

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

**Katja Sovre**

# **Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle**

**Diplomska naloga št.: 130**

**Mentor:**  
doc. dr. Mojca Šraj

**Somentor:**  
Darko Anzeljc

Ljubljana, 17. 12. 2009

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**   **Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **KATJA SOVRE** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
»**HIDROLOŠKA ŠTUDIJA VISOKIH VODA BISTRICE V POREČJU SOTLE**«.

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

Ljubljana, \_\_\_\_\_ 2009

---

(Podpis)

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK****UDK: 519.61/.64:556.166:556.52(043.2)****Avtor: Katja Sovre****Mentor: doc. dr. Mojca Šraj****Somentor: Darko Anzeljc, univ. dipl. inž. gradb.****Naslov: Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle****Obseg in oprema: 113 str., 59 pregl., 58 sl., 16 en.****Ključne besede: hidrološki model, Bistrice, HEC – HMS, visoke vode****Izveček**

Za območje porečja Bistrice sem izdelala hidrološko študijo visokih voda z določitvijo »dejanskih« maksimalnih pretokov in visokovodnih valov s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let v nekaterih ključnih prerezih Bistrice. Hidrološki model porečja Bistrice sem izdelala s pomočjo programskega paketa HEC – HMS (verzija 3.3). Hidrološka študija vsebuje opis hidrološkega modela HEC – HMS (osnovne gradnike in njihovo uporabo ter uporabljene metode), hidrološki in hidrografski opis porečja, naravnogeografske značilnosti porečja, analizo padavin iz sedmih najbližjih padavinskih postaj, analizo pretokov na vodomerni postaji Zagaj I ter izračun visokovodnih valov s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let. Visokovodni valovi so bili iz vrednoteni z metodo sintetičnega enotnega hidrograma po metodi SCS. Za modeliranje transformacije visokovodnega vala vzdolž Bistrice je bila uporabljena metoda Muskingum – Cunge. Izbrana ključna prereza sta bila KT10 (prerez pod Bistrim grabnom v Kozjem) in KT18 (prerez pri vodomerni postaji Zagaj I).

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC: 519.61/.64:556.166:556.52(043.2)**

**Author: Katja Sovre**

**Supervisor: assist. prof. Mojca Šraj**

**Cosupervisor: Darko Anzeljc, B. Sc. Civ. Eng.**

**Title: Hydrologic study of high waters of the Bistrice river in the Sotla watershed**

**Notes: 113 p., 59 tab., 58 fig., 16 eq.**

**Key words: hydrologic model, Bistrice, HEC – HMS, high waters**

### **Abstract**

For the area of the Bistrice river basin I have made a hydrologic study of high waters, where I have predetermined actual discharge and flood waves with return period of 5, 10, 50, 100, 500 in some key sections of Bistrice. I have made the hydrological model of the Bistrice river basin with the help of program Hydrological modeling System (HEC – HMS). Hydrological study includes the description of hydrological model HEC-HMS (basic cornerstone, their use and used methods), hydrological and hydrographical description of basin, natural geographic characteristics of the basin, analysis of precipitation from seven nearest stations, analysis of discharges from water gauge station Zagaji I and calculations of flood waves with return period of 5, 10, 50, 100 and 500 years. Flood waves have been dis evaluated with the method of synthetic unified hydrogram according to the method SCS. For modeling the transformation of the flood waves along Bistrice I have used the method Muskingum – Cunge. The chosen key cross-section have been KT10 (cross-section under Bistri graben in Kozje) and KT18 cross-section at the water gauge station Zagaj I).

## **ZAHVALA**

Na prvem mestu se najlepše zahvaljujem somentorju Darku Anzeljcu in mentorici doc. dr. Mojci Šraj, za strokovno pomoč pri pisanju diplomskega dela, za potrpežljivost, predvsem pa se jima zahvaljujem za njuno spodbudo.

Zahvaljujem se tudi Maji Kregar za izdelano analizo karte pokrovnosti tal in karte ocenjene hidravlične prevodnosti tal za območje porečja Bistrice.

Za lektoriranje diplomske naloge sem hvaležna Alešu Lekotu Guliču.

Hvala tudi vsem ostalim, ki so na kakršenkoli način prispevali k nastanku ter nazadnje še zahvala domačim za potrpežljivost in podporo.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>HIDROLOŠKI MODEL HEC - HMS</b> .....	<b>2</b>
2.1	Model povodja .....	3
2.1.1	Element podpovodje.....	3
2.1.2	Element odsek.....	10
2.1.3	Vozlišče.....	12
2.2	Meteorološki model.....	13
2.2.1	Padavine, kot vhodni podatek v model .....	13
2.3	Kontrolni model.....	19
2.4	Umerjanje modela .....	19
<b>3</b>	<b>MODELIRANJE POVRŠINSKEGA ODTOKA</b> .....	<b>20</b>
3.1	Splošno .....	20
3.2	Vpliv različnih dejavnikov na odtok .....	21
3.3	Hidrogram odtoka.....	23
3.3.1	Določanje baznega odtoka .....	25
3.4	Osnove hidrograma enote.....	26
3.4.1	Določanje hidrograma enote .....	26
3.5.1	Sintetični hidrogrami enote .....	27
<b>4</b>	<b>NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI POREČJA BISTRICE</b> .....	<b>32</b>
4.1	Geografske značilnosti .....	32
4.2	Tektonika .....	34
4.3	Geološka zgradba .....	34
4.4	Pedologija.....	35
4.4.1	Hidravlična prevodnost tal.....	38
4.5	Pokrovnost tal.....	42
<b>5</b>	<b>HIDROLOŠKA SLIKA POREČJA</b> .....	<b>44</b>
5.1	Hidrografija .....	44
5.2	Hidrografske karakteristike porečja .....	45
5.3	Pretočne karakteristike Bistrice .....	48
5.4	Podnebje in padavine.....	49
5.4.1	Padavinske postaje na območju porečja Bistrice .....	49
<b>6</b>	<b>ANALIZA METEOROLOŠKIH IN HIDROLOŠKIH PODATKOV</b> .....	<b>51</b>
6.1	Analiza padavin.....	51
6.2	Analiza nalivov za postajo Planina pri Sevnici (1975 – 1992).....	55
6.3	Analiza pretokov .....	60
6.3.1	Analiza pretokov na vodomerni postaji Zagaj I.....	62

6.3.2	Verjetnostna analiza pretokov s petimi različnimi teoretičnimi porazdelitvami	64
6.3.3	Verjetnostna analiza visokih vod s programom	66
7	MODEL POREČJA BISTRICE	67
7.1	Vhodni podatki	67
7.1.1	Padavine	67
7.1.2	Koeficienti CN in začetne izgube $I_a$	68
7.1.3	Propagacija vala – metoda Muskingum – Cunge	70
7.2	Padavinski situaciji in odtok padavin	71
7.2.1	Padavinska situacija 8. 10. do 9. 10. 1980	72
7.2.2	Padavinska situacija 8. 8. do 9. 8. 1989	74
7.3	Umerjanje modela in rezultati	76
7.3.1	Rezultati umerjanja	77
7.4	»Dejanske« visoke vode	80
7.4.1	Visoke vode Bistrice	80
7.4.2	Visoke vode Zagorskega potoka in Bistrega grabna	101
7.4.3	Primerjava površinskega odtoka enakomerno razporejenih padavin z konico padavin na 25 %, 50 % in 75 % časa glede na celoten čas trajanja nevihte	102
8	ZAKLJUČEK	109
	VIRI	111



**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Klasifikacija zemljin po SCS (po Brilly, 1993; Brilly in Šraj, 2006).....	7
Preglednica 2: Koeficienti CN za urbanizirane površine (USACE, 2000) .....	8
Preglednica 3: Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (USACE, 2000) .....	9
Preglednica 4: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (USACE, 2000) .....	10
Preglednica 5: Opis avtomorfnih tal (po GURS, 2008) .....	36
Preglednica 6: Opis hidromorfnih tal (po GURS, 2008).....	37
Preglednica 7: Razredi za infiltracijsko sposobnost tal (CPVO, 1990-2009 in USDA-NRCS, 1998) in nasičeno hidravlično prevodnost (USDA-NRCS, 1998) (BF, 2009).....	39
Preglednica 8: Koeficient nasičene hidravlične prevodnosti tal (Ks) v različnih enotah (Kutilek in Nielsen, 1994) .....	39
Preglednica 9: Razredi za strokovno ocenjeno hidravlično prevodnost tal (cm/uro): nizka, srednja in visoka .....	40
Preglednica 10: Hidravlična prevodnost tal (po BF, 2009).....	41
Preglednica 11: Tipi pokrovnosti tal po CORINE. Prikazani so samo razredi pokrovnosti tal, ki so zabeleženi na porečju Bistrice.....	42
Preglednica 12: Deleži posamezne rabe tal na porečju Bistrice (po CORINE) .....	43
Preglednica 13: Hidrografske karakteristike porečja Bistrice.....	47
Preglednica 14: Pregledna tabela merilnih postaj, nadmorskih višin, tipa postaje, obdobja meritev in koordinat .....	50
Preglednica 15: Maksimalne in povprečne višine dnevnih padavin na posamezni padavinski postaji ter leto nastopa .....	52
Preglednica 16: Verjetnostna analiza padavin za izbrane padavinske postaje. Višina maksimalnih padavin padavin (v mm) s 2, 5, 10, 20, 50, 100 in 500 letno povratno dobo .....	54
Preglednica 17: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Planina pri Sevnici za obdobje (1975 – 1992).....	56
Preglednica 18: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Ložice za obdobje (1975 – 1992).....	57
Preglednica 19: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Žusem za obdobje (1975 – 1992).....	57
Preglednica 20: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Vrenska gorca (Buča) za obdobje (1975 – 1992).....	58
Preglednica 21: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Podsreda za obdobje (1975 – 1992) .....	58
Preglednica 22: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Bizeljsko za obdobje (1975 – 1992).....	59
Preglednica 23: Podatki o pretokih z vodomerne postaje Zagaj I in osnovna statistična analiza pretokov .....	63
Preglednica 24: Rezultati verjetnostne analiza maksimalnih dnevnih letni pretokov v obdobju 1955 – 2006. V tabeli so izračunani pretoki različnih povratnih dob, izračunani s petimi različnimi porazdelitvenimi funkcijami ter programom, ki naredi verjetnostno analizo po Log-Pearson III porazdelitvi. ....	64
Preglednica 25: Vrednosti pretokov za različne povratne dobe.....	66
Preglednica 26: Vrednosti dnevnih padavin v mm na posameznih padavinskih postajah .....	67
Preglednica 27: Vrednosti dnevnih padavin v mm na posameznih padavinskih postajah .....	67
Preglednica 28: Izbrani koeficienti CN za tipe pokrovnosti tal, ki se nahajajo na porečju Bistrice ter odtočni potencial zemljine.....	68
Preglednica 29: Delež posamezne rabe tal in izračunani enotni koeficient CN ter izračunane začetne izgube Ia .....	69
Preglednica 30: Vrednosti parametrov za propagacijo vala po koritu .....	70
Preglednica 31: Izbrani padavinski situaciji z zabeleženimi pretoki na vodomerni postaji Zagaj I ter izmerjenimi padavinami na padavinski postaji Planina pri Sevnici .....	71
Preglednica 32: Urne padavine na padavinski postaji Planina pri Sevnici od 8. do 9. oktobra 1980 .....	72
Preglednica 33: Dan in ura izmerjenega vodostaja ter iz pretočne krivulje pripadajoči pretok .....	73
Preglednica 34: Urne vrednosti padavin od 8. do 9. avgusta 1989 za postajo Planina pri Sevnici v mm .....	74
Preglednica 35: Dan in ura izmerjenega vodostaja ter iz pretočne krivulje pripadajoči pretok .....	75
Preglednica 36: Izbrani hidrološki prerezi Bistrice z določenimi osnovnimi karakteristikami, kot so prispevna površina do prereza, dolžina vodotoka do prereza, povprečni naklon terena ter povprečni koeficient CN .....	80

---

Preglednica 37: Izračunani maksimalni 5, 10, 50, 100 in 500-letni pretoki v vozlišču KT10 in KT18 .....	80
Preglednica 38: Primerjava maksimalnih pretokov Bistrice 5, 10, 50 in 100-letne povratne dobe z izračuni v študiji Sotle (VGI, 1996) v prerezu vodomerne postaje Zagaj I.....	81
Preglednica 39: Primerjava pretokov verjetnostne analize za obdobje 1955 – 2006 ter 1955 – 1988 (vrednosti iz študije VGI, 1988).....	81
Preglednica 40: Pregledna tabela maksimalnih izračunanih pretokov Bistrice v vozlišču KT10, povratna doba, merodajne padavin in intenziteta enakomerno porazdeljenih padavin .....	83
Preglednica 41: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	88
Preglednica 42: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	88
Preglednica 43: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	88
Preglednica 44: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	88
Preglednica 45: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	88
Preglednica 46: Pregledna tabela maksimalnih izračunanih pretokov Bistrice v vozlišču KT18, povratna doba, merodajne padavin in intenziteta enakomerno porazdeljenih padavin .....	92
Preglednica 47: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	97
Preglednica 48: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	97
Preglednica 49: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	97
Preglednica 50: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	97
Preglednica 51: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic .....	97
Preglednica 52: Maksimalni 5, 10, 50 in 100-letni pretoki Zagorskega potoka .....	101
Preglednica 53: Maksimalni 5, 10, 50 in 100-letni pretoki Bistrega grabna .....	101
Preglednica 54: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	103
Preglednica 55: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	104
Preglednica 56: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	105
Preglednica 57: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	106
Preglednica 58: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	107
Preglednica 59: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin .....	108

**KAZALO SLIK**

Slika 1: 8 – točkovni prečni prerez vodotoka (Brilly in Šraj, 2006) .....	12
Slika 2: Metoda a) thiessenovi poligoni ter b) metoda izohiet (USACE, 2000) .....	17
Slika 3: Histogram padavin (USACE, 2000) .....	18
Slika 4: Hidrološki krog (spletni vir 5) .....	20
Slika 5: Vpliv oblike povodja na čas koncentracije (Brilly in Šraj, 2006).....	23
Slika 6: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka (Brilly in Šraj, 2006) .....	24
Slika 7: Tri točkovna metoda določanja baznega odtoka (Brilly in Šraj, 2006) .....	25
Slika 8: Brezdimenzijski SCS hidrogram enote (USACE, 2000) .....	29
Slika 9: Porečje Bistrice (spletni vir 3) .....	33
Slika 10: Karta ocenjene hidravlične prevodnosti tal na območju porečja Bistrice za enote pedološke karte (IzVRS, 2009a) .....	41
Slika 11: Karta pokrovnosti tal po CORINE za območje porečja Bistrice (IzVRS, 2009b) .....	43
Slika 12: Prikaz razdelitve obravnavanega območja na posamezna prispevna območja .....	46
Slika 13: Na grafu so prikazani srednji mesečni pretoki Bistrice v obdobju 1955 – 2006 (maksimalni, srednji in minimalni srednji mesečni pretoki) .....	48
Slika 14: Lokacija in nadmorska višina padavinskih postaj na območju porečja Bistrice in bližnji okolici .....	50
Slika 15: Korelacija dnevnih vrednosti padavin med postajama Planina pri Sevnici in Lisca .....	53
Slika 16: Grafični prikaz maksimalnih in povprečnih dnevnih letnih padavin na izbranih padavinskih postajah .....	53
Slika 17: Faktor zmanjšanja padavin – ARF v odvisnosti od velikosti prispevne površine povodja, prikazan za območje veliko od 10 do 100 km <sup>2</sup> .....	56
Slika 18: Verjetnostna analiza padavin za padavinsko postajo Planina pri Sevnici .....	59
Slika 19: Vodomerne postaja Zagaj I, opremljena z vodomernimi letvami .....	60
Slika 20 in Slika 21: Na levi sliki je cestni most, ki se nahaja približno 50 m dolvodno ter na desni sliki prelivni jez približno 80 m gorvodno od vodomerne postaje Zagaj I .....	61
Slika 22: Lokacija vodomerne postaje Zagaj I .....	61
Slika 23: Na grafu so prikazani maksimalni, srednji in minimalni zabeleženi mesečni letni pretoki v obdobju 1955 – 2006. ....	62
Slika 24: Verjetnostna analiza pretokov Bistrice na vodomerni postaji Zagaj I s petimi različnimi porazdelitvami .....	65
Slika 25: Grafični prikaz rezultatov Log - Pearsonove III porazdelitve izračunanih pretokov različnih povratnih dob .....	66
Slika 26: Histogram urnih vrednosti padavin .....	72
Slika 27: Hidrogram odtoka ter določen bazni odtok in histogram padavin za padavinsko situacijo 8. 10. do 9. 10. 1980 .....	73
Slika 28: Histogram urnih vrednosti padavin .....	74
Slika 29: Hidrogram odtoka ter določen bazni odtok in histogram padavin za padavinsko situacijo 8. 8. do 9. 8. 1989 .....	75
Slika 30: Hidrogram odtoka izračunan s programom HEC – HMS v profilu KT18 (VP Zagaj) .....	78
Slika 31: Hidrogram odtoka izračunan s programom HEC – HMS v profilu KT18 (VP Zagaj) .....	79
Slika 32: Shema porečja Bistrice v modelu HEC – HMS z označenimi ključnimi vozlišči (KT7, KT10 in KT18) .....	82
Slika 33: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 5-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin .....	84
Slika 34: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 10-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin .....	84
Slika 35: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 50-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin .....	85
Slika 36: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 100-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin .....	85
Slika 37: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 500-letno povratno dobo 2, 3 in 4-urnih enakomerno razporejenih padavin .....	86
Slika 38: Površinski odtok 24 – urne nevihte s 5-letno povratno dobo za različne položaje konice .....	89

Slika 39: Površinski odtok 24-urne nevihte z 10-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	89
Slika 40: Površinski odtok 24-urne nevihte s 50-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	90
Slika 41: Površinski odtok 24-urne nevihte s 100-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	90
Slika 42: Površinski odtok 24-urne nevihte s 500-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	91
Slika 43: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT18 (Kozje) za 5-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin.....	93
Slika 44: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 10-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin.....	93
Slika 45: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 50-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin.....	94
Slika 46: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 100-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin.....	94
Slika 47: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 500-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin.....	95
Slika 48: Površinski odtok 24-urne nevihte s 5-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	98
Slika 49: Površinski odtok 24-urne nevihte z 10-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	98
Slika 50: Površinski odtok 24-urne nevihte s 50-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	99
Slika 51: Površinski odtok 24-urne nevihte s 100-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	99
Slika 52: Površinski odtok 24-urne nevihte s 500-letno povratno dobo za različne položaje konice.....	100
Slika 53: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT18 (VP Zagaj) pri 24-urnih padavinah s 100-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	103
Slika 54: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT18 (VP Zagaj) pri 6-urni nevihti s 500-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	104
Slika 55: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 100-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	105
Slika 56: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 50-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	106
Slika 57: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 10-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	107
Slika 58: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 5-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin.....	108



## 1 UVOD

Za območje porečja Bistrice je bila izdelana hidrološka študija visokih voda z določitvijo dejanskih maksimalnih pretokov in visokovodnih valov s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let v nekaterih ključnih prerezih Bistrice. Visokovodni valovi so bili izrednoteni z metodo sintetičnega enotnega hidrograma po metodi SCS. Za modeliranje transformacije visokovodnega vala vzdolž Bistrice je bila uporabljena metoda Muskingum – Cunge. Za potrebe obdelave so bili pridobljeni in analizirani meteorološki in hidrološki podatki. Izbrana ključna prereza sta bila KT10 (prerez pod Bistrim grabnom v Kozjem) in KT18 (prerez pri vodomerni postaji Zagaj I).

Za posamezna prispevna območja sem izdelala hidrološki model površinskega odtoka z različico programa HEC – HMS 3.3. Na osnovi verjetnostne analize padavin in modela sem izračunala maksimalne odtoke v odvisnosti od padavin z različno povratno dobo (5, 10, 50, 100 in 500 let). Celotno prispevno območje Bistrice in njenih pritokov sem ročno opredelila na podlagi kart TTN 1:5000 (GURS). Določila sem posamezna prispevna območja, dolžine vodotokov ter padce terena in padce vodotokov. Pokrovnost tal je bila določena s pomočjo tematske karte pokrovnosti tal Corine Land Cover za Slovenijo.

Hidrološka študija vsebuje:

- opis hidrološkega modela HEC – HMS (osnovne gradnike in njihovo uporabo ter uporabljene metode)
- hidrološki in hidrogrfski opis porečja
- naravnogeografske značilnosti porečja
- analizo padavin iz sedmih najbližjih padavinskih postaj
- analizo pretokov na vodomerni postaji Zagaj I
- izračun visokovodnih valov s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let v dveh ključnih prerezih (Kozje in Zagaj)
- primerjava hidrogramov odtoka enakomerno razporejenih padavin in padavin z nastopom konice na 25 %, 50 % in 75 % časa glede na celoten čas trajanja nevihte

## 2 HIDROLOŠKI MODEL HEC - HMS

Hidrološki modeli so orodja, ki opisujejo količinski odnos med padavinami in odtokom in omogočajo oceno odtoka s povodja. Obstaja veliko matematičnih modelov, od preprostih empiričnih formul ali soodvisnosti med padavinami in odtokom do kompleksnih matematičnih modelov, zasnovanih na fizikalnih procesih kroženja vode v naravi (WMO, 1994). Ime hidrološki modeli se v praksi običajno ne uporablja za modele, ki obravnavajo celoten hidrološki krog, temveč predvsem za modele površinskega odtoka in potovanja poplavnega vala. Razvoj hidroloških modelov sega v šestdeseta leta 20. stoletja in je bil odvisen od razvoja računalnikov in programskih jezikov. Eden najstarejših in najbolj znanih programov za simulacijo površinskega odtoka je model HEC-1, ki je bil izvirno razvit leta 1967 v Hidrološkem centru Inženirskega korpusa ameriške vojske v Davisu, Kalifornija. Prva različica programa, razvita za DOS okolje, je bila predstavljena leta 1968 (Brilly, 1993). Leta 1998 pa je bila predstavljena nova verzija programa HEC – HMS, prilagojena novi računalniški opremi in delu z okni.

Program je v osnovi namenjen modeliranju padavinskega odtoka s povodij ter poplav. Izračunane hidrograme v programu lahko uporabimo direktno ali pa v povezavi z drugo programsko opremo za različne študije, kot so: napovedovanje poplav, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad in prepustov, študije vpliva urbanizacije na odtok in podobno.

Projekt v programu HEC-HMS je sestavljen iz treh osnovnih modelov (USACE, 2008a):

- modela povodja,
- meteorološkega modela in
- kontrolnega modela.

V sledečih podpoglavjih so opisani osnovni modeli projekta v programu, ter posamezni elementi in metode, ki sem jih uporabila v nalogi.

## 2.1 Model povodja

Model povodja predstavlja fizične karakteristike porečja. Osnovni gradniki modela povodja so hidrološki elementi. V program je vključenih sedem hidroloških elementov, s katerimi z dodajanjem in povezovanjem razvijemo model porečja. Elemente v modelu lahko poljubno dodajamo, brišemo, premikamo in med seboj povezujemo.

Hidrološki elementi modela povodja so sledeči (USACE, 2008b):

- podpovodje (ang. subbasin),
- odsek (ang. reach),
- vozlišče (ang. junction),
- izvir (ang. source),
- ponor (ang. sink),
- rezervoar/zadrževalnik (ang. reservoir) in
- razcep (ang. diversion).

