
1963	68,2	1963	114,1	1963	105	1963	110
1964	107,5	1964	127,9	1964	99,5	1964	125,3
1965	73,2	1965	144	1965	102,7	1965	102,4
1966	68,2	1966	89,6	1966	81	1966	102,6
1967	127,1	1967	112,3	1967	69,8	1967	114,1
1968	57,5	1968	100,2	1968	77,7	1968	61,2
1969	77,3	1969	113,3	1969	92,5	1969	74,4
1970	102,4	1970	85,6	1970	92,1	1970	102,9
1971	59,6	1971	75,4	1971	75,9	1971	64,3
1972	78,2	1972	66,8	1972	65,7	1972	66,1
1973	77,8	1973	109,2	1973	76,3	1973	106
1974	87,3	1974	94,4	1974	69,5	1974	108,2
1975	82,3	1975	109,1	1975	96,2	1975	104,3

1976	70,2	1976	99	1976	74,8	1976	76,7
1977	85,7	1977	101,8	1977	74,3	1977	84,2
1978	94,4	1978	85,7	1978	76,8	1978	85,4
1979	110,8	1979	128,6	1979	86,5	1979	93,7
1980	99,3	1980	76	1980	90,7	1980	61,9
1981	59,3	1981	61,7	1981	60,8	1981	56,1
1982	82,2	1982	86,5	1982	78,6	1982	75,9
1983	87,2	1983	74,8	1983	74,9	1983	66,2
1984	137,4	1984	64,3	1984	75,1	1984	80,3
1985	63,3	1985	101,5	1985	85,1	1985	72,8
1986	80,8	1986	75,5	1986	88	1986	77,8
1987	67,5	1987	76,6	1987	96,3	1987	110
1988	88,2	1988	108,4	1988	93,7	1988	117
1989	73,4	1989	114,6	1989	115,8	1989	96
1990	73,6	1990	100,3	1990	101,2	1990	91,8
1991	68,2	1991	94,8	1991	77,5	1991	75,8
1992	75,3	1992	111,3	1992	118,3	1992	109,2
1993	72,3	1993	97	1993	78	1993	84,2
1994	59,4	1994	100,4	1994	74,4	1994	64
1995	70,4	1995	124,4	1995	106,5	1995	79,2
1996	82,7	1996	149,8	1996	77,2	1996	73,4
1997	76	1997	116,8	1997	84,5	1997	67,8
1998	69,5	1998	124,5	1998	92,1	1998	93,2
1999	79,2	1999	103	1999	76,9	1999	64,3
2000	77,6	2000	111,5	2000	112,4	2000	129,2
2001	73,2	2001	86,5	2001	76,5	2001	78
2002	86,8	2002	74	2002	58,2	2002	70
2003	72	2003	78	2003	65,3	2003	89,3
2004	68,2	2004	146	2004	72,5	2004	103,6
2005	79,4	2005	79,2	2005	69,6	2005	64,2
2006	62,4	2006	77	2006	76,5	2006	74,7
2007	218	2007	232,5	2007	197,2	2007	216,4

LETALIŠČE J. P. LJ.		DAVČA		KN. RAVNE	
Leto	Max	Leto	Max	Leto	Max
1963	64,8	1963	96,3	1963	152,5
1964	94,8	1964	94,6	1964	166,5
1965	72,3	1965	117,2	1965	175,9
1966	43,5	1966	90,9	1966	104,3
1967	71,7	1967	80,4	1967	228,5
1968	46,8	1968	74,8	1968	218,5
1969	72,9	1969	76,6	1969	220,5
1970	79,1	1970	100,7	1970	164,5
1971	60,7	1971	67,3	1971	163,5
1972	51,8	1972	60,5	1972	158,1
1973	111,9	1973	100,3	1973	185,1
1974	73,1	1974	92,7	1974	138,5
1975	78,8	1975	96,6	1975	120,6
1976	60,9	1976	79,4	1976	219,8
1977	59,9	1977	85	1977	124,1
1978	74,1	1978	91,6	1978	122
1979	78,2	1979	93	1979	0
1980	79	1980	74,4	1980	0
1981	43,1	1981	52	1981	88,2
1982	81,2	1982	117,1	1982	210,2
1983	57,1	1983	57,1	1983	102,5
1984	84,2	1984	80,2	1984	196,4
1985	64,2	1985	67,7	1985	204,5
1986	66,4	1986	82,5	1986	155,2
1987	64	1987	79,1	1987	204,6
1988	64,4	1988	80,4	1988	209,9
1989	66,8	1989	67,9	1989	158,5
1990	102	1990	90,2	1990	157,4
1991	59,7	1991	70,4	1991	174,2
1992	95,6	1992	89	1992	191
1993	67,5	1993	92	1993	182,5
1994	35	1994	77,1	1994	127,9
1995	63,1	1995	75,1	1995	237,3
1996	68,1	1996	74,1	1996	176,3
1997	65,8	1997	57,9	1997	176,5
1998	69,4	1998	102	1998	163,6
1999	72,7	1999	63,9	1999	102,5
2000	57,4	2000	104,2	2000	149
2001	55,2	2001	71,5	2001	182
2002	51,1	2002	59,7	2002	89,8
2003	95,6	2003	92,6	2003	111,1

2004	53,8	2004	87,4	2004	193
2005	68,4	2005	63,5	2005	84,6
2006	55,3	2006	76	2006	118,8
2007	227,1	2007	227,9	2007	304,1

Preglednica 2: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana.

LETALIŠČE J.P. LJ.				MAX			
Leto	1 ura	2 uri	3 ure	6 ur	9 ur	12 ur	24 ur
1970	33,7	47,9	54,8	65	70,3	73,1	78,7
1971	23,3	35,5	47	67,8	70,9	71,1	71,2
1972	36,6	38,8	40,8	41,3	44,6	48,4	62,2
1973	23,6	32,4	38,7	48	58	74,6	116,3
1974	22,5	28,2	28,3	42	53,1	55,6	82
1975	16,6	25,7	26,5	39,5	43,2	46,1	72,3
1976	21,4	27,2	32,8	46,8	55,2	58,8	60,4
1977	22,9	37	50,2	64,1	77	82,8	83,7
1978	17,5	22,6	26	34,6	46,6	60,9	70,6
1979	13,7	20,6	23,1	31,8	35,1	44,3	62,7
1980	26	34,5	40	54,1	71,8	78,8	88,8
1981	17,3	30,2	30,5	43,6	44,2	44,8	48,2
1982	26,4	29,2	30,2	30,4	36,3	41,4	60,2
1983	15,9	22,3	26,1	31,8	34,5	42,1	59,3
1984	25	30,6	30,8	39,9	48,1	57,7	74,1
1985	19,5	19,8	21,2	24	26,6	27,5	40,6
1986	20,4	21,5	29,3	34,6	35,3	49,5	64,1
1987	17,4	25,9	38,5	50,4	53,9	61,8	93,7
1988	16,5	23,5	27	31,6	34,7	46,7	65,1
1989	23	30,6	38,3	54	59,6	62,2	64,4
1990	22,4	34	36,8	47,8	48,7	60,6	68,9
1991	32,4	37,8	39,3	48,4	52,2	52,3	69,5
1992	9,3	11,9	15	23,8	30,7	40,2	60,8
1993	10,8	11,8	12,7	16,5	18,2	18,5	26,2
2004	31,6	34,8	41,1	41,2	45,9	52,1	57,8

Preglednica 3: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Kneške Ravne.

KN. RAVNE	MAX						
	Leto	1 ura	2 uri	3 ure	6 ur	9 ur	12 ur
1975	25	30,7	33,6	47,6	66,1	87,3	112,7
1976	19,6	29,6	36,3	61,6	75,2	86,2	99,2
1977	42,6	63	72	88,8	94,5	103,2	129
1978	17,9	33,9	37,1	60,3	76	95,2	132,7
1982	39,3	49,5	74	111,5	137,4	151,8	159,1
1983	48,8	50,7	54,7	85,8	117,8	144,8	164,4
1984	28,1	39,3	50,4	93,2	121,1	148,5	185,2
1985	20	32,8	41,1	59,2	60	60	76,9
1986	36,4	70	81,4	105,6	130,1	151,1	196,9
1987	48,8	78	87,5	90,5	96,1	99,1	119,6
1988	61,4	102,4	114,6	166,7	181	183,1	183,2
1989	40,9	65,1	85,9	107	120,1	138,3	139,4
1990	23,5	39,2	52,9	72,2	96,1	112,3	145,1
1991	30,8	56,2	69,4	83,1	83,2	83,4	85,1
1992	22,6	44,7	51	73,3	86,3	109,3	144,5
1993	38	60,7	74,8	102,2	111,4	143,4	212,6
1994	46,1	76,5	103,3	105,3	105,5	105,7	114,9
1995	32,6	47,5	64,7	89,6	96,6	97,8	107,3
1996	39,1	56,7	74,9	114,6	154,8	166,7	246
1997	25,2	45,5	68,7	79,1	95,5	104,1	108,6
1998	39,6	62,5	77	114,4	120	122,6	128,2
1999	41,7	51,7	85,6	110,3	131,5	138,4	164
2000	31,2	41,8	46,6	61,8	83,6	104,1	158,6
2001	30,5	49,3	53,6	75,8	105,1	134,3	167,5
2002	26,3	47,8	51,8	52,1	56,1	87,2	92
2003	42,7	54,3	54,8	64,8	93,4	98,1	116,2
2004	51,5	78,6	103,1	132,2	192,5	232,7	331,3
2005	32,7	32,7	37,2	53,9	66,2	78,5	93,4
2006	29,3	45,3	54,4	61,9	89,4	109,9	165,4
2007	69,4	134,7	186,4	238,2	264,7	292,3	318,6

Preglednica 4: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi polne ure v posameznem letu za padavinsko postajo Davča.

DAVČA	MAX						
Leto	1 ura	2 uri	3 ure	6 ur	9 ur	12 ur	24 ur
1999	29,2	37,7	46,1	52,7	55,5	58,6	61,7
2000	24,9	30,7	33,5	51,6	69,3	80,3	96,9
2001	18,9	19,1	20,4	39,7	46,9	56,6	74,6
2002	21,3	33,5	36,4	52,2	62,3	71,5	90,7
2003	19,2	27	40,3	50,3	53,3	67,9	92,3
2004	22,3	37,9	50,9	61	75,1	89,2	118,3
2005	22,9	30,1	33	45,4	58,8	64,9	76,9
2006	13,3	18,4	20,7	29,9	38,6	41,4	53,4
2007	72	98,4	128,9	152,3	176,4	214	220,1

Preglednica 5: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Davča.

DAVČA	MAX						
Leto	60 min	120 min	180 min	360 min	540 min	720 min	1440 min
1999	35,5	42,2	50,8	52,7	55,5	58,6	61,7
2000	25,6	32,4	35,8	54,6	69,9	80,4	96,9
2001	18,9	19,8	25,2	40	47,4	56,6	74,6
2002	24,9	34,8	38,5	52,9	62,7	71,7	91,3
2003	25,9	27	43,4	50,3	53,5	72,6	92,9
2004	27,9	44,4	50,9	61,3	75,5	89,2	119,2
2005	23,6	30,3	34,4	45,4	59,7	64,9	77,8
2006	16,9	18,5	23,4	29,9	40,6	41,4	53,5
2007	84,2	110,9	134,8	155,2	178,1	214,1	220,1

Preglednica 6: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Kneške Ravne.

