

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 Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:

**Krištof Kučič**

# **Metoda momentov pri verjetnostni analizi visokih vod**

**Diplomska naloga št.: 2958**

**Mentor:**  
prof. dr. Matjaž Mikoš

**Somentor:**  
prof. dr. Goran Turk

Ljubljana, 20. 6. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Krištof Kučić izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Metoda momentov L pri analizi visokih vod«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Gorenja vas, 22. 05. 07

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

**UDK:** 556.166(043.2)  
**Avtor:** Krištof Kučić  
**Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Somentor:** izr. prof. dr. Goran Turk  
**Naslov:** Metoda momentov L pri analizi visokih vod  
**Obseg in oprema:** 85 str., 4 pregl., 11 graf., 20 sl., 11 en.  
**Ključne besede:** momenti L, analiza visokih vod

### **Izveček**

V Sloveniji se za analizo visokih vod običajno uporablja logaritemska Pearson III porazdelitev z metodo momentov. Tako pridobljeni rezultati so, predvsem za daljše povratne dobe, pretirano visoki. Namen dela je bil primerjati metodo momentov L (Hosking in Wallis, 1997), predstavljeno v knjigi Flood estimation handbook (FEH), z metodami, ki se uporabljajo v Sloveniji. Primerjal sem metode momentov L s Pearson III porazdelitvijo in navadnih momentov s Pearson III ter logaritmično Pearson III porazdelitvijo. Vzorčni podatki so bili podatki o najvišjih zabeleženih letnih pretokih na 300 slovenskih vodomernih postajah.

Za računanje sem najprej poskusil uporabiti program WINFAP-FEH, vendar se zaradi zamudnega vnašanja podatkov in možnosti izpisov ni izkazal za zelo uporabnega. Zato sem razvil svoj program v okolju Microsoft Excela s podporo programskega jezika Visual Basic. Program podpira različne dvo- in triparametrične porazdelitve z metodo momentov L, podatke pa črpa neposredno iz podatkovnih zbirk v zapisu Excel, ki jih posreduje ARSO. Grafikoni in tabelarični podatki se lahko brez težav urejajo in uporabljajo tudi v drugih programih zbirke Microsoft Office.

Rezultate z uporabo metode momentov L sem primerjal z rezultati, ki sta jih dali drugi dve metodi (Pearson III in Log-Pearson III z navadnimi momenti) - pri povratnih dobah 50, 500 in 5000 let. Za 300 vodomernih postaj sem primerjal razlike glede na povprečne razlike med metodami, absolutne razlike med postajami, velikost reke in število podatkov za posamezno postajo. V primerjavi z drugima metodama se je metoda momentov L izkazala za stabilno, rezultati so bili večinoma med metodama z navadnimi momenti.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 556.166(043.2)  
**Author:** Krištof Kučić  
**Supervisor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Cosupervisor:** izr. prof. dr. Goran Turk  
**Title:** Method of L-moments for flood frequency analysis  
**Notes:** 85 p., 4 tab., 11 grap., 20 fig., 11 eq.  
**Key words:** L-moments, flood frequency analysis

### **Abstract**

For the statistical analysis of high flows, the Log-Pearson III method with moments is usually used in Slovenia. This method gives unrealistically high values for higher return periods. The main reason for this study is to compare the usage of L-moments (Hosking and Wallis, 1997), as proposed in the Flood Estimation Handbook (FEH), with the existing statistical methods in use in Slovenia for single-site analysis. For this reason, I compared the Pearson III distribution with L-moments with the Pearson III distribution and the Log-Pearson III distribution using moments. As the data set (a series of annual maximum discharges  $Q_{\max}$ ) I used available data from Slovenian hydrological network of 300 stations. Even though the specialised software WINFAP-FEH is available on the market, I found it inconvenient to use for the whole Slovenian network (there is no direct support for Slovenian data). That is why I developed a MS Excel computer program running in the Visual Basic environment, supporting different two- and three-parameter statistical frequency distributions using the L-moments, and directly using the available files created in the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. The output files of this newly created software can be easily used in Windows Office environment.

The results obtained using the L-moments were compared for three return periods (50, 500, and 5000 years) with the other two applied methods using moments in terms of average values, absolute differences, catchment area of the measuring station, and the size of the data set. After all these criteria the new method with the L-moments proved stable, and the results ranged in-between the results yielded by the other two methods using moments.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju izr. prof. dr. Goranu Turku za nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge ter Agenciji Republike Slovenije za okolje za gradivo.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2 PODNEBNE SPREMEMBE</b>	<b>2</b>
2.1 Dvig temperature	2
2.2 Dvig morske gladine	3
2.3 Spremembe v padavinskem režimu	5
<b>3 POPLAVE</b>	<b>7</b>
3.1 Definicija poplave	7
3.2 Nevarnosti poplav v Sloveniji	7
3.2.1 Ogroženost zaradi poplav v Sloveniji	9
3.2.1.2 Trend značilnih pretokov za slovenske vodotoke	10
3.2.2 Zgodovinske poplave v Sloveniji	11
3.3 Značilnosti površinskih vodotokov v Sloveniji	12
3.3.1 Vodna območja	13
3.3.2 Rečni režimi	14
3.3.3 Odtočnost rek	16
<b>4 UVOD V METODOLOGIJO VERJETNOSTNE ANALIZE VISOKIH VOD</b>	<b>18</b>
4.1 Uvod	18
4.2 Podatki o poplavnih vodah	18
4.3 Osnovni pojmi	19
4.3.1 Povratna doba	19
4.3.2 Krivulja poplavnih frekvenc	19
4.3.3 Tipična poplava	20
4.3.4 Rastna krivulja	20
4.4 Osnovni koraki analize za posamezno merilno mesto po metodologiji FEH	21
4.4.1 Pregled osnovnih korakov	21
4.4.2 Kdaj uporabimo analizo za posamezno merilno mesto?	21
4.5 Uvod v analizo poplavnih frekvenc na osnovi skupine podobnih merilnih mest	22

<b>5 VERJETNOSTNE PORAZDELITVE ZA ANALIZO POPLAVNIH FREKVENC</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Kratek pregled statističnih pojmov</b>	<b>23</b>
<b>5.2. Metode za ujemanje s porazdelitvijo</b>	<b>24</b>
<b>5.2.1 Momenti porazdelitev</b>	<b>25</b>
<b>5.3 Izbira ustrezne porazdelitve</b>	<b>27</b>
<b>5.3.1 Ujemanje porazdelitev s pomočjo deležev momentov L</b>	<b>27</b>
<b>5.4 Pregled nekaterih teoretičnih porazdelitev</b>	<b>28</b>
<b>6 METODA MOMENTOV L</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Uvod</b>	<b>37</b>
<b>6.2 Momenti L verjetnostnih porazdelitev</b>	<b>37</b>
<b>6.3 Momenti L in urejenostna statistika</b>	<b>40</b>
<b>6.4 Izračun vzorčnih momentov L</b>	<b>42</b>
<b>6.5 Določitev parametrov porazdelitve na osnovi momentov L</b>	<b>43</b>
<b>6.5.1 Primerjava metode v programu FEH in klasične metode momentov L</b>	<b>43</b>
<b>6.5.2 Računalniški algoritmi za določanje parametrov porazdelitev z momentami L</b>	<b>44</b>
<b>6.6 Uporaba metode momentov L v Evropi in svetu</b>	<b>44</b>
<b>6.6.1 Evropa</b>	<b>44</b>
<b>6.6.2 Svet</b>	<b>45</b>
<b>7 RAČUNSKI PRIMER</b>	<b>47</b>
<b>7.1 Račun z uporabo Excela, Mathematice in osnovnih enačb</b>	<b>47</b>
<b>7.2 Račun s programom WINFAP-FEH</b>	<b>49</b>
<b>7.2.1 Vhodni podatki</b>	<b>50</b>
<b>7.2.2 Račun in rezultati</b>	<b>52</b>
<b>7.3 Račun z lastnim programom</b>	<b>53</b>
<b>7.3.1 Vhodni podatki</b>	<b>54</b>
<b>7.3.2 Račun in rezultati</b>	<b>54</b>
<b>8 ANALIZA REZULTATOV METODE MOMENTOV L ZA SLOVENIJO</b>	<b>57</b>
<b>8.1 Povprečna razlika med metodami glede na različne povratne dobe</b>	<b>57</b>
<b>8.2 Absolutne razlike med metodami glede na različne povratne dobe</b>	<b>58</b>

<b>8.3 Razlike med metodami glede na velikost vodotoka</b>	<b>63</b>
<b>8.4 Razlike med metodami glede na število podatkov</b>	<b>65</b>
<b>9 ZAKLJUČEK</b>	<b>67</b>
<b>10 VIRI</b>	<b>69</b>
<b>11 PRILOGE</b>	<b>75</b>



## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Porazdelitve za opis poplavnih frekvenc	27
Preglednica 2: Podatki o letnih najvišjih pretokih za postajo Žiri II	47
Preglednica 3: Izračun delnih vsot	47
Preglednica 4: Tabelarični rezultati za postajo Žiri II in metodo momentov L	55

## **KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Izpis primerjave metod s programom FEH	53
Grafikon 2: Izpis primerjave metod z lastnim programom	55
Grafikon 3: Grafični prikaz rezultatov za porazdelitev Pearson III z metodo momentov L za postajo Žiri II	56
Grafikon 4: Povprečna razlika med metodami glede na povratno dobo	58
Grafikon 5: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 50 let	59
Grafikon 6: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 500 let	60
Grafikon 7: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 5000 let	62
Grafikon 8: Primerjava metod PE3 LMOM / PE3 glede na velikost vodotoka	64
Grafikon 9: Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na velikost vodotoka	64
Grafikon 10: Primerjava metod PE3 LMOM / PE3 glede na število podatkov	65
Grafikon 11: Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na število podatkov	66

## KAZALO SLIK

Slika 1: Globalno segrevanje ozračja glede na različne scenarije IPCC	2
Slika 2: Ocena spremembe letne temperature zraka v slovenskih krajih v obdobju 1951 – 2000	3
Slika 3: Vpliv dviga gladine morja za dva metra v slovenskem primorju.	4
Slika 4: Svetovni padavinski trend do leta 2100	5
Slika 5: Razlike med povprečjem absolutnih letnih 2-dnevnih ekstremnih padavin v obdobju 1961 – 1990 in med leti 1991 – 2002.	6
Slika 6: Ocena relativne spremembe letne količine padavin v slovenskih krajih v obdobju 1951 – 2000	6
Slika 7: Trendi značilnih pretokov za obdobje 1955 – 2000.	11
Slika 8: Sredina porazdelitve	40
Slika 9: Razpršenost porazdelitve	41
Slika 10: Simetrija porazdelitve	41
Slika 11: Koničavost porazdelitve	41
Slika 12: Povratne dobe	52
Slika 13: Izbira porazdelitev in metode	52
Slika 14: V programu izberemo želeno postajo	54
Slika 15: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 50 let	59
Slika 16: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 50 let	60
Slika 17: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 500 let	61
Slika 18: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 500 let	61
Slika 19: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 5000 let	62
Slika 20: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 5000 let	63

## **KAZALO PRILOG**

Priloga A: Fortran procedure za oceno parametrov nekaterih porazdelitev z momentami L (Hosking, 2005)	75
Priloga B: Visual Basic makro za pripravo datotek primernih za program WINFAP-FEH iz baze podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje	84

## 1 UVOD

V vsej človeški zgodovini do leta 1800 je število ljudi na Zemlji doseglo svojo prvo milijardo. Sedaj Zemlja pridobi milijardo prebivalcev v približno dvanajstih letih, zato jo bo do leta 2050 predvidoma naseljevalo že devet milijard ljudi. Obremenitev okolja bo ogromna.

Z vse večjo verjetnostjo lahko trdimo, da se klimatske spremembe kot posledica učinka tople grede že dogajajo in celo stopnjujejo. Meritve kažejo, da se je povprečna globalna temperatura ozračja povečala za približno 0,5°C glede na predindustrijsko dobo. Glede na svetovno rast porabe energije in industrijske proizvodnje, ki sta največja krivca za emisije toplogrednih plinov, lahko do sredine stoletja v globalnem povprečju pričakujemo porast za 2°C, torej nekajkrat toliko kot doslej. Po klimatoloških napovedih sodi Slovenija v tisti del Evrope, kjer bodo podnebne spremembe znatno večje od povprečnih. Zato lahko pričakujemo, da se bodo posledice podnebnih sprememb, ki jih že opažamo, v Sloveniji še močno stopnjevale.

Osnovne značilnosti podnebnih sprememb v Sloveniji lahko strnemo v naslednje:

- milejše zime in toplejša poletja
- več padavin pomladi in jeseni, manj poleti in pozimi
- več vremenskih ekstremov (neurja, nalivi, vročinski valovi, suše).

Povzamemo lahko torej, da bo prostora za naravni tok rek zaradi rasti prebivalstva čedalje manj, hkrati pa bo vse več ekstremnih vremenskih pojavov. Naloga hidrotehnikov in hidrotehniške stroke bo iskanje boljših metod za napovedovanje teh ekstremnih pogojev. Nove metode bodo morale biti čim bolj natančne in hkrati fleksibilne.

V svojem diplomskem delu bom opisal eno izmed najnovejših metod – metodo momentov L. Najprej bom opisal stanje na področju rečnih sistemov in poplav, sledil bo pregled obstoječih metod in opis metode momentov L za analizo visokih vod. Prikazal bom tudi računski primer z uporabo nove metode v običajno uporabljanem angleškem in lastnem programu. V poglavju o rezultatih bom predstavil rezultate in primerjave nove metode v primerjavi z obstoječimi na slovenskih vodomernih postajah. Na koncu bom podal ključne ugotovitve in zaključke.

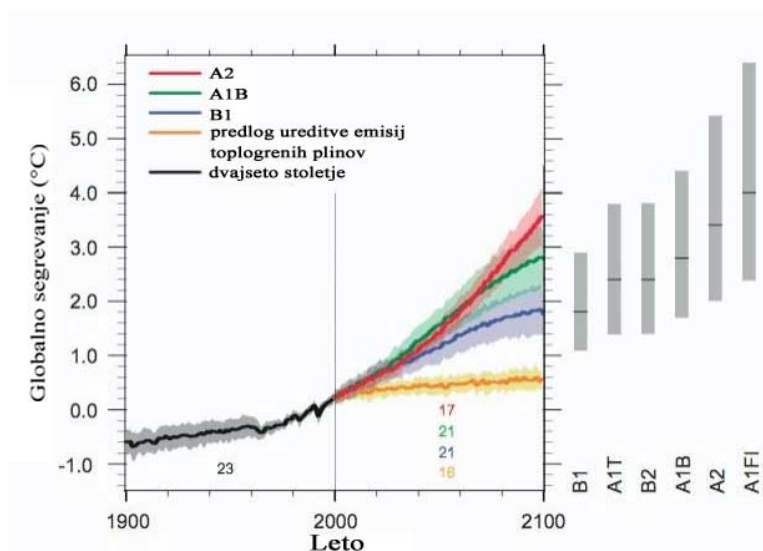
## 2 PODNEBNE SPREMEMBE

### 2.1 Dvig temperature

Pred kratkim predstavljeno poročilo o posledicah segrevanja ozračja Mednarodne skupine Združenih narodov o podnebnih spremembah (IPCC) opozarja, da se je segrevanje začelo in je »zelo verjetno« posledica človeškega delovanja.

Poleg tega klimatologi v poročilu ugotavljajo, da se bo segrevanje ozračja in dvigovanje morske gladine nadaljevalo tudi v prihodnjih stoletjih, ne glede na to, koliko bodo ljudje nadzirali svoje onesnaževanje. Proces se je namreč že začel, tudi zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov ga ne more zaustaviti, piše v poročilu IPCC, k oblikovanju katerega je svoj delež prispevalo okrog 2500 znanstvenikov iz več kot 100 držav.

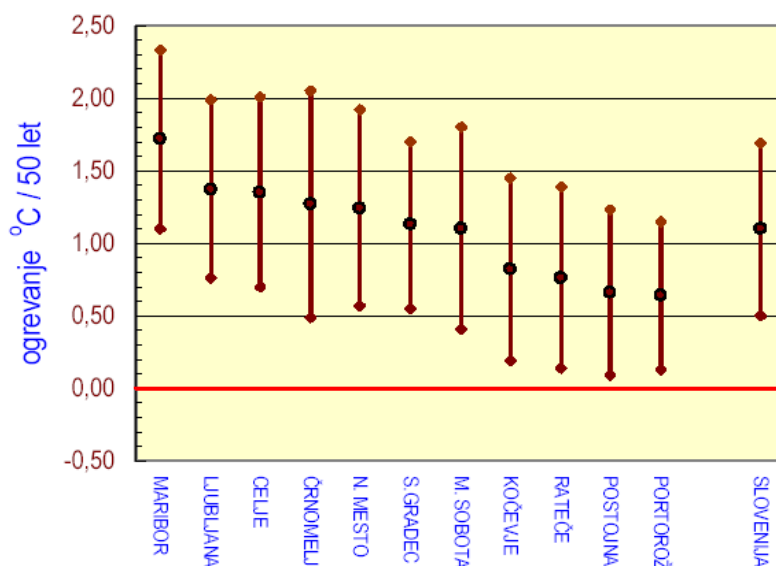
Poročilo napoveduje še, da se bo temperatura do leta 2100 zvišala za od 1,1 do 6,4°C. Po najboljši oceni klimatologov naj bi se dvig temperature gibal od 1,8 do 4°C. V poročilu iz leta 2001 je skupina IPCC napovedala dvig temperature za 1,5 do 5,8°C.



Slika 1: Globalno segrevanje ozračja glede na različne scenarije IPCC (Vir: IPCC)

Slovenski klimatologi tudi za Slovenijo predvidevajo zvišanje temperature. Povprečna letna

temperatura zraka se je v Sloveniji v zadnjih 50 letih (1951-2000) statistično značilno ( $p < 0,05$ ) povečala, srednja vrednost za Slovenijo je  $1,1^{\circ}\text{C}$  (slika 2). Povečanje je višje v urbaniziranih okoljih (Maribor, Ljubljana) in manjše v ruralnih območjih (Sušnik, 2003).



Slika 2: Ocena spremembe letne temperature zraka v slovenskih krajih v obdobju 1951 – 2000

## 2.2 Dvig morske gladine

Segrevanje ozračja dokazuje več dejstev. Tako so se oceani zaradi višje temperature zraka segreti do globine vsaj 3000 metrov, ledeniki in snežna odeja na obeh poloblah so se skrčili, gladina morja pa se je med letoma 1961 in 2003 dvignila za 1,8 milimetra na leto, pri čemer se je v letih od 1993 do 2003 tempo pospešil na 3,1 milimetra na leto. Večina dviga je posledica širitve vode zaradi segrevanja, ostalo pa zaradi pritekanja vode iz taljenih ledenikov in snega.

Gladina morja naj bi se tako do konca stoletja dvignila za 18 do 59 centimetrov. Pri tem pa obstaja možnost, da se gladina morja dvigne še za dodatnih 10 do 20 centimetrov, če se bo nadaljevalo najnovejše, presenetljivo taljenje polarnih ledenih plošč. Poročilo iz leta 2001

je napovedovalo dvig gladine morja do 89 centimetrov. Številni znanstveniki pa kljub črnim napovedim celo kritizirajo IPCC-jevo poročilo, ki naj bi po reviziji političnih naročnikov predvidevalo milejše scenarije, kot so bili sprva načrtovani. V reviji New Scientist omenjajo celo scenarije, v katerih bi bil mogoč dvig gladine tudi do 150 cm.

Dvig gladine za dva metra bi denimo v slovenskem primorju pomenil nastanek novih otočkov: Kopra in Srmina (Izole ob dvigu za štiri metre); pod vodo pa bi bile tudi Sečoveljske soline, Tartinijev trg v Piranu in del koprskega zaledja.

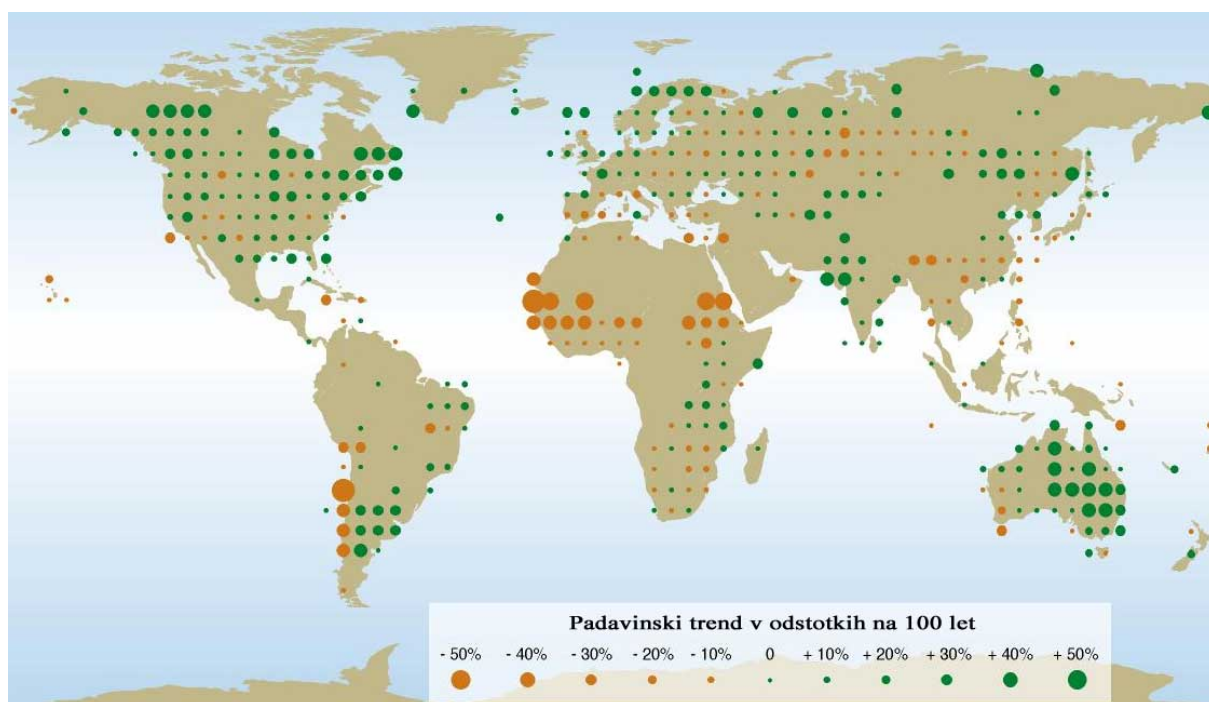


Slika 3: Vpliv dviga gladine morja za dva metra v slovenskem primorju.