Vsak posamezen hidrološki element ima v programu svoje okno, v katerem določimo računsko metodo in vhodne podatke. V modelu porečja Bistrice sem uporabila tri različne hidrološke elemente: podpovodja, odseke in vozlišča.

### 2.1.1 Element podpovodje

Pri vsakem elementu podpovodja imamo tri ločene procese – padavinske izgube, transformacijo padavin v odtok in bazni odtok. Vsako podpovodje ima lahko največ eno metodo za izračun izgub, eno za transformacijo ter eno metodo za izračun baznega odtoka.

V program je vključenih sedem metod za izračun padavinskih izgub:

- metoda deficita in enakomernih izgub,
- metoda začetnih in enakomernih izgub,
- SCS model padavinskih izgub,
- mrežast SCS model padavinskih izgub



- model Green–a in Ampt–a
- model upoštevanja vlažnosti zemljine (SMA) in
- mrežast model upoštevanja vlažnosti zemljine (SMA).

V nalogi sem se odločila za metodo SCS. Metoda SCS je preprosta metoda, ki je odvisna samo od enega parametra, odtočnega koeficienta CN, ki je funkcija štirih glavnih lastnosti porečja – tipa zemljine, pokrovnosti tal, predhodne vlažnosti zemljine in hidroloških pogojev. Metoda SCS se je izkazala tudi za metodo z najmanjšim odstopanjem modela od meritev (Dirnbek, 2008), s katero dobimo najboljše ujemanje volumna odтока ter časa nastopa maksimalnega odтока. Metoda SCS je podrobneje opisana v poglavju 2.1.1.1.

Metode transformacije se uporabljajo za izračun direktnega odтока iz efektivnih padavin s porečja. Direktni odток lahko v modelu modeliramo z eno izmed sedmih vgrajenih metod (USACE, 2008b):

- sintetični Clarkov hidrogram enote
- sintetični Snyderjev hidrogram enote
- sintetični SCS hidrogram enote
- metoda kinematičnih valov
- model ModClark
- uporabniško določena S – krivulja in
- uporabniško določen hidrogram enote.

Metode baznega odтока se uporabljajo za modeliranje vračanja infiltriranih padavin v vodotok (skozi podzemni tok). Za modeliranje baznega odтока so v modelu vgrajene tri metode:

- metoda konstantnega mesečnega baznega odтока
- metoda linearnega rezervoarja in
- eksponentna metoda.

### 2.1.1.1 Metoda SCS - CN

Metoda SCS - CN, ki jo je razvila Agencija ameriškega ministrstva za kmetijstvo The Soil Conservation Service (SCS), je dobro uveljavljena v hidrološki praksi in analizah vplivov na okolje. Metoda je bila prvič objavljena in podrobno opisana v knjigi National Engineering Handbook, Section 4 - Hydrology (NEH – 4), ki je izšla leta 1954 in bila kasneje večkrat popravljena (1956, 1964, 1965, 1969, 1972, 1985 in 1993). Začetki metode segajo v pozna 30. – ta leta in zgodnja 40. leta 20. stoletja, ko je SCS začela izvajati tisoče infiltrometričnih testov, da bi pripravili osnovne podatke za oceno vpliva rabe tal na proces padavine – odtok s povodja. Glavna pobuda za razvoj in izvajanje metode je bila sprejetje Zakona o varstvu in zaščiti rečnih področij pred poplavami avgusta leta 1954 (Ponce, 1996).

SCS – CN metoda oceni presežek padavin kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal ter vlažnosti tal. Pri tem uporabi enačbo (1):

$$\text{—————} \tag{1}$$

- $P_e$  ... akumulirane efektivne padavine v času  $t$   
 $P$  ... višina padavin v času  $t$   
 $I_a$  ... začetne izgube na površini povodja, preden pride do infiltracije vode v zemljino  
 $S$  ... maksimalno potencialno zadrževanje oz. retencija (mera za sposobnost povodja odvzeti in zadržati padavine)

Iz analiz rezultatov iz manjših eksperimentalnih povodij je SCS razvil empirično zvezo med začetnimi izgubami  $I_a$  in zadrževanjem  $S$ :

$$\tag{2}$$

Koeficient  $I_a$  opisuje izgube na površini porečja, preden pride do infiltracije vode v zemljino.

Če zgornjo enačbo (2) vstavimo v enačbo za akumulirane efektivne padavine v času  $t$  (1), enačba dobi spodnjo obliko:

$$\text{_____} \quad (3)$$

Maksimalna retencija  $S$  in karakteristike povodja so povezani s parametrom CN:

$$\text{_____} \quad (4)$$

#### 2.1.1.1.1 Ocena koeficienta CN

Koeficient CN je bil prvotno razvit kot orodje za oceno transformacije padavin v odtok za kmetijska območja v Združenih državah Amerike, sedaj pa se metoda zaradi svoje enostavnosti in popularnosti uporablja povsod po svetu.

Koeficient CN je brezdimenzijski koeficient, ki predstavlja odtočne razmere s posameznih površin in je vhodni parameter metode SCS za račun padavinskih izgub. S koeficientom CN, katerega teoretične možne meje so od 0 do 100 ter uporabne ocenjene vrednosti v mejah od 48 do 98, opišemo lastnosti zemljine in vpliv pedologije, rabe tal ter predhodno vlažnosti zemljine. Za izračun izgub je potrebno v program HEC – HMS podati vrednosti CN in  $I_a$  za vsako posamezno podporečje.

Za povodja z več vrstami zemljin in različno rabo tal izračunamo skupni (enotni) CN po sledeči enačbi:

$$(5)$$

$CN_{skupen}$  enoten CN za račun odtoka

$CN_i$  CN pododdelka

$A_i$  površina pododdelka

Vrednosti koeficienta CN so podane v preglednicah (Preglednica 2, Preglednica 3, Preglednica 4), ki jih je podala ameriška vojska (USACE, 2000). V tabeli je podana posamezna raba tal ter vrednosti številnih krivulj SCS določene glede na štiri hidrološke skupine zemljin A, B, C in D (Preglednica 1).

Agencija je na podlagi poskusov izdelala klasifikacijo različnih vrst zemljine glede na njihovo prepustnost. V spodnji preglednici 1 so opisane posamezne skupine zemljine in njihova stopnja izgub.

Preglednica 1: Klasifikacija zemljin po SCS (po Brilly, 1993; Brilly in Šraj, 2006)

Skupina zemljine	Opis	Stopnja izgub (mm/h)
A	zemljine z nizkim odtočnim potencialom in z visoko stopnjo infiltracije; obsega globoke, dobro drenirane peščene zemljine in granulirane ilovnate zemljine z visoko prepustnostjo	7,5 – 11,5
B	skupina obsega globoke do zmerno globoke zemljine z zmerno teksturo in ima povprečni do nizek odtočni potencial; obsega plitve aluvialne zemljine in peščene ilovice z zmerno prepustnostjo	3,85 – 7,50
C	zemljine z visokim do zmernim odtočnim potencialom; zemljina ima, če je nasičena, nizko stopnjo infiltracije; skupina obsega plitve zemljine z nepropustno podlago ali zmerno do fino strukturo - to so predvsem zaglinjene ilovice, plitve peščene ilovice, zemljine z nizko vsebnostjo organskih ali visoko vsebnostjo glinastih frakcij	1,30 – 3,85
D	zemljina ima visok odtočni potencial in če je nasičena zelo nizko stopnjo infiltracije; obsega zemljine z visoko gladino talne vode, z glinastim slojem ali neprepustnim slojem na površini ali tik pod njo ter zaslajena zemljišča	0,0 – 1,30

V spodnjih preglednicah 2, 3 in 4 so podane vrednosti številke krivulj SCS. Podatki so določeni na osnovi treh dejavnikov: rabe zemljišča, oblike obdelave in hidroloških pogojev.

Preglednica 2: Koeficienti CN za urbanizirane površine (USACE, 2000)

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<b>Odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, pokopališča itd.</b>					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 - 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
<b>Neprepustne površine</b>					
tlakovane površine, strehe, ceste		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z robniki in kanaliziranimi odtoki		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z odprtimi kanali		83	89	92	93
makadamske ceste (pesek)		76	85	89	91
neobdelane poti (zemlja)		72	82	87	89
<b>Urbana območja</b>					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
<b>Stanovanjske površine</b>					
povprečna velikost parcele do 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
povprečna velikost parcele 1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
povprečna velikost parcele do 1300 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
povprečna velikost parcele do 2000 m <sup>2</sup>	25	54	70	80	85
povprečna velikost parcele do 4000 m <sup>2</sup>	20	51	68	79	84
povprečna velikost parcele do 8000 m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82

Preglednica 3: Koefficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (USACE, 2000)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<b>Ledina, neobdelan svet</b>					
gola zemljina	-	77	86	91	94
delno poraščena zemljina (ostanki posevkov)	slabi	76	85	90	93
	dobri	74	83	88	90
<b>Poljščine v vrsti</b>					
v ravni vrsti	slabi	72	81	88	91
	dobri	67	78	85	89
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	71	80	87	90
	dobri	64	75	82	85
po plastnicah	slabi	70	79	84	88
	dobri	65	75	82	86
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	69	78	83	87
	dobri	64	74	81	85
po plastnicah in na terasah	slabi	66	74	80	82
	dobri	62	71	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	65	73	79	81
	dobri	61	70	77	80
<b>Nizka žita</b>					
v ravni vrsti	slabi	65	76	84	88
	dobri	63	75	83	87
v ravni vrsti, delna poraščenost	slabi	64	75	83	86
	dobri	60	72	80	84
po plastnicah	slabi	63	74	82	85
	dobri	61	73	81	84
po plastnicah, delna poraščenost	slabi	62	73	81	84
	dobri	60	72	80	83
po plastnicah in na terasah	slabi	61	72	79	82
	dobri	59	70	78	81
po plastnicah in na terasah, delna poraščenost	slabi	60	71	78	81
	dobri	58	69	77	80
<b>Gosto sejane stročnice ali kolobarjen travnik</b>					
v ravni vrsti	slabi	66	77	85	89
	dobri	58	72	81	85
po plastnicah	slabi	64	75	83	85
	dobri	55	69	78	83
po plastnicah in na terasah	slabi	63	73	80	83
	dobri	51	67	76	80

Preglednica 4: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (USACE, 2000)

Raba tal	Hidrol. pogoji	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
Pašnik, prerija	slabi	68	79	86	89
	povprečni	49	69	79	84
	dobri	39	61	74	80
Travnik, košen	-	30	58	71	78
Grmičevje	slabi	48	67	77	83
	povprečni	35	56	70	77
	dobri	30	48	65	73
Gozd v kombinaciji s travo (plantaže, sadovnjaki)	slabi	57	73	82	86
	povprečni	43	65	76	82
	dobri	32	58	72	79
Gozd	slabi	45	66	77	83
	povprečni	36	60	73	79
	dobri	30	55	70	77
Kmetija s poslopjem, podeželsko cesto in okoliškimi parcelami	-	59	74	82	86

### 2.1.2 Element odsek

Hidrološki element odsek se uporablja za predstavitev propagacije toka vode po strugi. Metode potovanja toka v strugi poznamo tudi pod imenom metode propagacije. V praksi se uporablja več metod, predvsem hidroloških, ki so zasnovani na hidroloških podatkih. Vsaka metoda deluje na principu, da izračuna dolvodni hidrogram, kjer za robni pogoj vzame gorvodni hidrogram.

V program je vključenih šest modelov propagacije toka (USACE, 2008b):

- model kinematičnih valov
- metoda zakasnitve
- modificirana puls metoda
- Muskingumova metoda
- Muskingum – Cunge metoda s standardnim prerezom in
- Muskingum – Cunge metoda z osem točkovnim prerezom.

Čas potovanja vala po strugi je odvisen od dolžine odseka, padca, trenja in globine toka. Zmanjšanje potovanja pa je odvisno samo od trenja. V nalogi sem uporabila Muskingum – Cunge metodo z osem točkovnim prerezom.

#### 2.1.2.1 Muskingum – Cunge metoda z osem točkovnim prerezom

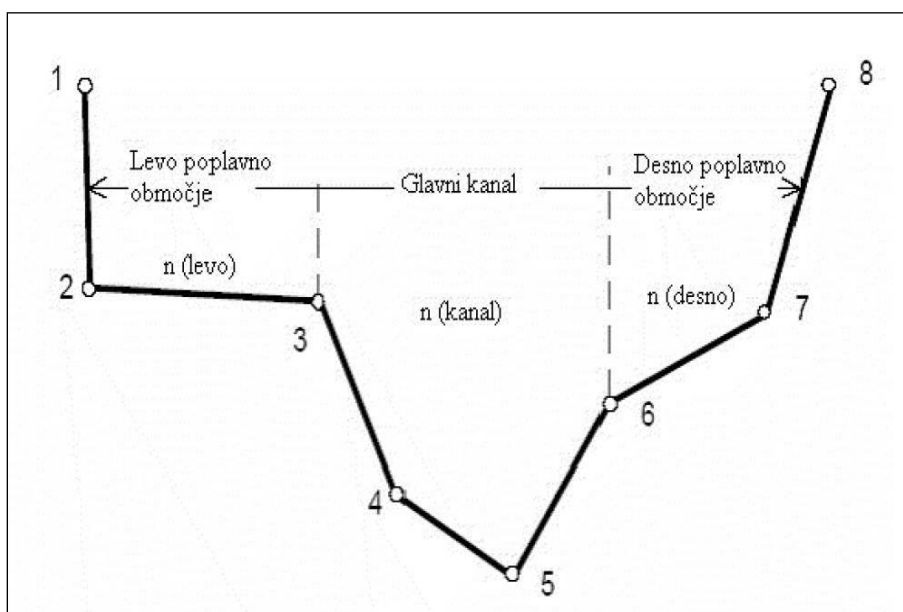
Muskingumova metoda temelji na predpostavkah, ki pogosto ne veljajo v naravnih strugah. Metoda je zelo popularna in enostavna, vendar ima pomanjkljivost saj vključuje parametre, ki ne temeljijo na fizikalni osnovi in jih je zato težko oceniti. To pomanjkljivost je odpravila prav tako razširjena metoda Muskingum – Cunge, ki jo lahko razumemo kot posebno obliko kinematičnih valov. Podatki, ki jih potrebujemo pri metodi so :

- oblika prečnega prereza
- dolžina odseka
- padec dna struge in
- Manningov koeficient hrapavosti  $n$ .



Prerez vodotoka v Muskingum – Cunge modelu lahko definiramo na dva načina, in sicer kot standardni prerez ali pa 8 – točkovni prečni prerez.

Prerez vodotoka sem opisala z osmimi pari točk stacionaža – višina. Prerez vodotoka je razdeljen na tri dele: levo poplavno območje, korito in desno poplavno območje. Za vsak del kanala je potrebno vnesti podatke o dolžini odseka, padec kanala in Manningov koeficient hrapavosti ter podatke o obliki prereza.



Slika 1: 8 – točkovni prečni prerez vodotoka (Brilly in Šraj, 2006)

### 2.1.3 Vozlišče

Z vozliščem označimo sotočje na porečju, kjer se stekata dva ali več tokov, pot pa nadaljuje samo en tok. Vozlišča ne vplivajo na rezultate simulacije, z njimi kontroliramo le vrsto dobljenih rezultatov in način njihovega izpisa.

## 2.2 Meteorološki model

Meteorološki model je ena izmed glavnih komponent hidrološkega projekta, v katerem določimo mejne meteorološke pogoje ter shranimo podatke o padavinah in evapotranspiraciji. Za podajanje padavin imamo v modelu na voljo sedem različnih metod, vendar lahko pri vsakem uporabimo le eno metodo naenkrat.

Na voljo imamo naslednje načine podajanja padavin (USACE, 2008b):

- padavine, ki jih definira uporabnik (metoda Specified Hyetograph),
- metoda uteži (metoda Gage Weights),
- metoda mrežnih padavin (metoda Gridded Precipitation),
- metoda obratne vrednosti kvadrata razdalje (metoda Inverse Distance),
- padavine z določeno povratno dobo (metoda Frequency Storm),
- SCS hipotetična nevihta (metoda SCS Storm) in
- standardne projektne padavine (metoda Standard Project Storm).

### 2.2.1 Padavine, kot vhodni podatek v model

Za inženirja so najbolj pomembne naslednje osnovne karakteristike padavin (Haestad Methods, 2003):

- višina ali volumen padavin padlih v določenem časovnem intervalu (ali ekvivalentno povprečna intenziteta v tem časovnem intervalu),
- trajanje padavin,
- velikost območja, na katerem se pojavijo padavine,
- časovna in prostorska porazdelitev padavin znotraj neurja in
- povprečna povratna doba nastopa padavin.

### 2.2.1.1 Višina padavin

Višina padavin je meteorološka spremenljivka, ki jo merimo na padavinskih postajah enkrat dnevno, in sicer ob 7. uri zjutraj ali kontinuirano na nek časovni interval. Dnevna meritev predstavlja višino padavin v zadnjih 24 urah. Na osnovi dnevnih višin se izračunajo mesečna in letna povprečja. Za inženirsko uporabo je potrebno ločiti med dnevnimi padavinami in 24-urnimi padavinami. Dnevna količina padavin je vsota padavin izmerjena ob 7. uri zjutraj in predstavlja količino padavin, ki je padla v zadnjih 24 urah, medtem ko 24-urne padavine predstavljajo vsoto padavin v 24 urah in so praviloma večje od dnevnih padavin.

Izbira merilnega mesta je zelo pomembna odločitev, kajti na izmerjeno višino padavin vpliva več različnih parametrov:

- geografska širina – padavine se zmanjšujejo z večanjem geografske širine,
- bližina morja – padavine se zmanjšujejo z oddaljenostjo od morja,
- gozdovi – značilno je delovanje gozda na povečanje horizontalnih padavin oziroma zadrževanje večjih količin vlage, ki se s kondenzacijo izloča iz megle, ter
- večja mesta – imajo nekoliko višje padavine od okolice, padavine so pogostejše, a manjše (Brilly in Šraj, 2006).

Na količino padavin v največji meri vplivajo orografija in veter. Orientacija in tip reliefa določata prostorsko porazdelitev orografskih padavin, ki so v Sloveniji najbolj pogoste. Na privetni strani orografskih pregrad pade običajno več padavin kot na zavetni strani. Tako so padavine odvisne od nadmorske višine in orientacije orografskih pregrad. Konvektivne padavine so manj odvisne od orografije, vendar je delež konvektivnih padavin v Sloveniji precej manjši od deleža stratiformnih. Od orientacije in tipa reliefa je odvisen tudi veter. Na izpostavljenih legah na višjih nadmorskih višinah so močni vetrovi pogosti. Ti vplivajo predvsem na delež izmerjenih padavin. Posebej meritve snežnih padavin so v gorskem svetu zaradi močnih vetrov lahko močno podcenjene (spletni vir 1).

#### 2.2.1.1.1 Izgube padavin

Padavinske izgube imenujemo del padavin, ki so prestrežene, infiltrirane ali akumulirane na površini ter ne prispevajo k površinskemu odtoku. Padavine, ki prispevajo k površinskemu odtoku, imenujemo učinkovite ali neto padavine in so odvisne od vegetacije, infiltracije v zemljo, temperature, vetra, letnih časov, itd.

Celotna količina padavinskih izgub je tako vsota padavin, ki se zadržijo na vegetaciji, padavin ki se infiltrirajo v zemljinu ter padavin, ki se zadržijo na površinskih depresijah. Za račun padavinskih izgub je v uporabi več metod. Metode, ki so vključene v model HEC – HMS so naštetje že v poglavju 2.1.1, izbrana metoda SCS – CN pa je opisana v poglavju 2.1.1.1.

Metode padavinskih izgub uporabljajo različne vhodne podatke, ki temeljijo na različnih predpostavkah in poenostavitvah, zato tudi izbira metode vpliva na končni hidrogram odtoka. Problem vseh metod je, da se padavinske izgube s časom približujejo konstantni vrednosti, le pri metodi SCS se infiltracija z določenim časom močno zmanjša in se približuje vrednosti 0. Pri metodi SCS tako dobimo daljši čas površinskega odtoka in se bolj približamo izmerjenim vrednostim v primerjavi z ostalimi metodami. Različni načini računanja padavinskih izgub močno vplivajo na zaježitvene lastnosti povodja. Njihov vpliv se kaže predvsem v različnih časih nastopa maksimalnega odtoka ter obliki hidrograma odtoka (Dirnbek, 2008).

### 2.2.1.2 Porazdelitev padavin

Na količino padavin vplivajo številni dejavniki, zato je zanjo značilna velika prostorska in časovna spremenljivost. Posebno za območja z razgibanim reliefom je značilna velika raznolikost v porazdelitvi padavin. Porazdelitev padavin v razgibanem reliefu je torej odvisna od orientacije reliefa in obsežnosti reliefne enote, ter od relativne spremembe nadmorske višine. Količina padavin se tako z višino povečuje, z oddaljenostjo od morja pa se njihova količina zmanjšuje (spletni vir 1).

Različne vplive na padavine lahko delimo na statične in dinamične vplive. Med statične vplive, kateri se med nevihtnim dogodkom ne spreminjajo, štejemo nadmorsko višino, lego območja in padeč terena. Dinamični vplivi pa so tisti, ki se spreminjajo in so večinoma posledica različnih vremenskih sistemov. V globalnem merilu so dejavniki, ki vplivajo na porazdelitev padavin v glavnem dinamični in so posledica razlikovanja vremenskih sistemov, kljub temu pa ima lahko statični dejavnik kot je topografija velik vpliv na porazdelitev padavin (Davie, 2008).

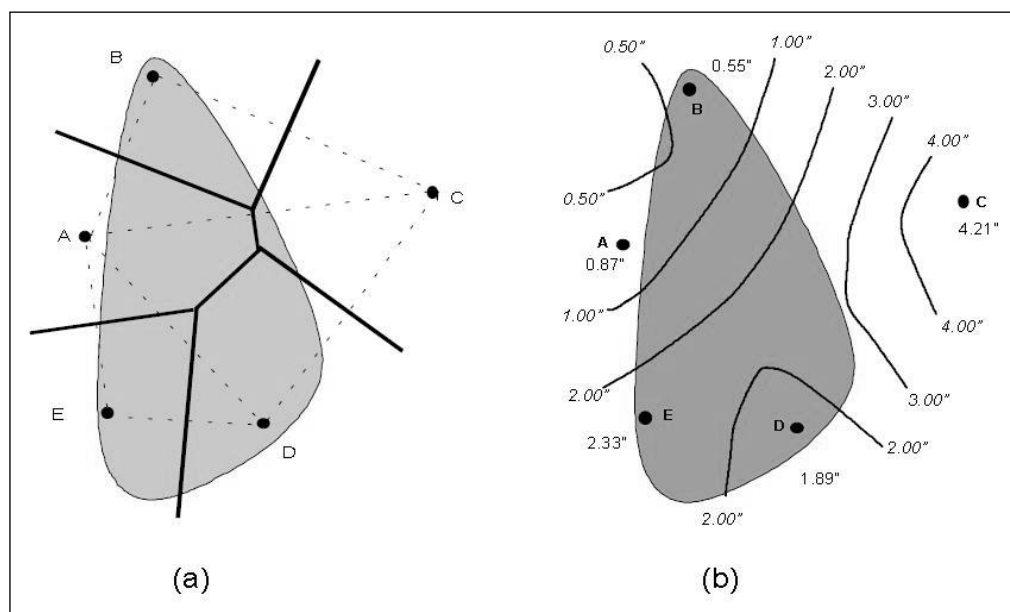
Časovno razporeditev padavin prikazujemo s histogrami padavin, le-ti se uporabljajo tudi kot osnovni podatek za računanje površinskih odtokov. Histograme padavin dobimo z meritvami, ki se izvajajo na padavinskih postajah in ga določimo sami ali pa jih določi računalniški program na podlagi verjetnostnih analiz podatkov o padavinah za daljše časovno obdobje, pri tem pa si zastavimo pogoj, da so padavine enako razporejene po prispevni površini.