KN. RAVNE		MAX					
Leto	60 min	120 min	180 min	360 min	540 min	720 min	1440 min
1975	27,5	30,8	34,8	48	66,6	87,3	112,7
1976	21,2	32,7	36,5	61,9	75,8	87,9	99,3
1977	43,2	63	74,8	89	94,5	106,2	129
1978	19,6	34,7	39,3	60,4	76,1	102,1	132,7
1982	39,4	50,2	75	115	138,1	153	159,1
1983	48,8	51,7	56,5	88,3	119,2	147,2	164,4
1984	28,9	43,2	54,6	97,3	124,1	148,5	185,2
1985	20,5	33,2	42,3	59,3	60	60,1	77
1986	38	70	84,4	107,3	130,2	152,5	197,4
1987	61,6	78,1	88,8	90,6	98,2	99,7	119,7
1988	70,9	105	120,4	166,7	181	183,1	183,2
1989	52,7	77	86,9	107,1	120,7	138,9	139,4
1990	33,3	43,6	55	72,4	96,3	113,5	145,1
1991	33	63,6	69,6	83,2	83,3	83,4	87,8
1992	37,9	45,1	51,3	74,5	87	109,9	144,5
1993	42,1	62,6	78,6	103,7	111,9	144,7	213,4
1994	63,4	94,3	104	105,3	105,5	105,7	114,9
1995	37,7	55,5	65,6	89,6	96,6	97,8	107,5
1996	44,6	67,5	75,4	114,7	154,9	167,5	246,9
1997	33,1	54,9	70,6	80	96,7	104,1	108,6
1998	43,5	67	78	114,5	120,2	122,7	128,3
1999	42,2	56,5	85,6	113,1	131,5	138,5	164,3
2000	31,7	45,2	50,3	61,8	88,1	104,4	158,6
2001	32,7	49,6	55	76,2	106,3	135,1	167,7
2002	29,3	47,8	52	53	56,1	88,4	92
2003	48,2	54,7	54,9	68,2	93,5	98,2	116,3
2004	66,6	88,6	103,1	134,6	207,8	236	331,3
2005	32,7	35,5	42	53,9	67,1	78,8	93,4
2006	31,5	51	54,4	62,2	89,4	109,9	165,4
2007	81,1	156,9	187,5	239,6	264,7	296,6	318,6

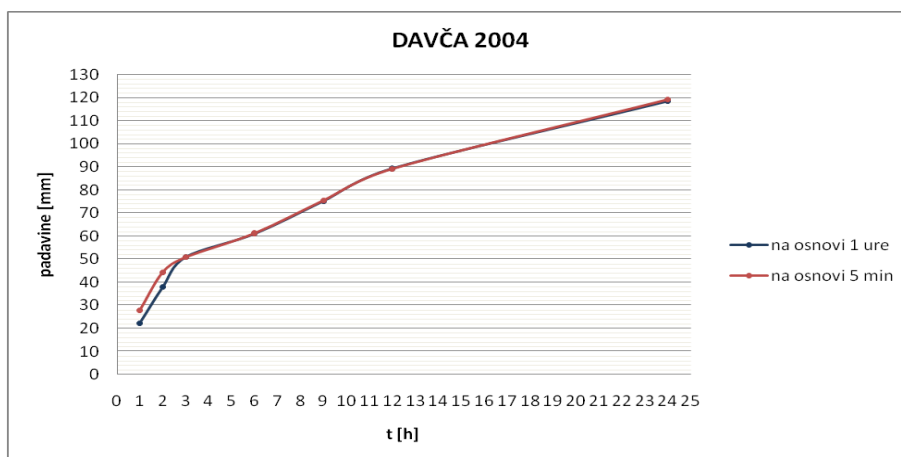
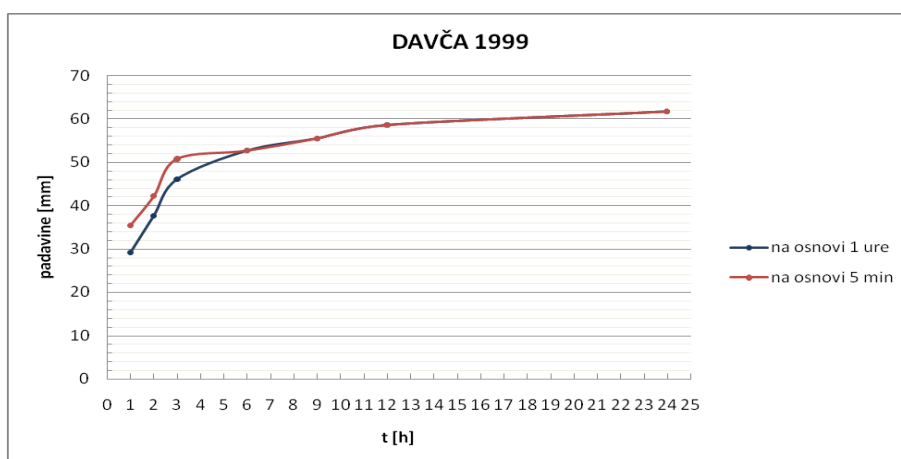
Preglednica 7: Maksimalne 1-urne, 2-urne, 3-urne, 6-urne, 9-urne, 12-urne ter 24-urne padavine na osnovi 5 minut v posameznem letu za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana.

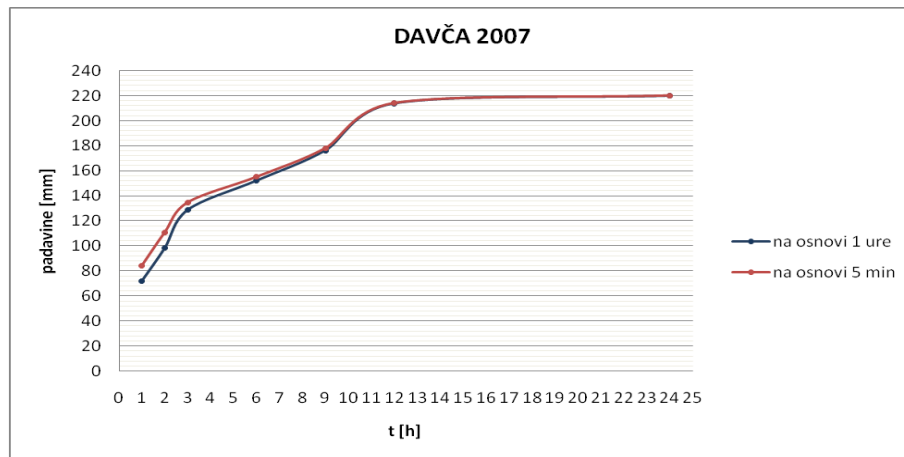
LETALIŠČE J. P. LJ.			MAX				
Leto	60 min	120 min	180 min	360 min	540 min	720 min	1440 min
1970	37,1	53,2	55,8	65,9	70,6	73,5	78,8
1971	29,5	36,1	51,1	69,2	71	71,1	71,2
1972	38,3	39,2	41,2	41,3	45	48,8	62,6
1973	25,4	34,8	39,6	48,9	58,8	75,1	117,2
1974	27,9	28,3	28,3	42,7	53,3	58	82,1
1975	24,6	26,5	26,9	39,6	43,5	46,1	72,4
1976	23,5	29,5	33,3	47,4	55,2	58,9	60,8
1977	23	37,4	51,5	66,1	77	82,8	83,7
1978	19	24	26,1	37,1	46,9	61,9	70,6
1979	17,8	22	23,1	32,4	35,9	44,4	63
1980	26	38,6	41,2	56,7	74	79,2	88,9
1981	25,7	30,2	30,5	43,7	44,3	47,1	48,2
1982	28	29,2	30,2	30,4	36,3	41,4	60,2
1983	19,4	23,8	28,3	31,9	35,3	45,7	59,3
1984	28,3	30,7	31,3	40	49,3	57,8	74,1
1985	19,7	20,6	22,9	24,1	26,6	27,6	40,8
1986	20,4	21,7	30,2	34,7	35,6	50,2	64,1
1987	24,5	28	40	50,4	53,9	63	93,9
1988	19,4	24,5	27,9	31,7	35,7	47	65,1
1989	24,7	31,6	39,2	55,2	59,6	62,3	64,4
1990	25,2	34,2	37,3	48,2	48,7	60,7	68,9
1991	35,6	39,2	39,3	48,5	52,2	52,3	69,6
1992	9,4	12,2	15,9	23,8	31	41,3	61,1
1993	11	12,1	13,9	17,1	18,2	18,5	26,2
2004	34,6	39,6	41,1	41,2	45,9	52,4	58

6.2 Primerjava maksimalnih padavin na osnovi 1 ure in na osnovi 5 min

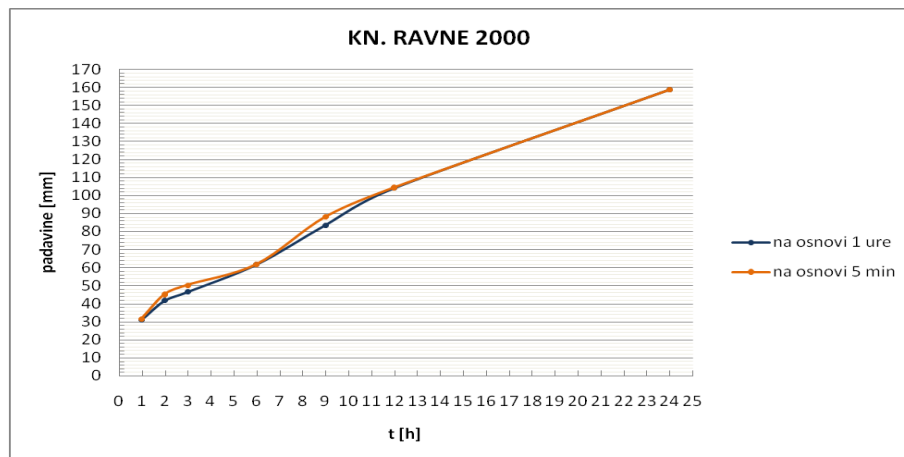
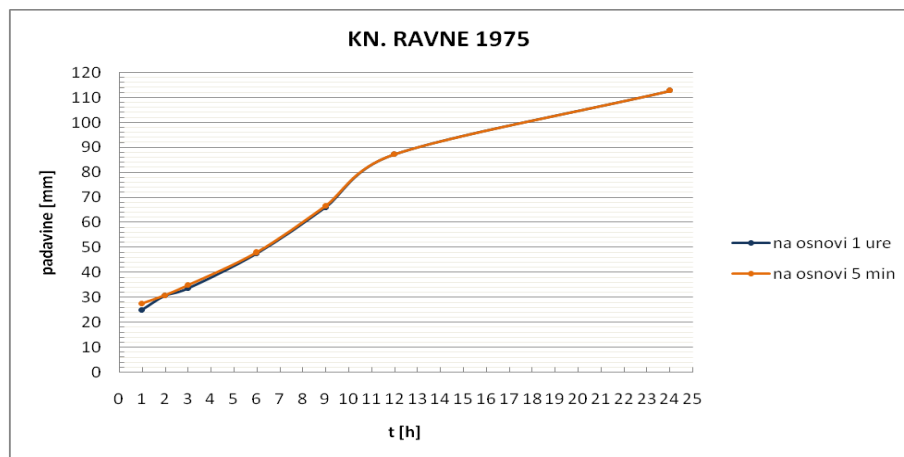
Padavine na osnovi 1 ure so računane za vsako polno uro. Na primer 3-urne padavine so vsota padavin, ki so padle v času od 2:00 do 3:00, od 3:00 do 4:00 ter od 4:00 do 5:00. V primeru padavin na osnovi 5 min, pa so 3-urne padavine lahko vsota padavin, ki so padle v času od 2:25 do 3:25, od 3:25 do 4:25 in ter od 4:25 do 5:25.

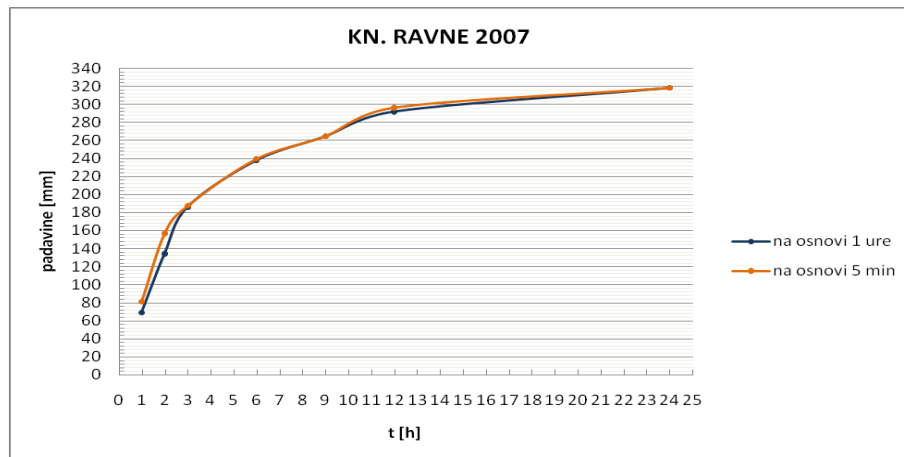
Na spodnjih grafih so prikazane padavine v odvisnosti od trajanja naliva za nekaj let za vsako postajo posebej.