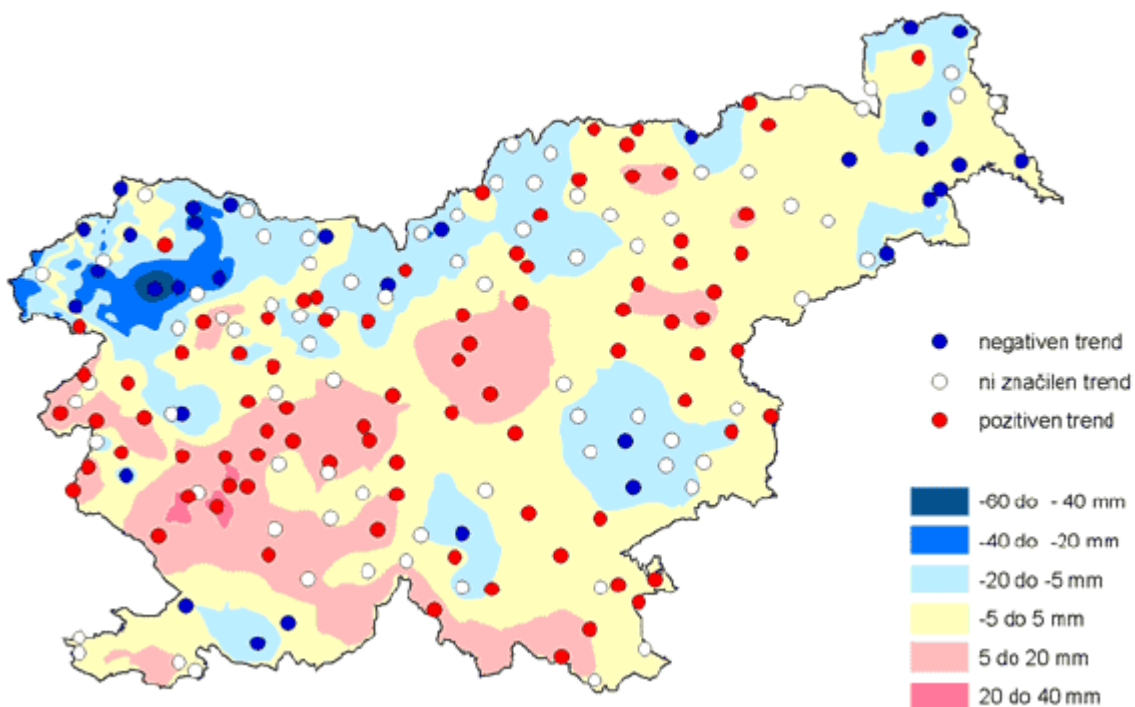
### 2.3 Spremembe v padavinskem režimu

Iz poročila IPCC tudi izhaja, da se je količina padavin nad kopnim globalno povečala od odstotka do dveh odstotkov, regionalno pa so trendi zelo različni. Pogostnost suš se je marsikje povečala, predvsem kot posledica spremenjene splošne cirkulacije zraka. Bolj sušno postaja v Sahelu, Sredozemlju, južni Afriki in južni Aziji, bolj mokro pa postaja na vzhodu Severne in Južne Amerike, na severu Evrope in v severni ter osrednji Aziji. Strokovnjaki so tudi izpostavili pogostnost obilnih padavinskih dogodkov, izmerjeno pa je tudi zakisenje površinskega sloja oceanov.

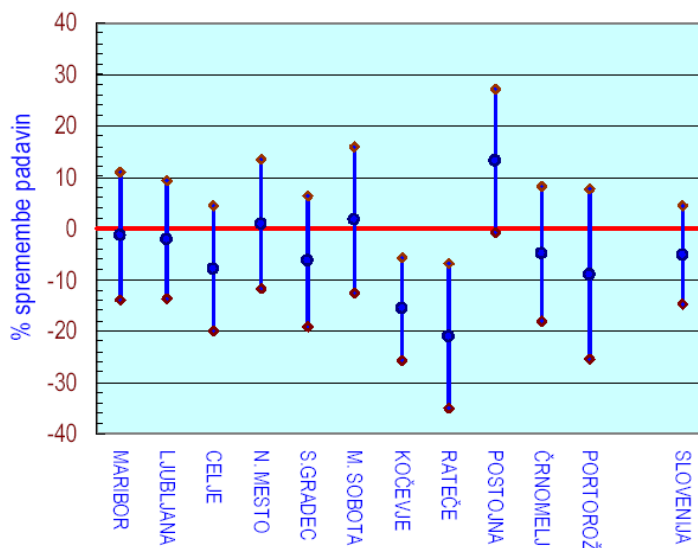


Slika 4: Svetovni padavinski trend do leta 2100 (Vir: IPCC)

Po trditvah Lučke Kajfež Bogataj, evropske predstavnice v Mednarodni skupini ZN o podnebnih spremembah (IPCC), naj bi bilo v Sloveniji v prihodnje padavin manj, povečal pa naj bi se delež ekstremno močnih nalivov – deževalo bo manjkrat, a takrat močneje.



Slika 5: Razlike med povprečjem absolutnih letnih 2-dnevnih ekstremnih padavin v obdobju 1961 – 1990 in med leti 1991 – 2002.



Slika 6: Ocena relativne spremembe letne količine padavin v slovenskih krajih v obdobju 1951 – 2000

### **3 POPLAVE**

#### **3.1 Definicija poplave**

Poplava je naraven pojav, ki lahko nastane zaradi delovanja zunanjih, notranjih voda ali zaradi hudournikov in planinskih voda.

Poplava zaradi delovanja zunanjih voda je (občasno) stihijsko poplavljanje terena (doline večjih vodnih tokov) zaradi izlivanja vode čez obrambne nasipe in jezove ali predore nasipov, oziroma rušenje jezov in drugih varstvenih hidrogradbenih objektov. Pri tem so upoštevane tudi poplave, ki nastanejo zaradi ledenih ovir v vodnih tokovih.

Poplava zaradi delovanja notranjih voda je poplavljanje terena (nižinski predeli) z odvečnimi površinskimi vodami in visokimi talnimi vodami zaradi nenormalnega hidrološkega stanja in počasnega odvajanja teh voda (ni odvodnega omrežja ali so zmogljivosti nezadostne).

Poplavljanje zaradi hudournikov in planinskih voda je nepričakovano poplavljanje terena z vodno maso velike moči, ki nastane na hudourniških tokovih in pri koncentraciji planinskih voda zaradi hitrega naraščanja vode, velike količine kamnitih naplavin in mulja neposredno po močnih krajevnih plohah in hitrem taljenju snega.

#### **3.2 Nevarnosti poplav v Sloveniji**

Poplave so eden izmed prevladujočih naravnogeografskih preoblikovalcev pokrajine v ravninsko-nižinskih predelih. So naravni dejavnik, ki ob različni tehnološki razvitosti tudi neposredno vpliva na namembnost prostora in izrabo tal. Poplave ne nastopijo trenutno (razen, če gre za porušitev vodnega jezua), zato niso popolno presenečenje in jih lahko obravnavamo kot postopne naravne pojave. V primeru poplav je praviloma še dovolj časa za rešitev življenj, večja neposredna ogroženost pa nastane ob izbruhih hudournikov, ki

lahko nastopijo v obliki blatnih ali murastih tokov. Pri poružitvi objektov, zgrajenih za zaščito pred poplavami, pa lahko pride do trenutnega pojava poplavnega vala in človeških žrtev.

Poplave v Sloveniji praviloma nastopijo zaradi intenzivnih padavin. V odvisnosti od vlažnosti zemljišča povzročijo padavine večji ali manjši odtok vode, ki se zbira v vodotokih in s povečanim pretokom povzroča dvig gladine vode v strugah. Srečujemo se s kratkotrajnimi večurnimi hudourniški poplavami, z izjemo območja Drave in Mure, kjer lahko trajajo poplave tudi več dni. Celoten pojav zbiranja in odtekanja vode spremljajo erozijski pojavi. Pri normalnih vsakoletnih pojavih so procesi manj intenzivni, občasno pa prihaja do obsežnih poplav predvsem zaradi:

- izredno močnih in dolgotrajnih padavin,
- velike predhodne vlažnosti tal in
- padavin, ki so padle na snežno odejo, povzročile njeno taljenje in nagel površinski odtok.

Poplave je mogoče razdeliti na veliko kategorij, osnova pa je odvisnost od pretoka v vodotoku, ki povzroča poplave. Hidrološka veda je s statističnimi računskimi metodami razvrstila pretoke po verjetnem nastopu visoke vode. Sistem temelji na dejstvu, da manjše poplave, ki so rezultat nastopa manjših visokih vod, nastopajo velikokrat, medtem ko katastrofalne poplave, ki povzročajo veliko škodo, nastopijo v daljših časovnih obdobjih.

Poplave se razlikujejo:

- po tipu vodotoka (gorski, dolinski, ravninski),
- glede na relief zemljišča (ježa, depresije),
- po obsegu,
- glede na intenziteto in razprostranjenost padavin,
- glede na letni čas (jesenske, spomladanske poplave),
- po tipu visokovodnega vala,
- po trajanju,
- po pogostosti (npr. 20-letne poplave) in
- glede na vrsto zemljišča in naravo poplavljenih objektov.

Pri razvoju današnjih poplav in poplavnega sveta v Sloveniji je odigral pomembno vlogo tudi človek. Krčenje gozdov, obdelava tal, okrog 6.000 manjših in večjih naselij, številne samotne kmetije (na okoli 55.500 ha površine), letališča, gosta cestna in železniška mreža (na okrog 12.500 ha površine) močno spreminjajo vodne, pa tudi poplavne razmere. Ti dejavniki pospešujejo in povečujejo predvsem odtok padavinske vode, okrepi pa sta se tudi erozija prsti in linearna erozija. Zaradi tega je prišlo predvsem v zgornjih delih hudourniških grap do močne poglobitve strug in nastanka številnih novih žlebov, ki razčlenjujejo pobočja. Številni globoko zajedeni, opuščeni in tudi še aktivni kolovozi, razjedene ceste in različne poti, ki se ob nalivih spremenijo v prave hudournike, povečujejo erozijo. S temi pojavi so povezani tudi številni plazovi in usadi, ki odnašajo ogromne količine zemlje v doline, kjer nastajajo nasipanja. Zato so se dvignila dna dolin, kar je povzročilo, da so poplave začele ogrožati številna naseljena območja, ki poplav prej niso poznala. Svoje je k dvigovanju dolin prispeval tudi človek, ko je gradil nasipe za železnice, ceste in mostove s pretesnimi prepusti ter številne jezove, za katerimi se poplavna voda ustavlja in odlaga s seboj prineseno gradivo.

### **3.2.1 Ogroženost zaradi poplav v Sloveniji**

Poplave se na posameznih vodotokih pojavljajo v določenih časovnih presledkih. Glede na povratno dobo visokih voda ločimo naslednje poplavne linije:

- poplavne linije s povratno dobo pojavljanja visokih vod v obdobju do 5 let (pogoste poplave)
- poplavne linije s povratnimi dobami 10 do 20 let (10- do 20-letne poplave)
- poplavne linije s povratno dobo 50 let in več (katastrofalne poplave)

V večini primerov poplave z enako povratno dobo ne nastopijo na celotnem povodju hkrati. Na manjših povodjih so za nastop poplav odločilne krajše intenzivne padavine, ki trajajo do nekaj ur in so najpogostejše poleti. Na večjih povodjih so odločilne padavine z daljšim trajanjem, ki nastopijo večinoma v pomladanskem oziroma jesenskem času.

Po vsej Sloveniji so razpršena območja, kjer so poplave reden, pogost ali občasen pojav. Večinoma sta njihov nastanek in razvoj neposredno povezana z naravnimi in družbenogospodarskimi vzroki in razmerami.

Naša glavna in najobsežnejša poplavna območja so v nižinsko-ravninskih predelih severovzhodne in subpanonske Slovenije, v predalpskih dolinah in kotlinah, ki odmakajo Šavrinsko gričevje in hribovje. Najnižje obrečne ravnice ob Ledavi, Muri in Ščavnici prekrivajo obsežna poplavna območja. Drava pod Mariborom je obdana s prostranim poplavnim svetom, kmetijsko zemljo na široko preplavljajo tudi vsi njeni pritoki (Pesnica, Polskava, Dravinja). Z regulacijo Savinje in njenih pritokov se je korenito spremenila namembnost poplavnega sveta. Poplavne in povodenjske vode zajemajo znatne površine kmetijske zemlje v spodnjem Posavju.

Vzhodna in osrednja Dolenjska z Belo krajino ima več manjših poplavnih predelov ob Kolpi, Krki, Temenici, Mirni in ob njihovih pritokih. Ljubljansko barje, ki je na meji med alpskim in dinarskim gorskim sistemom, je naše najobsežnejše poplavno območje.

Redne, to je vsakoletne poplave, zalijejo okrog 2.300 ha, visoke vode pa še približno 5.600 ha barjanskega sveta. Tudi posamezna območja jugozahodne Slovenije imajo več pomembnejših predelov. Ti zavzemajo obsežnejša območja notranjskega podolja s kraškimi polji, svet ob Pivki, Notranjski Reki ter kmetijske predele ob Vipavi in njenih pritokih.

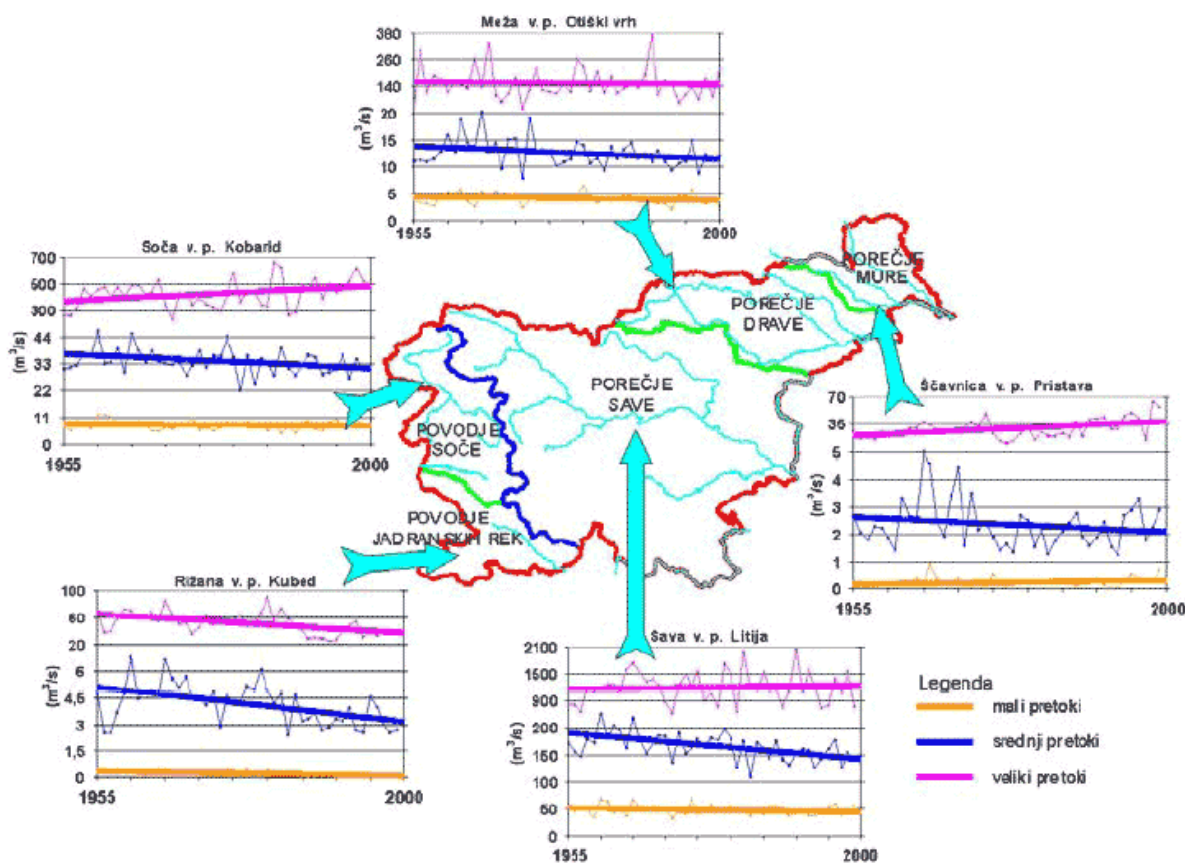
Več kot polovica (54 %) poplavnega sveta je v porečju Save, ki mu pripada 58 % našega državnega ozemlja. Porečje Drave zavzema 23 % ozemlja Slovenije, na njegovem območju je 42 % slovenskih poplavnih površin. Porečja Soče in pritokov, ki se neposredno izlivajo v morje, pokrivajo 19 odstotkov Republike Slovenije, na njihovih območjih pa so 4 odstotki poplavnega sveta.

### **3.2.1.2 Trend značilnih pretokov za slovenske vodotoke**

Za izbrane vodomerne postaje na porečjih, ki praktično predstavljajo značilne izbrane regije:

- osrednja in jugovzhodna Slovenija,
- severovzhodna Slovenija,
- severna in severozahodna Slovenija,
- jugozahodna Slovenija

so na sliki 7 prikazani obdobji značilni pretoki (mali, srednji, veliki). Trendne linije kažejo, da se srednji letni pretoki na vseh porečjih manjšajo, podobno tudi mali pretoki, da pa se veliki pretoki manjšajo le na porečjih jadranskih rek in v slovenskem porečju Drave.



Slika 7: Trendi značilnih pretokov za obdobje 1955 – 2000.

### 3.2.2 Zgodovinske poplave v Sloveniji

Iz zgodovinskih virov in poznejših sistematičnih opazovanj so znane naslednje katastrofalne poplave na slovenskih tleh:

- leta 1550 na Celjskem,
- leta 1851 na Radeljskem polju, Falski pečini, na Lentu v Mariboru in na Ptuju,
- leta 1901 na območju Slovenije (poplavljalje so Sava Bohinjka, Selška in Poljanska Sora, Krka, Temenica, Idrijca, Bača, Savinja, Hudinja, Voglajna; poplave so bile tudi na Ljubljanskem barju. Porušenih je bilo precej mostov, poplavljena mestna jedra; v Celju je voda segala tudi do 1 m visoko),
- leta 1910 na Štajerskem,
- leta 1923 v povodju Soče, Save in Savinje,
- leta 1925 v Pomurju ter na Štajerskem in Koroškem,
- leta 1926 na Celjskem in nekaterih drugih območjih,
- leta 1933 na Ljubljanskem barju, Cerknjski in Ribniški ter Dobropoljski in Struški dolini, dolini Krke, spodnje Save ter v Celjski kotlini,
- leta 1954 v Celjski kotlini in Krškem,
- leta 1972 na območju Ledave in Ščavnice s pritoki,
- leta 1990 v večjem delu Slovenije (poplavljalje so zlasti reke Sava pri Radečah, Sora, Kamniška Bistrica in Savinja, ki so dosegle največji pretok s povratno dobo 100 let)
- in leta 1998, ko je pas močnih padavin zajel območje od Koprskega primorja čez kraške planote, Ljubljansko barje, prek Tuhinjske doline in porečja Drete do širšega območja Celja in naprej čez Haloze (porečje Dravinje) do sosednje Hrvaške.

### **3.3 Značilnosti površinskih vodotokov v Sloveniji**

Na ozemlju Slovenije, ki zajema površino 20230 km<sup>2</sup> ali 0,4 odstotka medmorske Evrope, se srečujejo kar štiri pokrajine: Alpe, Dinarsko gorstvo, Panonska nižina in Sredozemlje, kar daje Sloveniji neverjetno pokrajinsko pestrost. Ta se med drugim odraža na vseh pojavnih oblikah površinske vode, od hudournikov, rečic, potokov in rek do ponikalnic, izvirov, jezer in morja.

Dolžina površinskih rečnih tokov znaša 26989 km glede na topografske karte v merilu 1:25000. To pomeni, da je povprečna gostota v Sloveniji 1,33 kilometra rek na kvadratni



kilometer površine. Glavnina omrežja je vezana na porečja štirih največjih rek: Muro, Dravo, Savo, in Sočo (z Vipavo) ter na del Jadranskega povodja z odtokom v Tržaški zaliv.

### **3.3.1 Vodna območja**

V Sloveniji imamo pet vodnih območij:

*vodno območje Mure:*

1. mejna Mura na odseku, ki meji z Avstrijo, skupaj s pritokom Kučnica
2. notranja Mura: od Kučnice do meje z Madžarsko
3. Ledava s Krko na območju Slovenije in Kobiljskim potokom
4. Ščavnica

*vodno območje Drave:*

1. Drava 1: od državne meje pri Viču do jezua v Melju (Maribor)
2. Drava 2: od jezua v Melju do meje s Hrvaško pod Središčem
3. Pesnica
4. Meža z Mislinjo
5. Polskava
6. Dravinja

*vodno območje Save:*

1. Sava Dolinka
2. Sava Bohinjka
3. Sava 1: od Radovljice do Medvod
4. Sava 2: od Medvod do Zidanega mosta
5. Sava 3: od Zidanega mosta do Bregane
6. Tržiška Bistrica
7. Kokra
8. Kamniška Bistrica

9. Savinja
10. Paka
11. Voglajna
12. Sotla
13. Sora
14. Ljubljanica
15. Pivka
16. Temenica
17. Mirna
18. Krka
19. Kolpa

*vodno območje Soče:*

1. Soča, pritoki Koritnica, Učeja, Nadiža, Reka, Idrija
2. Bača
3. Idrijca
4. Vipava

*vodno območje obalnega morja s pritoki:*

1. Reka (Notranjska)
2. pritoki Jadranskega morja (Dragonja, Badaševica, Rižana, Osapska Reka) in drugi neposredni pritoki Jadranskega morja
3. obalno morje

Največ površinskih vodotokov je v Podravju (1,88 km/km<sup>2</sup>), najmanj pa v slovenskem delu porečja Kolpe (0,53 km/km<sup>2</sup>).

### **3.3.2 Rečni režimi**

Pod pojmom rečni režim razumemo spreminjanje vodnega stanja med letom, kar je predvsem odraz časovne razporeditve padavin, izhlapevanja, zadrževanja podzemnih voda in podobnega. Višek vodnega stanja se zato ne ravna povsod in povsem po višku padavin.

Določitev rečnih režimov je opravljena na podlagi analize srednjih mesečnih modulov odtoka tridesetletnega obdobja (1961–1990) in deloma upoštevanja stopnje povezanosti z Evklidovimi razdaljami med posameznimi vodomernimi postajami.

V Sloveniji so štirje osnovni tipi rečnih režimov:

1. snežni (nivalni) režim,
2. snežno-dežni (nivo-pluvialni) režim,
3. dežno-snežni (pluvio-nivalni) režim in
4. dežni (pluvialni) režim.

Snežni režim imata reki Mura in Drava. Zanj sta značilna po en maksimum in minimum. Vode so običajno nadpovprečno visoke aprila; najvišjo raven dosežejo pozno pomladi ter ostajajo take vse do julija.

Snežno-dežni režim je značilen za vodotoke visokogorskega sveta in predgorja Slovenije (Julijske Alpe, Karavanke, Kobansko, Pohorje). Pri daljših vodotokih, ki imajo veliko zaledje v visokogorju, je značilnosti snežno-dežnega režima videti še daleč po njihovem toku navzdol; na Savi do sotočja Ljubljanice, na Soči do sotočja Idrije in na Savinji do Nazarij. Značilni sta dve najvišji in dve najnižji ravni. Prva se pojavi pozno spomladi, praviloma maja ali celo junija, druga, novembrska, pa je ponavadi manjša.

Za dežno-snežni režim je značilno, da je primarni višek aprila, lahko marca ali celo maja, sekundarni je vedno novembra, nato pa še decembra. Ta režim ima dve različici:

- celinsko, za katero je značilno, da je sekundarni višek manj izrazit, obdobje najnižje poletne vode pa traja do septembra;
- sredozemsko, pri kateri se običajno jesenski dežni maksimum združi z marčno-aprilskim, se mu zelo približa ali pa ga celo malenkostno preseže; ta vodni režim je

značilen za vodotoke predalpskega hribovja, dinarsko-kraškega sveta in subpanonskega dela Slovenije; ima ga tudi Soča v spodnjem toku;

Dežni režim je značilen za vodotoke v Primorju, zlasti Dragonjo, Rižano, Reko in Pivko. Vode postanejo visoke novembra in ostanejo take do aprila; najvišje so novembra.

### **3.3.3 Odtočnost rek**

Odtočnost rek je razmerje med količino padavin in odteklo vodo ob upoštevanju povprečne količine padavin. V Pomurju, kjer je malo padavin in veliko izhlapevanje (evapotranspiracija), je najmanjši odtočni količnik 25 %, v Posočju pa znaša povprečni odtočni količnik 73 %.

V Sloveniji pade na leto povprečno 1567 mm padavin, oziroma  $1005 \text{ m}^3/\text{s}$  ali  $31\,693\,680\,000 \text{ m}^3$  vode. Od tega na leto izhlapi  $417 \text{ m}^3/\text{s}$  (650 mm) ali  $13\,150\,512\,000 \text{ m}^3$ , kar predstavlja 41,5 % vseh padavin.

Za posamezna območja Slovenije so značilne zelo velike razlike v količinah padavin. Letne vrednosti se od zahoda proti vzhodu zelo znižujejo, spreminja pa se tudi čas maksimalnih padavin. V zahodni Sloveniji so poleg izjemno velikih vrednosti letnih količin rekordne tudi količine dnevnih padavin. Tako so v Posočju izmerili že več kot 400 mm padavin na dan in več kot 100 mm na uro.