Poleg histograma padavin posnetega po resničnem dogodku lahko za potrebe planiranja in projektiranja uporabimo tudi sintetične histograme padavin. Program HEC – HMC ima vgrajene tri standardne postopke za določanje sintetičnih razporeditev padavin (USACE, 2008b):

- standardne projektne padavine (SPS), ki jih uporabljamo pri dimenzioniranju pomembnih objektov za obrambo pred poplavami,
- HEC – HMS standardna razporeditev padavin z določeno povratno dobo ter
- višina in časovna razporeditev hipotetičnih padavin, ki jo definira uporabnik.

### 2.2.1.3 Padavine, posnete po resničnem dogodku

Podatke o padavinah vnašamo v program po dveh postopkih. V prvem postopku je merodajna ena padavinska postaja. Za posamezna podpovodja določimo količino in časovni vzorec razporeditve padavin. Po drugem postopku upoštevamo podatke z več padavinskih postaj in pri tem upoštevamo vpliv posamezne postaje, ki ga določimo s t.i. utežnim faktorjem. Utežni faktor lahko določimo po treh metodah. Prva metoda je aritmetična sredina, to je metoda, ki pripisuje mestom meritev enako težo. Druga metoda je metoda Thiessenovih poligonov, ki temelji na predpostavki, da je količina padavin znotraj povodja enaka kot je količina padavin na bližnji merilni postaji ali blizu porečja. Metoda vsaki merilni postaji pripiše težo v skladu z območjem porečja, ki je najbližje merilni postaji. Tretja metoda določanja utežnega faktorja pa je metoda izohiet. Izohiete so črte, ki povezujejo točke z enako količino padavin, količina padavin pa je ocenjena z iskanjem povprečne višine padavin med vsakim parom izohiet. (Brilly in Šraj, 2006; USACE, 2000; Davie, 2008; WMO, 1994).

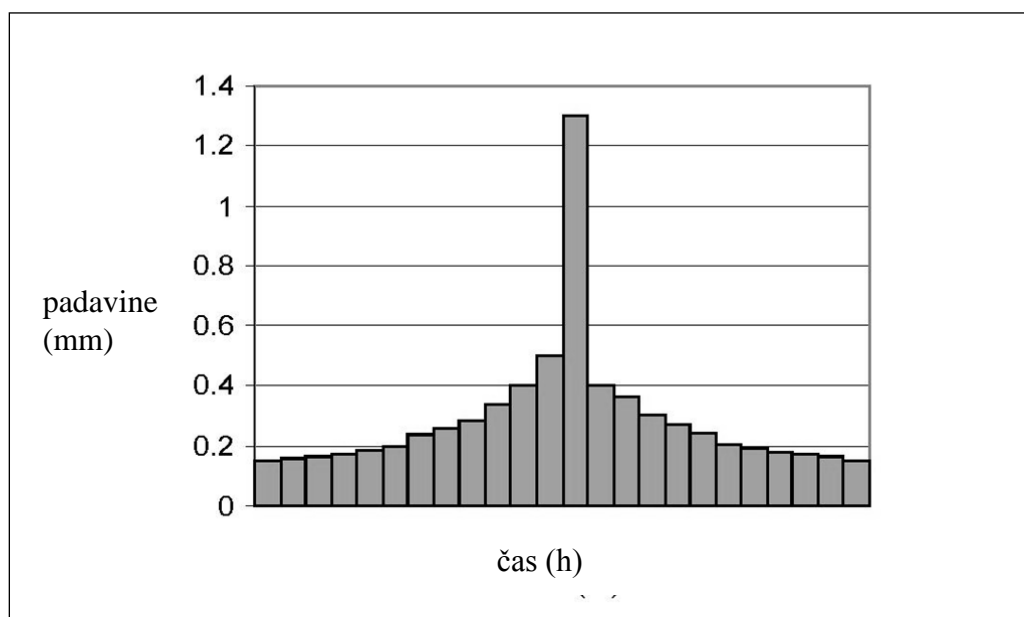


Slika 2: Metoda a) thiessenovi poligoni ter b) metoda izohiet (USACE, 2000)

#### 5.1.4.2 Sintetične padavine

Program HEC – HMS ima vgrajene tri standardne postopke (2.2.1.2) za določanje sintetičnih razporeditev padavin. Standardne projektne padavine (SPS) je možnost, predvidena za vzhodni del ZDA in se danes le še redko uporablja. Sintetične padavine z določeno povratno dobo določimo s pomočjo standardnega postopka tako, da izrazimo verjetnostno porazdelitev in povratno dobo naliva, ki ga želimo simulirati.

Povratna doba se lahko giblje med 1 in 500 let, nalivi, ki jih simulira program pa lahko trajajo od 5 minut do 10 dni. Poleg trajanja in povratne dobe naliva je potrebno v programu izraziti tudi vsoto padavin vsakega naliva. Histogram padavin je tvorjen tako, da je njegova največja vrednost na sredini trajanja naliva, naslednja vrednost je pred maksimumom, tretja sledi maksimumu, četrta je pred drugo največjo itd. (Slika 3).



Slika 3: Histogram padavin (USACE, 2000)

Tretja možnost so tudi sintetične padavine, ki jih definira uporabnik sam. Sami lahko podamo količino in časovno razporeditev padavin. Za izračun odtoka sem definirala enakomerno porazdeljene padavine. Vnesene hipotetične padavine program obravnava enako kot izmerjene.

### **2.3 Kontrolni model**

Kontrolni model je poleg modela povodja in meteorološkega modela, eden od treh osnovnih modelov, ki sestavljajo celoten hidrološki projekt. V kontrolnem modelu določimo začetni in končni čas simulacije ter časovni korak izračuna. Časovni korak izračuna določa računski interval, ki ga določimo v časovnem oknu. Za interval lahko izberemo čas od 1 minute do 24 ur. Pri vnosu časa moramo biti previdni, da je podan v pravilnem formatu (USACE, 2008b). V modelu sem izbrala časovni korak izračuna 5 min.

### **2.4 Umerjanje modela**

Vsak hidrološki model je treba na porečju, za katerega postavljamo model, predhodno umeriti. Umerjanje modela je najpomembnejša in najzahtevnejša faza dela. Pri umerjanju uporabljamo izmerjene hidrometeorološke podatke – podatke o padavinah in pretokih. Parametre modela določimo s prilagajanjem tako, da dosežemo zadovoljivo ujemanje izračunanega in opazovanega pretoka. Rezultate izračuna primerjamo z meritvami in analiziramo razlike. Spreminjamo privzete vrednosti parametrov in ugotavljamo občutljivost modela na spremembo posameznih parametrov.

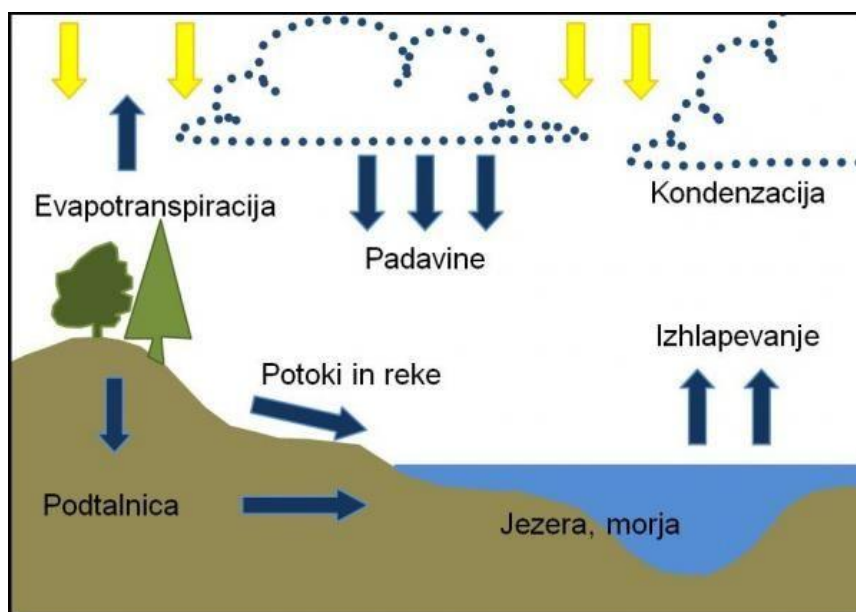
V procesu umerjanja modela je potrebno vrednosti parametrov prilagoditi med vsakim pogonom modela. Vrednosti parametrov določimo ročno ali z vgrajenim algoritmom za optimizacijo. Ročna kalibracija ima več pomanjkljivosti kot umerjanje z računalniško podprtim algoritmom za optimizacijo. Če imamo na voljo malo podatkov za umerjanje, je bolje, da se z rezultati modela ne poskušamo za vsako ceno prilagoditi izmerjenim vrednostim.



### 3 MODELIRANJE POVRŠINSKEGA ODTOKA

#### 3.1 Splošno

Odtok površinskih voda je del hidrološkega kroga (Slika 4), ki se dogaja na površini Zemlje in ga tudi najbolj poznamo, ker gre za pojave, ki jih vidimo in smo jim priča v vsakodnevnem življenju. Pojav ima velik pomen za okolje in gospodarstvo zaradi urejanja in izkoriščanja vodnega režima (Brilly in Šraj, 2005).



Slika 4: Hidrološki krog (spletni vir 5)

V hidrološkem krogu ni nobenega začetka in konca, voda kroži po krogu ves čas neprekinjeno. Ko padavine padejo nad neko območje, se nek del teh padavin zadrži na vegetaciji, kar imenujemo prestrežanje. Padavine, ki prispejo do površine tal, pa lahko uberejo številne poti, odvisno od samih lastnosti tal. Nekaj vode se lahko infiltrira v tla ali pa se ujame v kotanje in depresije. Voda, ki se ne infiltrira ali ujame v depresijske rezervoarje, prispeva k direktnemu površinskemu odtoku. Bazni odtok kot posledico izcejanja podzemnih voda pa zaznamo v strugi vodotoka, ko dalj časa ni padavin in odtoka površinskih voda (Haestad Methods, 2003).

Pojav površinskega odtoka je zelo zapleten in zahteven za analizo:

- znotraj prispevne površine se voda giblje po nešteti površinskih in podpovršinskih tokovnicah;
- pri pojavu pretoka vode se v vsaki tokovnici oblikuje vodno telo, ki se hitro spreminja v času in prostoru;
- tok vode v vsaki tokovnici lahko opredelimo z matematičnim modelom, ki vsebuje enačbo o ohranitvi mase in dinamično enačbo za tok na površini oziroma pod površino
- tok vode v strugi vodotoka je v času porazdeljen v obliki vala;
- v strugi vodotoka ob pretoku poplavnega vala pogosto zasledimo samo vodo, ki se zbira z dela padavinskega območja, ki jo imenujemo prispevna površina medtem ko se voda s preostalega dela površine zadrži pod površino in kasneje oblikuje bazni odtok;
- del vode, ki jo zasledimo v poplavnem valu, je prispel na vodozbirno površino pri padavinah, ki so padle v daljšem predhodnem obdobju in se zadržale pod površino;
- oblikovanje odtoka s prispevne površine je odvisno tudi od biosfere in rabe površine;
- zaradi izkoriščanja površinskih voda so pretoki vode v vodotoku pogosto pod vplivom delovanja objektov in rabe voda;
- vsak poplavni val s posamezne površine je enkrat in neponovljiv dogodek (Brilly in Šraj, 2005).

### **3.2 Vpliv različnih dejavnikov na odtok**

Pretok vode v vodotokih se ves čas spreminja. Spremembe so odvisne od klimatskih, geoloških in topografskih lastnosti ter oblike in nagiba povodja, vrste vegetacije ipd. Pred pojavom padavin je v hidrološki mreži tok vode posledica odcejanja podzemnih voda v povirju, ki pa postopoma upada v odvisnosti od trajanja suše. Padavine z manjšo intenzivnostjo in daljšim trajanjem v celoti prestreže vegetacija ali pa poniknejo. Enako se dogaja tudi pri intenzivnih in kratkotrajnih padavinah. Šele ko padavine nasičijo tla z vodo, se začne površinski odtok. Tako kmalu po pojavu večjih padavin začne pretok vode v vodotoku naraščati, precej hitro doseže maksimum in nato postopoma začne upadati.

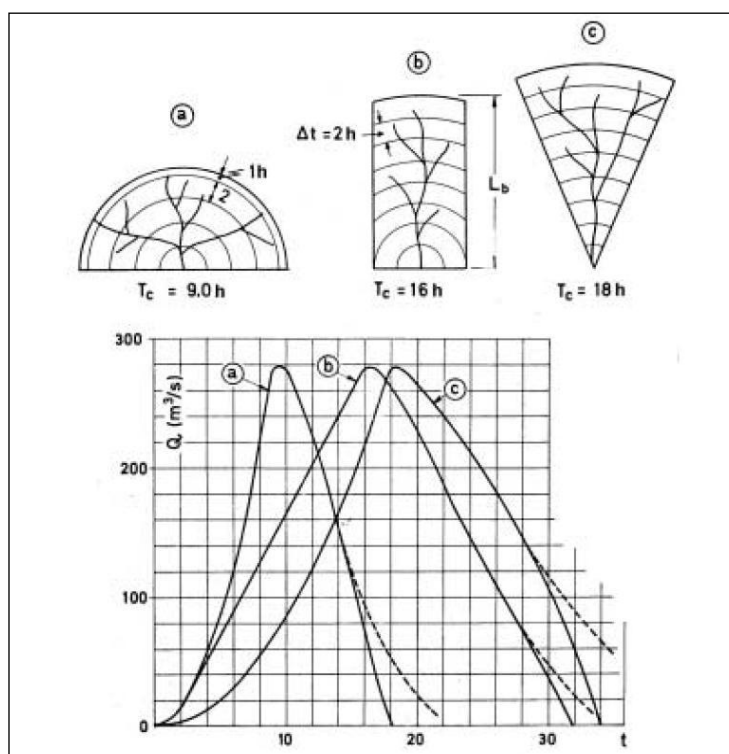
Razmerje med odtekle in padlo vodo oziroma med efektivnimi (neto) in bruto padavinami je odtočni koeficient imenovan tudi koeficient odtoka. Koeficient odtoka ni konstantna vrednost, saj je odvisen od vrste dejavnikov: lastnosti povodja, intenzivnosti in trajanja padavin, vlažnosti zemljišča ipd. (Brilly in Šraj, 2005).

Odtočni količnik nam pove, kolikšen del padavin odteče po strugi. Območja z obilnejšimi padavinami in večjo reliefno energijo imajo večji odtočni količnik, saj voda naglo površinsko odteče. Dobro poraščena in bolj položna gričevnata pobočja in ravninska območja imajo odtočni količnik manjši, saj se padavinska voda zadržuje v rastju in debelejši prsti.

Vpliv geoloških pogojev na površinski odtok:

- intenziteta padavin je manjša od intenzitete infiltracije zemljine in celotna količina padavin je manjša od količine vode, ki jo lahko zadrži površinski sloj tal (retenzija tal); v odtoku vodotoka sodelujejo le padavine, padle neposredno na vodno površino v strugi vodotoka;
- intenziteta padavin je manjša od intenzitete infiltracije zemljine, celotna količina padavin pa je večja od retenzije tal; ker je vsebnost vlage v zemljini dosegla poljsko kapaciteto tal, se odtok v vodotoku poveča zaradi presežka vlage v tleh (povečanje baznega odtoka) in padavin padlih neposredno v strugo vodotoka (kras); površinskega odtoka ni, ker je intenziteta padavin manjša od intenzitete infiltracije;
- intenziteta padavin je večja od intenzitete infiltracije, celotna količina padavin pa je manjša retenzije tal; odtok vodotoka se poveča zaradi površinskega odtoka padavin neposredno v strugo vodotoka, bazni odtok se ne spremeni;
- intenziteta padavin je večja od intenzitete infiltracije in celotna količina padavin je večja od retenzije tal; v praksi to pomeni močnejšo in daljšo nevihto, zato se odtok vodotoka poveča zaradi površinskega odtoka in povečanega baznega odtoka.

Vpliv padca površine se čuti predvsem v krajšem času koncentracije pri povodjih z večjim padcem površine. Prav tako na čas koncentracije vpliva oblika povodja. Vpliv prepustnosti površine in predhodne vlažnosti zemljine pa se čuti predvsem v obliki krivulje koncentracije hidrograma.



Slika 5: Vpliv oblike povodja na čas koncentracije (Brilly in Šraj, 2006)

### 3.3 Hidrogram odtoka

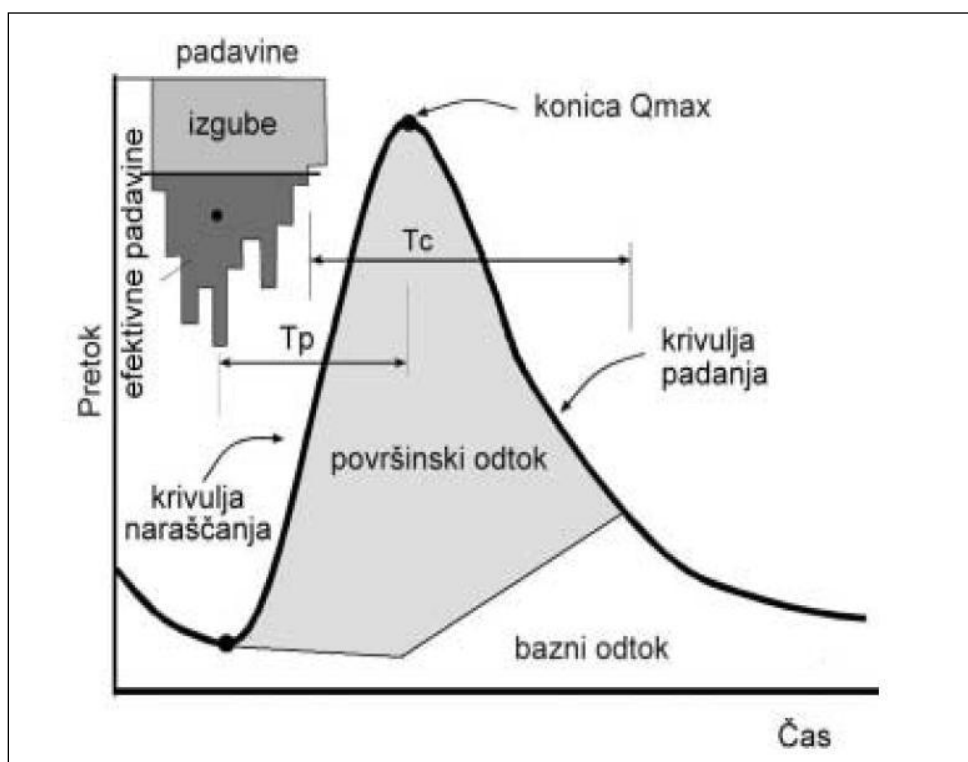
Diagram časovnih sprememb pretoka v vodotoku imenujemo hidrogram. Oblika hidrograma je posledica fizikalno – geografskih pogojev in padavin. Pri odtoku s povodja so pomembne naslednje karakteristike:

- maksimalni odtok s povodja;
- skupni volumen odtoka, ki se uporablja za projektiranje skladiščnih zmožnosti na povodju in
- frekvenca pojavljanja vrha hidrograma (je verjetnost, da se pojavi tak ali večji odtok s povodja v kateremkoli času v obdobju enega leta).

Glavne značilnosti hidrograma so:

- naraščajoči del (krivulja naraščanja),
- padajoči del (krivulja padanja),
- vrh hidrograma (konica  $Q_{max}$ ) in
- trajanje hidrograma, ki predstavlja čas trajanja odtoka s povodja.

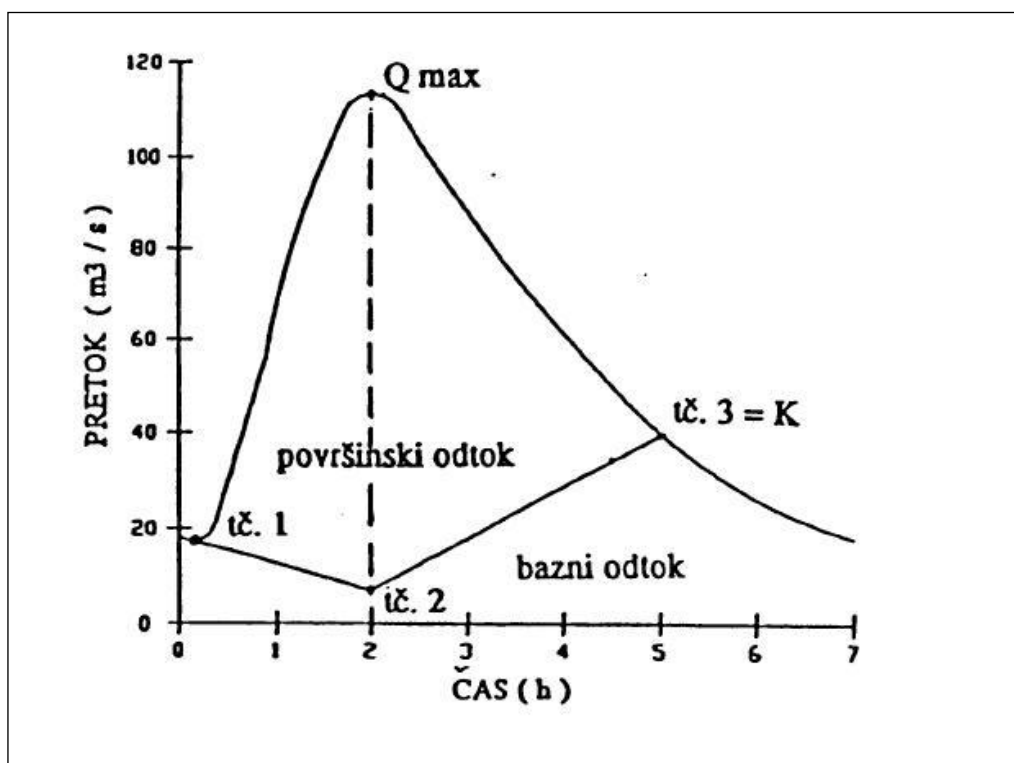
Osnovni deli in lastnosti hidrograma so prikazani na spodnji Slika 6.



Slika 6: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka (Brilly in Šraj, 2006)

### 3.3.1 Določanje baznega odtoka

Hidrogram vsebuje površinski, podpovršinski in bazni odtok. Odvisno od dejanskih geoloških lastnosti povodja ima razmejitev med posameznimi pretoki lahko različne oblike. V praksi se najpogosteje uporablja tri točkovna metoda določanja baznega odtoka. Prva točka, točka 1 na sliki spodaj, je določena s časom začetka površinskega odtoka, ki ga povzročijo padavine (trenutek, ko je pretok v strugi začel naraščati). Točka 3 označuje mesto, kjer površinski tok preneha. Točko 3 dobimo tako, da krivuljo pretokov izrišemo v logaritemskem merilu. Na mestu kjer krivulja v logaritemskem merilu preide v premico se nahaja točka 3. Točka 2 se nahaja na premici, ki poteka skozi vrh hidrograma in predstavlja presečišče premic, ki gresta skoti točko 1 in 3.