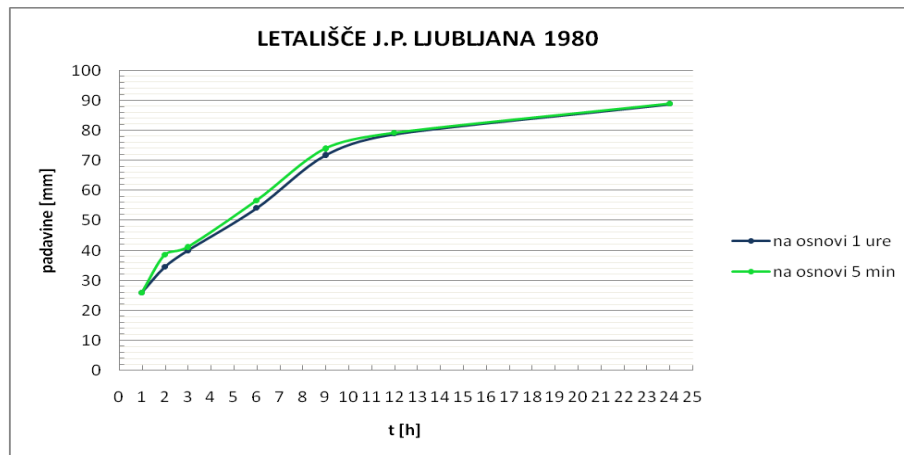
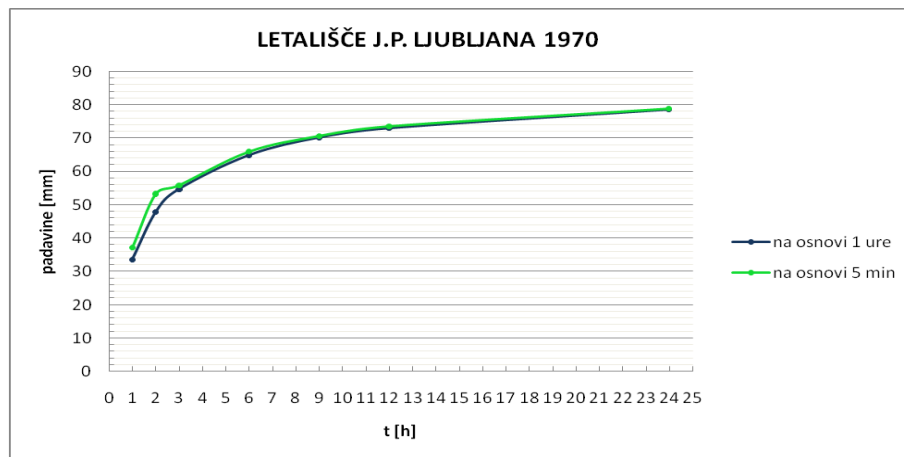


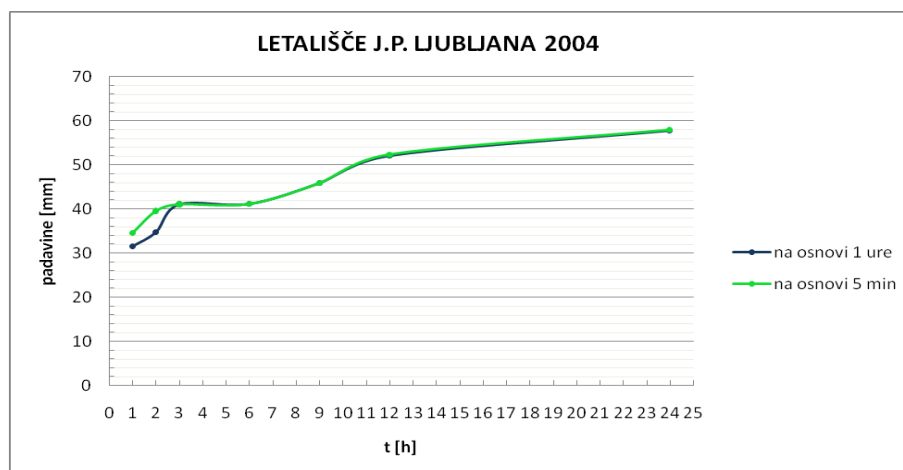
Grafikon 8: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Davča za leta 1999, 2004 in 2007.





Grafikon 9: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Kneške Ravne za leta 1975, 2000 in 2007.

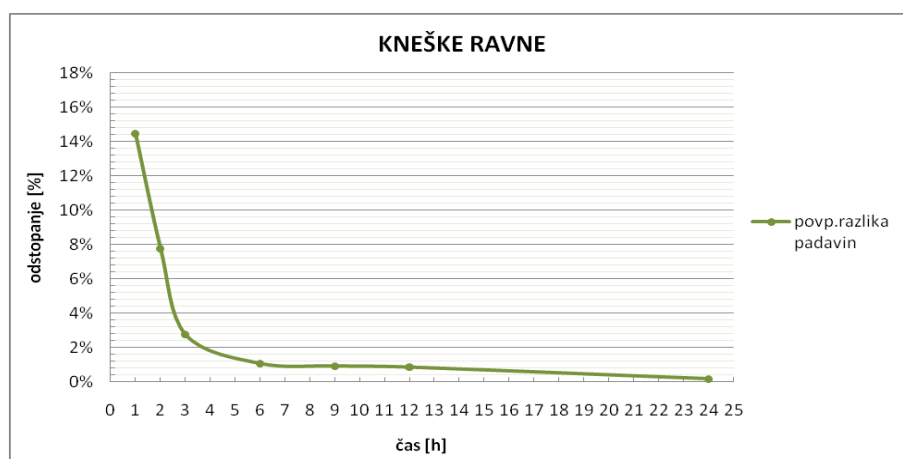




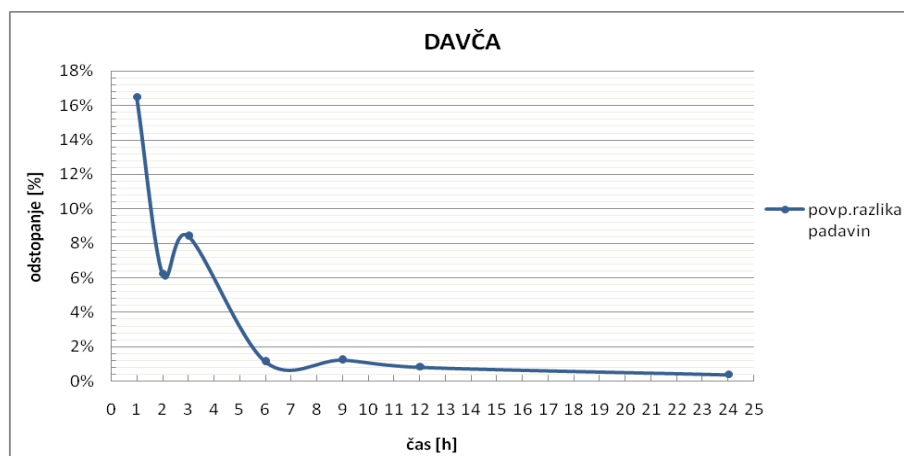
Grafikon 10: Primerjava padavin na osnovi 1 ure ter na osnovi 5 minut za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana za leta 1970, 1980 in 2004.

Iz grafikonov je razvidno, da so padavine računane na osnovi 1 ure vedno manjše ali enake padavinam na osnovi 5 minut. Razlika se manjša s časom.

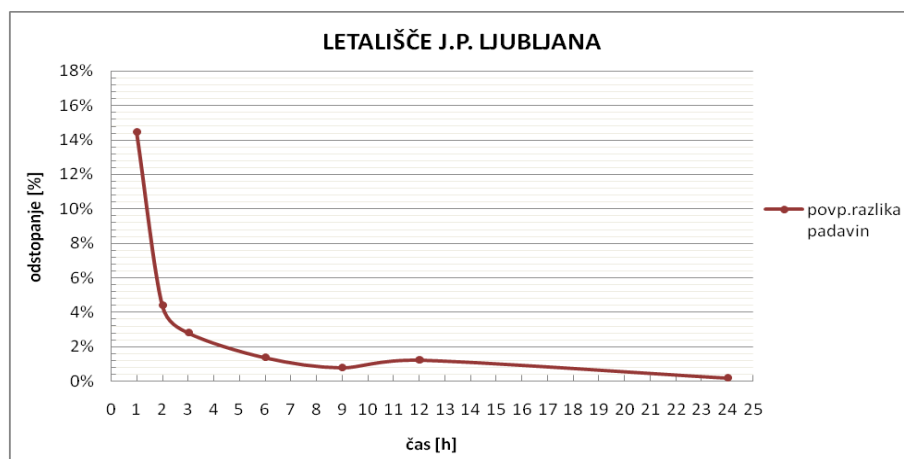
Če si pogledamo še grafe povprečnega odstopanja padavin skozi vsa leta, lahko vidimo, da je odstopanje največje pri 1-urnih padavinah nato pa se s časom manjša.



Grafikon 11: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 30 let.



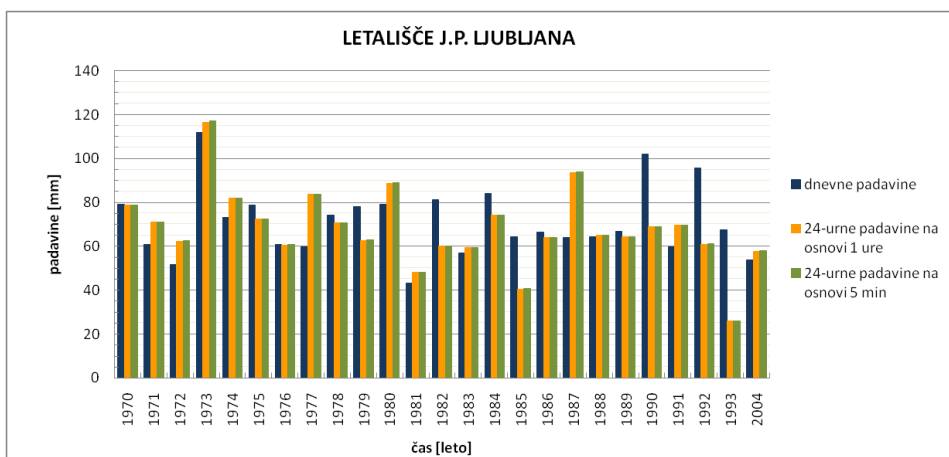
Grafikon 12: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Davča za niz podatkov 9 let.



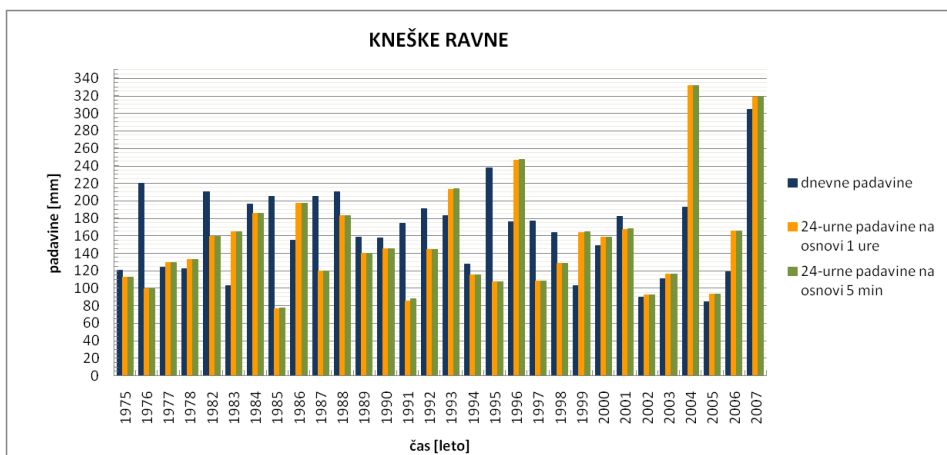
Grafikon 13: Povprečna razlika med padavinami na osnovi 1 ure in 5 minut za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana za niz podatkov 25 let.

Lahko se zgodi, da se pojavi majhen skok na grafu in je odstopanje naprimer pri 3-urnih padavinah večje kot pri 2-urnih, vendar je to zelo redko. V primeru Davče je to še bolj opazno, kar je posledica zelo kratkega niza podatkov.