Na prostorsko in časovno porazdelitev padavin močno vplivata zemljepisna lega Slovenije in njena velika reliefna razgibanost. Največ padavin pade ob prodorih vlažnega in sorazmerno toplega zraka iz Sredozemlja. Ob gorskih pregradah se zrak dviguje in ohlaja, tedaj pa se iz njega izloča vsa odvečna vlaga. To je vzrok, da pade največ letnih padavin v zahodnih predelih Julijcev in v krajih, ki ležijo na dinarsko-alpski pregradi. Drugi, nekoliko manjši maksimum, je v Kamniško-Savinjskih Alpah. Skupna letna količina padavin se z oddaljenostjo od morja proti severovzhodu države manjša in doseže v krajih blizu meje z

Madžarsko povprečno skupno letno količino nekaj manj kot 900 mm. V najbolj namočenih krajih Slovenije pade približno štirikrat več padavin kot v najbolj suhih.

## **4 UVOD V METODOLOGIJO VERJETNOSTNE ANALIZE VISOKIH VOD**

### **4.1 Uvod**

Za analizo posameznega merilnega mesta uporabimo le meritve s tega mesta. Tak primer predstavlja najpreprostejšo možnost za analizo frekvence poplavnih vod. V analizi pogosteje uporabimo še podatke iz podobnih bližnjih postaj. Vendar pa so postopki za eno mesto podobni tistim iz skupine merilnih mest in predstavljajo osnovni vpogled v metodologijo.

### **4.2 Podatki o poplavnih vodah**

Najpogostejša dva tipa zapisa poplavnih vod sta letni maksimum (LM) in viški preko praga (VPP). Pri obeh zapisih velja, da lahko za leto upoštevata koledarsko ali vodno leto. V Sloveniji je običajno v rabi koledarsko leto.

#### **Letni maksimum (LM)**

Serija letnih maksimumov zajema skupek podatkov, kjer za vsako koledarsko leto zabeležimo največji pretok vode na merilni postaji v tem letu. Tak zajem podatkov je preprost za obdelavo in je na voljo za slovenske merilne postaje. Slabost te metode je, da za vsako leto zabeležimo le eno najvišjo vrednost, četudi je lahko v letu več manjših poplav.

#### **Viški preko praga (VPP)**

Skupek podatkov za viške preko praga zajema vse pojave visoke vode, ki so presegli vnaprej določen prag, ne glede na število pojavov v posameznem letu. Navadno je prag določen tako, da v posameznem letu v povprečju ne pridejo več kot štirje pojavi viškov.

Druga metoda zbiranja podatkov nam tako bolje prikaže sliko poplavnega režima, vendar je obdelava podatkov težavnejša. Poleg tega podatkov v tej obliki za slovenske merilne postaje ni, zato se v nadaljevanju tej metodi ne bom več posvečal.

## 4.3 Osnovni pojmi

### 4.3.1 Povratna doba

Povratna doba  $T$  neke poplave je mera redkosti njenega pojava, definirana pa je kot povprečen interval med zaporednimi pojavi poplave, ki jo preseže. Daljša kot je povratna doba, redkeje se taka poplava pojavi.

$T_{LM}$  je tako povratna doba (na lestvici letnih maksimumov), ki pokaže povprečni interval med leti, katera vsebujejo eno (ali več) poplav, ki presegajo pretok  $Q$ .  $T_{LM}$  ni prava povratna doba, predvsem zaradi načina zbiranja podatkov, saj je lahko v enem letu več manjših poplav, ki niso zabeležene. Vendar pa je razlika med dejansko povratno dobo in  $T_{LM}$  na splošno majhna, sploh za daljše nize podatkov. Razlika je odvisna tudi od povratne dobe; krajša kot je povratna doba, večja je razlika.

V nadaljevanju bo povratna doba označena z oznako  $T$ , pri čemer oznaka pravzaprav pomeni povratno dobo  $T_{LM}$ . Tako označevanje velja tudi v programu FEH.

Poplavo s povratno dobo  $T$  let navadno označimo z oznako  $Q_T$  in se imenuje *poplava s povratno dobo  $T$ -let* oziroma  *$T$ -letna poplava*. Ker je poplava  $Q_T$  taka poplava, ki je v povprečju presežena v enem izmed  $T$  let, lahko zapišemo:

$$P = \frac{1}{T},$$

kjer je  $P$  verjetnost, da se bo v obravnavanem letu zgodila poplava s povratno dobo  $T$ .

### 4.3.2 Krivulja poplavnih frekvenc

Krivulja poplavnih frekvenc povezuje velikost poplave z redkostjo poplave. V običajni analizi je nujno oceniti in narisati krivuljo poplavnih frekvenc ter opisati rezultate, vidne iz krivulje. Sama konstrukcija te krivulje je odvisna od izbrane statistične porazdelitve.

### 4.3.3 Tipična poplava

Tipična poplava je značilna poplava nekega povodja. Veča se z velikostjo prispevnega območja in letne količine padavin. Uporablja se za povezavo med poplavnimi frekvencami in rastno krivuljo. Krivuljo poplavnih frekvenc dobimo z množenjem tipične poplave in rastne krivulje.

V programu FEH je tipična poplava definirana kot mediana letnih maksimumov in jo označujemo z oznako  $Q_{MED}$ . Dejansko je  $Q_{MED}$  poplava z dveletno povratno dobo. Ta zaključek lahko potrdimo z naslednjim razmislekom: v povprečju je pol letnih maksimumov večjih od  $Q_{MED}$  ( $Q_{MED}$  je mediana), kar pomeni, da je verjetnost  $P$  po enačbi enaka polovici  $Q_{MED}$ , iz česar sledi, da je povratna doba  $T$  enaka dve.

V Sloveniji se za analize trenutno uporablja  $Q_{SR}$ .  $Q_{SR}$  je povprečje (aritmetična sredina) merjenih podatkov. Prednost  $Q_{MED}$  v primerjavi s  $Q_{SR}$  je v tem, da je  $Q_{MED}$  bolj robustna mera, na katero ekstremne (velike ali majhne) vrednosti meritev ne vplivajo toliko, hkrati pa je lažja tudi konstrukcija krivulje poplavnih frekvenc.

### 4.3.4 Rastna krivulja

Rastna krivulja  $x_T$  je definirana tako:

$$x_T = \frac{Q_T}{Q_{MED}},$$

kjer je  $Q_T$  krivulja poplavnih frekvenc. Rastno krivuljo si lahko zamišljamo tudi kot normirano različico krivulje poplavnih frekvenc. Ima isto obliko kot krivulja poplavnih frekvenc, le da ima vrednost 1 pri dveletni povratni dobi. Točna definicija je odvisna od izbrane porazdelitve.



## **4.4 Osnovni koraki analize za posamezno merilno mesto po metodologiji FEH**

### **4.4.1 Pregled osnovnih korakov**

Pri analizi za posamezno merilno mesto uporabimo le tam izmerjene vrednosti. Postopek analize teče v dveh korakih:

#### a.) Določitev tipične poplave $Q_{MED}$

Iz merjenih podatkov izračunamo  $Q_{MED}$  - mediano letnih maksimumov.

#### b.) Določitev krivulje rasti

Za določitev krivulje rasti moramo najprej izbrati primerno statistično porazdelitev in nato oceniti parametre rastne krivulje. Metodologija FEH priporoča uporabo generalizirane logistične porazdelitve, medtem ko je v Sloveniji navadno v uporabi porazdelitev log-Pearson III. Oceno parametrov rastne krivulje določimo z metodo momentov L, ki bo predstavljena v nadaljevanju.

Ko je rastna krivulja določena, dobimo krivuljo poplavnih frekvenc z množenjem  $Q_{MED}$  z rastno krivuljo.

### **4.4.2 Kdaj uporabimo analizo za posamezno merilno mesto?**

Načeloma velja, da to metodo lahko uporabimo, če obstajajo za merilno mesto zanesljivi in dovolj obsežni merjeni podatki, povratna doba  $T$  pa ni predolga. Za krajše povratne dobe (2–10 let) naj bi imeli vsaj za toliko let podatkov, za kakršno povratno dobo računamo.

(Robson, Reed in Faulkner, 1999)

V slovenski praksi je ta metoda vedno v uporabi, ne glede na povratno dobo ali količino podatkov. Metode, ki bi zajemale podatke z več postaj, se šele razvijajo, saj vsi potrebni podatki o padavinah, odtočnih količnikih, zemljini... še niso zbrani.

#### **4.5 Uvod v analizo poplavnih frekvenc na osnovi skupine podobnih merilnih mest**

Analiza poplavnih frekvenc na osnovi podatkov iz skupine merilnih mest je gotovo korak naprej v analiziranju predvidenih poplavnih vod. Ključni princip te metode je, da za neko merilno mesto, za katero nimamo dolgoletnih merjenih podatkov o letnih maksimumih, predvidimo, da se bo obnašalo podobno kot merilna mesta s podobnimi značilnostmi. Pri analizi ob tem upoštevamo še podatke iz podobnih merilnih mest; tako dobimo pravilnejše rezultate predvsem za daljše povratne dobe. Kot rečeno, pa potrebni podatki za slovenske merilne postaje še niso na voljo. Kljub temu je mogoče merilne postaje vsaj okvirno razvrstiti v skupine glede na podobne značilnosti (isti vodotok, podobne padavinske in geografske značilnosti ...).

Postopek določanja krivulje poplavnih frekvenc je v osnovi isti kot pri samostojnem merilnem mestu, le da so metode določanja  $Q_{MED}$  in rastne krivulje malo bolj zapletene.

## 5 VERJETNOSTNE PORAZDELITVE ZA ANALIZO POPLAVNIH FREKVENC

### 5.1 Kratek pregled statističnih pojmov

Statistična porazdelitev opisuje lastnosti populacije. S pojavi visokih vod se navadno najbolje ujemajo zvezne porazdelitve, kar pomeni, da lahko slučajna spremenljivka porazdelitev zavzame vse vrednosti v nekem intervalu. Če ima porazdelitev maksimalno možno vrednost, pravimo, da je navzgor omejena; če pa ima minimalno vrednost, je omejena navzdol.

Zvezna porazdelitev je navadno definirana s funkcijo gostote verjetnosti  $f_x(x)$  ali s porazdelitveno funkcijo  $F_x(x)$ .

Podatki v obliki letnih maksimumov (ali viškov preko praga) so primer vzorca ekstremnih vrednosti; podatki zajemajo samo ekstremne vrednosti pretokov nekega vodotoka. Opis takih podatkov z uporabo normalne porazdelitve je neprimeren, saj taka porazdelitev ponuja premajhno verjetnost ekstremnega dogodka. Mnoge druge porazdelitve so za ta namen primernejše predvsem zaradi večje verjetnosti dogodka ekstremnega pojava.

Porazdelitev poplavne frekvence je porazdelitev, ki opisuje vrednosti poplavnih viškov in jo potrebujemo za konstruiranje krivulje poplavnih frekvenc, ki povezuje velikost poplave s frekvenco poplave. Program FEH pozna še rasto krivuljo, ki je pravzaprav normirana krivulja poplavnih frekvenc in zavzema vrednost 1 pri dveletni povratni dobi. Za katero koli merilno mesto prihajata tako rasto krivulja kot tudi krivulja poplavnih frekvenc iz iste družine porazdelitev.

Prav tako je mogoče, da imajo merilna mesta z različnimi pretoki podobne krivulje poplavnih frekvenc. To je pomembno za analizo na osnovi skupine merilnih mest, saj lahko iz posameznih podobnih krivulj konstruiramo skupno rasto krivuljo ali krivuljo poplavnih frekvenc.

## **5.2. Metode za ujemanje s porazdelitvijo**

Ključna komponenta analize frekvence poplave je ujemanje frekvence poplavne porazdelitve za samostojno postajo ali skupek postaj. Pogosti pristopi k ujemanju porazdelitve so denimo:

### ***Metoda momentov***

Bistveni princip metode momentov je, da srednja vrednost porazdelitve, varianca porazdelitve... ustreza vzorčnemu povprečju, varianci... Metoda momentov se najbolje obnese pri simetričnih porazdelitvah; pri podatkih z močno asimetričnostjo so lahko rezultati precej neustrezni, saj ocena asimetrije vzorca postane nezanesljiva (Hosking in Wallis, 1997). Izrazita asimetričnost je pogosta lastnost podatkov o poplavnih vodah, zato je v primerjavi z navadno metodo momentov priporočljivejša uporaba metode momentov L.

### ***Metoda največjega verjetja***

Bistveni princip metode največjega verjetja je, da želimo take ocene parametrov, da bo verjetnost, da se je zgodil vzorec, ki ga imamo na voljo, največja. Slabost je da lahko hkrati zahtevajo reševanje kompleksnih enačb ali uporabo numeričnih optimizacij. Pogosto se zgodi, da pride do problemov, kjer brez numeričnega reševanja ni mogoče določiti maksimuma. Metoda momentov L se je v primerjavi z metodo največjega verjetja izkazala vsaj za enakovredno, če ne boljše za ocenjevanje malih do srednje velikih vzorcev. (Hosking et al., 1985, Hosking in Wallis, 1987)

### ***Metoda momentov L***

Metoda momentov L je podobna metodi momentov, vendar temelji na osnovi uporabe momentov L in ne navadnih momentov. Izhaja iz metode verjetnostno obteženih momentov in je računsko priročna. Tukaj predstavljena metoda je priredba metode, predstavljene leta 1997 (Hosking in Wallis)

### 5.2.1 Momenti porazdelitev

Koncept momentov v statistiki izhaja iz fizike. Momenti porazdelitve opisujejo določene lastnosti porazdelitvenega zakona. Moment  $k$ -tega reda je definiran:

$$m_X^{(k)} = \sum_{i=1}^n x_i^k p_X(x_i) \text{ za diskretno slučajno spremenljivko } X \text{ in}$$

$$m_X^{(k)} = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f_X(x) \cdot dx \text{ za zvezno slučajno spremenljivko } X.$$

Moment ničtega reda je zaradi lastnosti verjetnostne funkcije in gostote verjetnosti enak 1. Moment prvega reda  $m_X$  predstavlja matematično upanje ali srednjo vrednost slučajne spremenljivke  $X$ , momenti višjih redov pa nimajo neposrednega pomena.

#### Centralni momenti

Centralni moment  $\mu_X$   $k$ -tega reda okoli srednje vrednosti  $m_X$  slučajne spremenljivke  $X$  lahko zapišemo takole:

$$\mu_X^{(k)} = \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^{(k)} p_X(x_i) \text{ za diskretno slučajno spremenljivko } X \text{ in}$$

$$\mu_X^{(k)} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_X)^{(k)} f_X(x) dx \text{ za zvezno slučajno spremenljivko } X.$$

Centralni moment ničtega reda je vedno enak 1, centralni moment prvega reda pa je vedno enak 0. Najpogosteje se uporablja centralni moment drugega reda  $\mu_X^{(2)}$ , s katerim opišemo razpršenost slučajne spremenljivke in ga imenujemo varianca ter označimo tudi z oznako  $\sigma_X^2$ . Geometrijski pomen imata tudi centralna momenta tretjega reda  $\mu_X^{(3)}$  (mera za simetričnost) in četrtega reda  $\mu_X^{(4)}$  (mera za sploščenost).

S pomočjo centralnih momentov lahko zapišemo koeficient variacije  $V_X$  (relativna mera razpršenosti), koeficient asimetrije  $\gamma_{1X}$  in koeficient sploščenosti  $\gamma_{2X}$ :

$$V_X = \frac{\sigma_X}{m_X},$$

$$\gamma_{1X} = \frac{\mu_X^{(3)}}{\sigma_X^3},$$

$$\gamma_{2X} = \frac{\mu_X^{(4)}}{\sigma_X^4}.$$

Centralne momente lahko izrazimo z navadnimi momenti z uporabo enačbe:

$$\mu_k = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} (-1)^{n-j} m_j m_1^{n-j}.$$

Za prve štiri centralne momente velja:

$$\mu_1 = 0,$$

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

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

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

Predvidimo, da za nek vzorec podatkov izračunamo povprečje, varianco in koeficient asimetrije (pravilneje: vzorčno varianco in vzorčni koeficient asimetrije). Preprosta metoda ujemanja statistične porazdelitve s podatki zahteva izbiro porazdelitve, katere srednja vrednost, varianca in koeficient asimetrije ustrezajo vzorčnim.

To je v osnovi metoda momentov, kjer z »momenti« pravzaprav mislimo na običajne momente porazdelitve.

### 5.3 Izbira ustrezne porazdelitve

Pri izbiri ustrezne porazdelitve je osnovno načelo, da izberemo porazdelitev z najmanj parametri, ki še prinese zadovoljivo ujemanje. Glede na dolžino merjenih nizov, so najpogosteje v uporabi dvo- ali triparametrične porazdelitve. Štiri- ali petparametrične se redko uporabljajo za opis krivulj poplavnih frekvenc, imajo pa druge pomembne dobre lastnosti.

Preglednica 1: Porazdelitve za opis poplavnih frekvenc

Tip	Ime porazdelitve	Oznaka
Dvoparametrične	Gumbelova	(G)
	Logistična	(L)
	Logaritemsko normalna	(LN2)
Triparametrične	Generalizirana ekstremna	(GEV)
	Generalizirana logistična	(GLO)
	Triparametrična logaritemsko normalna	(LN3)
	Pearson III, triparametrična porazdelitev gamma	(P3)
	Log-Pearson III	(LP3)
Petparametrične	Wakeby	

#### 5.3.1 Ujemanje porazdelitev s pomočjo deležev momentov L

Osnovna ideja metode momentov L je, da so parametri porazdelitve določeni tako, da so momenti L porazdelitve enaki momentom L vzorčnih podatkov. Program FEH uporablja prirejeno različico te metode, in sicer se ujematata vzorčna mediana in mediana porazdelitve ter deleži momentov L vzorca in porazdelitve. Razlika od običajne metode momentov L je le uporaba mediane in ne srednje vrednosti.

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

Za analizo samostojnega merilnega mesta so deleži momentov L določeni neposredno iz podatkov o letnih maksimumih. Za analizo na osnovi skupine podobnih mest pa deleže momentov L dobimo s pomočjo utežnih povprečij deležev momentov L posameznega merilnega mesta, kjer je utež odvisna od ujemanja.

V programu FEH so za analizo frekvence visokih vod navadno v uporabi triparametrične porazdelitve. Poseben primer je, kadar je koeficient asimetrije zelo blizu 0. Takrat uporabimo dvoparametrične porazdelitve.

#### 5.4 Pregled nekaterih teoretičnih porazdelitev

Verjetnostni račun razpolaga z vrsto teoretičnih verjetnostnih porazdelitev. V nadaljevanju sledi opis nekaterih izmed njih, s poudarkom na tistih, za katere obstajajo metode ocenjevanja parametrov z momenti L.

##### Normalna (Gaussova) porazdelitev

Normalna porazdelitev je porazdelitev s funkcijo gostote:

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

kjer je  $x$  spremenljivka,  $\mu$  srednja vrednost (matematično upanje) in  $\sigma^2$  varianca, na intervalu  $x \in (-\infty, \infty)$  in porazdelitveno funkcijo:

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

Porazdelitveno funkcijo in funkcijo gostote izrazimo s porazdelitveno funkcijo oziroma funkcijo gostote standardizirane normalne porazdelitve ( $\Phi(x)$  in  $\phi(x)$ ):



$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \text{ in } f_x(x) = \sigma^{-1}\phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \text{ kjer je}$$

$$\phi(x) = (2\pi)^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}x^2\right) \text{ in } \Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t)dt.$$

Parametra porazdelitve, zapisana z momentoma L (Hosking, 1997), sta:

$$\mu = \lambda_1,$$

$$\sigma = \pi^{1/2} \lambda_2.$$

Normalno porazdelitev je razvil de Moivre iz binomske porazdelitve. Če je  $\mu = 0$  in  $\sigma^2 = 1$ , taki porazdelitvi pravimo standardizirana normalna porazdelitev.

Normalna porazdelitev se pogosto uporablja za testiranje vzorcev, analizi napak ... ko nas zanima raztros podatkov okoli srednje vrednosti, redkeje pa v analizi poplavnih frekvenc.

### **EkspONENTNA porazdelitev**

Porazdelitvena funkcija porazdelitve s parametroma  $\mu$ ,  $\sigma$  je:

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

Inverzna porazdelitvena funkcija je:

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

funkcija gostote porazdelitve pa:

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

Parametra porazdelitve, zapisana z momentoma L (Hosking, 1997), sta:

$$\sigma = 2\lambda_2,$$

$$\mu = \lambda_1 - \sigma.$$

**Logaritemsko normalna porazdelitev**

Porazdelitev slučajne spremenljivke  $X$  je logaritemsko normalna, če je  $Z = \ln(X - \mu)$  in je  $Z$  normalno porazdeljena. Porazdelitvena funkcija triparametrične logaritemsko normalne porazdelitve LN3 s parametri  $\mu$ ,  $\sigma$  in  $\xi$  je:

$$F_x(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x - \mu) - \xi}{\sigma}\right) \text{ za } \xi \leq x < \infty \text{ in kjer je } \Phi \text{ porazdelitvena funkcija standardne}$$

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

Inverzna porazdelitvena funkcija triparametrične logaritemsko normalne porazdelitve je:

$$x(F) = \mu + \exp\left(\xi + \sigma\Phi^{-1}(p)\right),$$

funkcija gostote porazdelitve pa:

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

Parametri porazdelitve LN3, zapisani z momenti L (Hosking, 1997), so:

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

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

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

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

Logaritemsko normalna porazdelitev je že pogosteje v uporabi za verjetnostno analizo visokih voda, predvsem zaradi razmeroma preproste uporabe in solidnega ujemanja s podatki.

**Porazdelitve ekstremnih vrednosti**

Generalizirano ekstremno porazdelitev (GEV) je prvič predstavil Jenkinson leta 1955. V skupnem zapisu zajema vse tri tipe porazdelitev ekstremnih vrednosti. Porazdelitev GEV se zelo pogosto uporablja na področju Velike Britanije.

Funkcija porazdelitve s parametri  $\mu$ ,  $\sigma$  in  $\xi$  je:

$$F_x(x) = \exp\left(-1\left(\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{1/\xi}\right), \text{ kadar je } \xi \neq 0$$

$$F_x(x) = \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{1/\xi}\right)\right), \text{ kadar je } \xi = 0.$$

Oblikovni parameter  $\xi$  določa, za kateri tip porazdelitve ekstremnih vrednosti gre. Kadar je  $\xi = 0$ , gre za porazdelitev ekstremnih vrednosti tipa I (EV1), oziroma za Gumbelovo porazdelitev. Za ekstremno porazdelitev tipa II (EV2), oziroma Frechetovo porazdelitev, velja  $\xi < 0$  in za ekstremno porazdelitev tipa III (EV3), oziroma Weibullovo porazdelitev,  $\xi > 0$ .

Inverzna porazdelitvena funkcija GEV je:

$$x(F) = \mu + \frac{\sigma}{\xi} \left(1 - (-\ln p)^\xi\right), \text{ kadar } \xi \neq 0$$

$$x(F) = \mu - \sigma \ln(-\ln p), \text{ kadar je } \xi = 0$$

Funkcija gostote porazdelitve GEV je:

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

$$f_x(x) = \sigma^{-1} \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right) \cdot \exp\left(-\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right)\right), \text{ kadar je } \xi = 0.$$

Parametri porazdelitve, zapisani z momenti L (Hosking, 1997), so:

$$z = \frac{2}{(3 + t_3)} - \frac{\ln 2}{\ln 3}$$

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

$$\hat{\sigma} = \frac{l_2 \hat{\xi}}{(1 - 2^{-\hat{\xi}}) \Gamma(1 + \hat{\xi})}$$

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

Parametre porazdelitve, zapisane z momenti L, bomo posebej zapisali še za Gumbleovo porazdelitev, saj se ta porazdelitev pogosto uporablja v hidrološki praksi:

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

$$\mu = \lambda_1 - \gamma\sigma, \text{ kjer je } \gamma \text{ Eulerjeva konstanta in je } \gamma = 0,5772\dots$$

### Generalizirana logistična porazdelitev (GLO)

Porazdelitvena funkcija triparametrične porazdelitve GLO s parametri  $\mu$ ,  $\sigma$  in  $\xi$  je:

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

Kadar je  $\xi = 0$ , dobimo porazdelitveno funkcijo dvoparametrične logistične porazdelitve.