Slika 7: Tri točkovna metoda določanja baznega odtoka (Brilly in Šraj, 2006)

### 3.4 Osnove hidrograma enote

Hidrogram enote trajanja  $T_d$  je definiran kot površinski odtok, ki ga povzroči enota efektivnih padavin 10 mm (v inženirski praksi ZDA 1 palec oz. 2,54 cm), ki so bile v času  $T_d$  enakomerno razporejene po povodju. Hidrogram enote je karakteristika podpovodja in je neodvisen od vrste naliva. Hidrogram enote mora zato v svojem imenu vsebovati tudi trajanje efektivnih padavin (npr. eno – urni HE, šest – urni HE ipd.)

Teorijo hidrograma enote je prvi postavil Sherman l. 1932, ko je ugotovil podobnosti med oblikami hidrogramov odtoka s posameznih povodij pri določenih količinah padavin. Teorija sloni na sledečih predpostavkah:

- razmerje med količino površinskega odtoka z različnih delov povodja je neodvisno od vrste naliva,
- časovna in prostorska razporeditev efektivnih padavin (je konstantna in neodvisna pri posameznih nevihtah) in
- hitrost odtoka, tako v kanalih kot izven njih, je neodvisna od globine toka, torej neodvisna od količine odtoka (kar omogoča superpozicijo hidrogramov).

Hidrogram enote je funkcija, ki koncentrirano ponazarja vse parametre, ki vplivajo na oblikovanje odtoka s povodja, kot so: oblika povodja, padec terena, pokrovnost, lastnosti zemljine, geološke značilnosti in trajanje efektivnih padavin.

#### 3.4.1 Določanje hidrograma enote

Določanje hidrograma enote na podlagi merjenih podatkov padavin in odtoka je preprosto in neposredno. Na hidrogramu odtoka moramo določiti delež površinskega odtoka in delež baznega odtoka. S pomočjo numerične integracije površine pod hidrogramom površinskega odtoka določimo volumen vode. Ko volumen delimo s površino pripadajočega povodja, dobimo t.i. ekvivalentno debelino vodne plasti. Nato ordinate hidrograma površinskega odtoka delimo z vrednostjo debeline ekvivalentne vodne plasti in dobimo ordinate enotnega hidrograma. Trajanje enotnega hidrograme je enako trajanju efektivnih padavin in ga določimo z analizo histograma padavin.

Ko določimo hidrograma enote, moramo določiti še čas trajanja enote padavin. Določimo ga na osnovi histograma dejanskih merjenih padavin in analize izgub.

### 3.5.1 Sintetični hidrogrami enote

Metode sintetičnih hidrogramov enote se uporabljajo pri transformaciji efektivnih padavin v iztok s povodja, ko ne razpolagamo z meritvami ali pa te niso dovolj točne, da bi lahko oblikovali hidrogram enote po že opisanem postopku v poglavju 3.4.1.

Sintetične hidrograme oblikujemo na podlagi določenih lastnosti povodja in različnih teoretičnih in empiričnih izhodišč. Vrsto sintetičnega hidrograma, ki ga želimo uporabiti, določimo z vhodnimi podatki (Brilly in Šraj, 2006).

Sintetični hidrogrami enote se delijo v tri kategorije:

- tisti, ki povezujejo karakteristike hidrograma enote, kot je hidrograma enote in čas njenega nastopa in povodja (Snyder – jev hidrogram enote);
- tisti, ki temeljijo na brezdimenzijski osnovi (SCS hidrogram enote) in
- tisti, ki temeljijo na kvazi – konceptualnem računu za skladiščenje na povodju (Clarkov hidrogram enote in ModClark).



### 3.5.1.1 SCS hidrogram enote

V modelu sem za transformacijo padavin v odtok uporabila SCS metodo sintetičnega hidrograma enote. SCS je parametrična metoda in temelji na osnovi povprečij hidrogramov enote, ki so določeni iz merjenih padavin in odtoka za večje število manjših kmetijskih povodij v ZDA.

SCS hidrogram enote je brezdimenzijski z enim samim vrhom. Izraža pretok  $U_t$  kot razmerje do konice hidrograma enote  $U_p$  v odvisnosti od razmerje časa  $t$  in časa pojava konice  $T_p$  (Slika 8).

Po SCS metodi sta konica hidrograma enote in čas pojava konice povezana z zvezo:

$$— \quad (6)$$

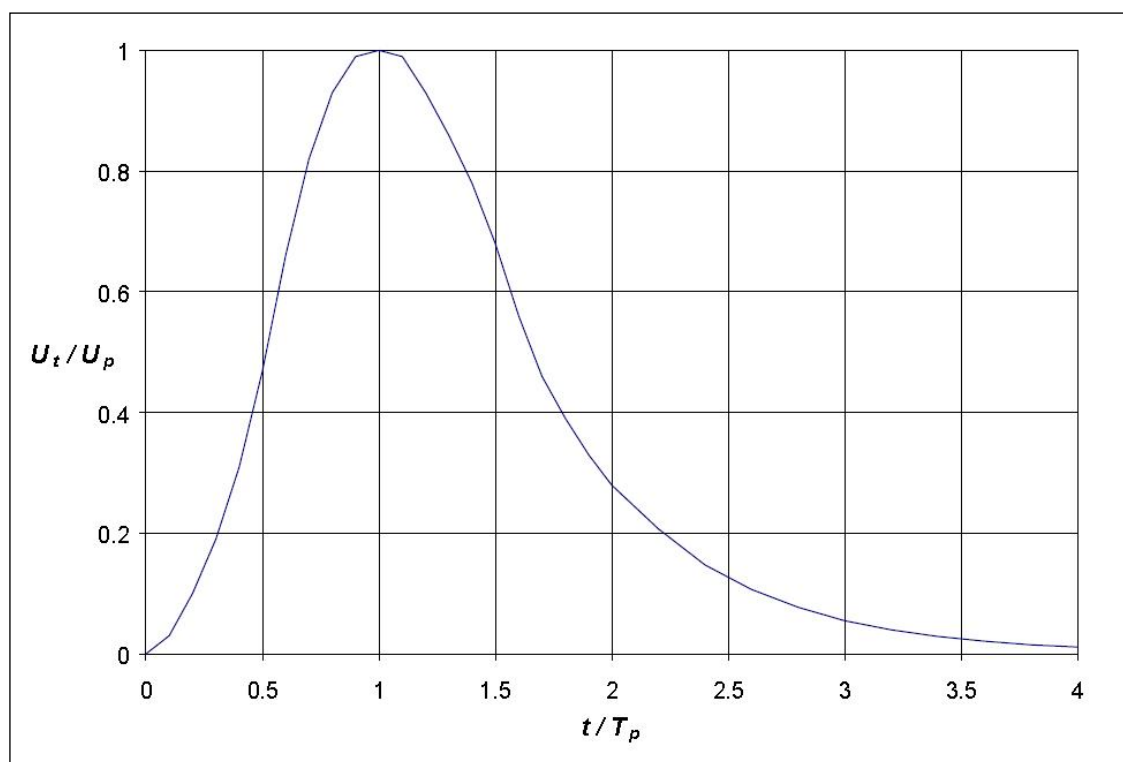
kjer so:

- $A$  ... površina povodja
- $C$  ... konstanta pretvorbe enot (2.08 za metrični sistem)
- $U_p$  ... vrh standardnega hidrograma enote

Čas vrha hidrograma enote, poznan tudi kot čas naraščanja hidrograma, je povezan z trajanjem enote efektivnih padavin:

$$— \quad (7)$$

- $\Delta t$  ... trajanje efektivnih padavin
- $T_p$  ... čas zakasnitve povodja, definiran kot časovna razlika med masnim težiščem efektivnih padavin in vrha hidrograma enote



Slika 8: Brezdimenzijski SCS hidrogram enote (USACE, 2000)

Ko je čas zakasnitve  $T_p$  definiran, lahko izračunamo čas vrha hidrograma in vrh hidrograma enote. Z znanima  $T_p$  in  $U_p$  lahko izpeljemo hidrogram enote iz brezdimenzijske oblike. Čas zakasnitve se oceni z umerjanjem z uporabo postopkov za merjenje gladine na podpovodju. Soil Conservation Servis je podal tudi zvezo med časom zakasnitve  $T_p$  in časom koncentracije  $t_c$  za ne merjena povodja z enačbo:

(8)

Čas koncentracije je kvazi – fizični parameter, ki ga ocenimo kot:

(9)

$t_{povr}$  ... vsota časa potovanja po segmentih površine povodja

$t_{plitev}$  ... vsota časa potovanja v plitvih tokovnih segmentih

$t_{kanal}$  ... vsota časa potovanja v kanalu

Za struge z znanim prečnim prerezom, ocenimo hitrost po Manningovi enačbi:

$$\text{—————} \quad (10)$$

- $R$  ... hidravlični radij
- $S$  ... padec energijske črte
- $C$  ... pretvorbena konstanta (1.0 za SI, 1.49 za angleški merski sistem)
- $n_g$  ... koeficient hrapavosti po Manningu

Ko je hitrost ocenjena, izračunamo čas potovanja po strugi:

$$\text{—} \quad (11)$$

Površinski tok je tok, ki teče po površju povodja preden doseže strugo. Razdalje so majhne, od 10 – 1000 m. SCS predlaga, da izračunamo čas potovanja po enačbi:

$$\text{—————} \quad (12)$$

- $N$  ... koeficient površinske hrapavosti
- $L$  ... dolžina toka
- $P_2$  ... dvo letna, 24 – urna višina padavin v inčih
- $S$  ... hidravlični padec (padec terena)

### 3.5.1.1.1 Določanje parametra SCS hidrograma enote

Metoda SCS določa sintetični hidrogram enote s pomočjo enega parametra. Parameter se imenuje čas zakasnitve in je enak časovni razliki med pojavom težišča efektivnih padavin in pojavom maksimalnega odtoka hidrograma enote.

Soil Conservation Servis je podal enačbo za izračun časa zakasnitve povodja (Brilly in Šraj, 2006):

$$\text{—————} \quad (13)$$

kjer so:

- $T_p$  ... čas od težišča histograma efektivnih padavin do vrha enotnega hidrograma (h)
- $L$  ... hidravlična dolžina povodja (km)
- $S_r$  ... maksimalna retenzija povodja (mm)
- $Y$  ... naklon povodja (%)

Vrednost retenzije  $S_r$  (mm) se izračuna neposredno na osnovi koeficienta CN:

$$\text{—————} \quad (14)$$

## 4 NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI POREČJA BISTRICE

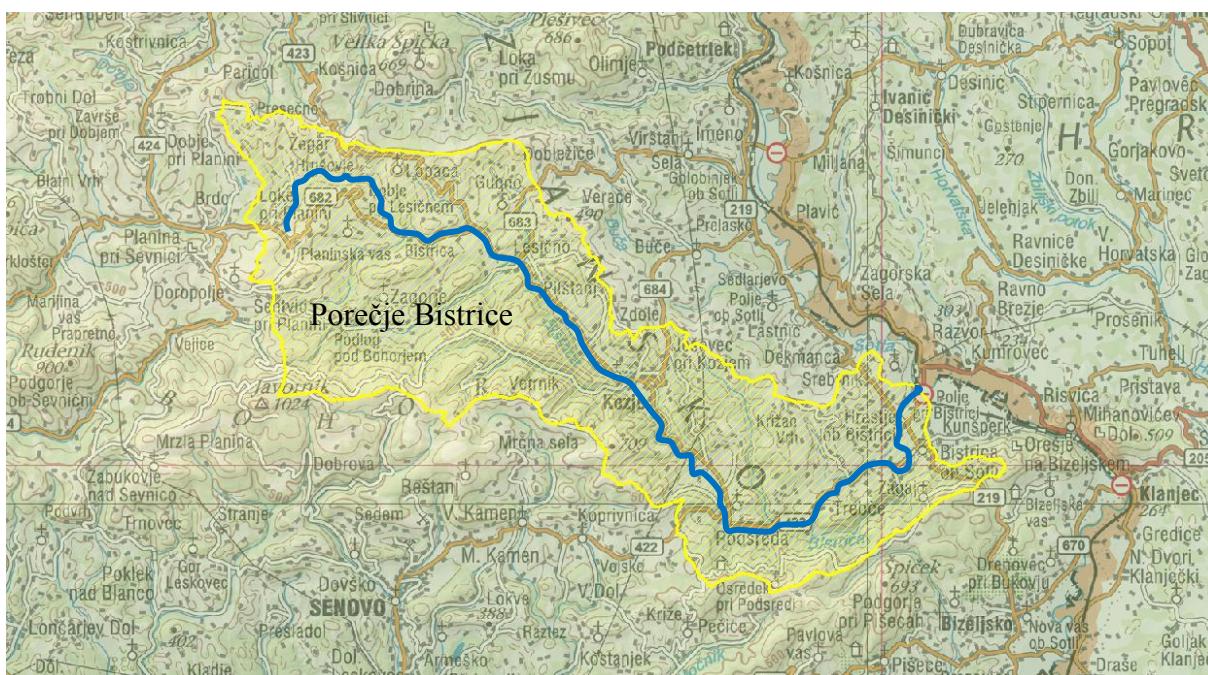
### 4.1 Geografske značilnosti

Porečje Bistrice se razprostira na območju treh občin (Šentjur, Kozje in Bistrica ob Sotli) v smeri severozahod – jugovzhod. Dolina Bistrice poteka po zahodnem delu območja, najbolj se razširi med Pilštanjem in Kozjem. Širina dolinskega dna se stalno spreminja: širše je ob poplavnih ravninah nad Lesičnim ter pri Kozjem in Podsredi, ožja pa na prehodih prek odpornejših kamninskih pasov vzhodnih odrastkov Posavskega hribovja (spletni vir 2).

V občini Šentjur leži Planinska vas, kjer se nahaja kraška jama po imenu Glija jama, kjer reka Bistrica izvira, pri Polju pri Bistrici pa se izliva v Sotlo. Bistrica je največji desni pritok Sotle in meri 34 km. V Bistrici se na vsej njeni poti do izliva, z leve in desne strani, stekajo številni pritoki. Večji levi pritoki Bistrice so Pečnica, Skopečna, Sušica, Dupla, Sušica, Trebčica, Kozlica in Štadlerjev graben, ter desni pritoki Leniška, Zagorski (Fužinski) potok, Bistri graben s pritokom Medvednica, Studenčna, Rihtarjev graben, Stopnica in Čehovec.

Padavinsko območje Bistrice obsega 108 km<sup>2</sup>. Desni pritoki Bistrice zbirajo vodo izpod verige hribov, ki se vijejo v smeri severozahod – jugovzhod (Reber 705 m, Veliki Koprivnik 982 m, Osterc 975 m, Debeli vrh 928m, Oslica 860 m, Jevški vrh 765 m, Zajčja Gorca 711 m, Kukle 676 m, Tičnik 590 m, Okič 616 m, Boršt 475 m, Orlica 620 m, Pusti vrh 662 m, Denžičev breg 588 m, Kunšperk in Straža na višini 596 m). Na porečju Bistrice ločimo tri reliefne enote, in sicer hribovje, gričevje in ravnine ob vodotokih. Desni del porečja je tako pretežno hribovit. Najvišji vrh porečja je Veliki Koprivnik s koto 982 m izpod katerega izvira Zagorski (Fužinski) potok, ki je največji desni pritok Bistrice. Severni in vzhodni (t.j. levi del z levimi pritoki) del porečja pa je nižji od 400 m nadmorske višine in se pri izlivu v Sotlo spusti do 173 m nadmorske višine. Dolina reke Bistrice tako deli zahodno Kozjansko hribovje, ki je dobilo ime po kraju Kozje, od vzhodnega Bizeljskega gričevja.

Reka Bistrica je izrazito sredogorska reka. Obsežnejši prodni nanosi v strugi pričajo o njenem hudourniškem značaju. Značilno je tudi pestro menjavanje širših in ožjih dolinskih delov ob strugi. Med Trebčami in Zagajem je reka Bistrica vrezala okoli 3 km dolgo sotesko, ki je med Rebrijo in Tisovcem tako tesna, da je neprehodna. Pobočja so strma, skalovita in gozdnata, na južno stran se dvigujejo preko 500 m. Povprečni padec terena je na tem območju 58 %. Prav tako so strma pobočja podporečja Bistrega grabna (56%).



Slika 9: Porečje Bistrice (spletni vir 3)

## 4.2 Tektonika

Kozjansko geološko pripada vzhodnemu delu posavskih gub, in sicer njihovem južnemu delu, na prostoru med Rudnico, Orlico in Bohorjem. Bohor in Orlica sta vzhodni podaljšek litijskega antiklinorija, ki potone na območju Kozjanskega pod terciarne sedimente. Prevladujoča tektonska smer poteka v smeri vzhod – zahod, kjer potekajo terciarne sinklinale in manjše antiklinale. Glavna gubanja so bila postpanonska, v starejšem terciarju pa je prevladovalo epirogenetsko premikanje, ki se kaže v erozijskih diskordancah med zgornjo kredo in oligocenom ter med oligocenom in tortonom. Prelomi so bili pomembni za nastanek terciarnih depresij med Orlico in Bohorjem, aktivni so bili tudi še v mlajšem terciarju, po tortonu (Grad, 1967).

## 4.3 Geološka zgradba

Kozjansko je sestavljeno iz karbonskih, permskih, triasnih, krednih, terciarnih in kvartarnih sedimentov. Paleozojski sedimenti prihajajo na površje predvsem v jedru antiklinalskih struktur. Prevladuje siv in temno siv glinast skrilavec v menjavi s kremenovim peščenjakom in alevrolitom. Permu prištevamo rdeč in zelenkasto siv kremenov peščenjak in skrilavec, lokalno tudi rdeč kremenov konglomerat.

V triadi prevladujejo karbonatni sedimenti (dolomiti in apnenci). Spodnjo triado sestavljajo sivi in rumeni plastovit dolomit, peščeni skrilavec in laporni apnenec. Največji obseg dosežejo južno od Podsrede. Srednjetriadne sedimente sestavlja dolomit, zgornji del srednje triade diabaz, tufi, tufiti ter kremenast in glinast skrilavec z vložki kalkarenita in apnenčeve breče. Del dolomita in sivega apnenca sega še v zgornjo triado, kar dokazujejo preseki megalodonov iz okolice Kozjega in severno od Podsrede. Zgornje kredni sedimenti so ohranjeni le severno od Bohorja, ob meji s terciarjem je opaziti apnenčevo brečo, ki leži v bazi glinastega skrilavca in kalkarenita.

Območja terciarnih sedimentov se razširjajo v vzdolžnih pasovih od zahoda proti vzhodu. Med njimi prevladujeta lapor in pesek, manjši del pa pripada odpornejšemu apnenčevemu in kremenovemu konglomeratu ter litavskemu apnencu. Obsežno območje oligocenske gline,

laporja in peska je na severni strani Bohorja med Pilštanjem in Golobinjekom južno od Planine. Litavski apnenec je najbolj razširjen terciarni sediment na Kozjanskem. Pliocen sestoji iz modrikasto sivega mehkega laporja, gline in sivkasto rumenega kremenovega peska. Kvartar sestoji iz dolinskih naplavin, pobočnih gruščev in hudourniških vršajev (Grad, 1967).

#### **4.4 Pedologija**

Prst je odvisna od geološke (matične) osnove, reliefa, podnebnih razmer (klime), vegetacije, vključno s človekom in časom. Tla sestavljajo tri komponente, povezane v sistem, sestavljen iz trde (organske in mineralne snovi), tekoče (talna voda) in plinaste (talni zrak) snovi. Podrobnejša opredelitev sloni na številnih morfoloških, fizikalnih, kemičnih, bioloških, vodno-zračnih in drugih lastnostih. Tla so razdeljena na razrede, tipe, podtipe in varietete (različice). V Sloveniji delimo tla na avtomorfna, hidromorfna in pogojno tudi tehnogena tla.

V avtomorfna tla uvrščamo tista zemljišča za katera je značilno, da atmosferska voda lahko prosto pronica skozi talni profil. Tla, ki se uvrščajo v ta oddelek imenujemo še trdinska tla oz. terestrična tla. Glede na stopnjo razvitosti talnega profila (razvojna stopnja), delimo avtomorfna tla na sledeče razrede: nerazvita tla, humusno akumulativna tla, kambična tla, eluvialno - iluvialna tla in antropogena tla.

V hidromorfna tla uvrščamo zemljišča, ki so občasno ali trajno prekomerno vlažna, v delu profila ali v celotnem profilu. Glede na specifično delitev hidromorfni tal je klasifikacija na razrede izvedena glede na tip vodnega režima, ob katerem so posebej pomembni štirje razredi: nerazvita in slabo razvita obrečna tla, psevdooglejena tla, oglejena tla in šotna tla (GURS, 2008).

Na območju porečja Bistrice se nahaja 89 % avtomorfni tal ter 11 % hidromorfni tal. Avtomorfna tla zastopajo trije razredi, in sicer humusno akumulativna tla (19 %), kambična tla (68 %) in antropogena tla (1 %), hidromorfna tla pa oglejna tla (3%) in obrečna tla (9 %) ter slab procent psevdooglejnih tal. V preglednici 5 in 6 sledi opis različnih talnih tipov prsti, ki se nahajajo na območju porečja Bistrice.



Preglednica 5: Opis avtomorfni tal (po GURS, 2008)

<b>Avtomorfna tla</b>			
<b>Razred</b>	<b>Talni tip</b>	<b>Podtip</b>	<b>Opis</b>
humusno akumulativna tla	rendzina	rendzine na mehkih karbonatnih tleh	Matična podlaga je lapor, fliš, mehki (lapornati) apnenci, lapornata sivica ali jezerska kreda. Rendzine na mehkih karbonatnih kamninah so zaradi strmega reliefa večinoma pod gozdno in travniško vegetacijo.
		rendzine na trdnih karbonatnih tleh	Matična podlaga je apnenec in dolomit. Je nestabilna talna tvorba in se navadno pojavlja v višjem gorskem svetu ter na strmih pobočjih z nagibi preko 50%. Zaradi plitvosti tal pa tudi zaradi strmega, vrtačastega in skalovitega reliefa so rendzine na apnencu v prvi vrsti gozdna tla. Tudi na dolomitni podlagi je gozd prevladujoča zarast, vendar so dokaj obsežna območja rendzin na dolomitu, ki so zaradi bolj umirjenega reliefa pod travinjem.
kambična tla	evtrična rjava tla	evtrična rjava tla, na miocenskih ilovnatih in kremenovih peskih	Tla se po globini zelo razlikujejo in segajo od 30 do preko 100 cm globine. Evtrična rjava tla so pretežno ilovnate, meljasto-ilovnate ali glinasto-ilovnate teksture, z običajno nekaj povečano količino glin. Evtrična rjava tla predstavljajo najboljša tla v kmetijstvu. Na njih lahko gojimo vse vrste kmetijskih kultur, ki uspevajo v našem klimatskem območju.
		evtrična rjava tla, na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	
		evtrična rjava tla, na mehkih karbonatnih kamninah (lapornati apnenci)	
		evtrična rjava tla, na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	
		evtrična rjava tla, na pobočnem grušču	
		evtrična rjava tla, na dolomitu	
	distrična rjava tla	distrična rjava tla, na permo-karbonskih skrilavcih in peščenjakih	To so tla nastala na kislih, nekarbonatnih kamninah, zastopana so zlasti v hribovitem svetu pa tudi v ravnini. Distrična rjava tla navadno variirajo od 60 – 80 cm globine, redkeje več kot 100 cm. Po globini profila je tekstura dokaj izenačena. Glede na teksturo so zemljišča v glavnem dobro propustna za vodo in dobro zračna.
		distrična rjava tla, na miocenskih peskih, peščenjakih in konglomeratih	
antropogena tla	rigolana tla (rigosol)	vinogradniška tla (vitisol), evtrična	Rigosol je tip antropogenih tal pri katerem je pomešanih več horizontov do globine 50 – 70 cm. Rigolana tla so v največji meri zastopana v vinogradniških okoliših, tla pa se navadno rigolajo tudi za plantažne nasade sadnega drevja in jagodičja, globoko prekopana in podrahljana pa so ponekod tudi njivska in vrtna tla.