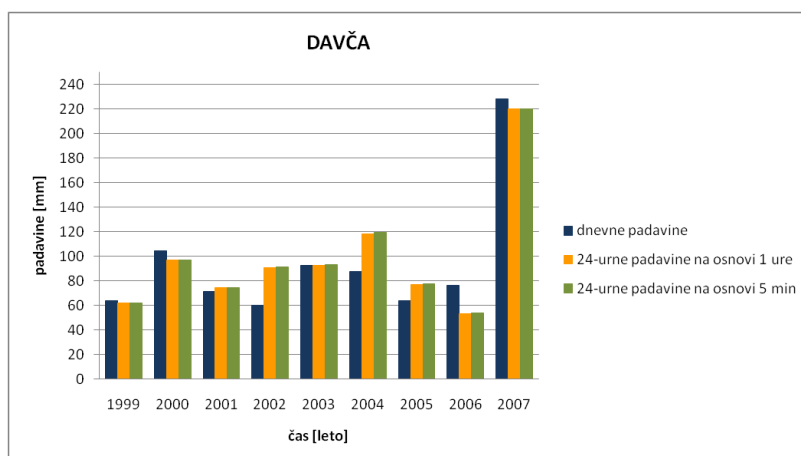
6.3 Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin



Grafikon 14: Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana za obdobje od 1970 do 2004.



Grafikon 15: Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Kneške Ravne za obdobje od 1975 do 2007.



Grafikon 16: Primerjava maksimalnih dnevnih in 24-urnih padavin za padavinsko postajo Davča za obdobje od 1999 do 2007.

Iz primerjave je razvidno, da so 24-urne padavine na osnovi polne ure in na osnovi 5 minut skoraj enake. Kot smo že povedali se razlika med 24-urnimi padavinami s časom manjša in se pri 24-urnih padavinah približuje nič.

Če si pogledamo še primerjavo med dnevnimi in 24-urnimi padavinami opazimo, da so dnevne padavine v nekaterih primerih večje od 24-urnih. Rezultate smo podrobneje analizirali in ugotovili, da pride do odstopanja med meritvami dnevnih in 24-urnih padavin.

Zaradi velikega odstopanja smo poskušali ugotoviti, kakšno je dejansko odstopanje med meritvami dnevnih in 24-urnih padavin. Naredili smo primerjavo dnevnih padavin, ki so merjene vsak dan ob 7 h zjutraj in 24-urnih padavin ob istem času. Na podlagi primerjave meritev smo ugotovili, da so padavine merjene na podlagi 5-minutnih intenzitet manj natančne kot dnevne meritve padavin. Vrednosti dnevnih meritev padavin so na padavinski postaji Letališče J. P. Ljubljana, za obdobje 25 let, v povprečju višje za 7,7 % od meritev 24-urnih padavin. Na padavinski postaji Davča, za obdobje 9 let, so vrednosti višje za 15,6 % ter na padavinski postaji Kneške Ravne za 13,4 %, za obdobje 30 let. Tako lahko rečemo, da so meritve dnevnih padavin v povprečju za 12,2 % večje od meritev 24-urnih padavin.

Takšno odstopanje se pojavi že pri osnovnih podatkih meritev in so lahko posledica različnih dejavnikov. Odstopanje lahko nastane zaradi aerodinamičnih efektov, izhlapevanja, uporabe

različnih tipov priprav za merjenje pri analizi starejših podatkov itd.. Dodaten razlog odstopanja med meritvami pa so tudi različna obdobja merjenja padavin. Dnevne padavine so merjene preko celega leta, pri 24-urnih meritvah pa v nekaterih primerih manjkajo meritve. Zato se lahko pojavi veliko odstopanje med meritvami. Kajti če je bila maksimalna dnevna količina padavin izmerjena v obdobju, ko ni bilo 24-urnih meritev, le ta pri 24-urnih padavinah ni mogel biti izmerjen. Za maksimalno 24-urno količino padavin je bila v tem primeru privzeta druga maksimalna količina padavin, ki je padla v drugem časovnem obdobju.

6.4 Prikaz praktičnega izračuna

Za primer prikaza praktičnega izračuna sem izbrala padavinsko postajo Kneške Ravne. Račun je za porazdelitev Pearson III.

V Excelovo tabelo najprej skopiramo podatke o maksimalnih dnevni padavinah in jih nato uredimo po velikosti ter indeksiramo. Izračunamo delne vsote ter na dnu še skupne vsote posameznega stolpca.

Preglednica 8: Izračun delnih vsot.

Indeks [j]	Leto	Padavine	Padavine po velikosti $X_{(j)}$	$\frac{(j-1)}{(n-1)} \cdot x_{(j)}$	$\frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} \cdot x_{(j)}$
1	1963	152,5	84,6	0,00	0,00
2	1964	166,5	88,2	2,10	0,00
3	1965	175,9	89,8	4,28	0,10
4	1966	104,3	102,5	7,32	0,36
5	1967	228,5	102,5	9,76	0,71
6	1968	218,5	104,3	12,42	1,21
7	1969	220,5	111,1	15,87	1,94
8	1970	164,5	118,8	19,80	2,90
9	1971	163,5	120,6	22,97	3,92
10	1972	158,1	122	26,14	5,10
11	1973	185,1	124,1	29,55	6,49
12	1974	138,5	127,9	33,50	8,17
13	1975	120,6	138,5	39,57	10,62
14	1976	219,8	149	46,12	13,50
15	1977	124,1	152,5	50,83	16,12
16	1978	122	155,2	55,43	18,93

17	1981	88,2	157,4	59,96	21,94
18	1982	210,2	158,1	63,99	24,97
19	1983	102,5	158,5	67,93	28,17
20	1984	196,4	163,5	73,96	32,47
21	1985	204,5	163,6	77,90	36,10
22	1986	155,2	164,5	82,25	40,12
23	1987	204,6	166,5	87,21	44,67
24	1988	209,9	174,2	95,40	51,19
25	1989	158,5	175,9	100,51	56,39
26	1990	157,4	176,3	104,94	61,43
27	1991	174,2	176,5	109,26	66,62
28	1992	191	182	117,00	74,20
29	1993	182,5	182,5	121,67	80,12
30	1994	127,9	185,1	127,81	87,28
31	1995	237,3	191	136,43	96,50
32	1996	176,3	193	142,45	104,23
33	1997	176,5	196,4	149,64	113,14
34	1998	163,6	204,5	160,68	125,41
35	1999	102,5	204,6	165,63	133,31
36	2000	149	209,9	174,92	145,05
37	2001	182	210,2	180,17	153,80
38	2002	89,8	218,5	192,49	169,01
39	2003	111,1	219,8	198,87	179,47
40	2004	193	220,5	204,75	189,77
41	2005	84,6	228,5	217,62	207,00
42	2006	118,8	237,3	231,65	226,00
43	2007	304,1	304,1	304,10	304,10
		Σ	7114,5	4124,85	2942,53

Na podlagi delnih vsot izračunamo vrednosti b_0 , b_1 in b_2 :

$$b_0 = n^{-1} \cdot \sum_{j=1}^n x_j = \frac{7114,5}{43} = 165,45 \quad ,$$

$$b_1 = n^{-1} \cdot \sum_{j=2}^n \frac{j-1}{j-1} x_j = \frac{4124,85}{43} = 95,93 \quad ,$$

$$b_2 = n^{-1} \cdot \sum_{j=3}^n \frac{j-1}{j-1} \frac{j-2}{j-2} x_j = \frac{2942,53}{43} = 68,43 \quad .$$

Momenti L so tako:

$$l_1 = b_0 = 165,45 \quad ,$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 = 26,40 \quad ,$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 = 0,47 \quad ,$$

koeficient asimetrije pa je:

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} = \frac{l_3}{l_2} = \frac{0,47}{26,40} = 0,018 \quad .$$

Iz vzorčnih momentov L določimo ustrezne parametre kot so srednja vrednost, standardna deviacija in ukrivljenost za porazdelitev Pearson III.

Podane imamo konstante, ki imajo naslednje vrednosti:

$$C_1=0,2906,$$

$$C_2=0,1882,$$

$$C_3=0,0442.$$

Sedaj lahko izračunamo pomožne vrednosti:

$$T = 3\pi \cdot \tau_3^2 = 0,0031 \quad ,$$

$$A = \frac{C_1 T}{C_2 + T C_3} = 323,536 \quad ,$$

$$\alpha = \sqrt{A} = 17,987 \quad ,$$

$$\beta = 12 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \exp(\ln(\Gamma(A)) - \ln(\Gamma(\alpha + 0,5))) = 2,602 \quad .$$

Parametri porazdelitve so:

$$\mu = l_1 = 165,453 \quad ,$$

$$\sigma = \alpha \cdot \beta = 46,811 \quad ,$$

$$\gamma = \frac{2}{\alpha} = 0,111 \quad .$$

Primer računa predvidenih padavin za povratno dobo 100 let oziroma z verjetnostjo 0,01 je naslednji:

- najprej določimo koeficient K po enačbi ali s pomočjo tabel:

$$K = \frac{\Gamma\left[1 - P; \frac{4}{\tau_3^2}\right] - \tau_3}{\sqrt{\tau_3}} \Rightarrow \tau_3 > 0 \quad ,$$

$$K = \frac{\Gamma\left[P; \frac{4}{\tau_3^2}\right] - \tau_3}{\sqrt{\tau_3}} \Rightarrow \tau_3 < 0 \quad , \quad \text{kjer je } \Gamma \text{ funkcija gama.}$$

S pomočjo Mathematice ali Excela dobimo vrednost za koeficient K:

$$K_{100} = 2,408 \quad .$$

Sedaj lahko dobimo predvidene padavine za povratno dobo 100 let:

$$P = \mu + K_{100} \cdot \sigma = 165,453 + 2,408 \cdot 46,811 = 278,163 \text{ mm} \quad .$$

Z analognim izračunom lahko dobimo predvidene padavine še za ostale povratne dobe.

6.5 Račun s programom

6.5.1 Vhodni podatki

Program črpa podatke neposredno iz podatkov, ki jih posreduje Agencija RS za okolje. Zato ni potrebna predhodna obdelava vhodnih podatkov.

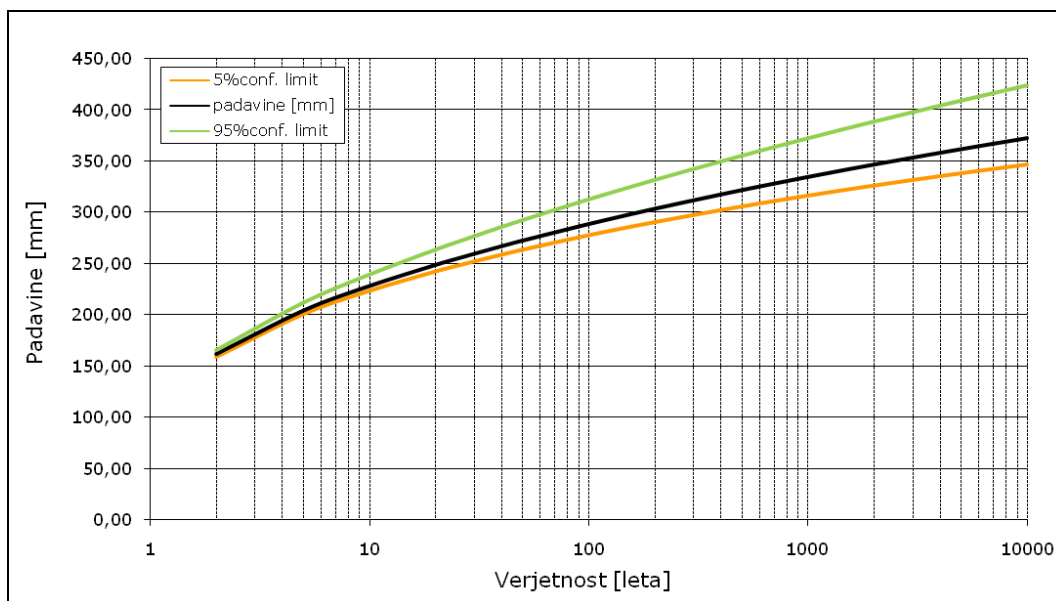
6.5.2 Račun in rezultati po porazdelitvi Pearson III z metodo WRC, Pearson III z metodo momentov L in Log Pearson III po metodi WRC

Najprej sem s programom izračunala predvidene padavine glede na različne povratne dobe za posamezno padavinsko postajo. Račun temelji na porazdelitvi Pearson III z metodo WRC, logaritmski porazdelitvi Pearson III z metodo WRC ter porazdelitvi Pearson III z metodo momentov L. Spodnji prikaz rezultatov je za padavinsko postajo Kneške Ravne, za primer dnevni padavin.