Inverzna porazdelitvena funkcija GLO je:

$$x(F) = \mu + \frac{\sigma}{\xi} (1 - ((1 - p)/p)^\xi),$$

funkcija gostote porazdelitve pa:

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

Parametri porazdelitve, zapisani z momenti L (Hosking, 1997), so:

$$\hat{\xi} = -t_3,$$
$$\hat{\sigma} = \frac{l_2}{\Gamma(1 + \hat{\xi})\Gamma(1 - \hat{\xi})},$$
$$\hat{\mu} = l_1 + \frac{l_2 - \hat{\sigma}}{\hat{\xi}}.$$

### Porazdelitev Pearson III

Je troparametrski porazdelitev gama. Verjetnostne porazdelitve gama so pogosto uporabljane v verjetnostnem računu, vsem pa je skupno, da vsebujejo gama funkcijo:

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

Funkcija gostote porazdelitve Pearson III s parametri  $\mu$ ,  $\sigma$  in  $\xi$  ima obliko:

$$f_x(x) = \frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\alpha)}, \text{ kjer je } \beta = \frac{1}{2}\sigma|\xi| \text{ in } \alpha = \frac{4}{\xi^2}.$$

Spremenljivka  $x$  lahko zavzame vrednosti med  $y < x < \infty$ .  $\alpha$  pa je v splošnem lahko pozitivna ali negativna, vendar ob negativni vrednosti postane porazdelitev navzgor omejena in s tem neprimerna za analizo ekstremnih pojavov.

Če v zgornji enačbi upoštevamo  $y = \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)$ , dobimo:  $f_y(y) = \frac{y^{\alpha-1} e^{-y}}{\Gamma(\alpha)}$ . Porazdelitveni

funkciji  $x$  in  $y$  pa sta:

$$F_x(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \int_{\mu}^x \left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right) dx \text{ in } F_y(y) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\frac{x-\mu}{\beta}} y^{\alpha-1} e^{-y} dy.$$

Parametri porazdelitve, zapisani z momenti L (Hosking, 1997), so:

$$\mu = \lambda_1,$$

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

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

*Metoda momentov porazdelitve Pearson III (Rao in Hamed, 2000):*

Prvi moment porazdelitve Pearson III lahko zapišemo z naslednjo enačbo.

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

Če v zgornji enačbi upoštevamo  $y = \left( \frac{x-\mu}{\beta} \right)$  dobimo izraz za  $\mu_1'$  v odvisnosti od

momentov standardizirane porazdelitve Pearson III:

$$\mu_1' = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\infty} (\beta y + \mu) y^{\beta-1} e^{-y} dy. \text{ Sledi:}$$

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

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

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

Na podoben način lahko dobimo tudi višje momente in koeficient ukrivljenosti. Sledijo samo končne enačbe.

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

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

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} \rightarrow \gamma_1 = \frac{2}{\sqrt{\alpha}}$$

Oceno parametrov dobimo, če momente  $\mu'_1$ ,  $\mu_2$  in  $\gamma_1$  nadomestimo z njihovimi vzorčnimi vrednostmi  $m_1$ ,  $m_2$  in  $C_s$ .

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

$$\hat{\beta} = \sqrt{(m_2 / \hat{\alpha})}$$

$$\hat{\gamma} = m'_1 - \sqrt{m_2 \hat{\alpha}}$$

### Logaritemska Pearson III porazdelitev

Če je spremenljivka  $\ln x$  porazdeljena po porazdelitvi Pearson III, potem je porazdelitev spremenljivke  $x$  logaritemska Pearson III porazdelitev (Rao in Hamed, 2000). Funkcija gostote porazdelitve s parametri  $\mu$ ,  $\sigma$  in  $\xi$  ima obliko):

$$f_x(x) = \frac{\left( \frac{\ln x - \mu}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left( -\frac{\ln x - \mu}{\beta} \right)}{\beta x \Gamma(\alpha)}, \text{ kjer je } \beta = \frac{1}{2} \sigma |\xi| \text{ in } \alpha = \frac{4}{\xi^2}.$$

Porazdelitvena funkcija pa je:

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

Če v zgornjo enačbo vpeljemo  $y = \frac{\ln x - \mu}{\beta}$  dobimo:  $F_y(y) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^y y^{\alpha-1} e^{-y} dy$ .

Momente porazdelitve lahko dobimo z enačbo (Bobee in Ashkar, 1991):  $\mu'_r = \frac{e^{r\beta}}{(1-r\beta)^\alpha}$ .

Parametre logaritemske Pearson III porazdelitve z uporabo metode momentov lahko dobimo na dva načina (Rao in Hamed, 2000). Prvi pristop je posredna metoda momentov,

kjer vzamemo naravne logaritme spremenljivke  $x$  in parametre porazdelitve ocenimo kot pri porazdelitvi Pearson III. Drugi pristop je neposredna metoda momentov, kjer metodo momentov uporabimo neposredno na spremenljivko  $x$ .

### **Petparametrična porazdelitev Wakeby**

Slučajna spremenljivka  $x$  je porazdeljena po porazdelitvi Wakeby, kadar velja:

$$x = m + \alpha(1 - (1 - F)^b) - c(1 - 1(1 - F)^{-d}) \text{ in je } F = F(x) = P(X \leq x).$$

Porazdelitev Wakeby je analitično definirana samo v zgornji obliki, funkcije porazdelitve in funkcije gostote porazdelitve ne moremo zapisati. Porazdelitev Wakeby ima svoje prednosti (Greenwood et al., 1979) predvsem zaradi večjega števila parametrov, s katerimi je ujemanje porazdelitve s podatki lahko boljše.



## 6 METODA MOMENTOV L

### 6.1 Uvod

Momenti L in deleži momentov L so v programu FEH uporabljeni za določanje parametrov velikosti poplavne krivulje. Momenti L predstavljajo linearno ustreznico vrednostim, kot sta varianca in koeficient asimetrije (ukrivljenosti). Momenti L so priporočljivi za uporabo predvsem zaradi svojih robustnih lastnosti v primeru zelo majhnih ali zelo velikih vrednosti.

Momenti L temeljijo na linearnih kombinacijah podatkov: L v imenu momenti L predstavlja to linearnost. Enako, kot so srednja vrednost, varianca in koeficient asimetrije definirani v smislu momentov, so srednja vrednost L, varianca L in koeficient asimetrije L definirani v smislu momentov L.

Prvi moment L  $l_1$  je enak običajni srednji vrednosti. Je mera sredine in se včasih zapisuje tudi kot srednja vrednost L. Drugi moment L  $l_2$  je mera razpršenosti podatkov. Temelji na razlikah med opazovanji v vzorcu. Tretji moment L  $l_3$  je mera simetrije podatkov. Denimo da imamo tri vrednosti  $x_1 < x_2 < x_3$ . Če sta  $x_1$  in  $x_3$  simetrična okoli srednje vrednosti, potem je  $x_3 - x_2 = x_2 - x_1$ , in tako  $x_3 - 2x_2 + x_1 = 0$ . Če pa je  $x_3$  dlje od  $x_2$  kot  $x_1$ , potem ima porazdelitev pozitivno asimetrijo in je  $x_3 - 2x_2 + x_1$  večje od 0. Pri porazdelitvi z negativno asimetrijo pa je  $x_3 - 2x_2 + x_1$  manjše od 0. Linearna kombinacija  $x_3 - 2x_2 + x_1$  se imenuje razlika drugega reda urejenega vzorca. Tretji moment L je definiran preko povprečja linearnih kombinacij tega tipa. Četrty moment L  $l_4$  pa je mera koničavosti podatkov. Razlikuje med porazdelitvijo z razmeroma ploskim vrhom in tako s koničastim središčnim vrhom. Temelji pa na razliki tretjega reda urejenega vzorca. Za vzorec  $x_1 < x_2 < x_3 < x_4$  je razlika tretjega reda  $x_4 - 3x_3 + 3x_2 - x_1$ .

### 6.2 Momenti L verjetnostnih porazdelitev

Moment L so alternativna možnost opisa verjetnostnih porazdelitev. Izhajajo iz verjetnostno obteženih momentov (Greenwood et al., 1979), ki so definirani takole:

$$M_{p,r,s} = E\left[X^p (F(X))^r (1 - F(X))^s\right] \quad (6.1)$$

Predvsem sta uporabna verjetnostno obtežena momenta  $\alpha_r = M_{1,0,r}$  in  $\beta_r = M_{1,r,0}$ . Za porazdelitev s kvantilno funkcijo  $x(u)$  velja:

$$\alpha_r = \int_0^1 x(u)(1-u)^r du, \quad (6.2)$$

$$\beta_r = \int_0^1 (x(u))^r du. \quad (6.3)$$

Ta dva momenta sta bila osnova v metodah ocenjevanja parametrov verjetnostnih porazdelitev med leti 1979 in 1987 (Landwehr, Wallis, Greis in Wood, Hosking in Wallis...), vendar pa se je izkazalo, da je ocenjevanje parametrov z njima težavno. Najprej so se razvile metode z linearnimi kombinacijami verjetnostno obteženih momentov, Wood, Hosking in Wallis pa so leta 1985 uporabili skupino ortogonalnih polinomov  $P_r^*(u)$ ,  $r = 0, 1, 2, \dots$ , za katere veljajo pogoji:

- $P_r^*(u)$  je polinom stopnje  $r$ ,
- $P_r^*(1) = 1$ ,
- $\int_0^1 P_r^*(u)P_s^*(u)du = 0$ , če  $r \neq s$ .

Skupini polinomov pravimo tudi premaknjeni Legendrovi polinomi (premaknjeni zato, ker so Legendrovi polinomi sicer definirani kot ortogonalni na intervalu  $[-1, 1]$  in ne na intervalu  $[0, 1]$ ).

Zapišemo jih lahko z naslednjo enačbo:

$$P_r^*(u) = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* u^k, \text{ kjer je } p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k}. \quad (6.4)$$

Prvih nekaj premaknjenih Legendrovih polinomov je tako:

$$\text{Za } r = 0 \rightarrow P_r^*(u) = 1,$$

$$\text{za } r = 1 \rightarrow P_r^*(u) = 2u - 1,$$

$$\text{za } r = 2 \rightarrow P_r^*(u) = 6u^2 - 6u + 1,$$

$$\text{za } r = 3 \rightarrow P_r^*(u) = 20u^3 - 30u^2 + 12u - 1 \dots$$

Sedaj lahko definiramo momente L. Za slučajno spremenljivko X s kvantilno funkcijo  $x(u)$  so momenti L:

$$\lambda_r = \int_0^1 x(u) P_{r-1}^*(u) du. \quad (6.5)$$

Če momente L izrazimo z verjetnostno obteženimi momenti, lahko zapišemo:

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0,$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0,$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0,$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 20\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0, \text{ oziroma v splošni obliki}$$

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r P_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r P_{r,k}^* \beta_k. \quad (6.6)$$

Zapišemo lahko še normirane momente L višjih redov, za katere velja:

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2} \text{ za } r = 3, 4 \dots$$

Koeficient variacije L, koeficient asimetrije L in sploščenost L pomagajo pri opisu porazdelitve poplavnih frekvenc. Navadno jih zapisujemo z oznakami  $\tau$  (koeficient variacije L včasih označujemo tudi z oznako  $\tau_2$ ),  $\tau_3$  in  $\tau_4$  in so definirani tako:

koeficient variacije L  $\tau = \lambda_2 / \lambda_1$

koeficient asimetrije L  $\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2$

sploščenost L  $\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2$

### 6.3 Momenti L in urejenostna statistika

Momente L si lahko predstavljamo tudi kot linearne kombinacije meritev v vzorcu podatkov, ki so urejeni v naraščajočem vrstnem redu. Denimo, da označimo z oznako  $X_{k:n}$   $k$ -to najmanjšo meritev iz vzorca velikosti  $n$ , ki je razvrščen tako, da velja

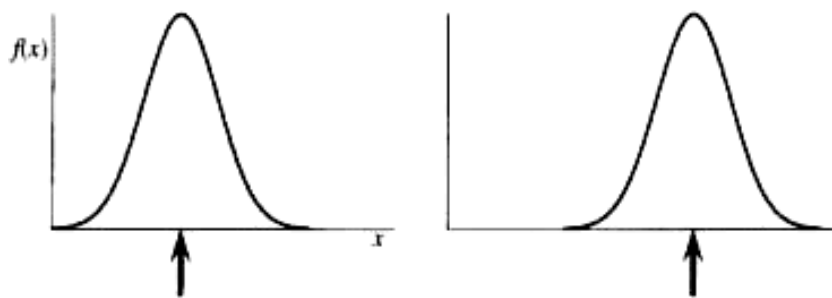
$$X_{1:n} \leq X_{2:n} \leq \dots \leq X_{n:n}.$$

V vzorcu velikosti 1 imamo samo eno meritev  $X_{1:1}$ . Vrednost hrani določeno informacijo o sredini porazdelitve. Če je porazdelitev pomaknjena proti višjim vrednostim, pričakujemo višjo vrednost  $X_{1:1}$ . Glej sliko 8.

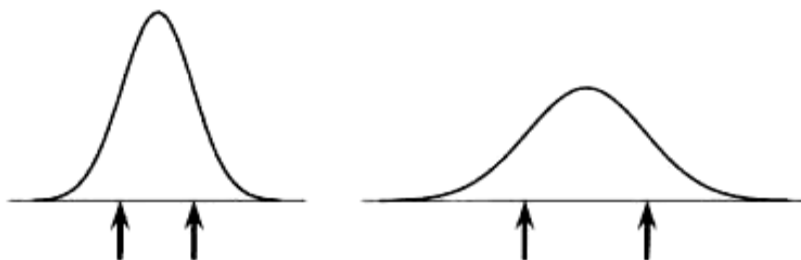
Vzorec velikosti 2 ima dve vrednosti -  $X_{1:2}$  in  $X_{2:2}$  in kaže na razpršenost porazdelitve.

Razlika  $X_{2:2} - X_{1:2}$  je tako mera razpršenosti porazdelitve. Glej sliko 9.

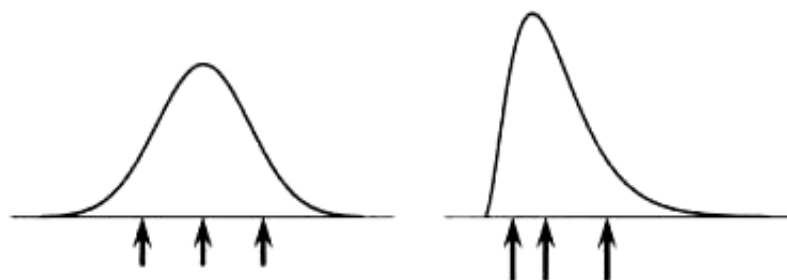
S podobnim razmislekom lahko za vzorec velikosti 3 ugotovimo, da kaže na simetrijo porazdelitve, vzorec velikosti 4 pa na koničavost porazdelitve. Glej sliki 10 in 11.



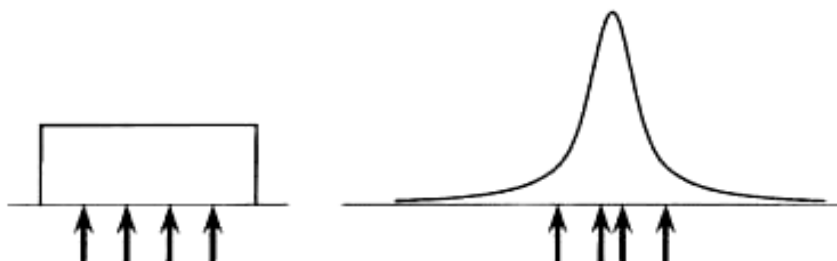
Slika 8: Sredina porazdelitve



Slika 9: Razpršenost porazdelitve



Slika 10: Simetrija porazdelitve



Slika 11: Koničavost porazdelitve

Momente L lahko tako definiramo kot pričakovane vrednosti linearnih kombinacij pomnoženih z ustreznimi skalarji. L v imenu momentov L kaže prav na to, da izvirajo iz linearnih kombinacij urejenih statistik. Momente L sedaj lahko zapišemo na naslednji način:

$$\lambda_1 = E[X_{1:1}],$$

$$\lambda_2 = 1/2E[X_{2:2} - X_{1:2}],$$

$$\lambda_3 = 1/3E[X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}],$$

$$\lambda_4 = 1/4E[X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}], \text{ oziroma v splošni obliki}$$

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} E(X_{r-j:r}). \quad (6.7)$$

Pričakovana vrednost urejene statistike pa je (Hosking, 1997):

$$E(X_{r:n}) = \frac{n!}{(r-1)!(n-r)!} \int x(u) u^{r-1} (1-u)^{n-r} du. \quad (6.8)$$

#### 6.4 Izračun vzorčnih momentov L

Opišimo postopek izračuna vzorčnih momentov L iz podatkov o visokih vodah.

Pri izračunu momentov L si najprej pomagamo z oceno verjetnostno obteženih momentov.

Le-ti so še ena izmed možnosti za določanje parametrov porazdelitve. Najprej določimo približke momentov:

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

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

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

$$b_3 = n^{-1} \sum_{j=4}^n \frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x_{j:n}$$

in v splošni obliki

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_{j:n}, \quad (6.9)$$

oziroma analogno (Landwehr, 1979):

$$b_r = n^{-1} \binom{n-1}{r}^{-1} \sum_{j=r+1}^n \binom{j-1}{r} x_{j:n}. \quad (6.10)$$

Kjer je  $n$  velikost vzorca,  $x_{j:n}$  pa je  $j$ -ti element vzorca velikosti  $n$ , urejenega v naraščajočem redu. Ocena momentov L je tako:

$$l_1 = b_0$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0$$

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

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

in v splošni obliki (glej enačbo 6.4)

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* b_k \quad \text{za } r = 0, 1, \dots, n-1. \quad (6.11)$$

Vzorčni moment L  $l_r$  je nepristranska ocena momenta L  $\lambda_r$ . (Hosking, 1997)

## 6.5 Določitev parametrov porazdelitve na osnovi momentov L

V klasičnem pristopu primerjamo momente L porazdelitve z vzorčnimi momenti L, kar je analogno običajni metodi momentov, kjer momente porazdelitve primerjamo z vzorčnimi. V programu FEH je uporabljena nekoliko spremenjena metoda klasičnega pristopa. Vzorčni deleži momentov L se uporabijo za pridobitev rastne krivulje. Krivuljo frekvence višine poplavnih vod pa zatem dobimo tako, da rastno krivuljo pomnožimo s srednjim pretokom  $Q_{MED}$ . Postopek je ekvivalenten postopku ujemanja krivulje frekvence višine poplavnih vod z ujemanjem mediane in deležev momentov L.

### 6.5.1 Primerjava metode v programu FEH in klasične metode momentov L

Klasični pristop za ujemanje s porazdelitvijo je ujemanje momentov L (kar je ekvivalentno ujemanju srednje vrednosti in deležev momentov L). Klasični pristop uporablja za srednji pretok vrednost  $Q_{BAR}$  (povprečje pretokov) in tako temelji na srednji vrednosti, medtem ko v programu FEH za srednjo vrednost privzamemo  $Q_{MED}$ , torej uporabimo mediano pretokov. Poglejmo si razlike med pristopoma.

Rastna krivulja v programu FEH je definirana tako, da je 2-letni rastni faktor enak 1 (mediana rastne krivulje porazdelitve je enaka 1). Točke krivulje frekvence dobimo, če

$Q_{MED}$  pomnožimo s koeficienti rastne krivulje. Za krivuljo frekvence, pridobljeno z metodami programa FEH, torej velja, da je mediana porazdelitve poplavne frekvence enaka  $Q_{MED}$  na merilni postaji.

Pri klasičnem pristopu je uporabljena malenkost drugačna rastna krivulja. Krivuljo frekvence dobimo tako, da normiramo rastno krivuljo z opazovanim  $Q_{BAR}$ . Za klasični pristop torej velja, da je srednja vrednost porazdelitve enaka  $Q_{BAR}$  na merilni postaji. Z obema pristopoma dobimo identični frekvenčni krivulji, razlika je le v faktorju normiranja.

### **6.5.2 Računalniški algoritmi za določanje parametrov porazdelitev z momenti L**

Vsi programi, ki omogočajo računanje z metodo momentov L, imajo v svojem jedru tako ali drugače vgrajene algoritme profesorja J. R. M. Hoskinga, oziroma izhajajo iz njegovih metod ocenjevanja parametrov porazdelitve z momenti L. Vhodni podatki algoritma so vzorčni momenti L, rezultati pa so parametri porazdelitev. Ko imamo parametre porazdelitve, je analiza visokih vod analogna analizi v primeru metode momentov.

## **6.6 Uporaba metode momentov L v Evropi in svetu**

Metoda momentov L na področju hidrologije je v svetu že kar razširjena in se pogosto uporablja. Na splošno se je izkazala kot zelo ustrezna metoda pri določanju višin poplavnih vod in je v nekaterih državah predlagana kot najustreznejša. V nadaljevanju so navedene nekatere uporabe momentov L po svetu.

### **6.6.1 Evropa**

#### **Velika Britanija in Irska**



Po izidu knjige Flood estimation handbook (Robson, Reed in Faulkner) leta 1999 se za določanje višin visokih vod v Veliki Britaniji najpogosteje uporablja metoda momentov L s porazdelitvijo GEV. Avtorji so prikazali, da so rezultati analiz ustrežnejši od rezultatov pridobljenih z drugimi metodami. Ob tem so razvili tudi program FEH, ki je bil tedaj prvi program z možnostjo uporabe metode momentov L. Irska je po letu 2000 začela pripravo svoje študije o ustreznosti metode in pripravo podatkov za postaje. Keshav Bhattarai je leta 2005 predstavil svojo študijo na vzorcu 98 postaj in ugotovil, da je nova metoda boljša od prej uporabljenih. V študiji je poleg momentov L uporabil še druge momente L, ki jih je poimenoval momenti LH (višji momenti L) in momenti PL (parcialni momenti L).

### **Ostale države**

Uporabo momentov L lahko zasledimo tudi v različnih drugih evropskih državah. Čehi so v letu 2002 momente L uporabili pri določevanju pričakovanih najvišjih letnih temperatur. Nizozemci so v letu 2000 preverjali točnost ocen parametrov z momenti L, podobno študijo s primerjanjem metode momentov, metode momentov L in metode največjega verjetja sta izvedla tudi Delicado in Gorla iz Španije oziroma Italije.

### **6.6.2 Svet**

#### **Brazilija**

Brazilsko ministrstvo za kmetijstvo je v letu 2003 izvedlo študijo o ustreznosti metode momentov L na področju Brazilije. Za njihovo področje so se z novo metodo najbolje izkazale porazdelitve GEV, GLO in Personova III porazdelitev. Uporaba metode v prihodnje je v sklepu študije zelo priporočljiva.

#### **Bangladeš, Indija in Kitajska**

V Bangladešu so princip momentov L in verjetnostno obteženih momentov uporabili že kmalu po Hoskingovi predstavitvi v letu 1991. V svoji študiji so uporabili deleže

momentov L in predlagane metode za določanje najboljše ustreznosti porazdelitve z diagrami momentov L. Izmed štirih porazdelitev se je kot najboljša izkazala porazdelitev GEV.

Kitajska je prvo resnejšo študijo v povezavi z metodo momentov L izvedla na reki Yangtze po letu 1997. Tradicionalno so za določanje visokih vod uporabljali Pearsonovo III porazdelitev, skupaj z metodo momentov L pa se je najbolje obnesla porazdelitev Wakeby. Indijci so v med leti 2000 in 2005 razvili svoj program za določanje visokih vod. V njem so zajeli številne različne porazdelitve in metode. Za svoje reke so ugotovili, da se najbolje obnesejo metode z verjetnostno obteženimi momenti, iz katerih izhaja tudi metoda momentov L.

### **Združene države Amerike**

V ZDA so se študije z uporabo momentov L prav tako pojavile kmalu po predstavitvi. V številnih študijah lahko zasledimo, da so momenti L ustrežnejši za ocenjevanje ekstremnih pojavov (denimo Provaznik in Hotchkiss, 1998) od prej uporabljenih metod. Momenti L se v ZDA uporabljajo tudi za napovedovanje ekstremnih padavin.

### **Ostale države**

Uporabo momentov L lahko zasledimo tudi v številnih drugih državah kot so: Avstralija, Južnoafriška republika, Kanada, Koreja, Nova Zelandija...