Preglednica 6: Opis hidromorfnih tal (po GURS, 2008)

<b>Hidromorfna tla</b>			
<b>Razred</b>	<b>Talni tip</b>	<b>Podtip</b>	<b>Opis</b>
psevdooglejna tla	psevdooglej	ravninski, evtričen	Psevdoglej predstavlja površinsko oglejena tla. V Sloveniji so psevdogleji nastali predvsem na pleistocenskih in pliocenskih glinah in ilovicah, ki so nekarbonatne in za katere je značilno, da vsebujejo poleg zmerne količine gline (25 - 40%) še veliko melja, ki tla zgoščuje. Prekomerno vlaženje tal povzroča stojna voda, ki se v vlažni fazi zadržuje 30 – 60 cm globoko pod talnim površjem. Zastajanje vode povzročajo zgoščeni in slabo propustni horizonti, ki ovirajo odtok padavinske vode v globino. Glede na relief ločimo pobočne in ravninske psevdogleje.
oglejna tla	hipoglej	evtričen, mineralen	Oglejena tla predstavljajo trajno prekomerno vlaženje pretežno spodnjih horizontov zaradi visoke podtalnice. Tla glejev so se razvila na holocenskih in pleistocenskih nanosih, ki so po večini težje teksturni. V močno vlažnih legah se na površju glejev tvorijo pogosto tudi šotne plasti. Humusni horizont je okoli 20 – 30 cm debel. Po barvi je temno siv ali črn, po konsistenci nekoliko plastičen. Glede na vrsto zamočvirjenja ločimo naslednje 3 talne tipe (hipoglej, epiglej in amfiglej) Hipoglej - oglejevanje povzroča talna voda; stopnja oglejevanja z globino narašča.
nerazvita in slabo razvita obrečna tla	obrečna tla	evtrična, globoka, na ilovnatem aluviju	V razred slabo razvitih tal se uvrščajo talni tipi, ki so se razvili na poplavni holocenski rečni terasi in na jezerskih ali morskih usedlinah. Vlaženje zemljišč poteka na treh nivojih: iz atmosferskih padavin, iz poplavnih vod in iz podtalnice. Humusni horizont je dobro izražen, procesi oglejevanja se pojavljajo le v globljih horizontih. Ne glede na to, da so fluvisoli nerazvita zemljišča, imajo običajno zelo visoko proizvodno sposobnost. Zaradi velike variabilnosti nerazvitih obrečnih tal, se z klasifikacijo težko zajame vse varietete, ki jih srečujemo v naravi. Kljub temu je možno ta tla grupirati, če se za kriterij upoštevajo značilnosti profila do globine 100 – 150 cm.

#### 4.4.1 Hidravlična prevodnost tal

Prepustnost tal za vodo se ugotavlja na podlagi zloženosti tal - teksture, strukture in konsistence vseh talnih horizontov in podtalja ter na podlagi znakov zadrževanja vode v tleh. Ocena zloženosti tal prikazuje, kako gosto so zloženi in kako trdno so med seboj povezani talni delci. Zloženost tal odraža vzajemen vpliv teksture, strukture in konsistence tal na rahlost oziroma zbitost posameznih horizontov, na prepustnost tal in na vodni režim v tleh, na težo obdelave in na globino, v kateri se lahko razvijajo korenine. Ugotavljamo količino pretoka vode na določeni poti v določenem času.

Stopnje zloženosti tal delimo na:

- sipka tla - talni delci ali strukturni agregati so med seboj vezani le s slabo silo ali pa niso vezani;
- rahla, lahko drobljiva tla - talna masa je močno razrahljana, suhem stanju razpade v grudice, v vlažnem stanju pa jo lahko v pesti stisnemo v majhno grudo;
- zmerno gosta, drobljiva tla - v roki se srednje lahko drobijo in niso zbita;
- gosta, težko drobljiva tla - v suhem stanju jih je težko zdrobiti, v vlažnem se bolj gnetejo kakor drobijo
- in zelo gosta, zbita tla - tla ni mogoče zdrobiti, temveč se s težavo le lomijo.

Vodne razmere v tleh so odvisne od fizikalnih lastnosti tal in podtalja (sposobnost tal za zadrževanje vlage), reliefa (vpliv reliefa na odtekanje ali na akumulacije vode), klimatskih razmer (količina padavin in intenzivnost izhlapevanja) in vpliva vodnih tokov (podtalnica, preplavljanje). Vodne razmere se ocenjujejo na podlagi presoje vseh navedenih lastnosti, na podlagi stanja vegetacije in vodnih razmer (GURS, 2008).

Na Oddelku za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je bil po naročilu Inštituta za vode izdelan projekt Ocena hidravlične prevodnosti tal v Sloveniji za pedokartografske enote merila 1:250000. Iz podatkov ocenjene infiltracijske sposobnosti (CPVO, 1990 – 2009) in primerjav navedenih v preglednicah 7 in 8, so pripravili razdelitev v tri razrede (Preglednica 9), ki so jo uporabili pri končni oceni hidravlične prevodnosti tal za enote generalizirane pedološke karte v merilu 1:250000 (Slika 10).

Hidravlična prevodnost tal je opisana z 1 – nizka hidravlična prevodnost (manj kot 0,5 cm/h), 2 – srednja hidravlična prevodnost (od 0,5 – 12,5 cm/h) in 3 – visoka hidravlična prevodnost tal (več kot 12,5 cm/h).

Preglednica 7: Razredi za infiltracijsko sposobnost tal (CPVO, 1990-2009 in USDA-NRCS, 1998) in nasičeno hidravlično prevodnost (USDA-NRCS, 1998) (BF, 2009)

CPVO, 1990-2009		USDA-NRCS, 1998		
Oznaka (razred) infiltracijske sposobnosti tal	Ocena infiltracije (cm/uro)	Ocena infiltracije (cm/uro)**	Ks (cm/uro)	Oznaka (razred) hidravlične prevodnosti tal
Nepropustno		< 0,0038	< 0,0036	Zelo nizka
Zelo počasna	< 0,1	0,0038 – 0,15	0,0036 – 0,036	Nizka
Počasna	0,1- 0,5	0,15 – 0,51	0,036 – 0,36	Zmerno nizka
Zmerno počasna	0,5-2	0,51 – 1,52	0,36 – 3,6	Zmerno visoka
Zmerna	2 – 6	1,52 – 5,08		
Hitra / Zmerno hitra*	6 – 12,5	5,08 – 15,2	3,6 – 36	Visoka
Zelo hitra /Hitra*	12,5 – 25	15,2 – 50,8		
Ekstremno hitra /Zelo hitra*	> 25	> 50,8	> 36	Zelo visoka

\* razlike v poimenovanju razredov za oceno infiltracijske sposobnosti CPVO/USDA-NRCS

\*\* preračunano iz angleških enot v metrično enoto

Preglednica 8: Koeficient nasičene hidravlične prevodnosti tal (Ks) v različnih enotah (Kutilek in Nielsen, 1994) (BF, 2009)

Oznaka prevodnosti	Ks (m/s)	Ks (cm/dan)	Ks (cm/uro)
Zelo nizka	< $10^{-7}$	< 0,86	< 0,03
Nizka	$10^{-7}$ - $10^{-6}$	0,86-8,64	0,03- 0,36
Srednja	$10^{-6}$ - $10^{-5}$	8,64-86,4	0,36 - 3,6
Visoka	$10^{-5}$ - $10^{-4}$	86,4-864	3,6 - 36
Zelo visoka	> $10^{-4}$	> 864	> 36

Preglednica 9: Razredi za strokovno ocenjeno hidravlično prevodnost tal (cm/uro): nizka, srednja in visoka (BF, 2009)

Razred nasičene hidravlične prevodnosti ta za kartografske enote PK250	Ks (cm/uro)
Nizka	< 0,5
Srednja	0,5 – 12,5
Visoka	> 12,5

Infiltracijska sposobnost v nasičenih pogojih pomeni hidravlično prevodnost, ki jo podajamo s koeficientom nasičene hidravlične prevodnosti tal (Ks). Hidravlična prevodnost tal je bila ocenjena na osnovi ocen infiltracijske sposobnosti tal. Infiltracijska sposobnost tal je lastnost, ki pove stopnjo sprejemanja vode (Brady in Weil, 2002) in jo lahko zapišemo s formulo:

$$\text{—} \quad (15)$$

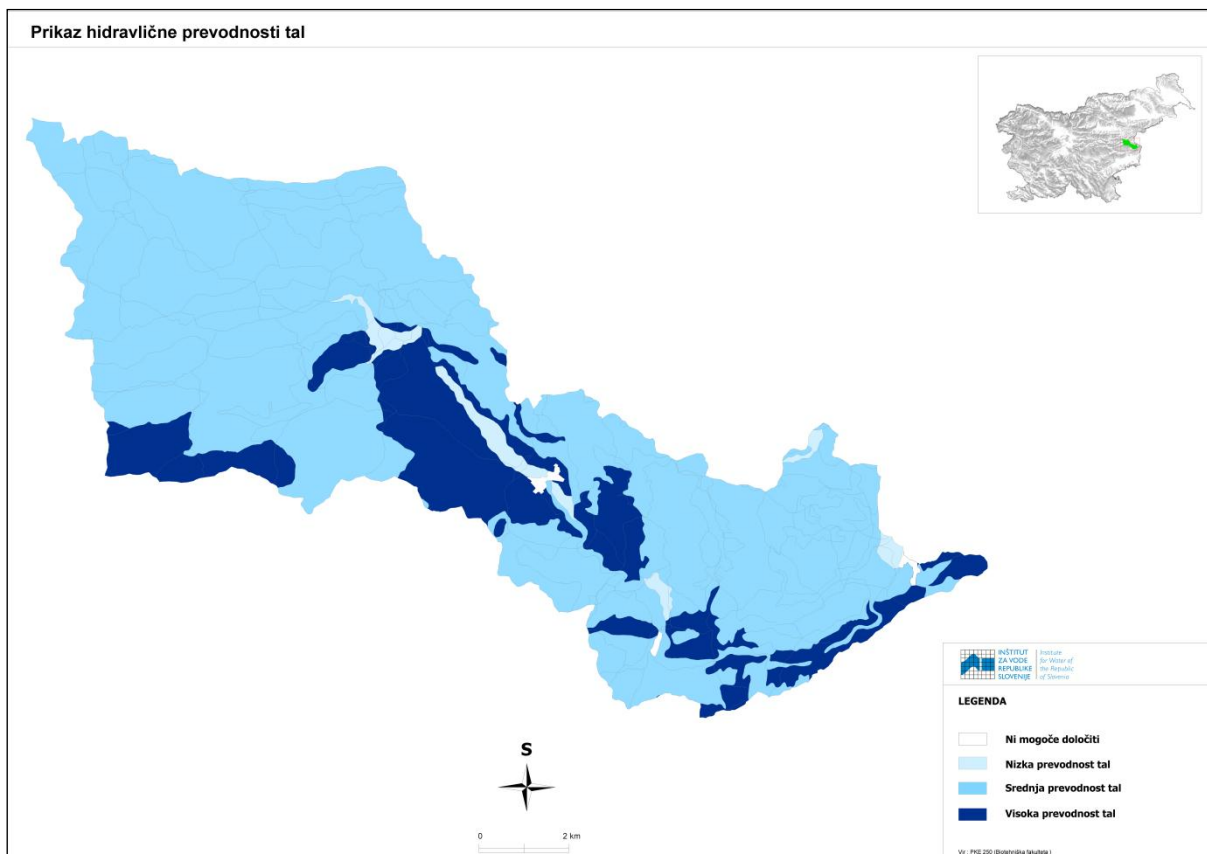
pri čemer pomeni  $A$  presek tal ( $\text{m}^2$ ),  $t$  čas (h) in  $Q$  količina vode ( $\text{m}^3$ ).

Na infiltracijsko sposobnost tal vplivajo različne, predvsem fizikalne lastnosti tal. Tekstura tal (medsebojno razmerje delcev glede na velikost), struktura tal (oblika in obstojnost talnih grudic) in delež organske snovi vplivajo tako neposredno kot posredno preko poroznosti tal. Za hitrost infiltracije vode v tla je poleg skupne poroznosti pomembna predvsem velikost poroziroma razmerje med makroporami (vpliv gravitacije) in mikroporami. Na hidravlično prevodnost pa vpliva tudi stanje nasičenosti tal. V kolikor omenjena parametra tal podajamo enotno za talni tip, moramo pri oceni ali meritvi upoštevati tudi skupno globino tal in vrsto matične podlage (propustna, nepropustna) ter zbitost tal (Miller in Donahue, 1990). Večino teh podatkov so eksperti pri svoji razvrstitvi talnih tipov v razrede hidravlične prevodnosti imeli na voljo oziroma jih za posamezne talne tipe poznajo iz svojih izkušenj. Izjema je podatek o zbitosti tal, ki v omenjeni oceni ni bil upoštevan, saj je večinoma posledica nepravilne rabe tal v krajšem časovnem obdobju (BF, 2009).

Na podlagi določene hidravlične prevodnosti tal sem ocenila odtočni potencial zemljine, ki ga potrebujemo za določitev koeficienta CN. Koeficient CN je parameter, ki zajema vplive pedologije, pokrovnosti tal in predhodne vlažnosti tal. Z njim opišemo lastnosti zemljine. V spodnji preglednici 10 je prikazana hidravlična prevodnost tal in določen odtočni potencial zemljine za posamezne tipe tal, ki se nahajajo na območju porečja Bistrice.

Preglednica 10: Hidravlična prevodnost tal (po BF, 2009)

Tip tal na porečju Bistrice	Hidravlična prevodnost	Odtočni potencial
Distrična rjava tla na klastičnih kamninah	2 - srednja	B
Distrična rjava tla na skrilavih glinavcih in peščenjakih	2 - srednja	B
Evtrična rjava tla na klastičnih kamninah	2 - srednja	B
Evtrična rjava tla na laporju	2 - srednja	B
Evtrična rjava tla na mehkih karbonatnih kamninah (lapornati apnenci)	2 - srednja	B
Evtrična rjava tla na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah	2 - srednja	B
Evtrična rjava tla na moreni in pobočnem grušču	3 - visoka	A
Hipoglej, evtričen, mineralen	1 - nizka	C
Obrečna tla, evtrična	2 - srednja	B
Pseudoglej, pobočni in ravninski, evtričen	1 - nizka	C
Ranker, evtričen	3 - visoka	A
Rendzina na apnencu in dolomitu in rjava polkarbonatna tla	3 - visoka	A
Rendzina na mehkih karbonatnih kamninah (lapor, fliš, litotamnijski apnenci)	3 - visoka	A
Rigolana tla, evtrična	2 - srednja	B
Rjava polkarbonatna tla na apnencu in dolomitu	2 - srednja	B
Urbane, vodne in nerodovitne površine	Ni mogoče določiti	



Slika 10: Karta ocenjene hidravlične prevodnosti tal na območju porečja Bistrice za enote pedološke karte (IzVRS, 2009a)

#### 4.5 Pokrovnost tal

Pokrovnost tal je opazovan fizični pokrov na površju Zemlje in ni opredeljen po namenu oziroma uporabi, medtem ko je raba tal za razliko od pokrovnosti tal socialno - ekonomska funkcija površine Zemlje (Skumavec in Šabić, 2005).

Pokrovnost tal na obravnavanem območju je bila določena s pomočjo tematske karte pokrovnosti tal CORINE iz leta 2006 za Slovenijo (Slika 11). Na osnovi baze atributnih podatkov so bili za vsako podporečje določeni deleži posamezne pokrovnosti tal, na podlagi katerih sem vključno z vrsto zemljine določila brezdimenzijski koeficient CN. Ker je znotraj podporečij več različnih tipov pokrovnosti tal, sem za vsako podporečje določila enotni CN. Različne vrste pokrovnosti imenujemo kategorije in so opisane z opisom 1, 2 in 3, kjer je prvi opis najbolj splošen, opis 3 pa najbolj podroben (Preglednica 11).

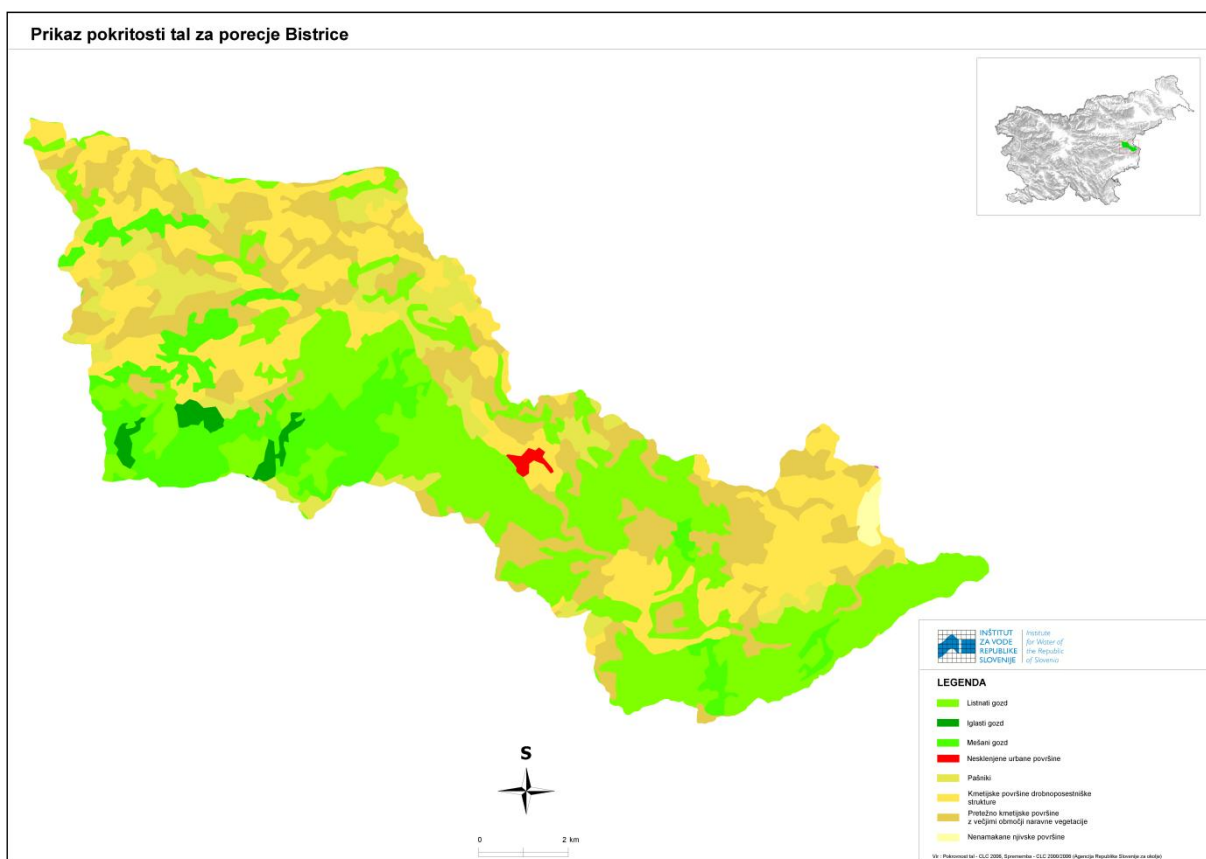
Preglednica 11: Tipi pokrovnosti tal po CORINE. Prikazani so samo razredi pokrovnosti tal, ki so zabeleženi na porečju Bistrice

Razred	Opis 1	Opis 2	Opis 3
311	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Listnati gozd
313	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Mešani gozd
312	Gozdne in deloma ohranjene naravne površine	Gozdovi	Iglasti gozd
242	Kmetijske površine	Mešane kmetijske površine	Kmetijske površine drobnoposestniške strukture
243	Kmetijske površine	Mešane kmetijske površine	Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije
231	Kmetijske površine	Pašniki	Pašniki
211	Kmetijske površine	Njivske površine	Nenamakane njivske površine
112	Umetne površine	Urbane površine	Nesklenjene urbane površine

Dolina Bistrice je pretežno kmetijsko obdelana, zaledje pa je večinoma gozdnato. Na celotnem obravnavanem območju je zelo malo urbanih površin. Spodnja preglednica 12 prikazuje posamezne deleže pokrovnosti tal.

Preglednica 12: Deleži posamezne rabe tal na porečju Bistrice (po CORINE)

Pokrovnost tal	A (km <sup>2</sup> )	Delež (%)
gozdovi	50,3	46,8
mešane kmetijske površine	47,7	44,4
njivske površine	0,5	0,5
pašniki	8,7	8,1
urbane površine	0,3	0,3



Slika 11: Karta pokrovnosti tal po CORINE za območje porečja Bistrice (IzVRS, 2009b)



## 5 HIDROLOŠKA SLIKA POREČJA

### 5.1 Hidrografija

Bistrica izvira ob severnih pobočjih Bohorja in teče nato od Podloga do Kozjega ob njegovem severnem vznožju. Pritoki Bistrice odmakajo tudi srednje podolje vzhodno od Presečnega in se združujejo z Bistrico v širši aluvialni ravnici pred Pilštanjem. Med Kozjim in Podsredo se Bistrica prerine skozi dolomitno reber v Bohorju in po njej doseže južno pobočje. Pri Podsredi doseže Bistrica novo, ozko terciarno kadunjo, katere se pa ne drži, temveč zavije v ozko in globoko dolomitno deber v Orlici in šele pri Polju ob Sotli doseže terciarno področje, širšo aluvialno ravnico, kjer se izlije v Sotlo.

Za dolinska dna kozjanskih potokov je značilno, da so si izdelali v vzporedni smeri hribovja in pa v mehkejšem svetu udobne aluvialne ravnice in ožja dolinska dna, ki pa se naenkrat zožijo v ozka grla, ko potok stopi v epigenetsko sotesko, seka apnenčasti hrbet ali se kakorkoli drugače vrezuje v tršo kameninsko osnovo. Take aluvialne ravnice, ki jim sledijo ozka grla, soteske, ovirajo hiter odtok visoke vode in pogostokrat povzročajo poplave, posebno pa še vlažnost in zamočvirjenost dolinskega dna pred njimi. Taka grla so ob Bistrici, ko seka planinski hrbet, pri Pilštanju, pod Kozjim, pod Podsredo itd.

Hidrografske razmere so predvsem odvisne od padavin in toplotnih razmer. Potoki so majhni in kratki, voda naraste predvsem februarja in marca, ko se topi sneg. Posebno nevaren je hiter porast temperature, kajti takrat lahko pride do znatnega naraščanja vode in poplav v dolinskem dnu, v ozkih grlih pa naraste gladina vode tudi za 2 m (npr. pri mlinu pod Podsredo). Februarja in marca odteče največ vode, julija in avgusta pa najmanj (potoki so takrat neznatni). Padavinski maksimum se pojavlja oktobra, tudi novembra, ko je izhlapevanje že omejeno, se gladina vode lahko približa pomladanskemu nivoju. Tudi ob izrednih nalivih preko ostalega leta voda lahko znatno naraste in prestopi bregove, vendar je to le izjema. Na splošno sta značilna spomladanski in pozni jesenski sekundarni maksimum odtoka vode (Žagar, 1967).