Preglednica 9: Rezultati porazdelitve Log Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

Srednja vrednost padavin	165,453
Srednja vrednost logaritma	2,201
Standardna deviacija	0,128
Koef. asimetrije za LOG	-0,406

Povratna doba	5% conf. limit	Padavine [mm]	95% conf. limit
2	159,14	162,03	165,18
5	200,91	204,43	211,53
10	223,54	228,36	239,00
20	242,39	248,87	263,28
25	247,89	254,95	270,61
40	258,76	267,11	285,43
50	263,62	272,60	292,21
100	277,69	288,72	312,38
200	290,45	303,62	331,39
500	305,72	321,81	355,06
1000	316,26	334,61	372,02
2000	326,08	346,70	388,28
5000	338,09	361,72	408,81
10000	346,53	372,45	423,68

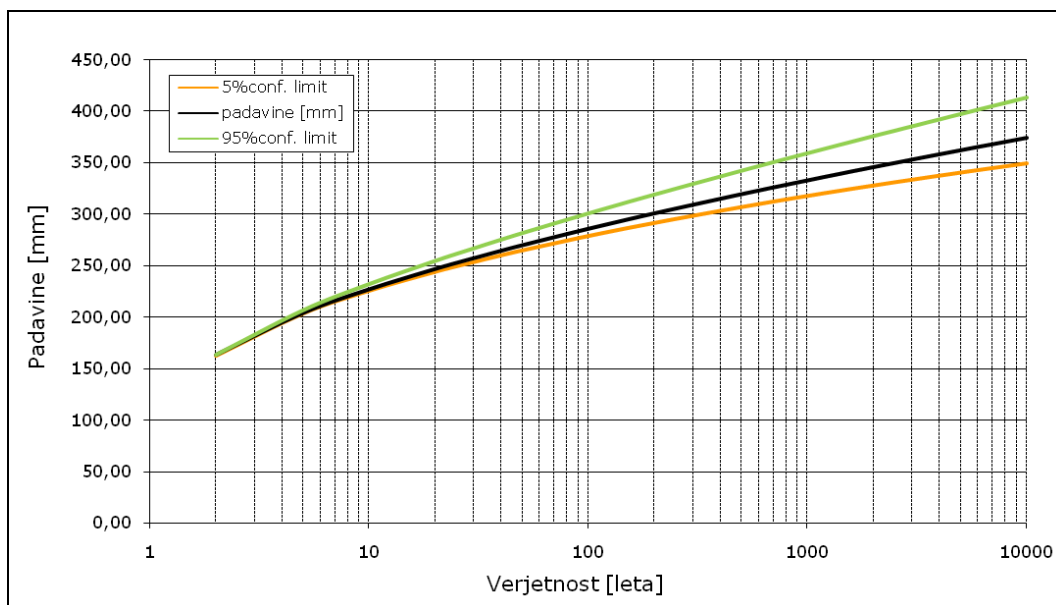


Grafikon 17: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Log Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

Preglednica 10: Rezultati porazdelitve Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

Srednja vrednost padavin	165,453
Srednja vrednost	46,657
Standardna deviacija	0,347

Povratna doba	5% conf. limit	Padavine [mm]	95% conf. limit
2	161,90	162,76	163,44
5	203,20	203,73	206,81
10	225,31	226,71	232,19
20	243,77	246,52	254,67
25	249,17	252,43	261,49
40	259,87	264,31	275,34
50	264,67	269,72	281,71
100	278,65	285,73	300,82
200	291,44	300,76	319,09
500	306,92	319,48	342,29
1000	317,73	332,93	359,28
2000	327,90	345,89	375,88
5000	340,50	362,37	397,35
10000	349,46	374,42	413,29

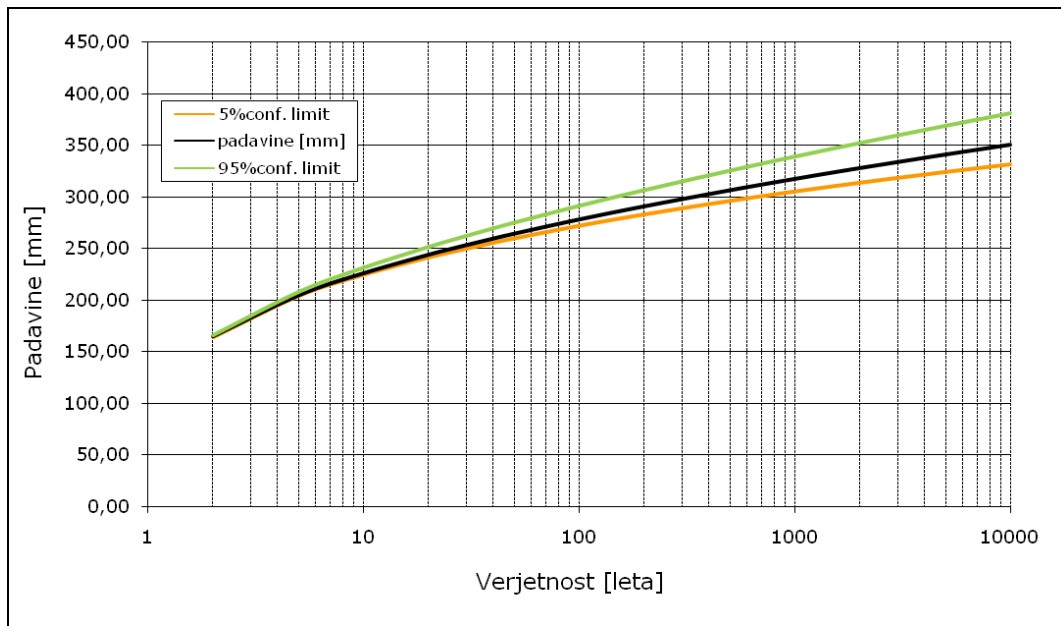


Grafikon 18: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Pearson III z metodo WRC za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

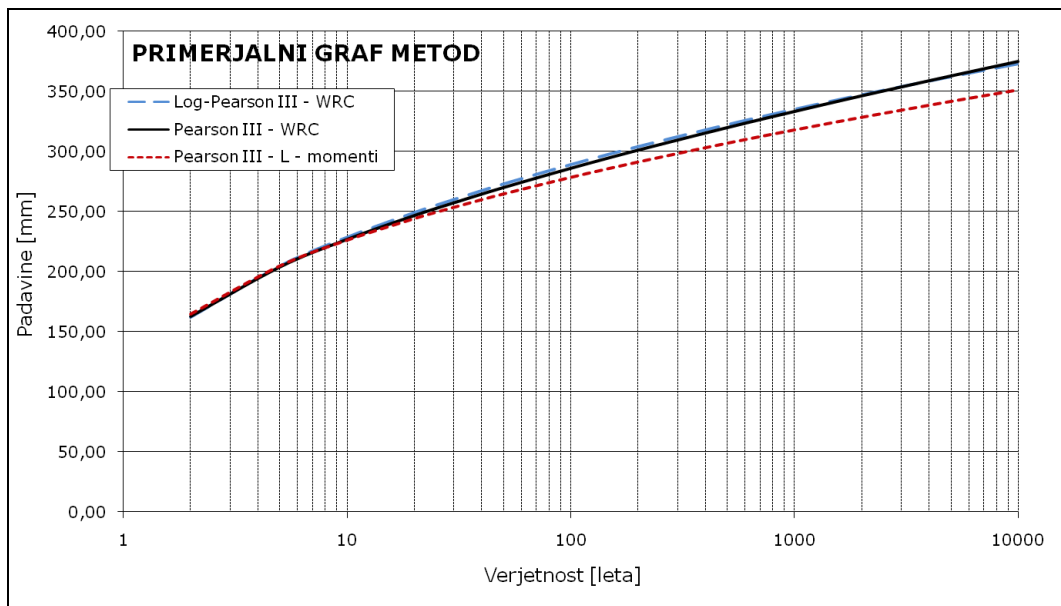
Preglednica 11: Rezultati porazdelitve Pearson III z metodo momentov L za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

Srednja vrednost padavin	165,453
Srednja vrednost	46,811
Standardna deviacija	0,111

Povratna doba	5% conf. limit	Padavine [mm]	95% conf. limit
2	163,80	164,59	165,32
5	203,90	204,58	207,59
10	224,42	225,97	231,14
20	241,12	243,90	251,37
25	245,94	249,17	257,40
40	255,41	259,64	269,51
50	259,62	264,36	275,01
100	271,77	278,16	291,30
200	282,74	290,91	306,58
500	295,86	306,51	325,60
1000	304,94	317,56	339,26
2000	313,42	328,06	352,42
5000	323,84	341,25	369,17
10000	331,21	350,77	381,41



Grafikon 19: Grafični prikaz rezultatov porazdelitve Pearson III z metodo momentov L za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.



Grafikon 20: Grafični prikaz primerjave metod za padavinsko postajo Kneške Ravne za niz podatkov 45 let.

6.5.3 Račun in rezultati po navadni porazdelitvi Gumbel ter Gumbel z momenti L

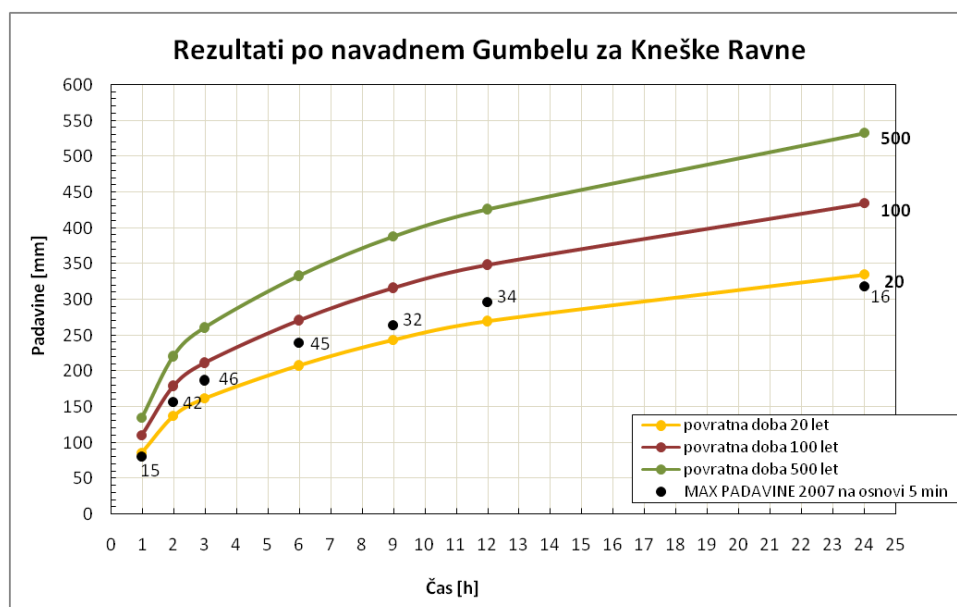
V statistiki poznamo več metod za oceno ekstremnih vrednosti. Na Agenciji RS za okolje uporabljajo navadno Gumbelovo metodo. Je ena najpogosteje uporabljenih metod za računanje povratnih dob ekstremnih vrednosti, ker dopušča neomejeno naraščanje ekstremov z daljšanjem povratne dobe ter daje dobre rezultate predvsem za krajše povratne dobe. Zato smo tudi v našem primeru, za izračun ekstremnih padavin in njenih povratnih dob, uporabili navadno porazdelitev po Gumbelu ter porazdelitev Gumbel z momenti L.

Poglejmo si rezultate, ki so bili dobljeni z uporabo porazdelitve navadnega Gumbela. S pomočjo programa smo najprej izračunali količino padavin za povratne dobe 20, 100 ter 500 let. Račun temelji na padavinah na osnovi 5-minutnih intenzitet.

Preglednica 12: Količina padavin za povratne dobe 20, 100 in 500 let po navadni Gumbelovi metodi za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let.

	T = 20 let	T = 100 let	T = 500 let
1-urne padavine	86,127	110,766	135,155
2-urne padavine	137,129	179,281	221,007
3-urne padavine	161,797	211,675	261,048
6-urne padavine	207,934	270,981	333,390
9-urne padavine	243,621	316,191	388,027
12-urne padavine	269,839	348,376	426,119
24-urne padavine	334,685	434,138	532,584

Na podlagi zgornjih podatkov lahko sedaj določimo povratne dobe po navadni Gumbelovi metodi za padavine, ki so padle 18. septembra 2007.