## 7 RAČUNSKI PRIMER

Za prikaz praktičnega računa sem si zaradi krajših izvajanj računov izbral postajo z manjšim številom podatkov in sicer: **Žiri II – Poljanska Sora**. Račun je za porazdelitev Pearson III.

Preglednica 2: Podatki o letnih najvišjih pretokih za postajo Žiri II

leto	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
pretok [m <sup>3</sup> /s]	143	68	147	68,00	158,48	80,88	113,82	95,59	181,96	24,27	60,70	71,81

### 7.1 Račun z uporabo Excela, Mathematice in osnovnih enačb

Podatke o najvišjih letnih pretokih najprej kopiramo v Excelovo tabelo, nato uredimo pretoke po velikosti (četrti stolpec) in jih indeksiramo (prvi stolpec). V petem in šestem stolpcu izračunamo delne vsote, na dnu pa vsoto vrednosti posameznega stolpca.

Preglednica 3: Izračun delnih vsot

indeks [j]	leto	pretok	pretoki po velikosti $x_{(j)}$	$\frac{(j-1)}{(n-1)} x_{(j)}$	$\frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{(j)}$
1	1989	74,4	24,27	0	0
2	1990	143	60,70	5,058333397	0
3	1991	68	68	11,333	1,03030303
4	1992	147	68,00	17,000	3,091
5	1993	68,00	71,81	23,937	6,528
6	1994	158,48	74,40	31,000	11,273
7	1995	80,88	80,88	40,442	18,383
8	1996	113,82	95,59	55,762	30,416
9	1997	95,59	113,82	75,877	48,285
10	1998	181,96	143	107,250	78,000
11	1999	24,27	147	122,500	100,227
12	2000	60,70	158,48	145,271	132,065
13	2001	71,81	181,96	181,959	181,959
		vsota:	<b>1287,91</b>	<b>817,390</b>	<b>611,257</b>

Sedaj lahko izračunamo vrednosti  $b_0$ ,  $b_1$  in  $b_2$ .

$$b_0 = n^{-1} \sum_{j=1}^n x_{(j)} = \frac{1287,91}{13} = 99,07$$

$$b_1 = n^{-1} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_{(j)} = \frac{817,390}{13} = 62,88$$

$$b_2 = n^{-1} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_{(j)} = \frac{611,257}{13} = 47,02$$

Sedaj lahko določimo še za račun potrebne momente L:

$$l_1 = b_0 = 99,07$$

$$l_2 = 2b_1 - b_0 = 125,76 - 99,07 = 26,68$$

$$l_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 = 282,12 - 377,28 + 99,07 = 3,93$$

koeficient asimetrije L

$$\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2 = l_3 / l_2 = 3,93 / 26,69 = 0,147$$

V naslednjem koraku moramo iz vzorčnih momentov L določiti ustrezne parametre porazdelitvi Pearson tip III (srednja vrednost, standardna deviacija in ukrivljenost). Določanje poteka v skladu z algoritmi in procedurami J. R. M. Hoskinga (1996).

$C_1$  do  $C_3$  so konstante z vrednostmi:

$$C_1 = 0,2906$$

$$C_2 = 0,1882$$

$$C_3 = 0,0442$$

Pomožne vrednosti so:

$$T = 3\pi \cdot \tau_3^2 = 0,205$$

$$A = \frac{(1 + C_1 T)}{(T(1 + T(C_2 + TC_3)))} = 4,973$$

$$\alpha = \sqrt{A} = 2,230$$

$$\beta = 12\sqrt{\pi} \cdot \exp(\ln(\Gamma(A)) - \ln(\Gamma(a + 0,5))) = 21,745$$

Parametri porazdelitve so podani z enačbami:

$$\mu = l_1 = 99,07$$

$$\sigma = \beta\alpha = 48,494$$

$$\gamma = \frac{2}{\alpha} = 0,897$$

Parametri porazdelitve so torej:  $\mu = 99,07$ ,  $\sigma = 48,494$  in  $\gamma = 0,897$ .

Postopek določanja predvidenih višin poplavnih vod za posamezne povratne dobe je sedaj enak kot pri računu z metodo momentov.

Tukaj bom prikazal primer računa za povratno dobo  $T = 50$  let oziroma verjetnostjo  $P = 0,02$ .

Najprej moramo določiti koeficient K po naslednjih formulah (ali s pomočjo tabel):

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

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

Za  $P = 0,02$  dobimo z Mathematico ali Excelom:

$$K_{50} = 2,262$$

Predvideni pretok s povratno dobo 50 let za postajo Žiri II dobimo po enačbi:

$$Q_{50} = \mu + K_{50} \cdot \sigma = 99,07 + 2,262 \cdot 48,49 = \mathbf{220,14 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

Analogno lahko izračunamo tudi predvidene pretoke za vse ostale povratne dobe.

## 7.2 Račun s programom WINFAP-FEH

Program WINFAP-FEH (v nadaljevanju FEH) so razvili v Angliji (Robson, Reed in Faulkner, 1999) med leti 1994 in 1999 in je eden redkih programov, ki že omogoča računanje z metodo momentov L.

### 7.2.1 Vhodni podatki

Program FEH za svoje delo potrebuje posebno vhodno strukturo podatkov, ki ni v ničemer prav podobna podatkom o slovenskih postajah Agencije republike Slovenije za okolje (ARSO). Posledično je v celem izračunu največ časa namenjenega pripravi podatkov, saj gre za 300 slovenskih vodomernih postaj in 7340 podatkov o pretokih, vsaka postaja pa potrebuje dve vhodni datoteki.

Vhodni datoteki za postajo Žiri II izgledata takole:

- Datoteka \*.am s podatki o pretokih

[Station number]

4215

[End]

[AM Details]

Year Type, Calender year, January

[End]

[AM Values]

06 Nov 1989, 74,4

01 Nov 1990, 143

18 Oct 1991, 68

16 Nov 1992, 147

22 Oct 1993, 68

04 Oct 1994, 158,478

21 Sep 1995, 80,884

18 Nov 1996, 113,815

14 Sep 1997, 95,592

04 Nov 1998, 181,959

25 Oct 1999, 24,275

01 Mar 2000, 60,7

25 Jan 2001, 71,81

[End]

- Datoteka \*.cd s podatki o področju

[Station number]

4215

[End]

[CDS Details]

Name, Žiri II

NOMINAL AREA, 53,68

NOMINAL NGR, ,

[End]

[Descriptors]

IHDTM; NGR, 0, 0

DTM AREA, 0

BFIHOST, 0

DPLBAR, -1

DPSBAR, -1

FARL, 0

PROPWET, 0

SAAR, 0

SPRHOST, -1

URBEXT1990, 0

ALTBAR, 4294967295

ASPBAR, 4294967295

ASPVAR, -1

LDP, -1

RMED-1D, -1.000000

RMED-2D, -1.000000

RMED-1H, -1.000000

SAAR4170, 4294967295

SMDBAR, -1

URBCONC, -1

URBLOC, -1

[End]

[Comments]

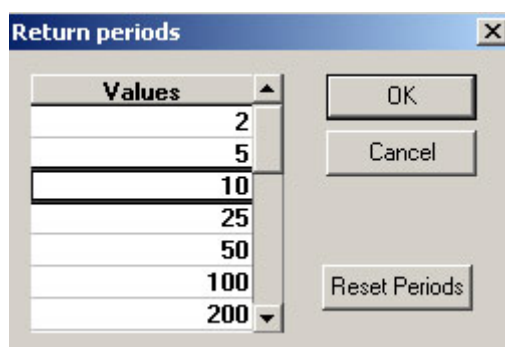
User, PRETOKI - OPAZOVANJA - TRENUTNE DNEVNE VREDNOSTI - m<sup>3</sup>/s

[End]

Predvsem druga datoteka je v tem primeru razmeroma neizkoriščena, saj podatkov, ki naj bi jih vnesli vanjo, za slovenske postaje ni.

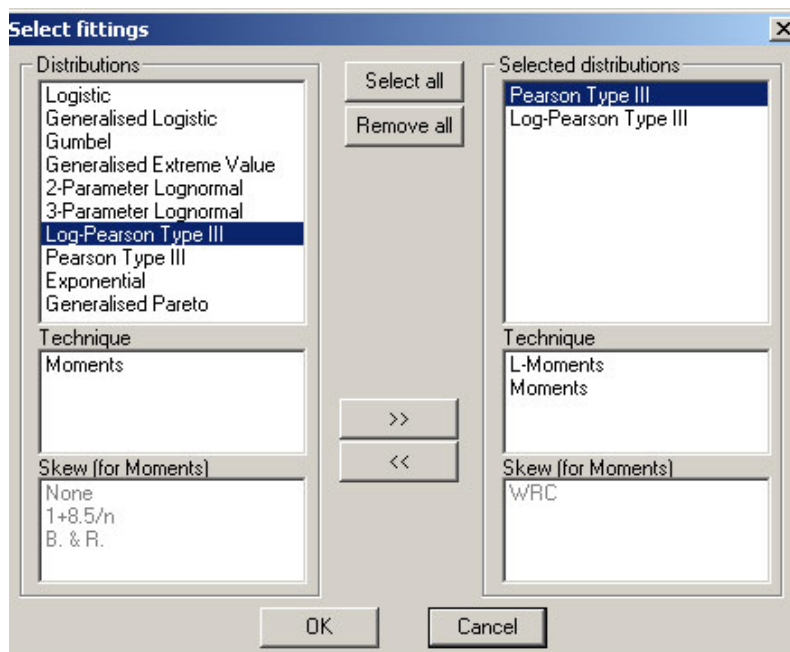
### 7.2.2 Račun in rezultati

Ko pripravimo vhodne datoteke za postaje, kjer nas zanima izračun, je nadaljnji postopek razmeroma nezahteven. Najprej določimo povratne dobe v letih, za katere želimo izračun:



Slika 12: Povratne dobe

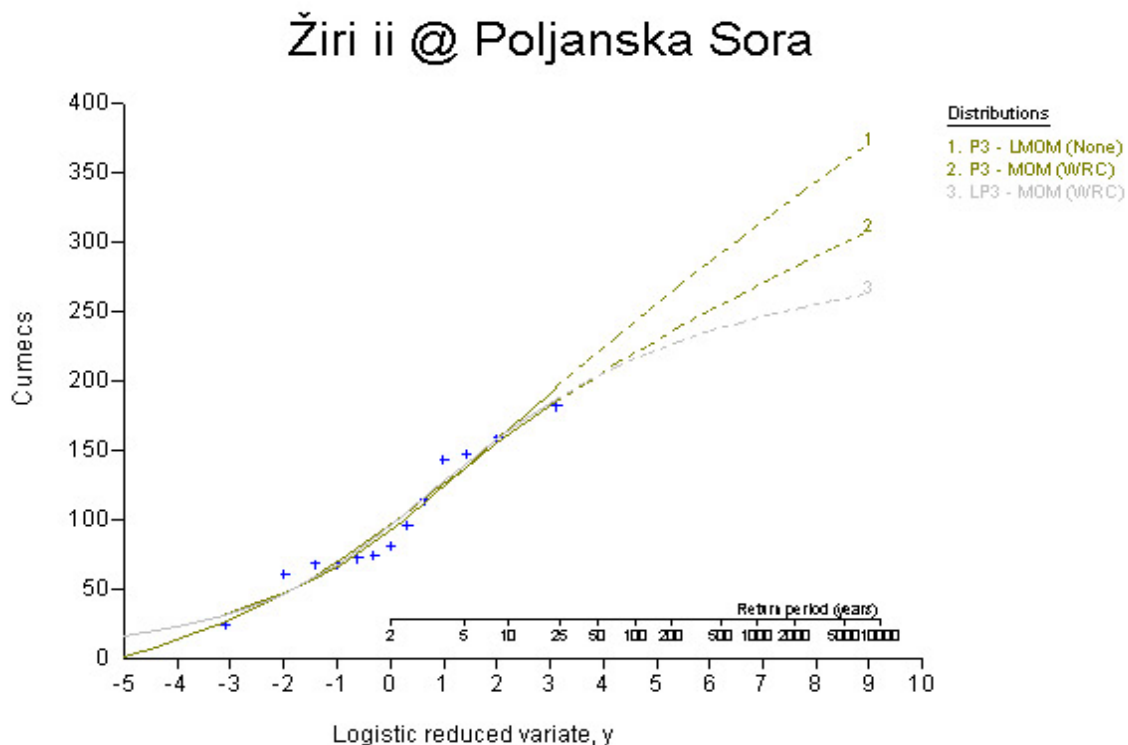
nato si izberemo porazdelitve, metode in parametre, ki jih program upošteva pri izračunu:





Slika 13: Izbira porazdelitev in metode

Program nam izriše krivulje, iz katerih lahko razberemo predvidene pretoke (ordinatna os, enote so kubični metri) glede na povratno dobo (abscisna os, enote so leta) in primerjavo med posameznimi metodami.



Grafikon 1: Izpis primerjave metod s programom FEH

Tu pa se zmogljivosti programa FEH žal končajo. Naslavljanje grafov, legend in oznak osi ni mogoče, prav tako ni mogoče kopiranje tabelaričnih rezultatov in uporabljenih parametrov v druge programe, zato jih lahko le natisnemo.

### 7.3 Račun z lastnim programom

Zaradi omejitev programa FEH in zelo zamudne priprave podatkov sem se odločil, da razvijem lasten program v modernem in razširjenem okolju Excela s podporo Visual Basica. Pri načrtovanju sem želel, da je vhodna struktura čimbolj podobna podatkom, ki jih posreduje ARSO, izpis rezultatov pa čimbolj podoben sedanjim izpisom Hidrološkega

inštituta, s tem dodatkom, da jih lahko prosto kopiramo v programe skupine Microsoft Office.

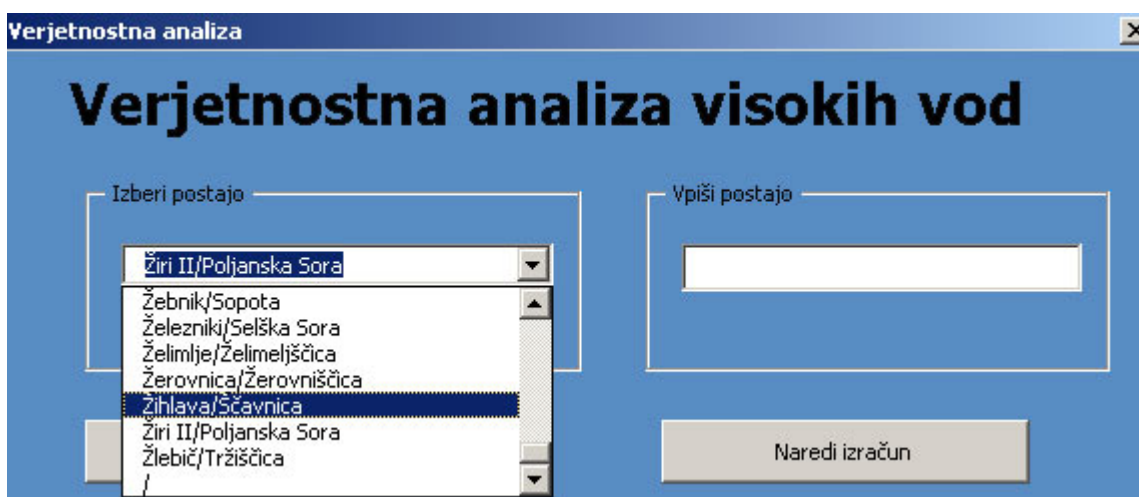
### 7.3.1 Vhodni podatki

Za delovanje programa posebna priprava vhodnih podatkov ni potrebna, program črpa podatke neposredno iz podatkov, ki jih posreduje ARSO.

### 7.3.2 Račun in rezultati

Program za izbrano postajo avtomatično izračuna predvidene pretoke glede na različne povratne dobe za porazdelitev Pearson III z metodo WRC, logaritemsko Pearsonovo III porazdelitev z metodo WRC in porazdelitev Pearson III z metodo momentov L. Izpis rezultatov zajema tako grafične kot tabelarične podatke za vsako porazdelitev posebej in še primerjalni graf vseh treh metod.

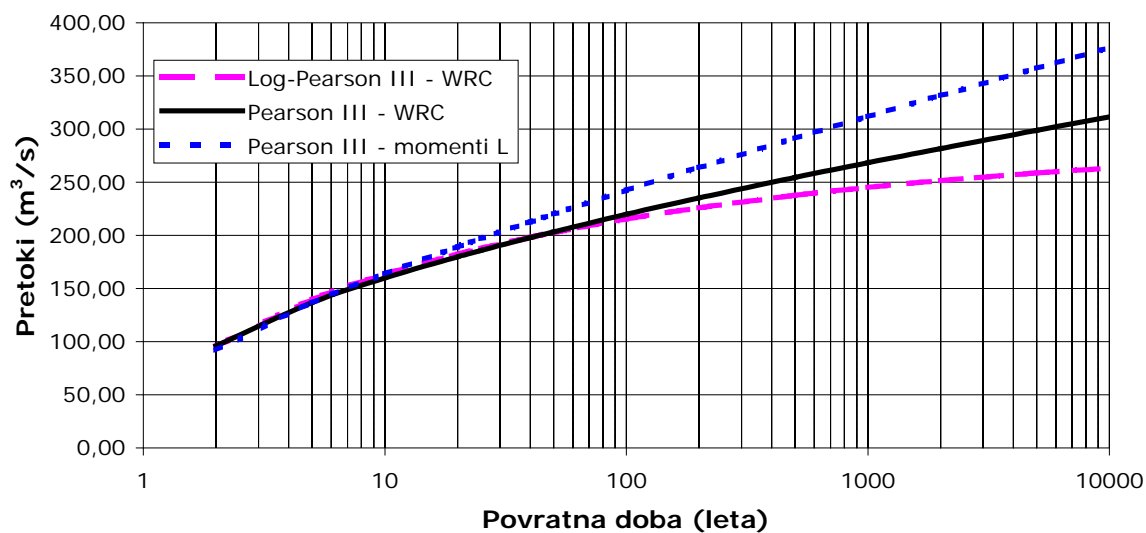
Najprej izberemo postajo iz seznama:



Slika 14: V programu izberemo zeleno postajo

in že je pred nami izpis rezultatov:

### Primerjalni graf metod



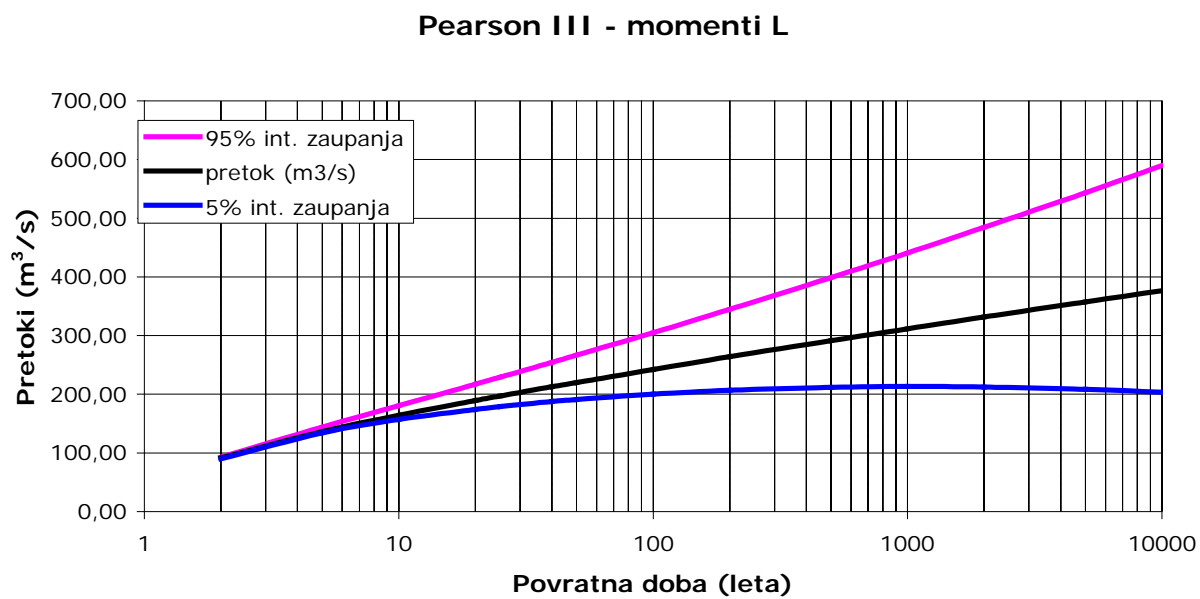
Grafikon 2: Izpis primerjave metod z lastnim programom

Srednja vrednost pretokov	99,070231
Srednja vrednost	48,493828
Standardna deviacija	0,8966459

Pov. doba	pretok (m³/s)	90% interval zaupanja
2	91,92	90,01 - 92,79
5	136,38	134,34 - 143,80
10	163,99	156,91 - 180,45
20	189,17	174,17 - 217,16
25	196,91	178,85 - 229,10
40	212,79	187,50 - 254,49
50	220,14	191,08 - 266,68
100	242,38	200,26 - 305,17
200	263,86	206,80 - 344,70
500	291,37	211,80 - 398,68
1000	311,63	213,08 - 440,85
2000	331,52	212,34 - 484,25
5000	357,29	208,45 - 543,39
10000	376,52	203,38 - 589,70

### Pearson III - L - momenti

Preglednica 4: Tabelarični rezultati za postajo Žiri II in metodo momentov L



Grafikon 3: Grafični prikaz rezultatov za porazdelitev Pearson III z metodo momentov L za postajo Žiri II.

## **8 ANALIZA REZULTATOV METODE MOMENTOV L ZA SLOVENIJO**

Metodo momentov L (v nadaljevanju PE3 LMOM) sem hotel kar se da dobro primerjati s sedaj največ uporabljanima metodama Pearson III WRC (v nadaljevanju PE3) in Log Pearson III WRC (LOGPE3). Za metodo PE3 velja, da v splošnem kaže nižje rezultate, medtem ko LOGPE3 predvsem za daljše povratne dobe kaže pretirano visoke rezultate.

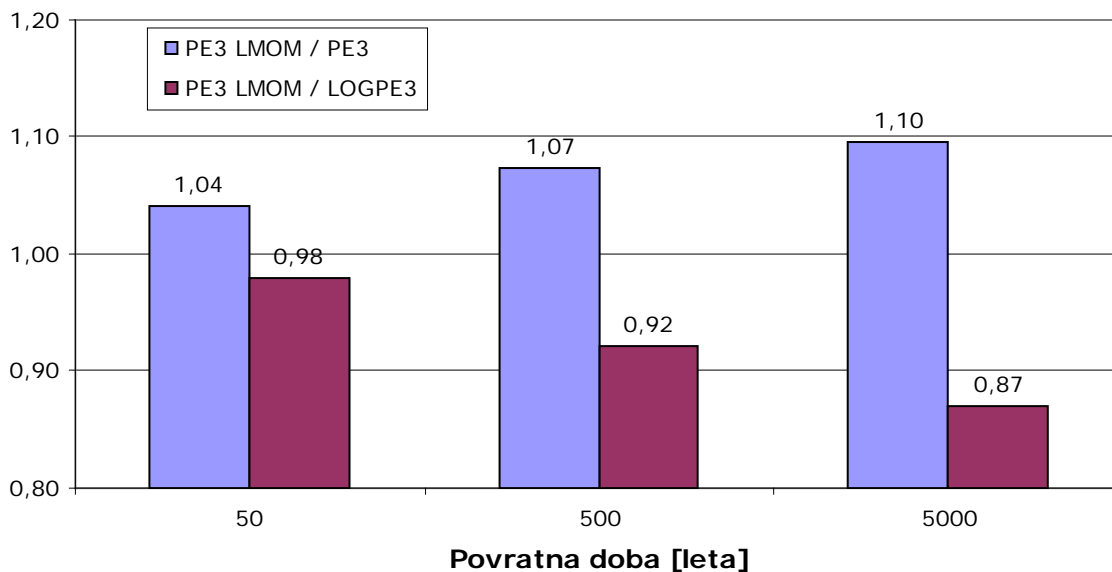
Kljub zamudnemu delu sem se odločil primerjati metodo momentov L s preostalima na vseh slovenskih vodomernih postajah. Rezultate sem primerjal glede na štiri različne kriterije:

- povprečna razlika med metodami glede na različne povratne dobe
- absolutne razlike med metodami glede na različne povratne dobe
- razlike med metodami glede na velikost vodotoka
- razlike med metodami glede na število podatkov

### **8.1 Povprečna razlika med metodami glede na različne povratne dobe**

Za vsako vodomerno postajo sem najprej izračunal predvidene pretoke glede na povratne dobe 50, 500 in 5000 let. Zatem sem določil količnik razlikovanja na posamezni postaji in končno določil povprečen količnik razlikovanja na vseh postajah. Rezultati so prikazani v spodnjem grafu.