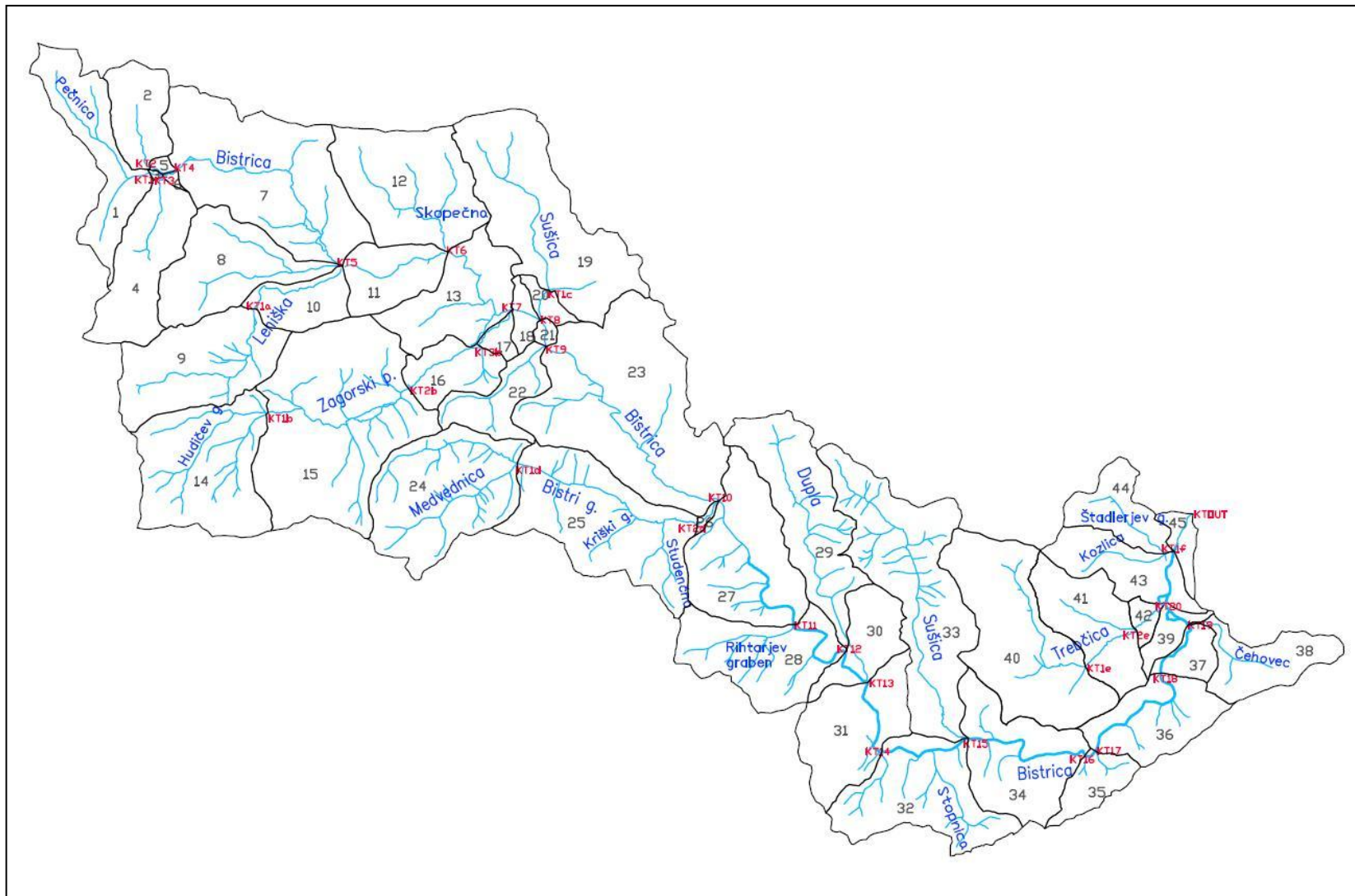
## 5.2 Hidrografske karakteristike porečja

Hidrografske karakteristike porečja predstavljajo površina porečja v km<sup>2</sup>, povprečni padec terena v %, dolžina vodotoka v km ter povprečni padec vodotoka v %. Površina povodja predstavlja površino, ki jo obdaja orografska razvodnica do hidrološkega profila. Povprečni padec terena predstavlja padec terena merjen pravokotno na vodotok, medtem ko povprečni padec vodotoka predstavlja padec premice, ki veže začetek in konec odseka vodotoka tako, da je površina trikotnika, ki ga tvorita premica in horizontala enaka površini med podolžnim profilom in horizontalo. Dolžina vodotoka pa pomeni dolžino vodotoka od razvodnice do hidrološkega profila.

Velikost vodozbirnega zaledja porečja sem določila na osnovi mreže hidrografskih razvodnic, ki je osnovana na izohipsah v merilu 1:25000. Izohipse so črte, ki povezujejo točke z enako nadmorsko višino. V mrežo sem vpela nove razvodnice za izbrane hidrološke profile na vodotoku. Ker so vodozbirna zaledja podporečij majhna sem zaradi večje natančnosti pri vrisovanju novih razvodnic uporabila temeljni topografski načrt v merilu 1:5000.

Na porečju Bistrice sem določila 45 hidroloških profilov. Prerezi so bili izbrani na različnih lokacijah (sotočje dveh vodotokov, cevni propusti, prehodi iz strmega terena v ravnino, ...). Na podlagi določenih prerezov sem dobila 45 podporečij zelo različnih velikostnih razredov. Velikost celotne prispevne površine porečja Bistrice znaša 108 km<sup>2</sup>, velikost posameznih prispevnih območij podporečij pa se gibljejo od 0,02 do 7,2 km<sup>2</sup>. Povprečni padci terena podporečij se na ravninskem delu gibljejo od 6,5 do 10 %, gričevnati deli do 20 % ter od 20 do 58 % v hribovitih predelih. Padci vodotokov se gibljejo od 0,13 % do 13,8 %. Bistrica izvira na koti 480 m v Sotlo pa se izliva na koti 175 m. Dolžina Bistrice od izvira do izliva v Sotlo je 35 km, naklon terena do izliva pa je približno 33 %.

V preglednici 13 so za vsako posamezno podporečje predstavljene hidrografske karakteristike območja (površina, dolžina vodotoka, naklon terena ter naklon vodotoka).



Slika 12: Prikaz razdelitve obravnavanega območja na posamezna prispevna območja

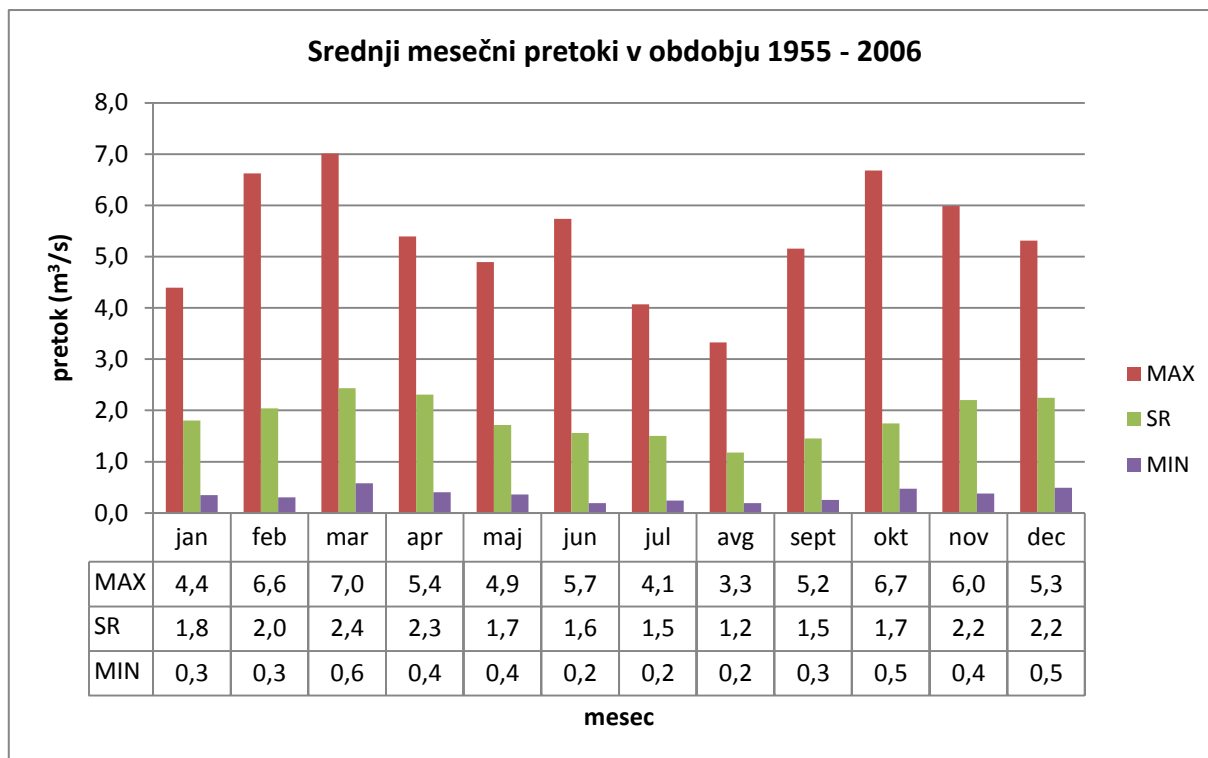
Preglednica 13: Hidrografske karakteristike porečja Bistrice

Podporečje	Prispevno območje	Površina F (km <sup>2</sup> )	L (km)	Naklon terena S (%)	Padec vodotoka n (%)
1	Pečnica s pritokom do propusta	2,55	2,98	25,8	4,59
2	levi pritok Bistrice do propusta	1,48	1,62	21,8	4,49
3	Pečnica od propusta do Bistrice	0,02	0,25	9,0	3,95
4	Bistrica do Pečnice	2,55	2,96	22,5	3,21
5	levi pritok Bistrice od propusta do sotočja z Bistrico	0,09	0,47	14,0	1,26
6	Bistrica do sotočja z levim pritokom	0,05	0,53	15,5	1,02
7	Bistrica do Leniške (Reber)	5,73	4,91	25,5	1,98
8	desni pritok Bistrice do Leniške (Reber)	2,90	3,08	25,5	8,47
9	Leniška (do Podloge)	3,49	3,58	29,1	2,52
10	Leniška (od Podloge) do Bistrice	1,20	2,02	38,8	7,68
11	Bistrica od Leniške do Skopečne	1,54	2,11	28,3	0,76
12	Skopečna	3,88	2,73	23,9	4,57
13	Bistrica od Skopečne do Zagorskega p. (Lesično)	2,51	2,31	19,6	0,85
14	Zagorski p. s Hudičevim grabnom (do Podloga pod Bohorjem)	4,13	2,58	38,9	11,95
15	Zagorski potok (do Bobovca)	7,17	3,89	32,8	2,11
16	Zagorski potok (od Bobovca do Dvorška)	1,30	1,71	42,6	1,53
17	Zagorski potok do Bistrice (Lesično)	0,29	0,95	24,3	1,64
18	Bistrica od Zagorskega potoka do Sušice	0,37	0,84	22,1	0,57
19	Sušica (do Kostajnska)	5,15	3,18	24,7	3,50
20	Sušica do Bistrice	0,33	0,75	24,8	1,57
21	Bistrica od Sušica do desnega pritoka (Založnik)	0,13	0,46	40,7	0,22
22	desni pritok Bistrice (Založnik)	1,37	2,38	45,4	11,38
23	Bistrica (od desnega pritoka) do Bistrega grabna (Kozje)	7,20	4,79	34,8	0,71
24	Medvednica in Bistri g. (sotočje)	4,26	2,75	45,9	13,81
25	Bistri graben (od sotočja z Medvednico do naselja)	4,63	3,97	55,8	3,65
26	Bistri graben do Bistrice (Kozje)	0,08	0,69	35,9	4,17
27	Bistrica (Kozje) do Rihtarjevega grabna	3,68	2,94	32,7	0,61
28	Bistrica in Rihtarjev graben (do Vrbja)	3,02	3,58	42,3	0,34
29	Dupla (do Bistrice)	3,53	4,21	34,6	2,23
30	Bistrica (Podsreda)	1,45	1,59	21,3	0,13
31	Bistrica (pod Podsredo)	2,76	1,42	28,5	0,58
32	Bistrica (Podsreda) do Sušice	3,41	3,18	45,7	0,51
33	Sušica do Bistrice	5,39	5,78	33,2	3,05
34	Bistrica (od Sušice) do profila 34	3,07	2,39	38,9	0,53
35	Bistrica od profila 34 do 35	0,91	1,39	44,6	0,52
36	Bistrica (od profila 35) do VP Zagaj	2,17	2,32	57,8	0,74
37	Bistrica do sotočja s Čehovcem	0,63	1,40	33,1	0,28
38	Čehovec do Bistrice	1,68	3,01	50,6	6,68
39	Bistrica do sotočja s Trebčico	0,52	1,44	10,0	0,71
40	Trebčica (Trebče)	4,77	3,41	20,6	3,95
41	Trebčica (od profila 40 do 41)	2,32	2,04	20,0	0,87
42	Trebčica do Bistrice	0,28	1,00	6,5	0,58
43	Bistrica od profila 42 s Kozlico do Štandlerjevega g.	1,82	1,70	20,2	0,57
44	Štadlerjev graben do Bistrice	1,38	2,26	20,1	0,38
45	Bistrica (od profila 43) do izliva v Sotlo	0,46	0,74	7,0	0,68

### 5.3 Pretočne karakteristike Bistrice

Pretočni režim je pokazatelj povprečnega nihanja pretoka reke preko leta, kar je odvisno od fizično geografskih značilnosti porečja med katerimi so pomembnejši: podnebje, relief, kamninska podlaga, prst, rastlinstvo in človek. Med zgoraj naštetimi dejavniki je v Sloveniji najpomembnejši dejavnik podnebje, saj so pretočni režimi odvisni predvsem od letne razporeditve padavin in temperatur ter od trajanja snežne odeje (ARSO, 2008).

Za reko Bistrico je značilen panonski dežno snežni režim. Režim je značilen za reke po gričevjih in ravninah panonskega sveta. Zgodnje pomladanski in pozno jesenski viški so močno izenačeni, glavni nižki so poleti, drugi nižki pa pozimi. Situacijo lepo prikazuje spodnji graf srednjih mesečnih pretokov v obdobju med 1955 in 2006 (Slika 13). Zgodnje pomladanski višek nastopi marca, sekundarni pozno jesenski višek pa nastopi oktobra. Najnižji srednji pretoki pa nastopijo poleti in pozimi.



Slika 13: Na grafu so prikazani srednji mesečni pretoki Bistrice v obdobju 1955 – 2006 (maksimalni, srednji in minimalni srednji mesečni pretoki)

## 5.4 Podnebje in padavine

Kozjanska pokrajina je klimatsko izrazito prehodno ozemlje, kjer se mešajo gorski, celinski in celo modificirani podnebni vplivi in od vzhoda proti zahodu eni vedno bolj prevladujejo, drugi pa popuščajo. Na območju se stikajo srednjeevropski alpski, vzhodnoevropski kontinentalni in južnoevropski mediteranski klimatski pas. Pokrajino na severu in jugu zapirajo relativno visoka slemena, kar nedvomno vpliva na količino padavin. Pomembna je zatišna lega, Bohor in Orlica sta namreč klimatski pregradi na jugu ter Rudnica na severu, ki predstavlja klimatsko pregrado pred vplivi s severa. Pokrajina je proti vzhodu odprta, proti zahodu pa se postopoma dviguje. Padavine od zahoda proti vzhodu počasi pojemajo. Porazdelitev padavin je pod močnim vplivom zahoda, na kar nas opozarja oktobrski padavinski maksimum pred sekundarnim pomladnim (Žagar, 1967).

Na dobrih dveh tretjinah zahodnega območja porečja Bistrice pade od 1200 – 1300 mm padavin, na preostalem vzhodnem delu pa od 1100 – 1200 mm padavin na leto (ARSO, 2008).

### 5.4.1 Padavinske postaje na območju porečja Bistrice

Na samem območju porečja Bistrice se nahaja samo padavinska postaja Podsreda. Postaja se nahaja na nadmorski višini 300 m, opremljena je z ombrometrom in deluje od leta 1951 naprej. Na padavinski postaji se padavine merijo vsak dan ob 7. uri zjutraj ter opazujejo ostali vremenski pojavi. Ostale padavinske postaje, ki sem jih uporabila za primerjavo padlih količin ter analizo, se nahajajo v bližnji okolici porečja. V spodnji preglednici 14 so prikazane merilne postaje znotraj porečja ter bližnji okolici, nadmorska višina postaje, tip postaje, lokacija (koordinate) postaje ter obdobje izvajanja meritev. Za padavinski postaji Planina pri Sevnici in Lisca so na voljo tudi urni podatki, ker sta postaji opremljeni z ombrografom.

Preglednica 14: Pregledna tabela merilnih postaj, nadmorskih višin, tipa postaje, obdobja meritev in koordinat

Šifra	Postaja	Nadmorska višina (m)	Tip postaje	Obdobje meritev	Koordinata X	Koordinata Y
228	Podsreda	300	P	1951 - 2008	5546439	5098938
225	Žusem	623	P	1926 - 2008	5537331	5111841
227	Vrenska gorca (Buča)	222	P	1951 - 1993	5545095	5106337
223	Planina pri Sevnici	575	OG	1951 - 1993	5530922	5106249
224	Ložice	590	P	1961 – 2008	5533529	5100706
231	Bizeljско	179	T	1951 – 2008	5554195	5097149
452	Lisca	943	T, HE, OG	1984 - 2008	5521917	5102506

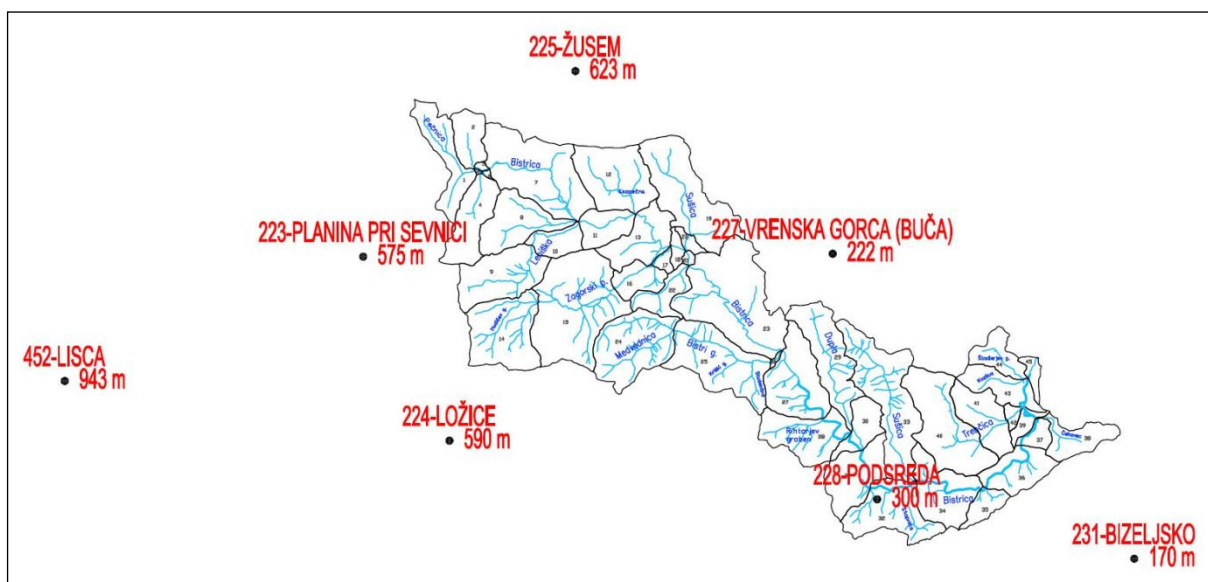
\*P...padavinska postaja - meri padavine ob 7<sup>h</sup> in opazuje vremenske pojave

\*OG...ombrograf - registracija padavin

\*HE...heliograf - meritve trajanja sončnega obsevanja

\*T...temperaturna postaja - meri glavne vremenske elemente v treh dnevni terminih: ob 7<sup>h</sup>, 14<sup>h</sup> in 21<sup>h</sup>

Na spodnji sliki 14 so prikazane lokacije padavinskih postaj na območju porečja Bistrice in njeni bližnji okolici.



Slika 14: Lokacija in nadmorska višina padavinskih postaj na območju porečja Bistrice in bližnji okolici

## 6 ANALIZA METEOROLOŠKIH IN HIDROLOŠKIH PODATKOV

### 6.1 Analiza padavin

Za analizo padavin sem izbrala 7 najbližjih padavinskih postaj (Planina pri Sevnici, Ložice, Žusem, Vrenska gorca (Buča), Podsreda, Bizeljsko in Lisca). Analizo padavin sem izdelala s pomočjo programa MAXDNEL.EXE, ki za izračun uporablja verjetnostno analizo po Gumbelu. Program je bil izdelan na Inštitutu za vode RS in se uporablja za statistično analizo maksimalnih dnevnih letnih padavin za različne povratne dobe. Za padavinsko obdelavo področja Bistrice sem imela na razpolago maksimalne dnevne letne vrednosti padavin.

Verjetnostno analizo padavin sem izdelala za povratne dobe 2, 5, 10, 20, 50, 100 in 500 let. Za analizo sem uporabila podatke o maksimalnih dnevnih letnih padavinah na posamezni padavinski postaji. Podatki, ki so bili na razpolago za analizo so bili podatki s padavinskih postaj Agencije RS za okolje (ARSO MOP, 2009).

V spodnji preglednici (Preglednica 15) so na izbranih padavinskih postajah izračunane maksimalne in povprečne višine dnevnih padavin ter leto, v katerem je bila zabeležena maksimalna dnevna količina padavin. Maksimalna dnevna letna padavina je bila izmerjena na postaji Planina pri Sevnici, in sicer 134,5 mm, najmanjša maksimalna 84,7 mm pa na postaji Lisca. Povprečne padavine na območju porečja Bistrice pa se gibljejo od 53,8 mm do 69,2 mm.