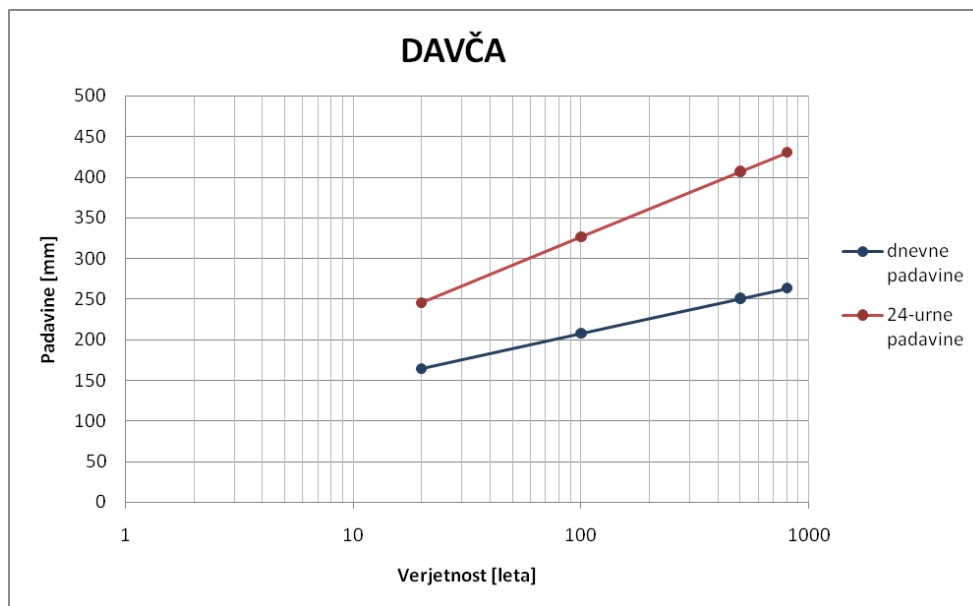
Grafikon 21: Grafični prikaz količine padavin, ki je padla 18. septembra 2007, in povratne dobe po navadni metodi Gumbela za Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let.

Preglednica 13: Povratne dobe padavin 18. septembra 2007 po navadni Gumbelovi metodi za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let.

KNEŠKE RAVNE	Povratna doba
1-urne padavine	15
2-urne padavine	42
3-urne padavine	46
6-urne padavine	45
9-urne padavine	32
12-urne padavine	34
24-urne padavine	16

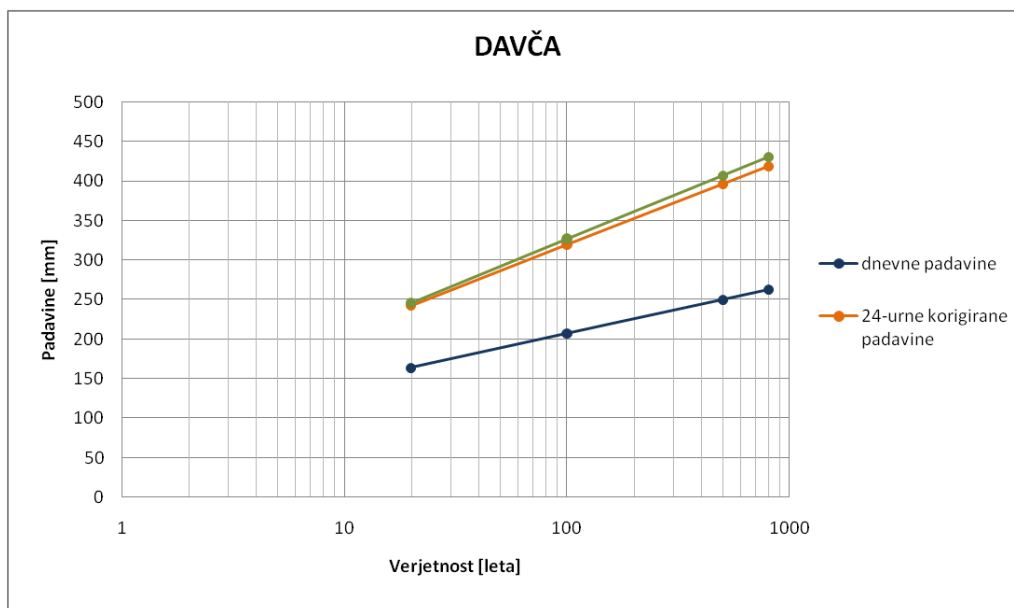
V primeru Davče pa so nastala velika odstopanja pri izračunu padavin za povratne dobe 20, 100 in 500 let. Analiza na padavinski postaji Davča je narejena le na nizu podatkov za 9 let. Kot smo že povedali, imajo podatki že v osnovi pomankljivosti, ki še dodatno vplivajo na program. Vrednosti, ki smo jih dobili, so bile v primerjavi s padavinami, ki so padle 18. septembra 2007, previsoke, povratne dobe padavin pa prenizke.

Če primerjamo še enkrat dnevne in 24-urne padavine na Davči, vidimo, da se med njima pojavi velika razlika.



Grafikon 22: Grafični prikaz izračunanih dnevnih padavin na podlagi niza podatkov 45 let in 24-urnih padavin na podlagi niza podatkov 9 let za povratno dobo 20, 100, 500 in 800 let za padavinsko postajo Davča.

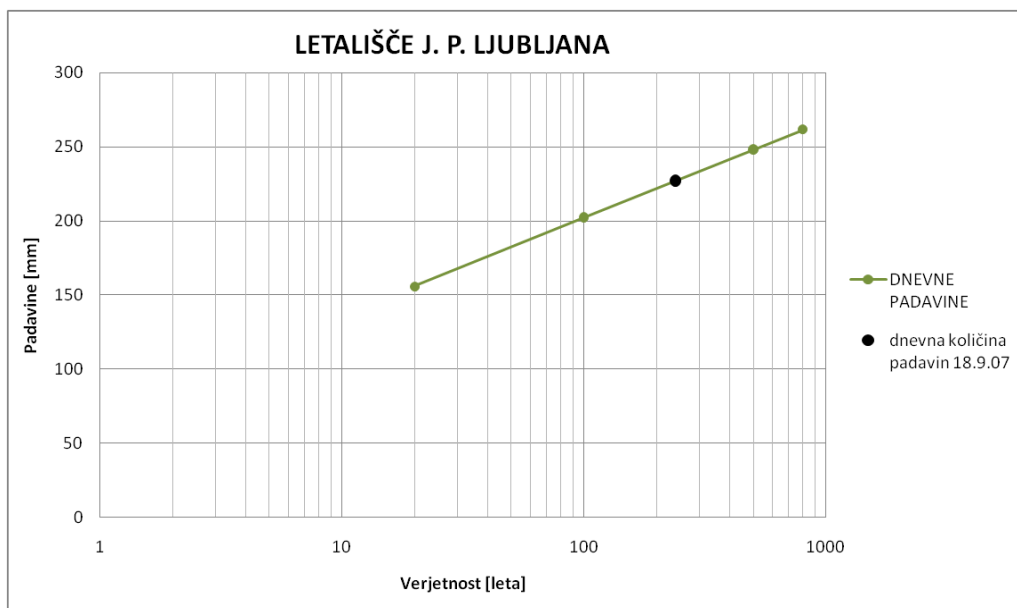
Zaradi velikega odstopanja smo poskušali razliko zmanjšati, in sicer na naslednji način. Iz preteklih izkušenj vemo, da naj bi bile 24-urne količine padavin vsaj tolikšne kot dnevne količine padavin. Zato smo poskusili narediti korigiran niz podatkov za 24-urne padavine. Vrednosti 24-urnih padavin, ki močno odstopajo od dnevnih vrednosti padavin, smo izenačili z dnevnimi vrednostmi padavin. Nato smo še enkrat ponovili izračun za korigiran niz podatkov za povratne dobe 20, 100, 500 in 800 let ter ponovno primerjali rezultate.



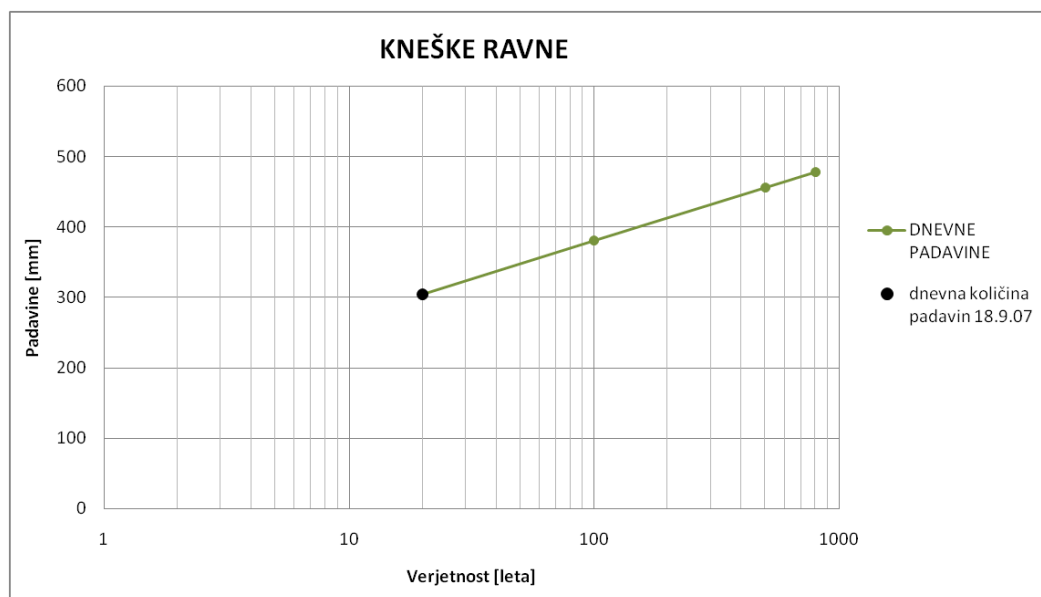
Grafikon 23: Grafični prikaz izračunanih dnevnih padavin na podlagi niza podatkov 45 let, 24-urnih ter 24-urnih korigiranih padavin na podlagi niza podatkov 9 let za povratno dobo 20, 100, 500 in 800 let za padavinsko postajo Davča.

Razlika med dnevnimi in korigiranimi 24-urnimi padavinama je še vedno zelo velika. Rezultati še vedno niso ustrezni. Kar je razvidno tudi iz horizontalne linije med isto količino padavin pri dnevnih in pri 24-urnih padavinah. Pri dnevnih padavinah ima 250 mm padavin 500-letno povratno dobo, pri 24-urnih padavin pa ima 250 mm padavin okoli 20-letno povratno dobo.

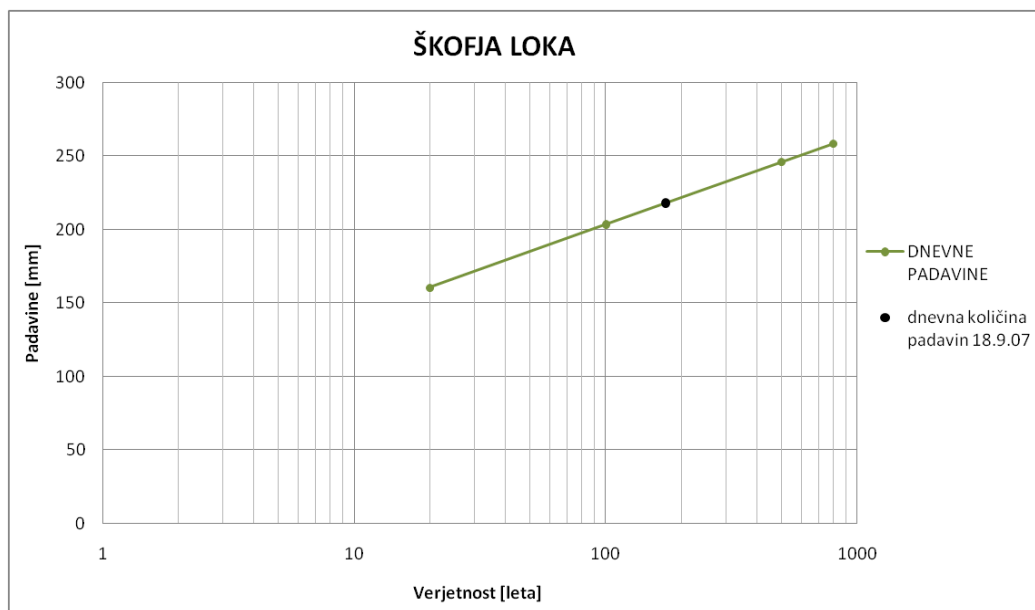
Spodaj so prikazani še grafi dnevnih padavin in njihova povratna doba po navadni metodi Gumbela.