### Povprečna razlika med metodami glede na povratno dobo



Grafikon 4: Povprečna razlika med metodami glede na povratno dobo

Metoda momentov L se je izkazala za vmesno vrednost med drugima dvema. Rezultati so v povprečju 8-13 % nižji v primerjavi z metodo LOGPE3 in 4-10 % višji v primerjavi z metodo PE3.

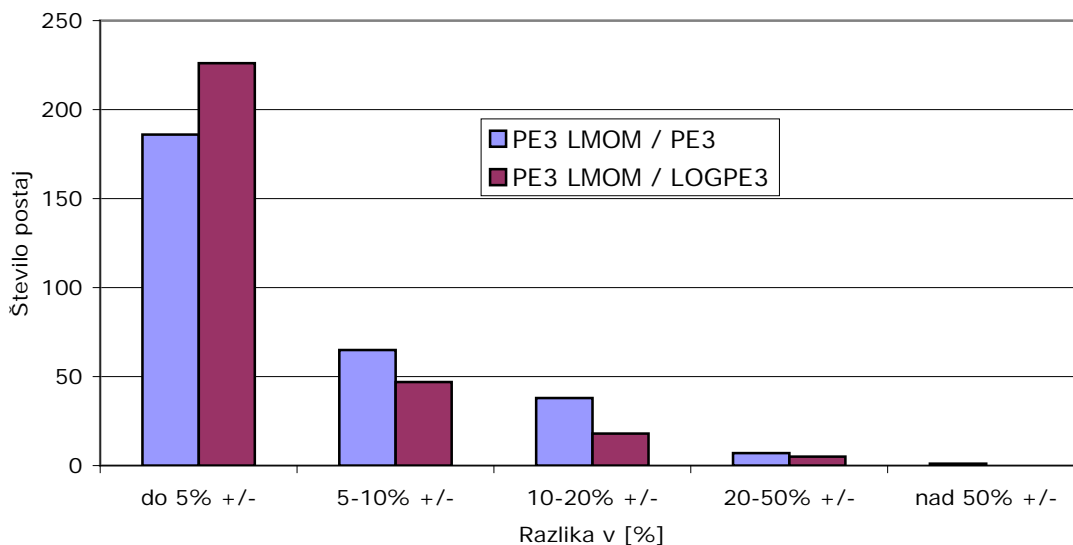
## 8.2 Absolutne razlike med metodami glede na različne povratne dobe

Izbral sem si različne intervale absolutnih razlik in sicer:

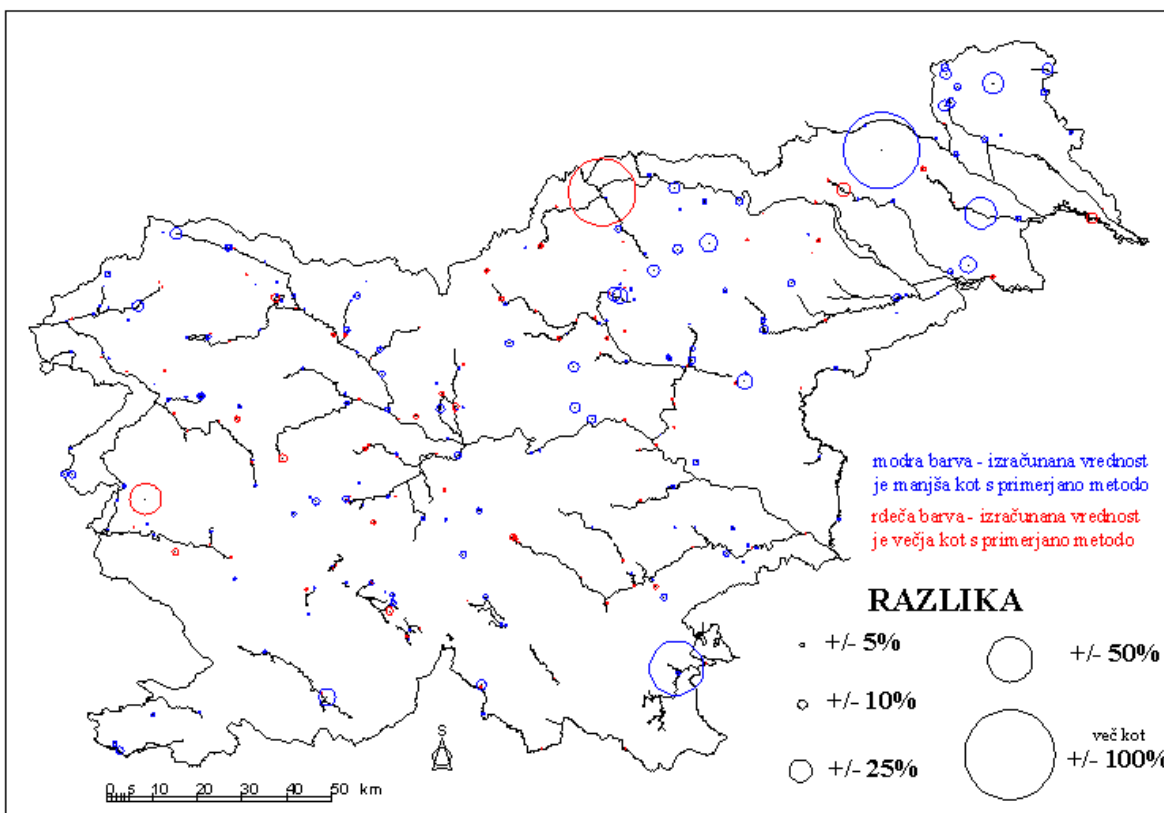
- razlikovanje do 5 % v primerjavi z metodo momentov L
- razlikovanje do 5-10 % v primerjavi z metodo momentov L
- razlikovanje do 10-20 % v primerjavi z metodo momentov L
- razlikovanje do 20-50 % v primerjavi z metodo momentov L
- razlikovanje nad 50 % v primerjavi z metodo momentov L

Za povratne dobe 50, 500 in 5000 let sem nato preštel število postaj, ki padejo v posamezno skupino rezultati so v naslednjih grafih:

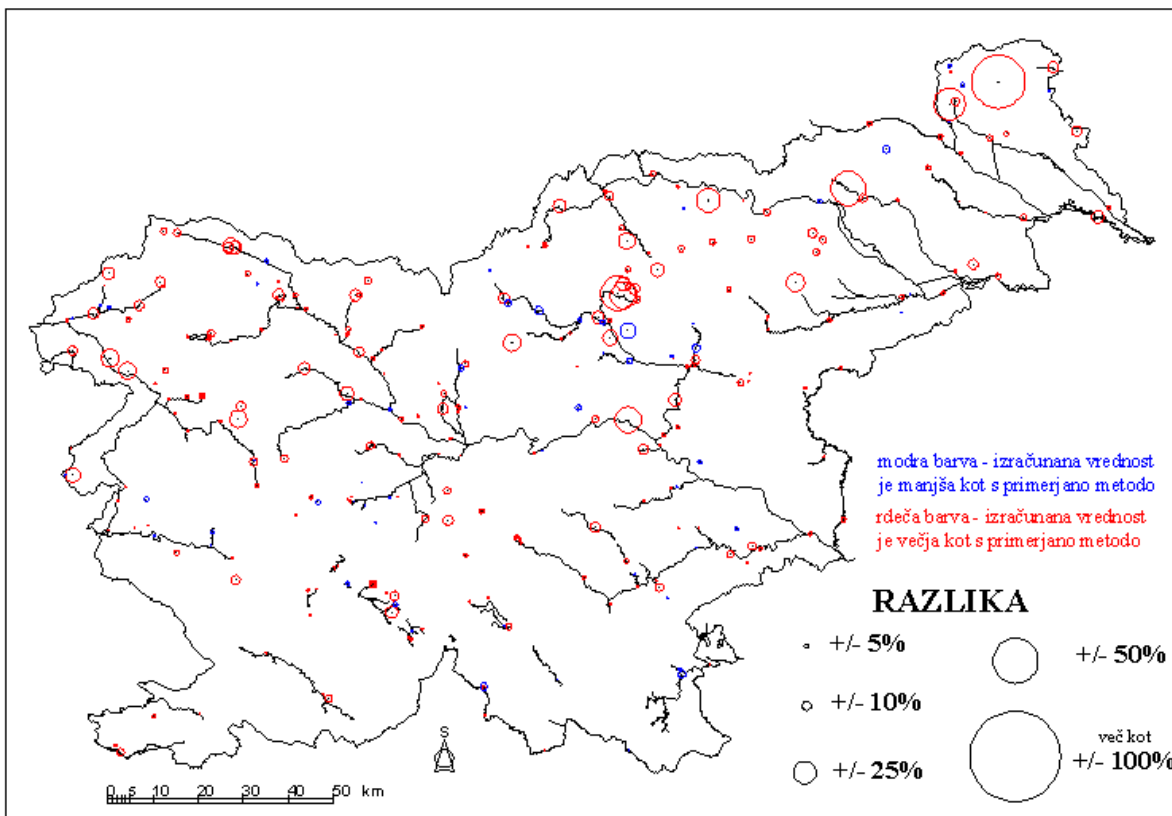
**Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 50 let**



Grafikon 5: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 50 let

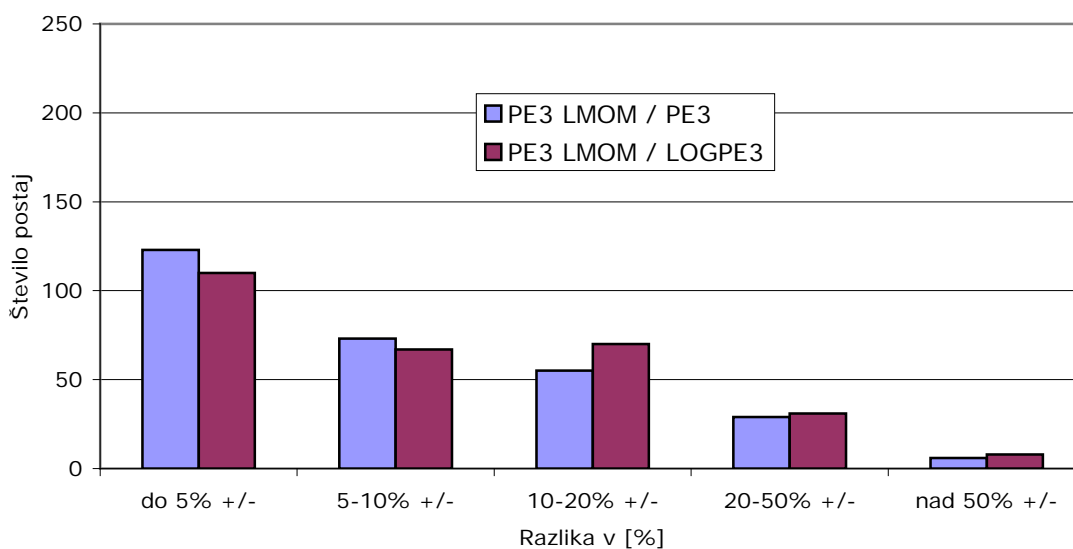


Slika 15: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 50 let



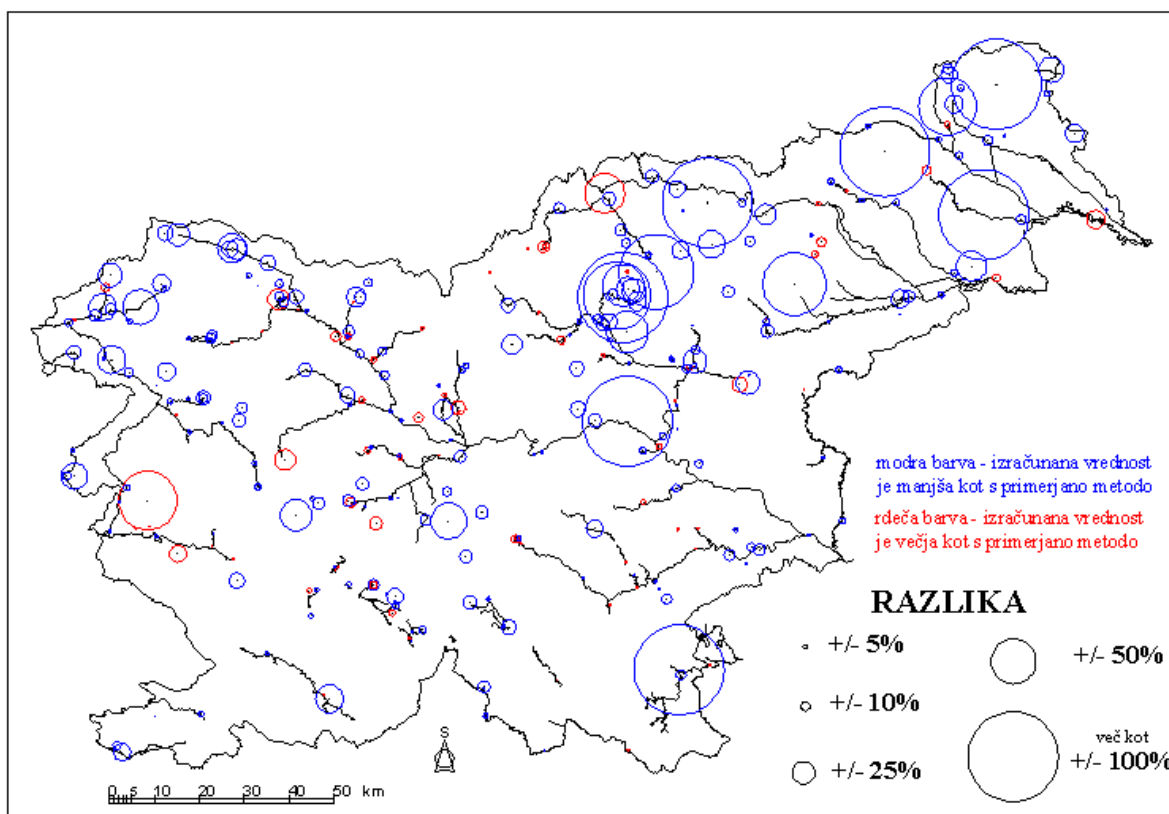
Slika 16: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 50 let

**Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 500 let**

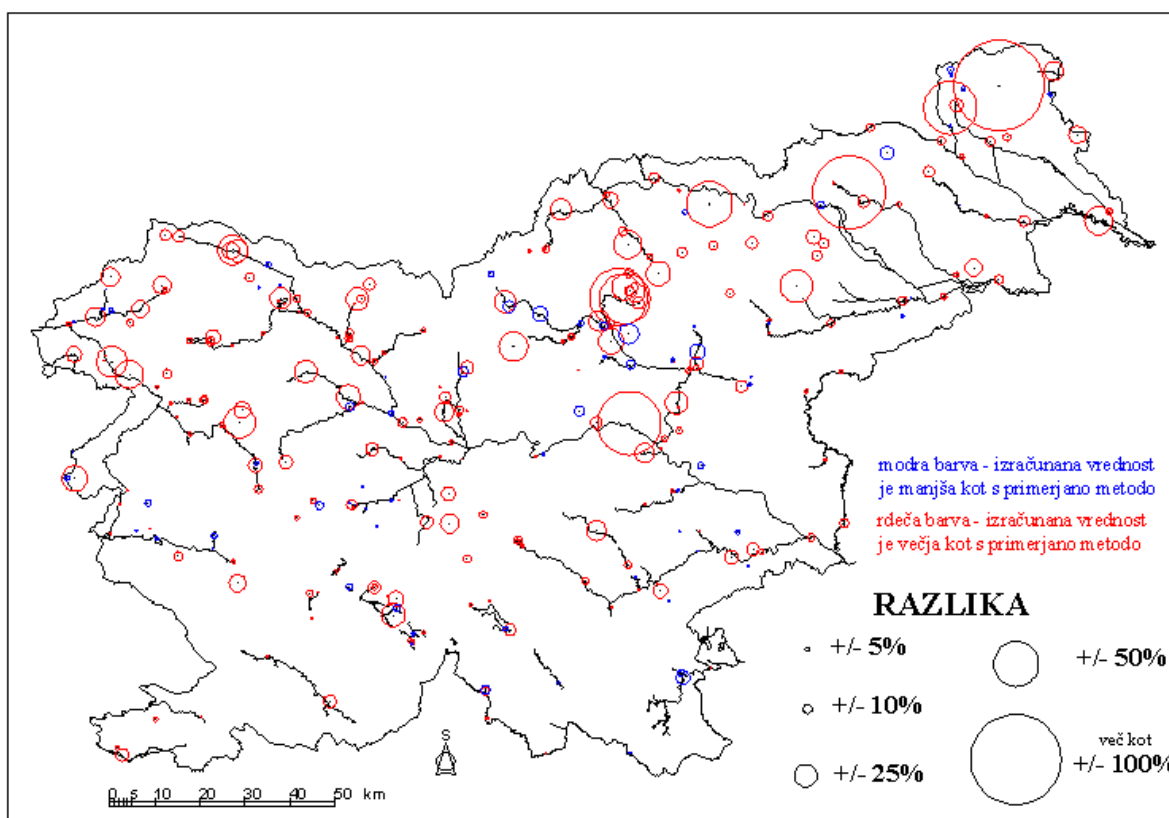


Grafikon 6: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 500 let



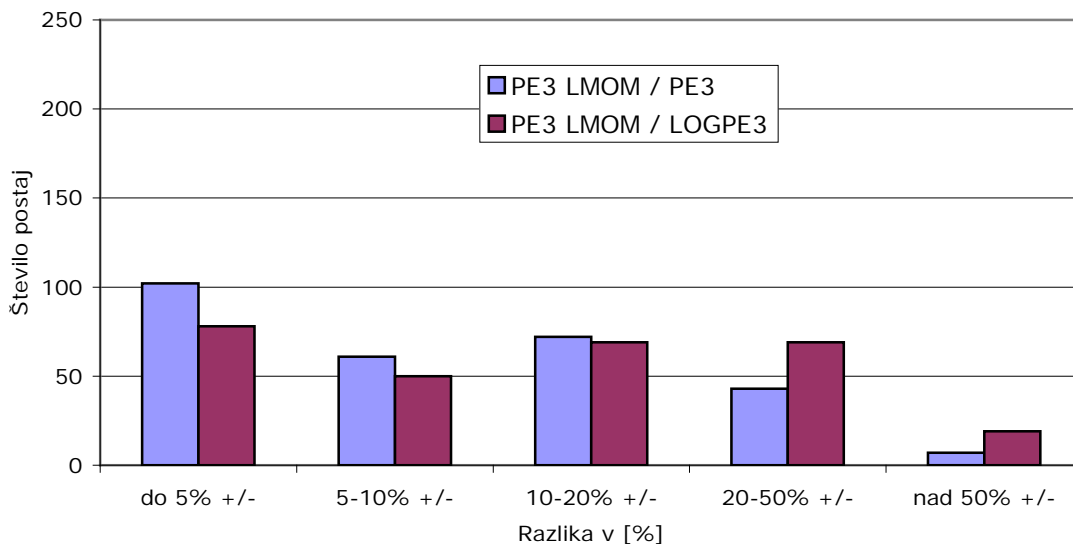


Slika 17: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 500 let

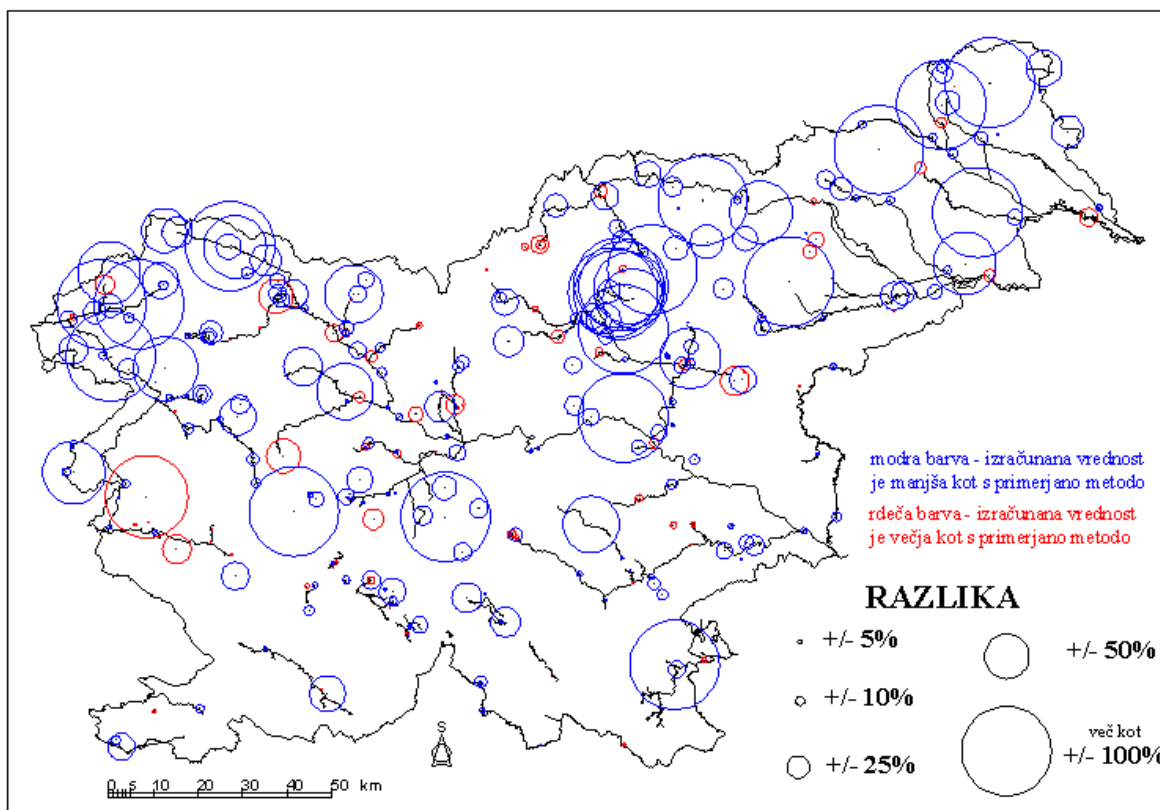


Slika 18: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 500 let

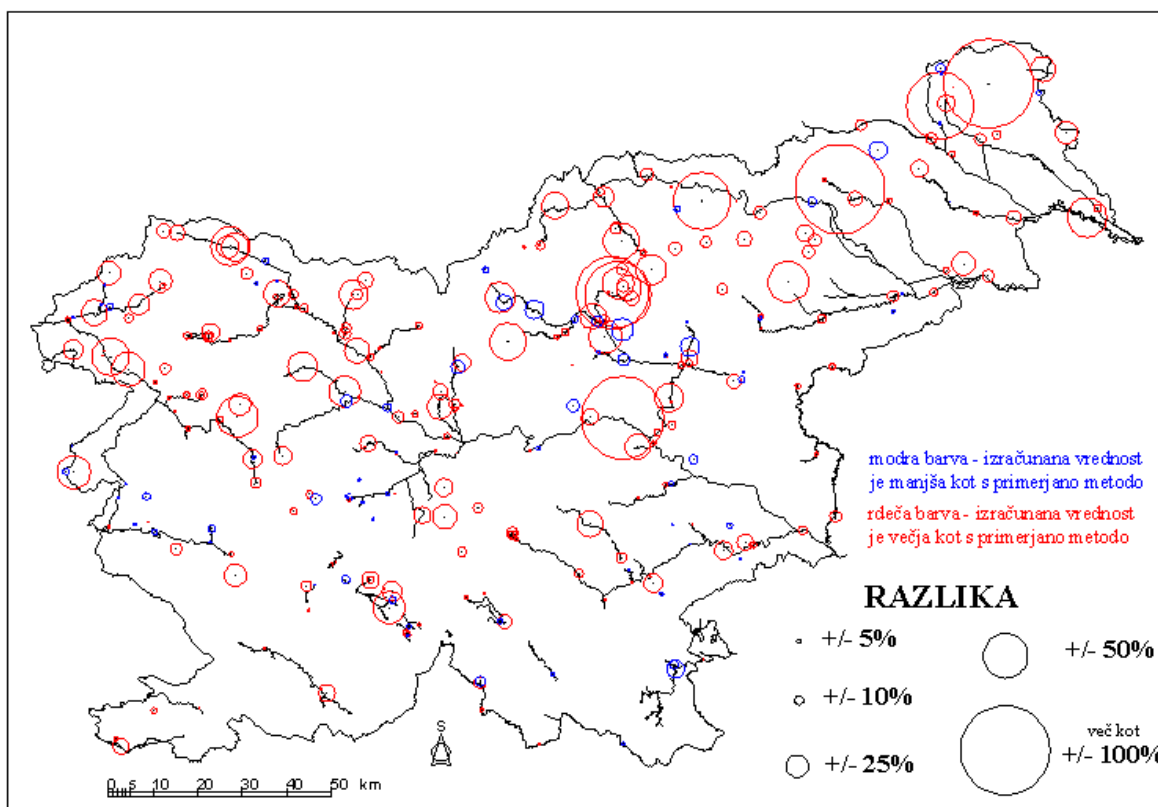
**Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 5000 let**