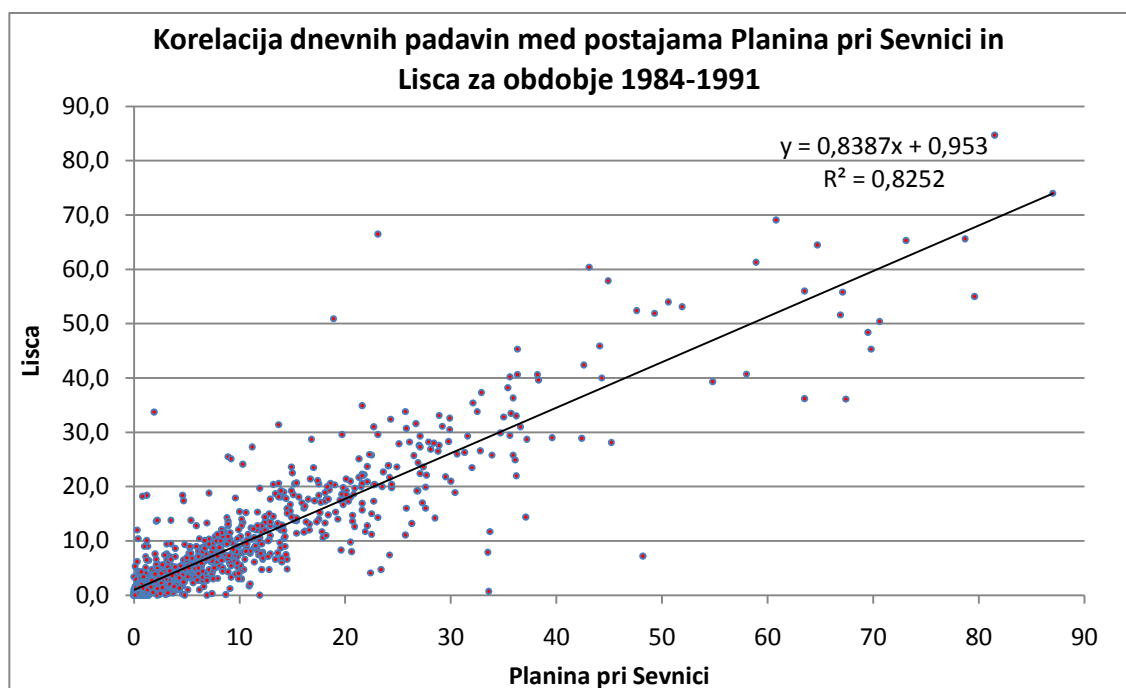


Preglednica 15: Maksimalne in povprečne višine dnevnih padavin na posamezni padavinski postaji ter leto nastopa

Šifra	Postaja	Obdobje	Hmax	Leto	Hpov
223	Planina pri Sevnici	1951-1991	134,5	1954	69,2
224	Ložice	1961-2008	120,1	1970	68,2
225	Žusem	1926-2008	109,5	1980	60,4
227	Vrenska gorca (Buča)	1951-1990	111,0	1980	57,2
228	Podsreda	1951-2008	96,4	1982	59,9
231	Bizeljsko	1952-2008	110,0	1989	55,5
452	Lisca	1984-2008	84,7	1984	58,2

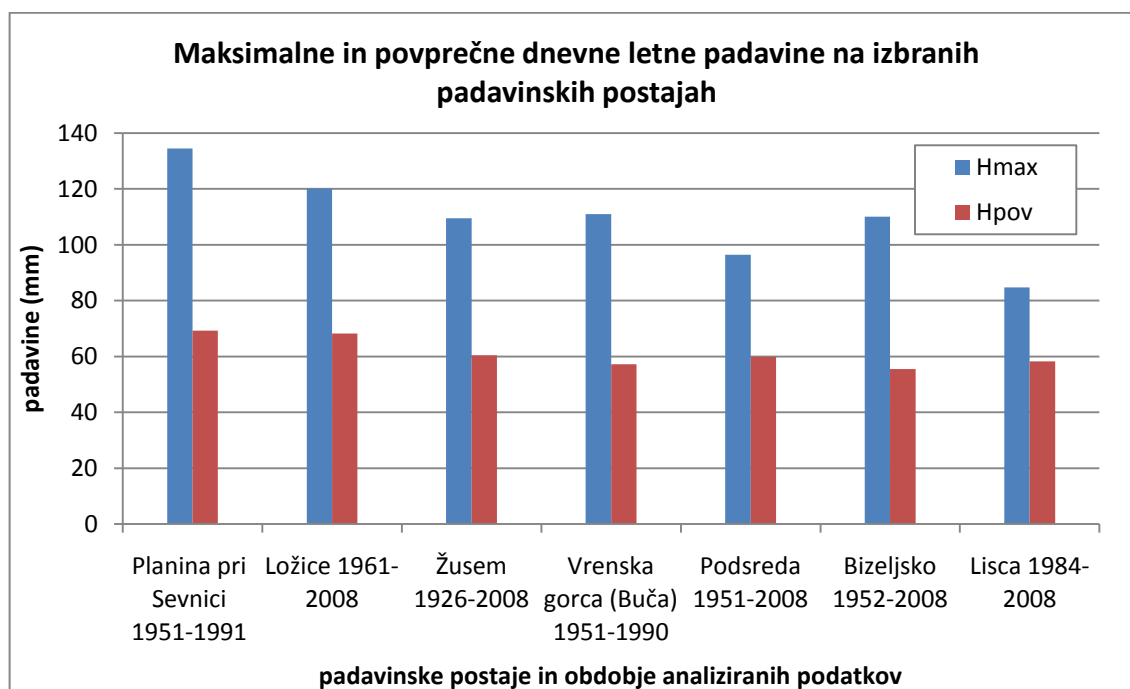
Korelacija nam opisuje medsebojno povezanost dveh ali več spremenljivk. Mera za povezanost med spremenljivkama je korelacijski koeficient  $R$ . Vrednost korelacijskega koeficienta je med  $-1$  in  $1$ , pri čemer vrednosti blizu ena pomenijo močno linearno povezavo (oziroma korelacijo) med dvema skupinama podatkov, kar pomeni, da večja vrednost ene količine pogojuje večjo vrednost druge. Negativna korelacija pomeni, da večje vrednosti ene količine pogojujejo manjše vrednosti druge. Če je vrednost  $R$  okoli nič, pomeni, da linearne povezave med podatki ni (Turk, 2009).

Korelacija dnevnih vrednosti padavin med postajama Planina pri Sevnici in Lisca je pokazala, da je moč linearne povezanosti med postajama močno pozitivna (Slika 15). Padavine na postaji Planina pri Sevnici dejansko izkazujejo višje vrednosti padavin za približno 15 %.



Slika 15: Korelacija dnevni vrednosti padavin med postajama Planina pri Sevnici in Lisca

Spodnja slika 16 prikazuje grafični prikaz maksimalnih in povprečnih dnevni višin padavin na izbranih padavinskih postajah.



Slika 16: Grafični prikaz maksimalnih in povprečnih dnevni letni padavin na izbranih padavinskih postajah

V spodnji preglednici 16 so rezultati verjetnostne analize maksimalnih dnevni padavin s posamezne padavinske postaje, na podlagi katerih so določene maksimalne dnevne padavine s povratno dobo 2, 5, 10, 20, 50, 100 in 500 let.

Na podlagi analize maksimalnih in povprečnih dnevni letni padavin in verjetnostne analize maksimalni dnevni padavin vidimo, da so bile na postaji Planina pri Sevnici maksimalne zabeležene dnevne padavine 134,5 mm padavine s 100-letno povratno dobo, padavine s postaje Ložice s 50-letno povratno dobo in padavine s postaje Žusem med 50 in 100-letno povratno dobo. Prav tako se maksimalne višine dnevni padavin z ostalih padavinskih postaj gibljejo med 50 in 100-letno povratno dobo ter padavine s postaje Lisca s povratno dobo 20 let.

Preglednica 16: Verjetnostna analiza padavin za izbrane padavinske postaje. Višina maksimalni padavin (v mm) s 2, 5, 10, 20, 50, 100 in 500 letno povratno dobo

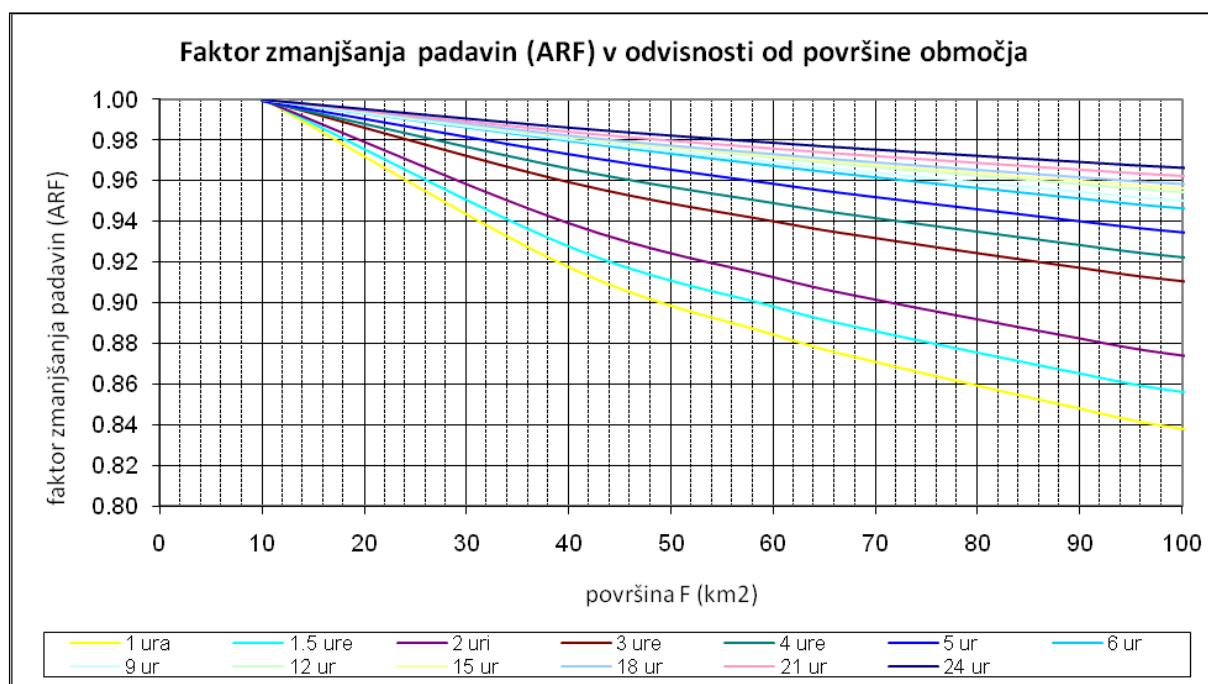
Šifra	Postaja / Pov. doba	2	5	10	20	50	100	500
223	Planina pri Sevnici	66,1	85,7	98,7	111,1	127,2	139,3	167,2
224	Ložice	65,3	83,5	95,5	107	121,9	133,1	158,9
225	Žusem	57,8	73,2	83,4	93,1	105,8	115,2	137,1
227	Vrenska gorca (Buča)	54,9	69,4	79,1	88,3	100,2	109,2	129,9
228	Podsreda	57,4	72,9	83,2	93,1	105,8	115,4	137,5
231	Bizeljsko	53,1	67,6	77,2	86,4	98,3	107,3	127,9
452	Lisca	55,3	67,8	76,1	84,1	94,4	102,1	119,9

## 6.2 Analiza nalivov za postajo Planina pri Sevnici (1975 – 1992)

Vhodni podatek za račun pretokov so nalivi z neko povratno dobo. Analizo nalivov sem naredila iz razpoložljivih podatkov s postaje Planina pri Sevnici za obdobje 1975 – 1992. Program NALIVI.EXE izračuna višine padavin različnih trajanj (od 5 minut do 24 ur) ter izbranih povratnih dob. Izračun naredi po Gumbelovi verjetnostni porazdelitvi. V nadaljevanju so prikazane vrednosti 5 minutnih do 24-urnih višin padavin s povratno dobo 2, 5, 10, 20, 50, 100 ter 500 let, in sicer v preglednici 17 za postajo Planina pri Sevnici za ostale obravnavane postaje pa s korelacijo določenih vrednosti v preglednicah od 18 do 22.

V meteorološkem modelu HEC – HMS sem za način podajanja padavin izbrala metodo uteži (Gage Weights), ki upošteva vse padavinske postaje, ki se s svojim deležem nahajajo na obravnavanem območju. Ker ni bilo na voljo podatkov za analizo nalivov na ostalih padavinskih postajah je bilo potrebno narediti korekcijo maksimalnih dnevnih višin padavin različnih povratnih dob. Višine padavin sem potrebovala za izračun visokovodnih valov s povratno dobo 5, 10, 50, 100 ter 500 let.

V praksi se je izkazalo, da je za večja vodozbirna področja potrebno narediti tudi korekcijo padavin po površini vodozbirnega območja. Padavine so bile korigirane s korekcijskim faktorjem ARF (ang. Areal Reduction Factor). Za izbrane prereze so bile padavine reducirane s faktorjem ARF v odvisnosti od velikosti površine prispevnega območja in trajanja padavin (Slika 17). Korekcijski faktor se s trajanjem padavin povečuje, z večanjem površine povodja pa zmanjšuje. Tako je npr. faktor za območje s površino  $100 \text{ km}^2$  in eno urnim trajanjem padavin enak 0,835, za 24-urno trajanje padavin 0,968, za območje veliko  $60 \text{ km}^2$  in eno urnim trajanjem padavin 0.886, za 24-urno trajanje pa je enak 0.98.



Slika 17: Faktor zmanjšanja padavin – ARF v odvisnosti od velikosti prispevne površine povodja, prikazan za območje veliko od 10 do 100 km<sup>2</sup>

Preglednica 17: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Planina pri Sevnici za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,2	13,0	16,9	18,5	22,2	mm
10	16,6	19,2	25,0	27,5	33,2	mm
15	20,8	24,0	31,5	34,6	41,9	mm
20	24,5	28,2	37,0	40,8	49,5	mm
30	30,2	35,3	46,6	51,4	62,5	mm
45	33,7	40,9	56,4	62,9	78,1	mm
60	36,4	44,0	60,3	67,1	83,0	mm
90	40,5	48,7	66,1	73,5	90,5	mm
120	43,8	52,3	70,6	78,4	96,2	mm
180	48,8	57,9	77,5	85,8	104,9	mm
240	52,7	62,2	82,8	91,5	111,5	mm
300	55,9	65,8	87,1	96,2	117,0	mm
360	58,6	68,8	90,8	100,2	121,6	mm
540	65,2	76,1	99,7	109,6	132,6	mm
720	70,3	81,7	106,4	116,9	141,1	mm
900	74,5	86,2	112,0	122,9	148,0	mm
1080	78,1	90,2	116,7	128,0	153,9	mm
1440	84,0	96,7	124,6	136,5	163,8	mm

Preglednica 18: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Ložice za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,3	13,1	17,0	18,6	22,4	mm
10	16,7	19,3	25,2	27,7	33,5	mm
15	21,0	24,3	31,8	35,0	42,3	mm
20	24,8	28,5	37,5	41,3	50,0	mm
30	30,6	35,8	47,3	52,1	63,3	mm
45	34,3	41,7	57,4	64,0	79,4	mm
60	37,2	45,0	61,6	68,6	84,7	mm
90	41,8	50,2	68,1	75,6	93,1	mm
120	45,5	54,3	73,2	81,2	99,6	mm
180	51,4	60,9	81,4	90,1	110,0	mm
240	56,2	66,3	88,0	97,2	118,4	mm
300	60,2	70,8	93,7	103,3	125,5	mm
360	63,9	74,9	98,7	108,8	131,9	mm
540	73,1	85,2	111,4	122,6	148,1	mm
720	80,8	93,8	122,1	134,2	161,7	mm
900	87,6	101,4	131,6	144,5	173,8	mm
1080	93,8	108,4	140,3	153,9	184,8	mm
1440	105,0	121,0	156,0	171,0	205,0	mm

Preglednica 19: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Žusem za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,2	13,1	16,9	18,5	22,3	mm
10	16,6	19,2	25,1	27,6	33,3	mm
15	20,9	24,1	31,6	34,7	42,1	mm
20	24,6	28,3	37,2	41,0	49,7	mm
30	30,3	35,5	46,9	51,7	62,8	mm
45	33,9	41,2	56,8	63,3	78,5	mm
60	36,7	44,4	60,7	67,6	83,6	mm
90	41,0	49,3	66,8	74,3	91,4	mm
120	44,4	53,1	71,6	79,4	97,5	mm
180	49,8	59,1	78,9	87,4	106,8	mm
240	54,0	63,8	84,7	93,6	114,1	mm
300	57,5	67,7	89,5	98,8	120,1	mm
360	60,6	71,1	93,7	103,3	125,4	mm
540	68,2	79,6	103,9	114,3	138,3	mm
720	74,3	86,3	112,1	123,2	148,7	mm
900	79,5	92,1	119,1	130,7	157,5	mm
1080	84,1	97,1	125,3	137,4	165,3	mm
1440	92,0	106,0	136,0	149,0	179,0	mm

Preglednica 20: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Vrenska gorca (Buča) za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,2	13,0	16,9	18,5	22,3	mm
10	16,6	19,2	25,0	27,5	33,2	mm
15	20,8	24,0	31,5	34,7	42,0	mm
20	24,5	28,2	37,1	40,9	49,5	mm
30	30,2	35,4	46,7	51,5	62,6	mm
45	33,7	41,0	56,5	63,1	78,2	mm
60	36,5	44,1	60,4	67,3	83,2	mm
90	40,7	48,9	66,4	73,8	90,8	mm
120	44,0	52,6	71,0	78,7	96,6	mm
180	49,2	58,3	78,1	86,4	105,5	mm
240	53,2	62,8	83,5	92,2	112,4	mm
300	56,5	66,4	88,0	97,1	118,0	mm
360	59,4	69,6	91,9	101,3	122,9	mm
540	66,4	77,3	101,3	111,3	134,6	mm
720	71,8	83,3	108,6	119,2	143,7	mm
900	76,4	88,3	114,7	125,7	151,3	mm
1080	80,3	92,6	120,0	131,4	157,8	mm
1440	87,0	100,0	129,0	141,0	169,0	mm

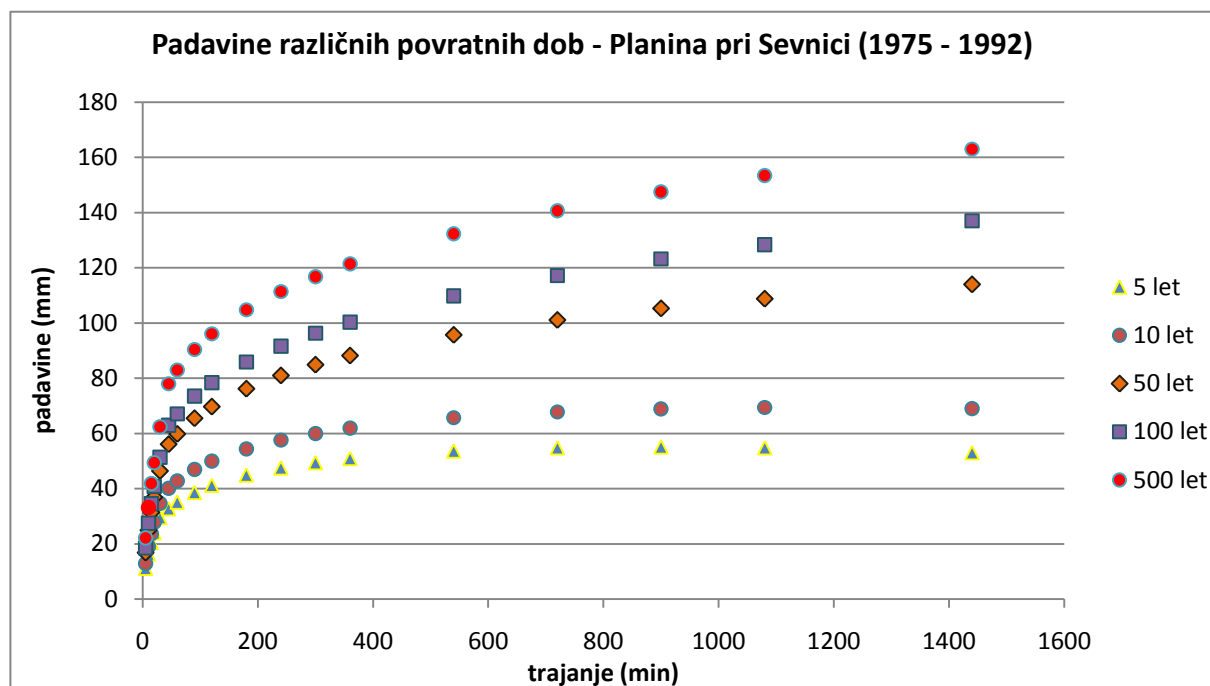
Preglednica 21: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Podsreda za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,2	13,0	16,9	18,5	22,3	mm
10	16,6	19,2	25,0	27,5	33,2	mm
15	20,8	24,0	31,5	34,7	42,0	mm
20	24,5	28,2	37,1	40,9	49,5	mm
30	30,2	35,4	46,7	51,5	62,6	mm
45	33,7	41,0	56,5	63,1	78,3	mm
60	36,5	44,1	60,4	67,3	83,3	mm
90	40,7	48,9	66,4	73,8	90,9	mm
120	44,0	52,6	71,0	78,7	96,7	mm
180	49,2	58,3	78,1	86,4	105,7	mm
240	53,2	62,8	83,5	92,2	112,6	mm
300	56,5	66,4	88,0	97,1	118,3	mm
360	59,4	69,6	91,9	101,3	123,2	mm
540	66,4	77,3	101,3	111,3	135,0	mm
720	71,8	83,3	108,6	119,2	144,2	mm
900	76,4	88,3	114,7	125,7	151,9	mm
1080	80,3	92,6	120,0	131,4	158,6	mm
1440	87,0	100,0	129,0	141,0	170,0	mm

Preglednica 22: V tabeli so prikazane višine padavin (v mm) različnega trajanja in različnih povratnih dob za padavinsko postajo Bizeljsko za obdobje (1975 – 1992)

Trajanje padavin (mm)	Povratna doba					
	5 let	10 let	50 let	100 let	500 let	
5	11,2	13,1	16,9	18,5	22,3	mm
10	16,6	19,2	25,1	27,5	33,3	mm
15	20,9	24,1	31,6	34,7	42,0	mm
20	24,6	28,3	37,2	40,9	49,6	mm
30	30,3	35,4	46,8	51,6	62,7	mm
45	33,9	41,2	56,7	63,3	78,5	mm
60	36,6	44,3	60,6	67,6	83,5	mm
90	41,0	49,1	66,7	74,1	91,3	mm
120	44,4	52,9	71,4	79,2	97,3	mm
180	49,7	58,8	78,7	87,1	106,5	mm
240	53,8	63,4	84,4	93,2	113,7	mm
300	57,3	67,3	89,1	98,3	119,7	mm
360	60,4	70,6	93,2	102,8	124,9	mm
540	67,9	78,8	103,2	113,6	137,6	mm
720	73,8	85,3	111,1	122,2	147,7	mm
900	78,9	90,8	117,8	129,5	156,3	mm
1080	83,3	95,6	123,8	135,9	163,8	mm
1440	91,0	104,0	134,0	147,0	177,0	mm

Spodnji graf (Slika 18) prikazuje grafični prikaz verjetnostne analize padavin (padavine različnih povratnih dob in trajanj) za padavinsko postajo Planina pri Sevnici.



Slika 18: Verjetnostna analiza padavin za padavinsko postajo Planina pri Sevnici



### 6.3 Analiza pretokov

Na obravnavanem porečju Bistrice je le ena vodomerna postaja, in sicer Zagaj I. Redne meritve so se začele izvajati leta 1955. Vodomerna postaja Zagaj se je najprej nahajala 3 km gorvodno od izliva Bistrice v Sotlo. Zaradi sprememb dna struge je bil profil postaje leta 1959 prestavljen za 100 m gorvodno. Leta 1964 pa se je osnovala nova vodomerna postaja Zagaj I še kilometer višje, pred naselje Zagaj (VGI, 1988). Leta 1983 so postajo prestavili še za približno 200 m gorvodno. Šifra postaje Zagaj I je 4790, stacionaža 3,50 km, postavljena je na nadmorski višini 189,923 m, njena prispevna površina pa je 93,70 km<sup>2</sup>. Vodomerna postaja Zagaj I je opremljena z vodomerno letvijo. Mesečni in letni vodostaji so določeni na osnovi vsakodnevnih opazovanj trenutnih vrednosti. Vodostaji so bistvenega pomena, saj so namenjeni predvsem določanju pretokov. Vodomerna letev je postavljena približno 50 m pred cestnim mostom oziroma približno 80 m za prelivnim jezom.