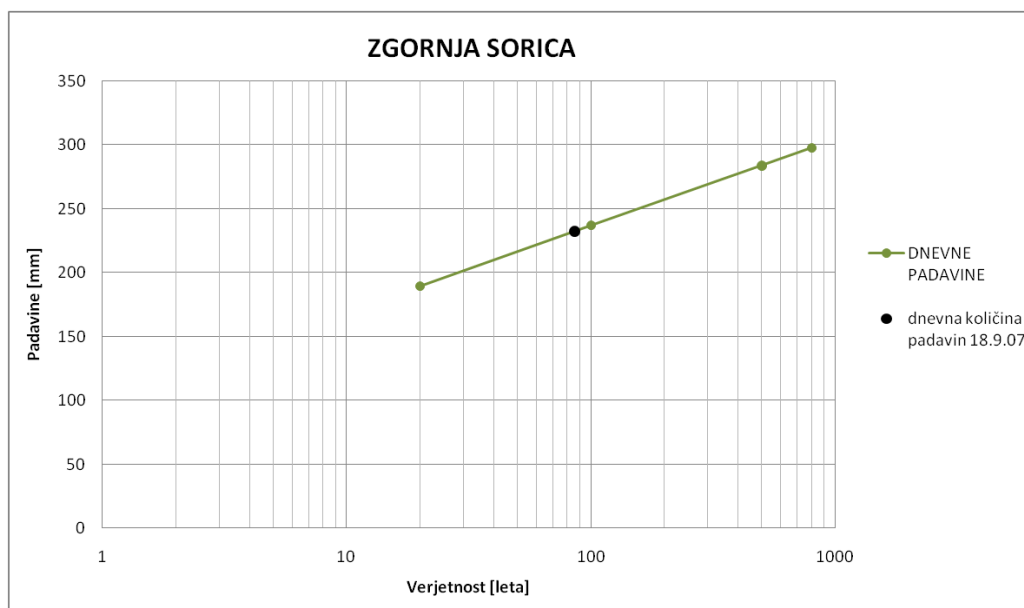
Grafikon 24: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Letališče J. P. Ljubljana na podlagi niza podatkov 45 let.



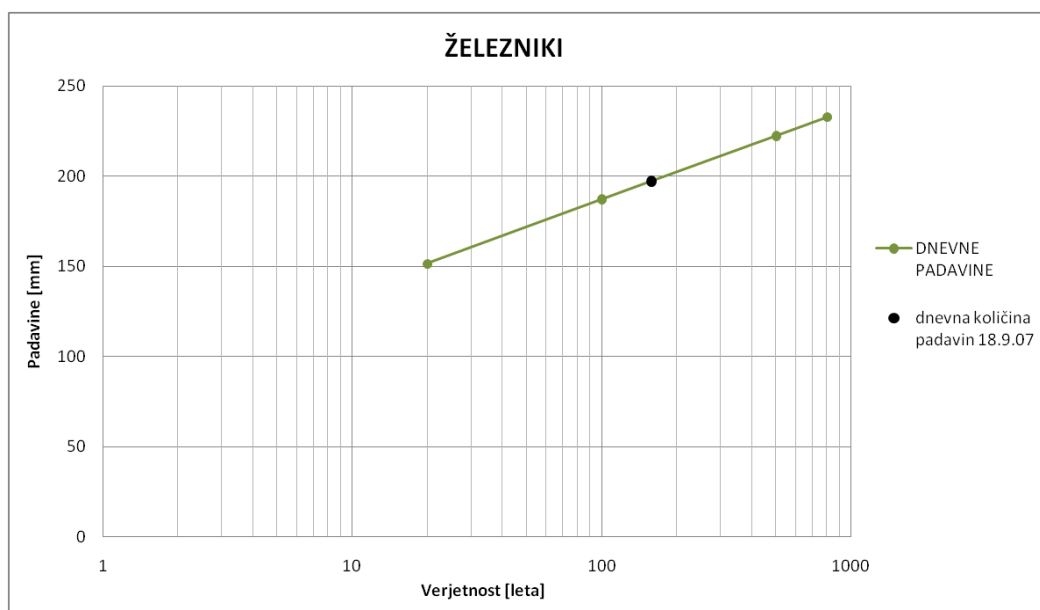
Grafikon 25: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18. 9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 45 let.



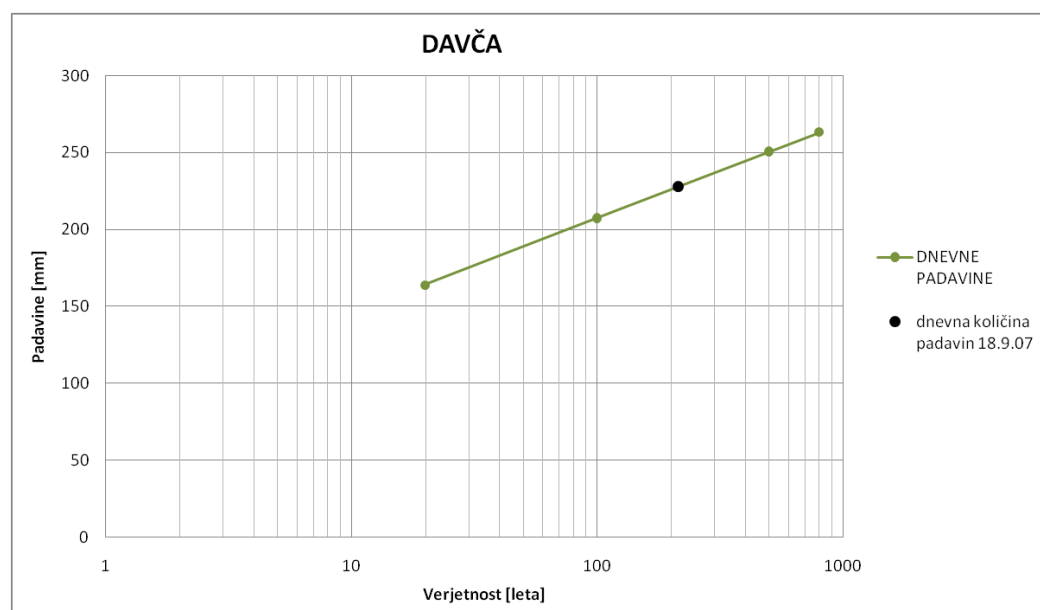
Grafikon 26: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Škofja Loka na podlagi niza podatkov 47 let.



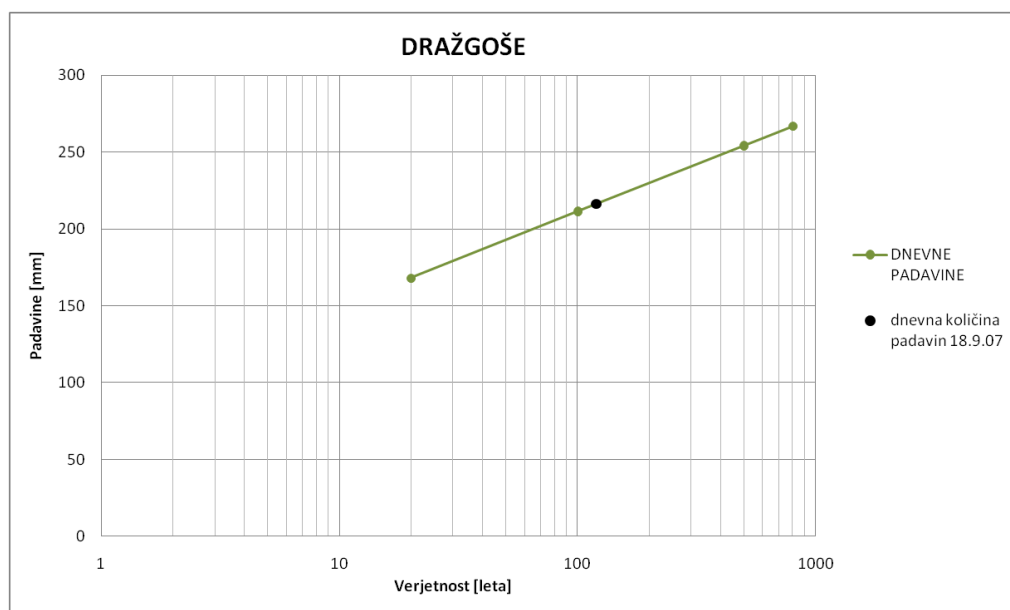
Grafikon 27: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18. 9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Zgornja Sorica na podlagi niza podatkov 47 let.



Grafikon 28: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Železniki na podlagi niza podatkov 47 let.



Grafikon 29: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18. 9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Davča na podlagi niza podatkov 45 let.



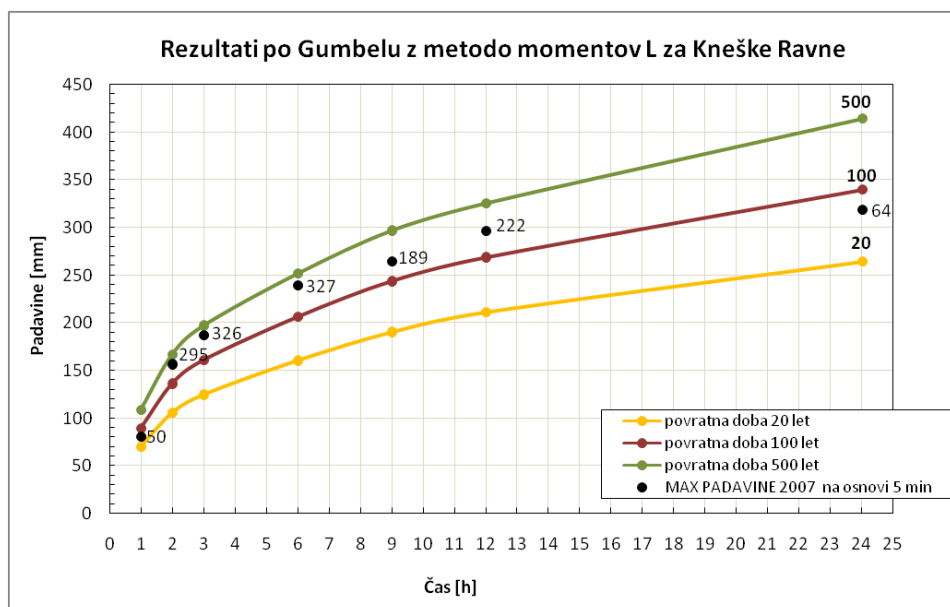
Grafikon 30: Grafični prikaz dnevne količine padavin 18.9. 2007 in njena povratna doba po metodi navadnega Gumbela za padavinsko postajo Dražgoše na podlagi niza podatkov 47 let.

Preglednica 14: Dnevne padavine 18. 9. 2007 in povratna doba po metodi navadnega Gumbela.

DNEVNE PADAVINE	20	100	500	Padavine 18.9.2007	Povratna doba
Letališče J.P. LJ	156,042	202,302	248,094	227,1	239
Davča	164,186	207,570	250,515	227,9	214
Kneške Ravne	304,035	380,084	455,363	304,1	20
Dražgoše	168,210	211,524	254,400	216,4	120
Škofja Loka	160,670	203,573	246,041	218	173
Zgornja Sorica	189,462	236,835	283,729	232,5	86
Železniki	151,573	187,224	222,514	197,2	158

Glede na rezultate po metodi navadnega Gumbela, lahko rečemo, da se je najbolj izreden dogodek zgodil na Letališču J.P. Ljubljana, kjer je padlo 227,1 mm padavin s povratno dobo 239 let. Malo manjše vrednosti ima padavinska postaja Davča, kjer je padlo 227,9 mm padavin s povratno dobo 214 let. Glede na krajšo povratno dobo ob skoraj enaki količini padavin, lahko sklepamo, da v Davči v povprečju pade več padavin kot na Letališču J. P. Ljubljana.

Poglejmo si še rezultate po **Gumbelovi porazdelitvi z momentni L**.



Grafikon 31: Grafični prikaz rezultatov padavin 18.9.2007 za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let.

Preglednica 15: Rezultati padavin 18. 9. 2007 in njihove povratne dobe za padavinsko postajo Kneške Ravne na podlagi niza podatkov 30 let.