Grafikon 7: Absolutne razlike med metodami za povratno dobo 5000 let



Slika 19: Primerjava PE3 LMOM / LOGPE3 za povratno dobo 5000 let



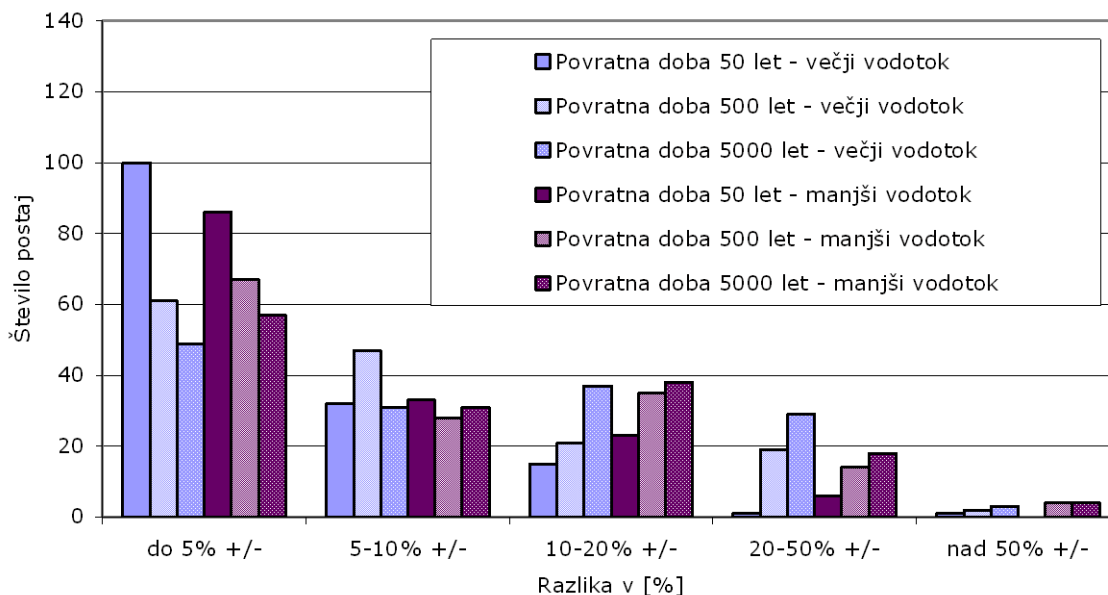
Slika 20: Primerjava PE3 LMOM / PE3 za povratno dobo 5000 let

Rezultati nam kažejo, da se razlikovanje med metodami povečuje glede na povratno dobo. Če je pri povratni dobi 50 let 85 odstotkov postaj v razredu do 10 odstotkov razlikovanja, je pri 5000-letni povratni dobi takih postaj le še polovica. Večje razlikovanje v primerjavi z metodo momentov L je glede na metodo LOGPE3. Večina postaj ima nižje rezultate. Nasprotno je v primerjavi z metodo PE3, kjer metoda momentov L v 80 odstotkih kaže višje rezultate. Regionalno gledano so razlike največje na rekah v severni in severovzhodni Sloveniji.

### 8.3 Razlike med metodami glede na velikost vodotoka

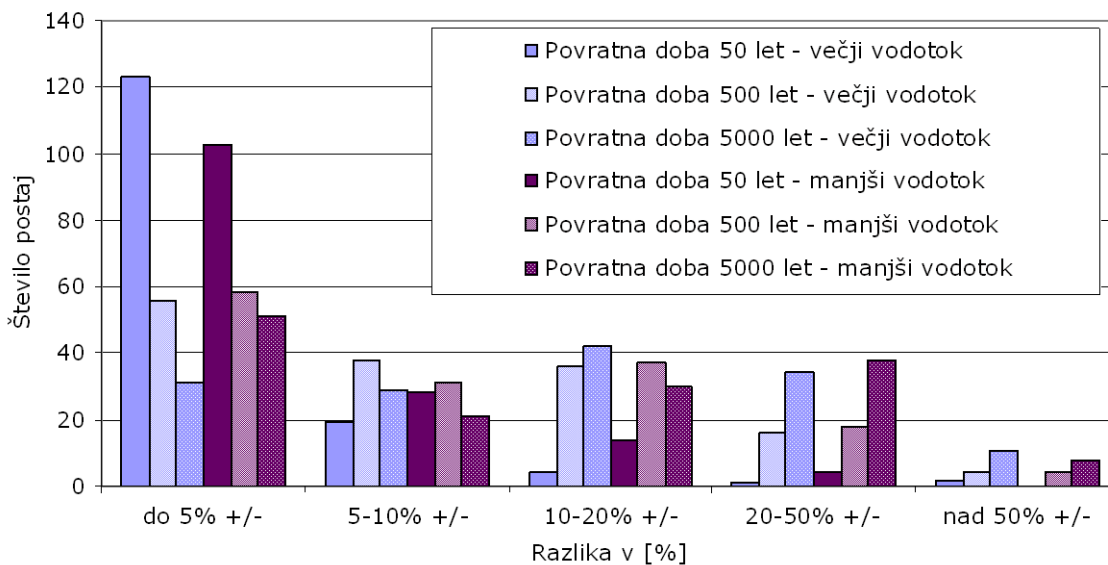
Postaje in s tem vodotoke sem ločil v dve skupini glede na pretok. Najprej sem določil mediano pretokov za posamezno povratno dobo, postaje s pretokom, manjšim od mediane, sem razvrstil med manjše, ostale pa med večje vodotoke. Razrede razlikovanja sem izbral kot v poglavju 7.2. Rezultati so naslednji:

**Primerjava metod PE3 LMOM / PE3 glede na velikost vodotoka**



Grafikon 8: Primerjava metod PE3 LMOM / PE3 glede na velikost vodotoka

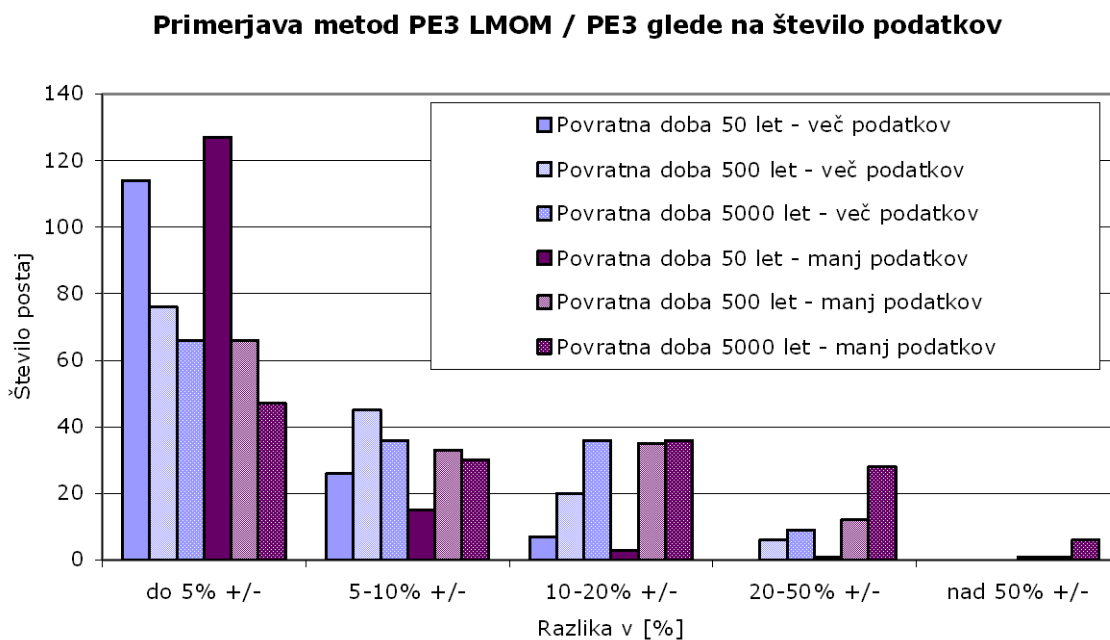
**Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na velikost vodotoka**



Grafikon 9: Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na velikost vodotoka  
 Iz grafov lahko razberemo le manjše razlikovanje glede na velikost vodotoka. Razlike so v povprečju nekaj večje pri manjših vodotokih, ne glede na povratno dobo.

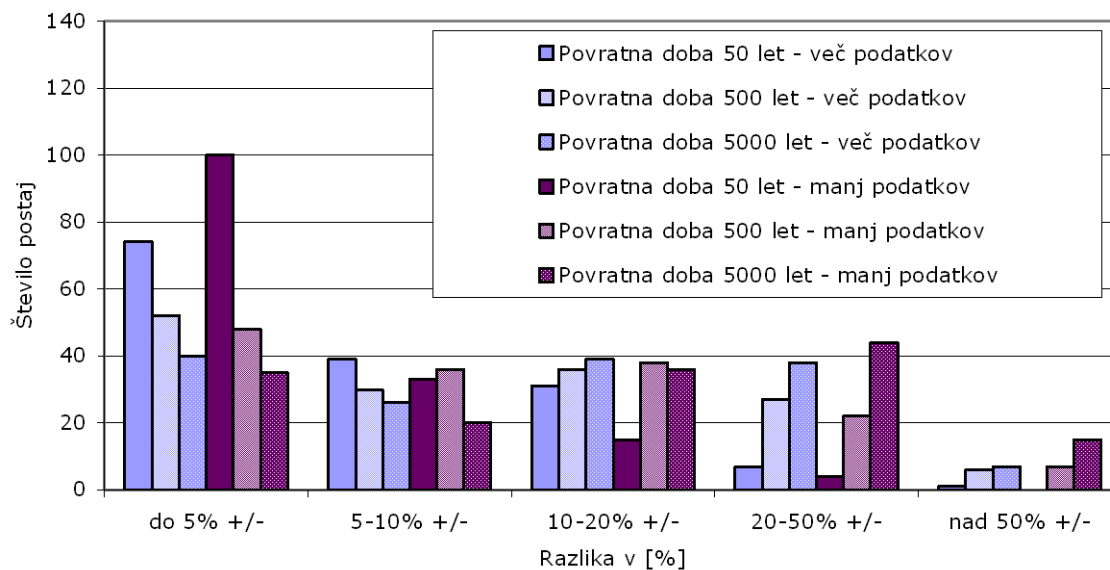
### 8.4 Razlike med metodami glede na število podatkov

Za konec sem postaje razdelil v dve skupini še glede na število podatkov (let z zapisanimi maksimumi). Mediana števila podatkov je bila 20 letnih podatkov o maksimalnih pretokih. Postaje z več kot 20 podatki sem razvrstil v skupino »več podatkov«, ostale pa v skupino »manj podatkov«. Primerjalni rezultati so prikazani v naslednjih dveh grafih:



Grafikon 10: Primerjava metod PE3 LMOM / PE3 glede na število podatkov

**Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na število podatkov**



Grafikon 11: Primerjava metod PE3 LMOM / LOGPE3 glede na število podatkov

Iz grafov lahko razberemo, da so pri krajših povratnih dobah v skupini z manj podatki razlike med posameznimi metodami manjše kot v skupini z več podatki, pri daljših povratnih dobah pa je ravno obratno, saj so razlike nekoliko večje v skupini z manj podatki.

## 9 ZAKLJUČEK

Namen te diplomske naloge je bil čim bolj preveriti metodo momentov L za analizo visokih vod v primerjavi z obstoječimi metodami na slovenskih vodomernih postajah.

Pred začetkom primerjanja metode je pomembno, da se seznanimo z osnovnimi pojmi analize visokih vod, statističnimi porazdelitvami in uporabo le-teh pri analizi. Poleg znanja uporabe komercialnih programov je dobro poznati enačbe in procedure, ki se skrivajo v njih, da lažje ocenimo smiselnost dobljenih rezultatov.

V Sloveniji se za analizo visokih vod najpogosteje uporablja porazdelitev Log-Pearson III z metodo momentov WRC. Največja težava te metode je, da navadno za daljše povratne dobe kaže pretirano visoke in nerealne rezultate. V delu sem primerjal novo metodo z uporabo porazdelitve Pearson III in momentov L z obstoječo, ki daje navadno previsoke rezultate, analizi pa sem dodal še metodo z uporabo Pearson III porazdelitve in navadnih momentov WRC, ki pa navadno kaže prenizke rezultate.

Metodo momentov L sem z ostalima primerjal glede na povprečne rezultate, absolutne razlike, velikost vodotoka in število podatkov o pretokih. Po vseh kriterijih se je metoda izkazala za stabilno in je v veliki večini primerov kazala rezultate med drugima dvema metodama. Rezultati so v povprečju 8-13 odstotkov nižji v primerjavi z metodo LOGPE3 in 4-10 odstotkov višji v primerjavi z metodo PE3. Razlikovanje med metodami se povečuje glede na povratno dobo. Če je pri povratni dobi 50 let 85 odstotkov postaj v razredu do 10 odstotkov razlikovanja, je pri 5000 letni povratni dobi takih postaj le še polovica. Iz rezultatov lahko razberemo še, da so razlike v povprečju nekaj večje pri manjših vodotokih, ne glede na povratno dobo v primerjavi z večjimi vodotoki. Pri krajših povratnih dobah v skupini z manj podatki so razlike med posameznimi metodami manjše kot v skupini z več podatki, pri daljših povratnih dobah pa je ravno obratno, saj so razlike nekoliko večje v skupini z manj podatki.

Med pripravo diplomskega dela se je izkazalo, da v Sloveniji nimamo na voljo modernega programa za analizo visokih vod. Obstoječi program deluje še v okolju DOS in ima že

precej dolgo brado. Priprava podatkov zanj je zamudna. Prav tako sem opazil kar nekaj napak pri vnosu podatkov in posledično napačne rezultate. Angleži so za svoje potrebe razvili program WINFAP-FEH. Program je dobro prilagojen njihovim razmeram, za slovenske postaje pa je spet potrebno dolgotrajno vnašanje podatkov v vhodne datoteke. Poleg tega so izpisi rezultatov neprilagodljivi in se jih pogosto v celoti ne da kopirati v druge programe. Vse to me je spodbudilo k razvoju programa, ki bi bil prilagojen za slovenske razmere in bi že vključeval tako obstoječo kot tudi novo metodo momentov L. Nastal je program v okolju Excela, s podporo Visual Basica, ki črpa podatke direktno iz datoteke, ki jo posreduje ARSO. Uporaba je preprosta, prav tako kopiranje in urejevanje podatkov s programi skupine Office.

Dejansko kvaliteto metode bo pokazal čas. Še tako dober program ter nove statistične porazdelitve in metode ne morejo prelisičiti narave. Gradnja ob rekah ali tudi pohlevnih potočkah je in bo ostala nevarna. Delo hidrotehnikov bo pripomoglo predvsem k boljši pripravljenosti na ekstremne pojave, ki nas čakajo v prihodnosti.



## 10 VIRI

Abramowitz, M., Stegun, I. 1965. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. New York, Dover publications: 1072 str.

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

Berthouex, P. M., Brown, L. C. 2002. Statistics for Environmental Engineers, second edition. Miami, CRC press: 512 str.

Bhattarai, K. P., 2005. Flood frequency analysis of Irish river flow data using variants of L-moments. Dublin, National Hydrology Seminar: 17 str.

Brahic, C. 2007. Key climate report sparks global call to action. Paris, New scientist.  
<http://environment.newscientist.com/article/dn11096-key-climate-report-sparks-global-call-to-action.html> (2. 5. 2007)

Bury, K. 1993. Statistical Distributions in Engineering. Cambridge, Cambridge University Press: 372 str.

Chen, Y., et al. 1997. Application of regional flood frequency analysis based on L-moments in the region of the middle and lower Yangtze river. Kitajska, GIS & RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Volume 1.

Chen, Y., et al. 2000. Study of parameter estimation methods for Pearson-III distribution in flood frequency analysis. Reykjavik, The Extremes of the Extremes: Extraordinary Floods, IHAS Publication 271: 263-269.

Chen, Y., et al. 2001. Study on L-moment Estimations for Log-normal Distributions with Historical Flood Data. GIS & RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Volume 1.

Climate Change 2007: The Physical Science Basis. 2007. Geneva, IPCC Secretariat: 21 str.  
<http://www.ipcc.ch> (2. 5. 2007)

Delicado, P., Gorla, M. N. 2005. A small sample comparison of maximum likelihood, moments and L-moments methods for the asymmetric exponential power distribution.  
<http://www-eio.upc.es/~delicado/my-public-files/LmomAEP.pdf> (2. 5. 2007)

Evans, M., Hastings, N., Peacock, B. 1993. Statistical distributions. New York, John Wiley & Sons: 186 str.

Greenwood, J. A., et al. 1979. Probability weighted moments: definitions and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water resources* 15(5): 1049-1054

Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. 1981. New York, Bulletin 17B, U.S. Department of the Interior, Office of Water Coordination.  
[http://www2.latech.edu/~dmg/LP\\_III\\_example\\_problem\\_bulletin\\_17.pdf](http://www2.latech.edu/~dmg/LP_III_example_problem_bulletin_17.pdf) (2. 5. 2007)

Hanagal, D. 2007. Statistic lecture notes. Wells Hall, Michigan State University.  
<http://web.stt.msu.edu/cp/spring07/351-3/> (15. 2. 2007)

Hann, T. 2002. *Statistical Methods in Hydrology*. Iowa, Iowa State Press, second edition: 378 str.

Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: analysis and estimation of distribution using linear combinations of order statistics. *J. Roy. Statist. Soc. B* 52(1), 105-124.

Hosking, J. R. M. 1992. Moments or L moments? An example comparing two measures of distribution shape. *The American statistician* 46, 3: 186-189.

Hosking, J. R. M. 2005. Fortran routines for use with the method of L-moments, Version 3.04. Yorktown Heights, IBM Research Division: 39 str.

Hosking, J. R. M. 2006. On the characterization of distributions by their L-moments. *Journal of Statistical Planning and Inference* 136: 193–198.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1993. Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis. *Water Resources* 271–281.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1997. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge, Cambridge University Press: 224 str.

Jingyi, Z., Hall, M. J. 2004. Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming river basin in China. *Journal of Hydrology* 296: 98–117.

Karim, A., Chowdhury, J. U. 1995. A comparison of four distributions used in flood frequency analysis in Bangladesh. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques* 40: 55-66.

Kjeldsen, T. R., Smithers, J. C., and Schulze, R. E. 2002. Regional flood frequency analysis in the Kagouls – Natal province, South Africa, using the index flood method. *Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques* 255:194–211.

Kociper, A. 2007. Smrtonosni vročinski valovi, voda bo zalila Tartinijev trg v Piranu, Koper bo postal otok. *Ljubljana, Nedelo*, 14. 1. 2007.

Krishnamoorthy, K. 2006. Handbook of Statistical Distributions with Applications (Statistics: a Series of Textbooks and Monographs). Florida, Chapman & Hall/CRC Press: 376 str.

Kumar, R., Chatterjee, C. 2005. Regional flood frequency analysis using L-moments for north Brahmaputra region of India. *Journal of hydrologic engineering* Vol. 10,1: 3-16.

Kysely, J. 2002. Probability estimates of extreme temperature events: stochastic modelling approach vs. extreme value distributions. Praga, StudiaGeo 46: 93-112.

Landwehr, J.M., et al. 1979. Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. Water resources 15, 5: 1055-1064.

Lim, Y. H., Lye, L. M. 2003. Regional flood estimation for ungauged basins in Sarawak. Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques 48, 1: 79 – 94.

Panda, S. N. 2005. Flood frequency analysis in the Mahanadi river basin. ICID 21st European regional conference.  
[www.zalf.de/ucid/ICID\\_ERC2005/HTML/ERC2005PDF/Topic\\_2/Panda.pdf](http://www.zalf.de/ucid/ICID_ERC2005/HTML/ERC2005PDF/Topic_2/Panda.pdf) (20. 4. 2007)

Perez, N. H., Menendez, S. C., Seco, L. 2003. A theoretical comparison between moments and L-moments. [www.risklab.ca/seco/DescriptiveTechnicalArticle.pdf](http://www.risklab.ca/seco/DescriptiveTechnicalArticle.pdf) (2. 5. 2007)

Rao, A. R., Hamed, K. H. 2000. Flood frequency analysis. Florida, CRC press: 350 str.

Robson, A., Reed, D., Faulkner, D. 1999. Flood estimation handbook. Volume 1 - 3. Oxfordshire, Institute of hydrology: 338 str.

Shao, J. 1999. Mathematical statistics. New York, Springer: 544 str.

Singh, V. P. 2001. Regional Flood Frequency Analysis. Springer, first edition: 416 str.

Smithers, J. C., Schulze, R. E. 2001. A methodology for the estimation of short duration design storms in South Africa using a regional approach based on L-moments. Journal of Hydrology 241: 42-52.

Sušnik, A. (ur.). 2004. Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 41 str.

Sušnik, A., et al. 2003. Ranljivost kmetijstva in gozdarstva na podnebne spremembe. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, 146 str.

Turk, G. 2007. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, 225 str. <http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (10. 5. 2007)

Valverde, A. E. L., et al. 2005. Momentos-L: teoria e aplicacao em hidrologia. Rev. Árvore Vol. 28, 6: 1 - 14.

Van Gelder, P., Padney, M., Vrijling, H. 2001. The estimation of extreme quantiles of wind velocity using L-moments in the peaks-over-threshold approach. Nizozemska, Elsevier Science, Structural Safety 23: 179–192.

Van Gelder, P., Padney, M., Vrijling, H. 2003. The sensitivity of quantile estimates to the distribution shape. <http://hydr.ct.tudelft.nl/wbk/public/gelder/paper66.pdf> (2. 5. 2007)

Vogel, R. M., Wilson, I. 1996. Probability distribution of annual maximum, mean, and minimum streamflows in the United States. Journal of hydrolic engineering Vol. 1, 2: 69-76.

Wallis, J.R., et al. 1974. Just a moment. Water resources 10, 2: 211-219.

Walker, M. 2005. Statistic notes. University of Notre Dame. <http://www.nd.edu/~mwalker/> (15. 2. 2007)

Ware, R., Lad, F. 2003. Flood frequency analysis of the Waimakariri river. [www.math.canterbury.ac.nz/research/ucdms2003n17.pdf](http://www.math.canterbury.ac.nz/research/ucdms2003n17.pdf) (2. 5. 2007)

Watson, R. T., et al. 2001. Climate change 2001: Synthesis report. Geneva, IPCC.  
<http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm> (2. 5. 2007)

Weisstein, E. W. Central Moment. MathWorld - A Wolfram web resource.  
<http://mathworld.wolfram.com/CentralMoment.html> (15. 2. 2007)

Weisstein, E. W. Moment. MathWorld - A Wolfram web resource.  
<http://mathworld.wolfram.com/Moment.html> (15. 2. 2007)

Yue, S., Wang, C. Y. 2004. Possible regional probability distribution type of Canadian annual streamflow by L-moments. *Water Resources Management* 18: 425–438.