	T = 20 let	T = 100 let	T = 500 let	Padavine 18.9.2007	Povratne dobe
1-urne padavine	70,024	89,636	109,050	81,1	50
2-urne padavine	105,560	136,377	166,883	156,9	295
3-urne padavine	124,474	160,961	197,079	187,5	326
6-urne padavine	160,365	206,218	251,607	239,6	327
9-urne padavine	190,062	243,655	296,706	264,7	189
12-urne padavine	211,020	268,438	325,275	296,6	222
24-urne padavine	264,016	339,322	413,867	318,6	64

Iz rezultatov je razvidno, da so vrednosti padavin pri povratnih dobah 20, 100 in 500 let nižje kot pri navadni metodi z Gumbelom. Zato pri količini padavin, ki je padla 18. 9. 2007, dobimo višje povratne dobe.

Glede na končne rezultate lahko rečemo, da smo najbolj ustrezne vrednosti dobili z uporabo navadne metode po Gumbelu. Primer uporabe momentov L pa je pokazal, da bi bilo potrebno metodo uporabiti še s kakšno drugo porazdelitvijo. Izkušnje drugih primerov kažejo, da sta najbolj primerni porazdelitvi za računanje ekstremnih padavinskih dogodkov in njihovih povratnih dob, GEV in GLO. Velik vpliv na celoten izračun pa imajo tudi odstopanja pri meritvah padavin.

6.6 Časovna analiza padavin 18. 9. 2007

V torek 18. 9. 2007 je v Davči pričelo deževati že okoli četrte ure zjutraj in ni nehalo vse nekje do desete ure zvečer. V Kneških Ravnah pa je začelo deževati že dve uri prej in je ponehalo šele okoli desete ure zvečer. Če si natančno pogledamo razporeditev padavin, lahko točno določimo, kdaj so bili maksimumi preko celega dneva.

Preglednica 16: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi 5 minutnih intenzitet na padavinski postaji Davča.

DAVČA	Čas [h]	Padavine [mm]
60 min max	11.45 - 12.45	84,2
120 min max	10.40 - 12.40	110,9
180 min max	9.40 - 12.40	134,8
360 min max	9.15 - 15.15	155,2
540 min max	9.15 - 18.15	178,1
720 min max	9.05 - 21.05	214,1
1440 min max	4.50 - 21.25	220,1

Preglednica 17: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi polne ure na padavinski postaji Davča.

DAVČA	Čas [h]	Padavine [mm]
1-urni max	12 - 13	72
2-urni max	11 - 13	98,4
3-urni max	10 - 13	128,9
6-urni max	9 - 15	152,3
9-urni max	9 - 18	176,4
12-urni max	9 - 21	214
24-urni max	4 - 22	220,1

Preglednica 18: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi 5 minutnih intenzitet na padavinski postaji Kneške Ravne.

KNEŠKE RAVNE	Čas [h]	Padavine [mm]
60 min max	13.40 - 14.40	81,1
120 min max	13.35 - 15.35	156,9
180 min max	12.55 - 15.55	187,5
360 min max	9.55 - 15.55	239,6
540 min max	7.50 - 16.35	264,7
720 min max	8.30 - 20.30	296,6
1440 min max	2.30 - 21.15	318,6

Preglednica 19: Časovna razporeditev maksimalnih padavin na osnovi polne ure na padavinski postaji Kneške Ravne.

KNEŠKE RAVNE	Čas [h]	Padavine [mm]
1-urni max	14 - 15	69,4
2-urni max	14 - 16	134,7
3-urni max	13 - 16	186,4
6-urni max	10 - 16	238,2
9-urni max	8 - 17	264,7
12-urni max	9 - 21	292,3
24-urni max	2 - 22	318,6

7 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil pokazati redkost nastopa ekstremnega padavinskega dogodka, ki se je zgodil 18. septembra 2007 ter podrobneje analizirati padavinske razmere. Pri tem je natančneje opisana tudi statistična metoda momentov L, ki je bila poleg ostalih statističnih metod uporabljena pri izračunu.

Momenti L so obetajoč opis statističnih lastnosti verjetnostnih porazdelitev in se v drugih državah že uporablja kot ustrezna metoda za izračun ekstremnih vrednosti in njenih povratnih dob. Pri celotni analizi pa niso pomembni le momenti L, vendar moramo ustrezno izbrati tudi statistično porazdelitev, ki da najbolj ustrezne rezultate. V našem primeru so bile uporabljene porazdelitev Pearson III, porazdelitev Log Pearson III ter Gumbelova porazdelitev. Izkušnje so pokazale, da bi bila potrebna uporaba še drugih statističnih porazdelitev. Drugod po svetu sta najbolj uporabljeni porazdelitvi za izračun ekstremnih padavinskih dogodkov in njihov povratnih dob, porazdelitvi GEV in GLO.

Če povzamemo rezultate v diplomski nalogi, si lahko predstavljamo kako izjemen dogodek je povzročil toliko škode. Povratne dobe pa so pokazale redkost nastopa padavinskega dogodka, ki se je zgodil 18. 9. 2007 ter s tem posledično tudi katastrofalnih poplav.

VIRI

Adamowski, K. 2000. Regional analysis of annual maximum and partial duration flood data by nonparametric and L-moment methods, *Journal of Hydrology* 229: str. 219-231.

ARSO, 2003a. Ekstremni dogodki.

<http://www.arso.gov.si/cd/klima1/Zaslou/PDF%20Zaslou/15-Povratne%20dobe%20ekstremnih%20nalivov%20in%20temperatur.pdf> (20.3.2008).

ARSO, 2003. Meteorološke meritve.

<http://www.arso.gov.si/cd/klima1/Zaslou/PDF%20Zaslou/07-Merilna%20mreza%20meteoroloskih%20postaj%20v%20Sloveniji.pdf> (3.4.2008).

ARSO, 2005. Daljinske meritve.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Radarske_meritve_v_klimatologiji.pdf (3.4.2008).

ARSO, 2005b. Daljinsko zaznavanje v ozračju.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Radarsko_merjenje_padavin.pdf (3.4.2008).

ARSO, 2005a. Klimatografija Slovenije.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Povprecna_skupna_visina_padavin_v_obdobju_1961-1990.pdf (3.4.2008).

ARSO, 2005d. Napovedovanje vremena.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Prognosticni_operativni_sistem.pdf (3.4.2008).

ARSO, 2005c. Simulacija dogajanj v ozračju.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Model_Aladin.pdf (3.4.2008).

ARSO, 2005. Spremljanje podnebja.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/dr%C5%BEavna%20slu%C5%BEba/Ekstremni_vremenski_dogodki_.pdf (20.3.2008).

ARSO, 2006a. Možnosti in omejitve pri napovedovanju izrednih vremenskih dogodkov in izdaja opozoril.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/napoved_izredni_dogodki.pdf (15.3.2008).

ARSO, 2006b. Podnebne razmere v Sloveniji (Obdobje 1971-2000).

http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/podnebnje_razmere_Slo71_00.pdf (15.3.2008).

ARSO, 2007b. Izjemen padavinski dogodek 18. septembra 2007.

http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/padavine_18sep07.pdf (15.3.2008).

ARSO, 2007a. Okolje na dlani, Podnebne spremembe: 22-25 str.

http://nfp-si.eionet.europa.eu/Podatki_in_informacije/F1203936512/HTML_Page1203951969/Dokumenti/pdf/OND07/OND1_celota.pdf (20.4.2008).

ARSO, 2007c. Poročilo o vremenski in hidrološki situaciji 18. septembra 2007.

http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke_vode-20070918.pdf (15.3.2008).

ARSO, 2008. Visoke vode in poplave 18. septembra 2007.

<http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Visoke%20vode%20in%20poplave%2018.%20septembra%202007.pdf> (15.3.2008).

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M., 1999. Vodne ujme. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 177 str.

Brilly, M., Šraj, M., 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 290 str.

Cegnar, T., 2003. Podnebne spremembe in padavinski režim. 14. V: Mišičev vodarski dan 2003.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Podnebne_spremembe.pdf (3.4.2008).

Chowdhury, J.U., Stedinger, J.R., Lu, L.H. 1991. Goodness-of-fit tests for regional Generalized Extreme Value flood distributions, *Water Resources Research*, 27(7): str. 1765-1776.

Gams, I., 1999. Spremenljivi sezonski padavinski režim in njegov vpliv na suše in povodnji. *UJMA*, številka 13: 195-198.

http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2000/u_clanek27.pdf (29.3.2008).

González, J., Valdés, J.B. 2008. A regional monthly precipitation simulation model based on an L-moment smoothed statistical regionalization approach, *Journal of Hydrology* 348: str. 27-39.

Gregorič, G., Poredoš, A., 2001. Napovedovanje neviht. *UJMA*, številka 14-15: 325-329.

http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2001/p7_8.pdf (29.3.2008).

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1993. Some statistics in regional frequency analysis, *Water Resources Research*, 29(2): str. 271-181.

Hosking, J.R.M. 1994. The four-parameter kappa distribution, IBM Research Division, Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York: str. 251-258.

<http://www.research.ibm.com/journal/rd/383/hosking.pdf> (22.2.2008).

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. 1997. Regional frequency analysis: An approach based on L-moments. Cambridge, Cambridge University Press: 209 str.

Kajfež-Bogataj, L., 1992. Klimatske spremembe in vremenske ujme v Sloveniji. V: Poplave v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Republiška uprava za zaščito in reševanje, Center za multidisciplinarno proučevanje naravnih nesreč Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU: str 37-44.

Karvanen, J., Nuutinen, A. 2008. Characterizing the generalized lambda distribution by L-moments, Computational Statistics & Data Analysis 52: str. 1971-1983.

Klabus, A., 2007. Visoke vode 18. septembra 2007-že četrte poplave v povodju Selške Sore v zadnjih 17 letih. V: Mišičev vodarski dan 2007.

ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/vodne_zgradbe/Klabus_2007.pdf (20.4.2008).

Kolbezen, M., 1996. Velike poplave in povodnji na Slovenskem-VI. UJMA, številka 10: 260-264.

Kučić, K., 2007. Metoda momentov L pri verjetnostni analizi visokih vod. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 68 str.

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M., 2002. Hidrološko izrazje = Terminology in Hydrology. Acta hydrotechnica 20/32: 325 str.

Natek, K., 2005. Poplavna območja v Sloveniji. Geografski obzornik, številka 1: 13-18.
http://www.zrc-sazu.si/ZGDS/obzornik/1_2005.pdf (10.4.2008).

Norbiato, D., Borga, M., Sangati, M., Zanon, F. 2007. Regional frequency analysis of extreme precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood, Journal of Hydrology 345: str. 149-166.

Noto, L.V., La Loggia, G., Cannarozzo, M. 2006. Development of a regional flood frequency analysis using L-moments approach for Sicily, Italy. V: Ferrari, E., Versace, P. Observing and modelling exceptional floods and rainfalls, 1st Internatioal Workshop on Hydrological Extremes AMHY-FRIEND group, University of Calabria, Cosenza (Italy): str. 119-133.

Orožen-Adamič, M., 1992. Pregled večjih poplav v Sloveniji in škoda, ki jo povzročajo. V: Poplave v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Republiška uprava za zaščito in reševanje, Center za multidisciplinarno proučevanje naravnih nesreč Geografskega inštituta Antona Melika ZRC SAZU: str 7-10.

Slika podivjane Sore v Škofji Loki.

http://blog.ice_heki.com/index.php/poplava-fotke (5.6.2008).

Slika poplavljene dvorane Poden v Škofji Loki.

http://blog.ice_heki.com/index.php/poplava-fotke (5.6.2008).

Slika ujme 18. september v Železnikih.

http://pudl.photovillage.org/gallery/2414/Poplava_Zelezniki_18_09_2007 (5.6.2008).

Srebrnič, T., Mikoš, M. Analiza sezonskosti padavin in pretokov v Sloveniji.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2006/SZGG2006_Srebrnic_Mikos.pdf (24.3.2008).

Štrukelj, M., 2008. Poplave v Sloveniji 18.9.2007. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 79 str.

Trontelj, M., 1996. Pomen meteoroloških informacij za zmanjšanje posledic naravnih nesreč. UJMA, številka 10: 188-190.

Turk, G., 2007. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 225.

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (5.4.2008).

Vertačnik, G., 2007. Izjemne padavine 18. septembra 2007. V: Mesečni bilten, številka 9, letnik XIV, Ljubljana, Agencija RS za okolje.

http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/bilten_2007_09.pdf (15.3.2008).