Žmavc, B., et al. 2005. Načrt zaščite in reševanja ob poplavah. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje: 86 str.

## 11 PRILOGE

### Priloga A: Fortran procedure za oceno parametrov nekaterih porazdelitev z momenti L (Hosking, 2005)

```

C===== PELEXP.FOR
      SUBROUTINE PELEXP(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING
C* IBM RESEARCH DIVISION
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER
C* YORKTOWN HEIGHTS
C* NEW YORK 10598, U.S.A.
C*
C* VERSION 3      AUGUST 1996
C*
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE EXPONENTIAL DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM   * INPUT* ARRAY OF LENGTH 2. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C         LAMBDA-2.
C  PARA   *OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 2. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C         IN THE ORDER XI, ALPHA (LOCATION, SCALE).
C
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DOUBLE PRECISION XMOM(2),PARA(2)
      DATA ZERO/0D0/,TWO/2D0/
C
      IF(XMOM(2).LE.ZERO)GOTO 1000
      PARA(2)=TWO*XMOM(2)
      PARA(1)=XMOM(1)-PARA(2)
      RETURN
C
1000 WRITE(6,7000)
      RETURN
C
7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELEXP : L-MOMENTS INVALID')
      END

C===== PELGAM.FOR
      SUBROUTINE PELGAM(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING
C* IBM RESEARCH DIVISION
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER
C* YORKTOWN HEIGHTS
C* NEW YORK 10598, U.S.A.
C*
C*

```

```

C*  VERSION 3      AUGUST 1996      *
C*                                                    *
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE GAMMA DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM   * INPUT* ARRAY OF LENGTH 2. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C          LAMBDA-2.
C  PARA   * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 2. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C          IN THE ORDER ALPHA, BETA (SHAPE, SCALE).
C
C  OTHER ROUTINES USED: DLGAMA
C
C  METHOD: RATIONAL APPROXIMATION IS USED TO EXPRESS ALPHA AS A FUNCTION
C  OF L-CV. RELATIVE ACCURACY OF THE APPROXIMATION IS BETTER THAN 5E-5.
C
C          IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
C          DOUBLE PRECISION XMOM(2),PARA(2)
C          DATA ZERO/0D0/,HALF/0.5D0/ONE/1D0/
C
C          CONSTANTS USED IN MINIMAX APPROXIMATIONS
C
C          DATA A1,A2,A3/-0.3080D0,-0.05812D0,0.01765D0/
C          DATA B1,B2,B3,B4/0.7213D0,-0.5947D0,-2.1817D0,1.2113D0/
C          DATA PI/3.1415927D0/
C
C          IF(XMOM(1).LE.XMOM(2).OR.XMOM(2).LE.ZERO)GOTO 1000
C          CV=XMOM(2)/XMOM(1)
C          IF(CV.GE.HALF)GOTO 10
C          T=PI*CV*CV
C          ALPHA=(ONE+A1*T)/(T*(ONE+T*(A2+T*A3)))
C          GOTO 20
10  CONTINUE
C          T=ONE-CV
C          ALPHA=T*(B1+T*B2)/(ONE+T*(B3+T*B4))
20  CONTINUE
C          PARA(1)=ALPHA
C          PARA(2)=XMOM(1)/ALPHA
C          RETURN
C
C 1000 WRITE(6,7000)
C       PARA(1)=ZERO
C       PARA(2)=ZERO
C       RETURN
C
C 7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGAM : L-MOMENTS INVALID')
C       END

C===== PELGEV.FOR
C          SUBROUTINE PELGEV(XMOM,PARA)
C*****
C*
C*  FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C*  'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C*  J. R. M. HOSKING
C*  IBM RESEARCH DIVISION
C*  T. J. WATSON RESEARCH CENTER
C*  YORKTOWN HEIGHTS
C*  NEW YORK 10598, U.S.A.
C*
C*  VERSION 3      AUGUST 1996      *

```



```

C*
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE GENERALIZED EXTREME-VALUE
C  DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM  * INPUT* ARRAY OF LENGTH 3. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C         LAMBDA-2, TAU-3.
C  PARA  * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 3. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C         IN THE ORDER XI, ALPHA, K (LOCATION, SCALE, SHAPE).
C
C  OTHER ROUTINES USED: DLGAMA
C
C  METHOD: FOR -0.8 LE TAU3 LT 1, K IS APPROXIMATED BY RATIONAL
C  FUNCTIONS AS IN DONALDSON (1996, COMMUN. STATIST. SIMUL. COMPUT.).
C  IF TAU3 IS OUTSIDE THIS RANGE, NEWTON-RAPHSON ITERATION IS USED.
C
C      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
C      DOUBLE PRECISION XMOM(3),PARA(3)
C      DATA ZERO/0D0/,HALF/0.5D0/,ONE/1D0/,TWO/2D0/,THREE/3D0/
C      DATA P8/0.8D0/,P97/0.97D0/
C
C      SMALL IS USED TO TEST WHETHER K IS EFFECTIVELY ZERO
C      EPS,MAXIT CONTROL THE TEST FOR CONVERGENCE OF N-R ITERATION
C
C      DATA SMALL/1D-5/,EPS/1D-6/,MAXIT/20/
C
C      EU IS EULER'S CONSTANT
C      DL2 IS LOG(2), DL3 IS LOG(3)
C
C      DATA EU/0.57721566D0/,DL2/0.69314718D0/,DL3/1.0986123D0/
C
C      COEFFICIENTS OF RATIONAL-FUNCTION APPROXIMATIONS FOR K
C
C      DATA A0,A1,A2/ 0.28377530D0,-1.21096399D0,-2.50728214D0/
C      DATA A3,A4  /-1.13455566D0,-0.07138022D0/
C      DATA B1,B2,B3/ 2.06189696D0, 1.31912239D0, 0.25077104D0/
C      DATA C1,C2,C3/ 1.59921491D0,-0.48832213D0, 0.01573152D0/
C      DATA D1,D2  /-0.64363929D0, 0.08985247D0/
C
C      T3=XMOM(3)
C      IF(XMOM(2).LE.ZERO)GOTO 1000
C      IF(DABS(T3).GE.ONE)GOTO 1000
C      IF(T3.LE.ZERO)GOTO 10
C
C      RATIONAL-FUNCTION APPROXIMATION FOR TAU3 BETWEEN 0 AND 1
C
C      Z=ONE-T3
C      G=(-ONE+Z*(C1+Z*(C2+Z*C3)))/(ONE+Z*(D1+Z*D2))
C      IF(DABS(G).LT.SMALL)GOTO 50
C      GOTO 40
C
C      RATIONAL-FUNCTION APPROXIMATION FOR TAU3 BETWEEN -0.8 AND 0
C
C      10 G=(A0+T3*(A1+T3*(A2+T3*(A3+T3*A4)))/(ONE+T3*(B1+T3*(B2+T3*B3)))
C      IF(T3.GE.-P8)GOTO 40
C
C      NEWTON-RAPHSON ITERATION FOR TAU3 LESS THAN -0.8
C
C      IF(T3.LE.-P97)G=ONE-DLOG(ONE+T3)/DL2
C      T0=(T3+THREE)*HALF
C      DO 20 IT=1,MAXIT
C      X2=TWO**(-G)

```

```

X3=THREE**(-G)
XX2=ONE-X2
XX3=ONE-X3
T=XX3/XX2
DERIV=(XX2*X3*DL3-XX3*X2*DL2)/(XX2*XX2)
GOLD=G
G=G-(T-T0)/DERIV
IF(DABS(G-GOLD).LE.EPS*G)GOTO 30
20 CONTINUE
WRITE(6,7010)
30 CONTINUE
C
C ESTIMATE ALPHA,XI
C
40 PARA(3)=G
GAM=DEXP(DLGAMA(ONE+G))
PARA(2)=XMOM(2)*G/(GAM*(ONE-TWO**(-G)))
PARA(1)=XMOM(1)-PARA(2)*(ONE-GAM)/G
RETURN
C
C ESTIMATED K EFFECTIVELY ZERO
C
50 PARA(3)=ZERO
PARA(2)=XMOM(2)/DL2
PARA(1)=XMOM(1)-EU*PARA(2)
RETURN
C
1000 WRITE(6,7000)
RETURN
C
7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGEV : L-MOMENTS INVALID')
7010 FORMAT(' ** WARNING ** ROUTINE PELGEV : ',
* ' ITERATION HAS NOT CONVERGED. RESULTS MAY BE UNRELIABLE.' )
END

C===== PELGLO.FOR
SUBROUTINE PELGLO(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING *
C* IBM RESEARCH DIVISION *
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER *
C* YORKTOWN HEIGHTS *
C* NEW YORK 10598, U.S.A. *
C*
C* VERSION 3 AUGUST 1996 *
C*
C*****
C
C PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE GENERALIZED LOGISTIC
C DISTRIBUTION
C
C PARAMETERS OF ROUTINE:
C XMOM * INPUT* ARRAY OF LENGTH 3. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C LAMBDA-2, TAU-3.
C PARA *OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 3. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C IN THE ORDER XI, ALPHA, K (LOCATION, SCALE, SHAPE).
C
C
C IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
DOUBLE PRECISION XMOM(3),PARA(3)

```

Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Odd. za gradbeništvo, Hidrotehnična smer,

```

DATA ZERO/0D0/,ONE/1D0/
DATA PI/3.141592653589793238D0/
C
C      SMALL IS USED TO TEST WHETHER K IS EFFECTIVELY ZERO
C
C      DATA SMALL/1D-6/
C
C      ESTIMATE K
C
C      G=-XMOM(3)
C      IF(XMOM(2).LE.ZERO.OR.DABS(G).GE.ONE)GOTO 1000
C      IF(DABS(G).LE.SMALL)GOTO 10
C
C      ESTIMATE ALPHA, XI
C
C      GG=G*PI/DSIN(G*PI)
C      A=XMOM(2)/GG
C      PARA(1)=XMOM(1)-A*(ONE-GG)/G
C      PARA(2)=A
C      PARA(3)=G
C      RETURN
C
C      ESTIMATED K EFFECTIVELY ZERO
C
C      10 PARA(3)=ZERO
C      PARA(2)=XMOM(2)
C      PARA(1)=XMOM(1)
C      RETURN
C
C      1000 WRITE(6,7000)
C      RETURN
C
C      7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGLO : L-MOMENTS INVALID')
C      END

C===== PELGNO.FOR
C      SUBROUTINE PELGNO(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING
C* IBM RESEARCH DIVISION
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER
C* YORKTOWN HEIGHTS
C* NEW YORK 10598, U.S.A.
C*
C* VERSION 3      AUGUST 1996
C*
C*****
C
C      PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE GENERALIZED NORMAL
C      DISTRIBUTION
C
C      PARAMETERS OF ROUTINE:
C      XMOM  * INPUT* ARRAY OF LENGTH 3. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C            LAMBDA-2, TAU-3. ABS(TAU3) MAY NOT EXCEED 0.95.
C      PARA  * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 3. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C            IN THE ORDER XI, ALPHA, K (LOCATION, SCALE, SHAPE).
C
C      OTHER ROUTINES USED: DERF
C

```

```

C METHOD: RATIONAL-FUNCTION APPROXIMATION OF K IN TERMS OF TAU-3
C
C     IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
C     DOUBLE PRECISION XMOM(3),PARA(3)
C     DATA ZERO/0D0/,HALF/0.5D0/,ONE/1D0/
C     DATA P95/0.95D0/
C     DATA ROOTPI/1.772453850905516027D0/
C
C     COEFFICIENTS OF RATIONAL-FUNCTION APPROXIMATION
C     A0 IS 0.5*SQRT(3/PI)
C
C     DATA A0,A1,A2,A3/
C     * 0.20466534D+01,-0.36544371D+01,0.18396733D+01,-0.20360244D+00/
C     DATA B1,B2,B3/-0.20182173D+01,0.12420401D+01,-0.21741801D+00/
C
C     SMALL IS USED TO TEST WHETHER SKEWNESS IS EFFECTIVELY ZERO
C
C     DATA SMALL/1D-8/
C
C     T3=XMOM(3)
C     IF(XMOM(2).LE.ZERO.OR.DABS(T3).GE.ONE)GOTO 1000
C     IF(DABS(T3).GE.P95)GOTO 1010
C     IF(DABS(T3).LE.SMALL)GOTO 30
C
C     TT=T3*T3
C     G=-T3*(A0+TT*(A1+TT*(A2+TT*A3)))/(ONE+TT*(B1+TT*(B2+TT*B3)))
C     E=DEXP(HALF*G*G)
C     A=XMOM(2)*G/(E*DERF(HALF*G))
C     U=XMOM(1)+A*(E-ONE)/G
C     PARA(1)=U
C     PARA(2)=A
C     PARA(3)=G
C     RETURN
C
C     30 PARA(1)=XMOM(1)
C     PARA(2)=XMOM(2)*ROOTPI
C     PARA(3)=ZERO
C     RETURN
C
C     1000 WRITE(6,7000)
C     RETURN
C     1010 WRITE(6,7010)
C     PARA(1)=ZERO
C     PARA(2)=-ONE
C     PARA(3)=ZERO
C     RETURN
C
C     7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGNO : L-MOMENTS INVALID')
C     7010 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGNO : ',
C     * ' TAU-3 TOO LARGE FOR ROUTINE')
C     END
C===== PELGUM.FOR
C     SUBROUTINE PELGUM(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING *
C* IBM RESEARCH DIVISION *
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER *
C* YORKTOWN HEIGHTS *
C* NEW YORK 10598, U.S.A. *

```

```

C*
C* VERSION 3      AUGUST 1996
C*
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE GUMBEL DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM  * INPUT* ARRAY OF LENGTH 2. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C         LAMBDA-2.
C  PARA  * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 2. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C         IN THE ORDER XI, ALPHA (LOCATION, SCALE).
C
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DOUBLE PRECISION XMOM(2),PARA(2)
      DATA ZERO/0D0/

C
      EU IS EULER'S CONSTANT, DL2 IS LOG(2)
C
      DATA EU/0.577215664901532861D0/,DL2/0.693147180559945309D0/
C
      IF(XMOM(2).LE.ZERO)GOTO 1000
      PARA(2)=XMOM(2)/DL2
      PARA(1)=XMOM(1)-EU*PARA(2)
      RETURN
C
1000 WRITE(6,7000)
      RETURN
C
7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELGUM : L-MOMENTS INVALID')
      END

C===== PELNOR.FOR
      SUBROUTINE PELNOR(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING
C* IBM RESEARCH DIVISION
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER
C* YORKTOWN HEIGHTS
C* NEW YORK 10598, U.S.A.
C*
C* VERSION 3      AUGUST 1996
C*
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE NORMAL DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM  * INPUT* ARRAY OF LENGTH 2. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C         LAMBDA-2.
C  PARA  * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 2. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C         IN THE ORDER MU, SIGMA (LOCATION, SCALE).
C
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DOUBLE PRECISION XMOM(2),PARA(2)
      DATA ZERO/0D0/
      DATA ROOTPI/1.7724 53850 90551 603D0/
C

```

```

        IF(XMOM(2).LE.ZERO)GOTO 1000
        PARA(2)=XMOM(2)*ROOTPI
        PARA(1)=XMOM(1)
        RETURN
C
1000 WRITE(6,7000)
        RETURN
C
7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELNOR : L-MOMENTS INVALID')
        END

C===== PELPE3.FOR
        SUBROUTINE PELPE3(XMOM,PARA)
C*****
C*
C* FORTRAN CODE WRITTEN FOR INCLUSION IN IBM RESEARCH REPORT RC20525, *
C* 'FORTRAN ROUTINES FOR USE WITH THE METHOD OF L-MOMENTS, VERSION 3' *
C*
C* J. R. M. HOSKING *
C* IBM RESEARCH DIVISION *
C* T. J. WATSON RESEARCH CENTER *
C* YORKTOWN HEIGHTS *
C* NEW YORK 10598, U.S.A. *
C*
C* VERSION 3      AUGUST 1996 *
C*
C*****
C
C  PARAMETER ESTIMATION VIA L-MOMENTS FOR THE PEARSON TYPE 3 DISTRIBUTION
C
C  PARAMETERS OF ROUTINE:
C  XMOM   * INPUT* ARRAY OF LENGTH 3. CONTAINS THE L-MOMENTS LAMBDA-1,
C         LAMBDA-2 AND TAU-3.
C  PARA   * OUTPUT* ARRAY OF LENGTH 3. ON EXIT, CONTAINS THE PARAMETERS
C         IN THE ORDER MU, SIGMA, GAMMA (MEAN, S.D., SKEWNESS).
C
C  OTHER ROUTINES USED: DLGAMA
C
C  METHOD: RATIONAL APPROXIMATION IS USED TO EXPRESS ALPHA, THE SHAPE
C  PARAMETER OF THE GAMMA DISTRIBUTION, AS A FUNCTION OF TAU-3.
C  RELATIVE ACCURACY OF THE APPROXIMATION IS BETTER THAN 3E-5.
C
        IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
        DOUBLE PRECISION XMOM(3),PARA(3)
        DATA ZERO/0D0/,THIRD/0.3333333D0/,HALF/0.5D0/,ONE/1D0/,TWO/2D0/
C
C         SMALL IS USED TO TEST WHETHER SKEWNESS IS EFFECTIVELY ZERO
C
        DATA SMALL/1D-6/
C
C         CONSTANTS USED IN MINIMAX APPROXIMATIONS
C
        DATA C1,C2,C3/ 0.2906D0, 0.1882D0, 0.0442D0/
        DATA D1,D2,D3/ 0.36067D0,-0.59567D0, 0.25361D0/
        DATA D4,D5,D6/-2.78861D0, 2.56096D0,-0.77045D0/
        DATA PI3,ROOTPI/9.4247780D0,1.7724539D0/
C
        T3=DABS(XMOM(3))
        IF(XMOM(2).LE.ZERO.OR.T3.GE.ONE)GOTO 1000
        IF(T3.LE.SMALL)GOTO 100
        IF(T3.GE.THIRD)GOTO 10
        T=PI3*T3*T3
        ALPHA=(ONE+C1*T)/(T*(ONE+T*(C2+T*C3)))
    
```

```
GOTO 20
10 CONTINUE
T=ONE-T3
ALPHA=T*(D1+T*(D2+T*D3))/(ONE+T*(D4+T*(D5+T*D6)))
20 CONTINUE
RTALPH=DSQRT(ALPHA)
BETA=ROOTPI*XMOM(2)*DEXP(DLGAMA(ALPHA)-DLGAMA(ALPHA+HALF))
PARA(1)=XMOM(1)
PARA(2)=BETA*RTALPH
PARA(3)=TWO/RTALPH
IF(XMOM(3).LT.ZERO)PARA(3)=-PARA(3)
RETURN
C
C      ZERO SKEWNESS
C
100 CONTINUE
PARA(1)=XMOM(1)
PARA(2)=XMOM(2)*ROOTPI
PARA(3)=ZERO
RETURN
C
1000 WRITE(6,7000)
DO 1010 I=1,3
1010 PARA(I)=ZERO
RETURN
C
7000 FORMAT(' *** ERROR *** ROUTINE PELPE3 : L-MOMENTS INVALID')
END
```

## **Priloga B: Visual Basic makro za pripravo datotek primernih za program WINFAP-FEH iz baze podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje**

```

Sub pretvori_podatke()

Dim postaja() As String, vodotok() As String, sifra() As String
Dim f As String, gkx As String, gky As String, tip As String
Dim leto() As String, mesec() As String, dan() As String, pretok() As String

n = 7360
ReDim postaja(n + 1): ReDim vodotok(n + 1): ReDim sifra(n + 1)
m = 200
ReDim leto(m): ReDim mesec(m): ReDim dan(m): ReDim pretok(m)

For i = 2 To n
sifra(i) = Cells(i, 1)
postaja(i) = Cells(i, 2)
vodotok(i) = Cells(i, 3)
Next i

cagar = 0

For i = 2 To n
If sifra(i) = sifra(i + 1) Then
cagar = cagar + 1
If cagar = 1 Then
f = Cells(i, 4)
gkx = Cells(i, 5)
gky = Cells(i, 6)
tip = Cells(i, 7)
End If

leto(cagar) = Cells(i, 8)
mesec(cagar) = Cells(i, 9)
dan(cagar) = Cells(i, 10)
pretok(cagar) = Cells(i, 11)
Else
cagar = cagar + 1
leto(cagar) = Cells(i, 8)
mesec(cagar) = Cells(i, 9)
dan(cagar) = Cells(i, 10)
pretok(cagar) = Cells(i, 11)
' zapiše datoteko
datoteka_am = "e:\projekti\diploma\slo_podatki\" & postaja(i) & ".am"
datoteka_cd = "e:\projekti\diploma\slo_podatki\" & postaja(i) & ".cd"

Open datoteka_am For Output As #1
Print #1, "[Station number]"
Print #1, sifra(i)
Print #1, "[End]"
Print #1, "[AM Details]"
Print #1, "Year Type, Calender year, January"
Print #1, "[End]"
Print #1, "[AM Values]"

'korekcija za zapis meseca
For j = 1 To cagar
If mesec(j) = 1 Then
mesc = "Jan"
ElseIf mesec(j) = 2 Then
mesc = "Feb"

```



```

ElseIf mesec(j) = 3 Then
mesc = "Mar"
ElseIf mesec(j) = 4 Then
mesc = "Apr"
ElseIf mesec(j) = 5 Then
mesc = "May"
ElseIf mesec(j) = 6 Then
mesc = "Jun"
ElseIf mesec(j) = 7 Then
mesc = "Jul"
ElseIf mesec(j) = 8 Then
mesc = "Aug"
ElseIf mesec(j) = 9 Then
mesc = "Sep"
ElseIf mesec(j) = 10 Then
mesc = "Oct"
ElseIf mesec(j) = 11 Then
mesc = "Nov"
ElseIf mesec(j) = 12 Then
mesc = "Dec"
End If

'korekcija za dan
If Len(dan(j)) = 1 Then
dan(j) = "0" & dan(j)
End If

Print #1, dan(j) & " " & mesc & " " & leto(j) & ", " & pretok(j)
Next j
Print #1, "[End]"
Close #1

'druga datoteka
Open datoteka_cd For Output As #1
Print #1, "[Station number]"
Print #1, sifra(i)
Print #1, "[End]"
Print #1, "[CDS Details]"
Print #1, "Name, " & postaja(i)
Print #1, "NOMINAL AREA, " & f
Print #1, "NOMINAL NGR, " & ghx & ", " & ghy
Print #1, "[End]"
Print #1, "[Descriptors]"

Print #1, "IHDTM; NGR, 0, 0"
Print #1, "DTM AREA,0"
Print #1, "BFIHOST,0"
Print #1, "DPLBAR,-1"
Print #1, "DPSBAR,-1"
Print #1, "FARL,0"
Print #1, "PROPWET,0"
Print #1, "SAAR,0"
Print #1, "SPRHOST,-1"
Print #1, "URBEXT1990,0"
Print #1, "ALTBAR,4294967295"
Print #1, "ASPBAR,4294967295"
Print #1, "ASPVAR,-1"
Print #1, "LDP,-1"
Print #1, "RMED-1D,-1.000000"
Print #1, "RMED-2D,-1.000000"
Print #1, "RMED-1H,-1.000000"
Print #1, "SAAR4170,4294967295"
Print #1, "SMDBAR,-1"

```

```
Print #1, "URBCONC,-1"
Print #1, "URBLOC,-1"
Print #1, "[End]"
Print #1, "[Comments]"
If tip = 2102 Then
  opomba = "PRETOKI - OPAZOVANJA - SREDNJI DNEVNI - m3/s"
ElseIf tip = 2105 Then
  opomba = "PRETOKI - OPAZOVANJA - TRENUTNE DNEVNE VREDNOSTI - m3/s"
ElseIf tip = 2202 Then
  opomba = "PRETOKI - LIMNIGRAFSKI - SREDNJI DNEVNI - m3/s"
ElseIf tip = 2402 Then
  opomba = "PRETOKI - KORELACIJSKI - SREDNJI DNEVNI - m3/s"
End If

Print #1, "User," & opomba
Print #1, "[End]"
Close #1

cagar = 0
ReDim leto(m): ReDim mesec(m): ReDim dan(m): ReDim pretok(m)
End If

Next i

End Sub
```