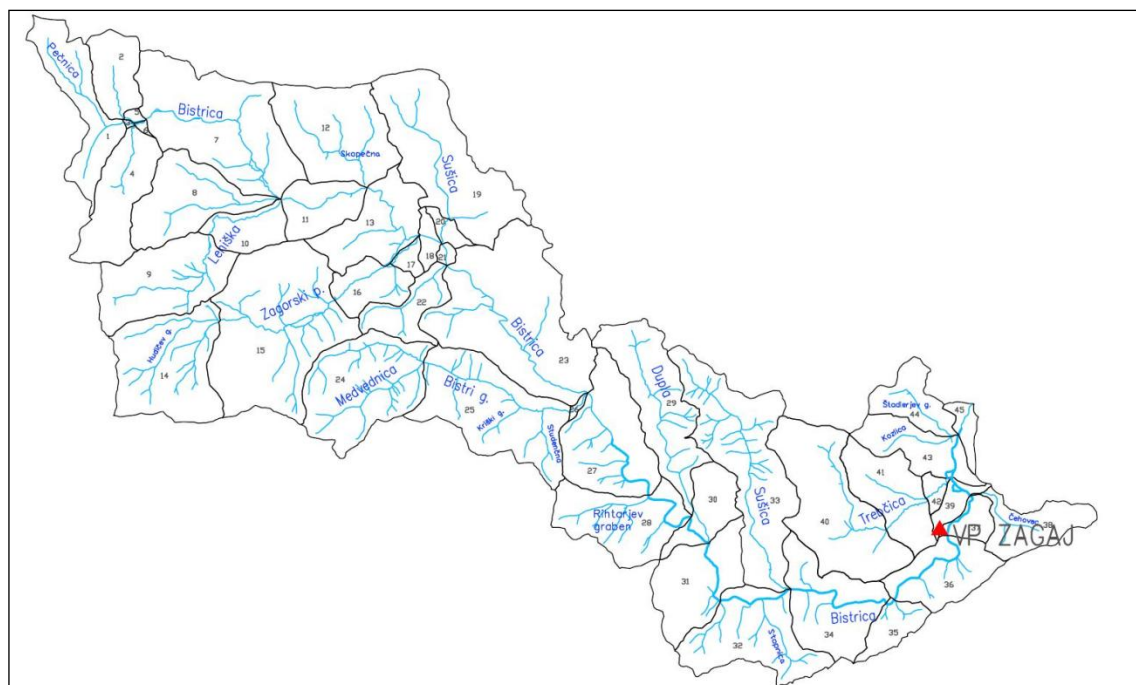


Slika 19: Vodomerna postaja Zagaj I, opremljena z vodomernimi letvami



Slika 20 in Slika 21: Na levi sliki je cestni most, ki se nahaja približno 50 m dolvodno ter na desni sliki prelivni jez približno 80 m gorvodno od vodomerne postaje Zagaj I

Desni breg profila je utrjen, medtem ko je na levem bregu narejen dostop do vode. Breg je razrušen, zaradi česar prihaja v primeru visokih vod do razlitja vode izven korita. Zabeleženje predvsem večjih pretokov je zato moteno. Ker je vodomerna postaja opremljena samo z vodomerno letvijo in ker se meritve vodostaja izvajajo enkrat dnevno je potrebno poudariti, da so zabeležene maksimalne vrednosti visokih vod odvisne tudi od vestnosti opazovalca.

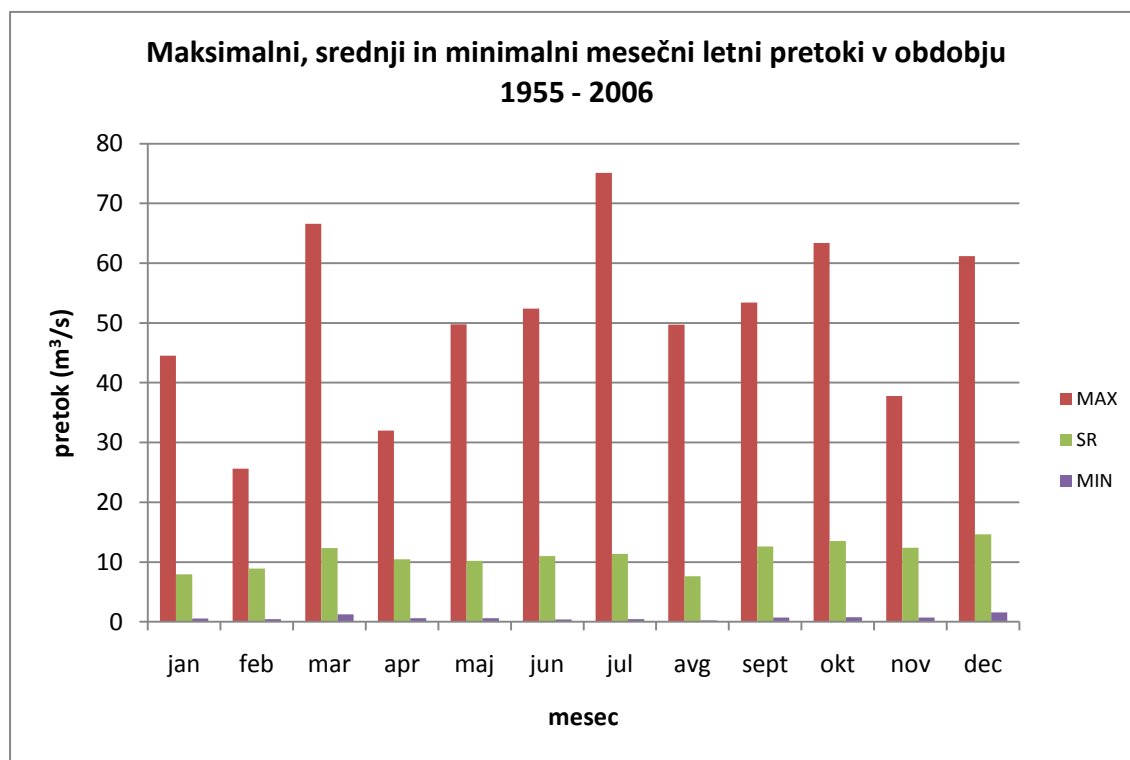


Slika 22: Lokacija vodomerne postaje Zagaj I

### 6.3.1 Analiza pretokov na vodomerni postaji Zagaj I

Merjeni pretoki Bistrice so na razpolago v prerezu vodomerne postaje Zagaj I. Postaja je v upravljanju Agencije RS za okolje. Na razpolago sem imela podatke o pretokih za obdobje od leta 1955 do leta 2006.

Iz merjenih karakterističnih pretokov, to je iz merjenih maksimalnih visokih pretokov vsakega leta je bila narejena osnovna statistična analiza pretokov na vodomerni postaji Zagaj I (Preglednica 23).



Slika 23: Na grafu so prikazani maksimalni, srednji in minimalni zabeleženi mesečni letni pretoki v obdobju 1955 – 2006.

Največji zabeleženi pretok v obravnavanem obdobju je bil julija leta 1964, in sicer 75,1 m<sup>3</sup>/s. Po Weibullovi porazdelitvi bi bil to pretok s približno 50-letno povratno dobo.

V spodnji preglednici 23 so podatki o maksimalnih letnih pretokih za obdobje izvajanja meritev 1955 – 2006 ter osnovna statistična analiza pretokov – najbolj značilna in pogosto uporabljena karakteristična števila, ki nam prikazujejo lastnosti statističnih populacij (Brilly in Šraj, 2005), v tem primeru pretokov.

Preglednica 23: Podatki o pretokih z vodomerne postaje Zagaj I in osnovna statistična analiza pretokov

LETO	Qvk (m <sup>3</sup> /s)	LETO	Qvk (m <sup>3</sup> /s)
1955	28,6	1981	24,4
1956	30,5	1982	40,6
1957	47,3	1983	17,6
1958	23,4	1984	66,6
1959	52,4	1985	33,3
1960	17,1	1986	27,5
1961	49,8	1987	43,7
1962	30,8	1988	43,7
1963	14,2	1989	49,7
1964	75,1	1990	20,5
1965	33,0	1991	30,4
1966	71,3	1992	25,4
1967	27,7	1993	16,4
1968	31,5	1994	36,0
1969	27,7	1995	39,9
1970	16,3	1996	34,9
1971	12,4	1997	33,2
1972	24,0	1998	53,4
1973	18,4	1999	53,4
1974	57,4	2000	20,1
1975	15,9	2001	44,5
1976	16,7	2002	46,3
1977	26,7	2003	20,6
1978	22,9	2004	35,2
1979	27,0	2005	34,1
1980	63,4	2006	39,3

povprečje	34,6
mediana	31,15
mod	27,7
st.deviacija	15,4
varianca	237,9
Kurtosis	0,102
asimetrija	0,837
razpon	62,7
min	12,4
max	75,1
vsota	1601,9
št.podatkov	52

## 6.3.2 Verjetnostna analiza pretokov s petimi različnimi teoretičnimi porazdelitvami

Za verjetnostno analizo obstaja vrsta teoretičnih verjetnostnih porazdelitev. Najpogosteje uporabljene v hidrologiji so binomska porazdelitev, Poissonova porazdelitev, enakomerna porazdelitev, trikotna porazdelitev, Gaussova ali normalna porazdelitev, logaritemska normalna porazdelitev, porazdelitev gamma, Pearsonova III in logaritemska Pearson III porazdelitev, Gumbelova porazdelitev, Hi – kvadrat porazdelitev ter Studentova t porazdelitev (Brilly in Šraj, 2005). V spodnji preglednici 24 so rezultati izračunanih pretokov s petimi različnimi porazdelitvami ter verjetnostna analiza visokih vod s programom, ki ima vgrajeno Log – Pearson III porazdelitev.

Preglednica 24: Rezultati verjetnostne analize maksimalnih dnevnih letni pretokov v obdobju 1955 – 2006. V tabeli so izračunani pretoki različnih povratnih dob, izračunani s petimi različnimi porazdelitvenimi funkcijami ter programom, ki naredi verjetnostno analizo po Log-Pearson III porazdelitvi.

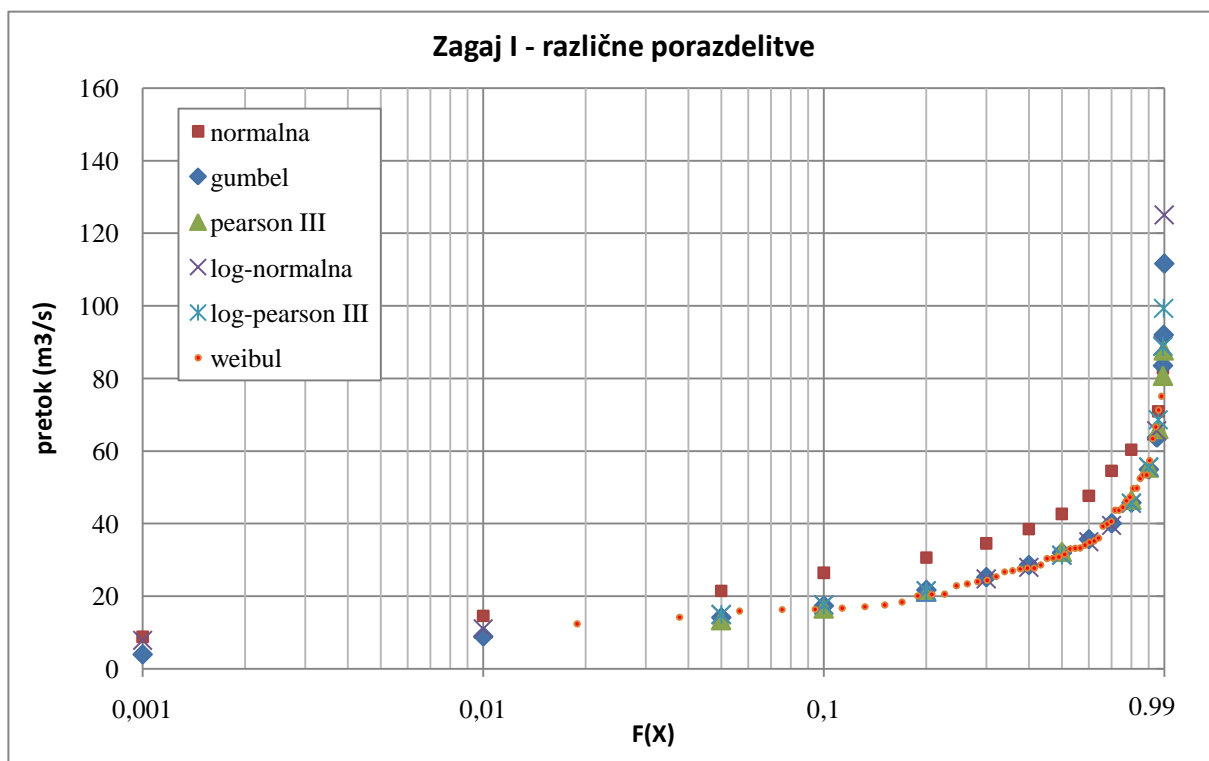
Povratna doba	Porazdelitev					
	Normalna	Log-normalna	Gumbel	Pearson III	Log-pearson III	Log-pearson III (program)
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2	35	31	32	32	31	31
5	48	46	46	47	46	46
10	55	56	55	55	55	55
20	60	66	64			65
25				66	68	68
50						78
100	71	89	84	81	89	89
200			92	88	99	99
500						114

Omejen vzorec 52 podatkov (od leta 1955 do 2006) o pretokih z vodomerne postaje Zagaj I sem uredila od najmanjše vrednosti do največje vrednosti ter določila verjetnost posameznega elementa. Za verjetnostno analizo sem uporabila empirično porazdelitveno funkcijo po Weibull – u. Z enačbo

$$\text{---} \quad (16)$$

kjer  $m$  pomeni položaj podatka in  $N$  število podatkov v vzorcu, sem določila verjetnost posameznega podatka o pretoku, nato pa sem poiskala teoretično porazdelitev, ki se mu najbolj prilagaja (Brilly in Šraj, 2005).

Na spodnjem grafu (Slika 24) vidimo, da se Weibull – ovi empirični porazdelitvi najbolj prilagajajo logaritemska normalna in logaritemska Pearson III porazdelitev ter tudi Gumbel - ova in Pearson III, najmanj pa normalna porazdelitev.



Slika 24: Verjetnostna analiza pretokov Bistrice na vodomerni postaji Zagaj I s petimi različnimi porazdelitvami

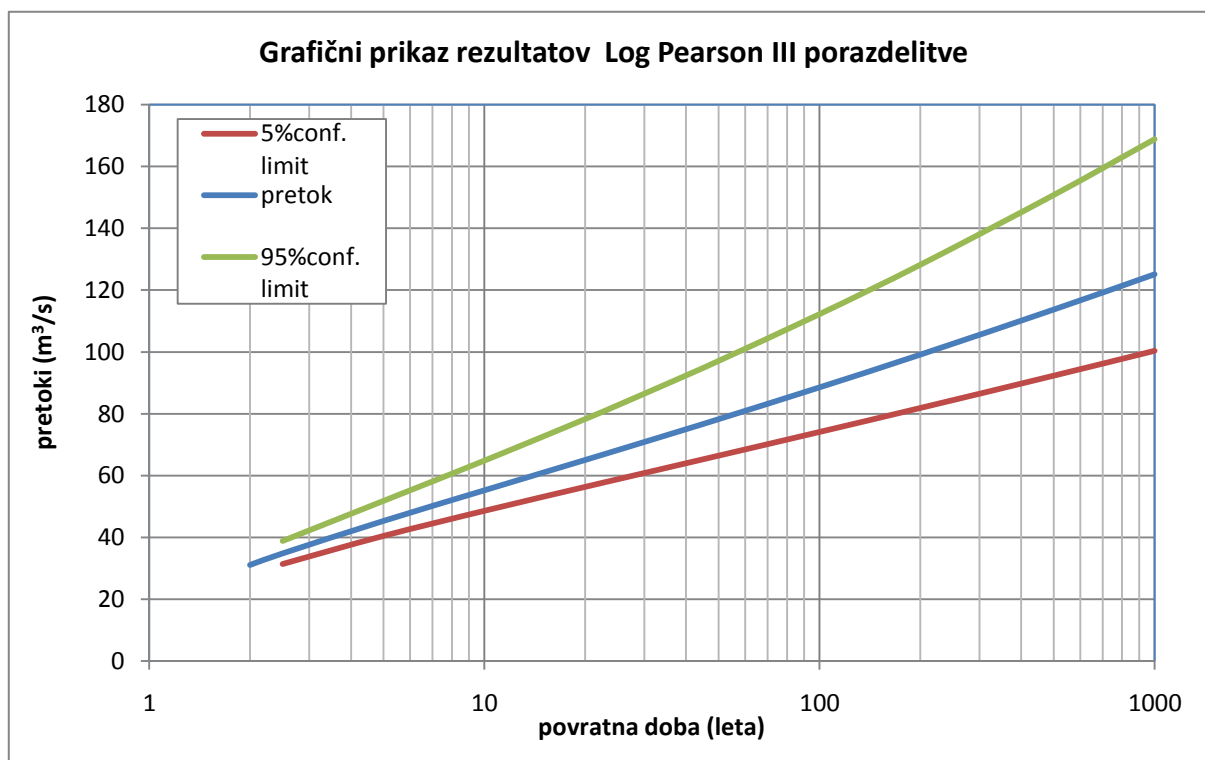
Meritve pretokov na vodomerni postaji Zagaj I se izvajajo enkrat dnevno in sicer ob 7. uri zjutraj. V času visokih voda opazovalec meritev izvede tudi večkrat dnevno in je vrednost, pripisana posameznemu dnevu, v resnici podatek izračunan iz teh večjih opazovanj. Pogosto je mesečna konica ravno odčitek enega od teh izrednih opazovanj in je zato kot mesečni maksimum vpisana v letni pregled. Maksimumu je v mesečnem pregledu pripisana ura 7:00. Glede na to, da je postaja opremljena samo z letvijo, obstaja tudi verjetnost da opazovalec ne zabeleži dejanskega maksimalnega vodostaja. Visoke vode na postaji tako niso merjene dovolj natančno, da bi verjetnostna analiza letnih ekstremov dala dobre rezultate. Verjetnostne analize visokih vod nam zato služijo le za orientacijo in analizo pojavov. Vrednosti verjetnostne analize so lahko zaradi načina meritve in pa zaradi kratkega obdobja meritev lahko tudi drugačne.

## 6.3.3 Verjetnostna analiza visokih vod s programom

V spodnji preglednici 25 so prikazane vrednosti rezultatov analize visokih vod za obdobje 1955 – 2006 s programom VERPEARS.EXE, ki izračuna pretoke različnih povratnih dob po Log – Pearson III porazdelitvi. Primerjava izračunanih pretokov je v preglednici 24.

Preglednica 25: Vrednosti pretokov za različne povratne dobe

Pov. doba	5%conf. limit	Pretok (m <sup>3</sup> /s)	95%conf. limit
2	0	31	0
5	41	45	52
10	49	55	65
20	56	65	78
25	59	68	83
40	64	75	92
50	66	78	97
100	74	89	112
500	92	114	151



Slika 25: Grafični prikaz rezultatov Log - Pearsonove III porazdelitve izračunanih pretokov različnih povratnih dob

## 7 MODEL POREČJA BISTRICE

### 7.1 Vhodni podatki

#### 7.1.1 Padavine

Vhodni podatki v model so padavine. V model sem podala urne vrednosti padavin za izbrane padavinske situacije iz leta 1980 in 1989 (ARSO, 2009). Podatke o padavinah vnašamo v program po dveh postopkih. V prvem postopku je merodajna ena padavinska postaja. Po drugem postopku upoštevamo podatke z več padavinskih postaj in pri tem upoštevamo vpliv posamezne postaje, ki ga določimo s t.i. utežnim faktorjem. Izbrala sem slednjo metodo, ker sem imela na voljo tudi vsote padavin na ostalih obravnavanih padavinskih postajah. V spodnjih preglednicah 26 in 27 so prikazane dnevne vrednosti padavin izmerjenih na posameznih padavinskih postajah.

Porazdelitev padavin oziroma histogram padavin s postaje Planina pri Sevnici sem v primeru padavinske situacije iz leta 1980 in 1989 privzela za ostale padavinske postaje.

Preglednica 26: Vrednosti dnevni padavin v mm na posameznih padavinskih postajah

Datum	PADAVINSKE POSTAJE					
	Planina pri Sevnici P (mm)	Ložice P (mm)	Žusem P (mm)	Vrenska gorca P (mm)	Podsreda P (mm)	Bizeljsko P (mm)
10/7/1980						
10/8/1980	1,4	1,1	1,6	7,0	3,0	0,8
10/9/1980	108,5	89,7	109,5	111,0	90,9	90,2

Preglednica 27: Vrednosti dnevni padavin v mm na posameznih padavinskih postajah

Datum	PADAVINSKE POSTAJE						
	Planina pri Sevnici P(mm)	Ložice P(mm)	Žusem P(mm)	Vrenska gorca (Buča) P(mm)	Podsreda P(mm)	Bizeljsko P(mm)	Lisca P(mm)
8/9/1989	76,4	96,2	54,6	67,1	63,6	44,4	55,0
8/10/1989	7,4	6,1	14,6	5,8	5,4	0,8	0,3



7.1.2 Koeficienti CN in začetne izgube  $I_a$ 

V spodnji preglednici 28 so prikazani izbrani CN na podlagi preglednic 2, 3, 4 in odtočni potencial na podlagi preglednice 1. Preglednica 29 pa prikazuje deleže posamezne rabe tal na podporečju ter izračunani enotni koeficienti CN in začetne izgube  $I_a$ , ki sem jih uporabila za vhodne podatke v hidrološki model Bistrice. Raba in pokrovnost tal je bila določena na podlagi tematske karte pokrovnosti tal Corine Land Cover za Slovenijo (GURS). Analiza posamezne rabe tal je bila narejena s programskim orodjem ArcMap.

Preglednica 28: Izbrani koeficienti CN za tipe pokrovnosti tal, ki se nahajajo na porečju Bistrice ter odtočni potencial zemljine

Tip pokrovnosti tal	Izbrani CN	Odtočni potencial
gozd (povprečni pogoji)	66	B
mešane.kmet.pov. (travnik, grmičevje, plantaže, sadovnjaki)	68	B
njivske pov. (nizka žita, dobri pogoji)	75	B
pašniki (povprečni pogoji)	74	B
urbano območje	85	B
gozd (povprečni pogoji)	60	A
mešane.kmet.pov. (travnik, grmičevje, plantaže, sadovnjaki)	63	A
njivske pov. (nizka žita, dobri pogoji)	68	A
pašniki (povprečni pogoji)	72	A
urbano območje	80	A

Preglednica 29: Delež posamezne rabe tal in izračunani enotni koeficient CN ter izračunane začetne izgube Ia

Podporečje	Vodotok	Površina [km <sup>2</sup> ]	Delež gozda (%)	Meš. kmet. pov. (%)	Njivske pov. (%)	Delež pašnikov (%)	Urbano (%)	CN	Ia [mm]
1	Pečnica s pritokom do propusta	2,55	39,70	52,47	0,00	7,84	0,00	68	24,3
2	levi pritok Bistrice do propusta	1,48	7,58	92,42	0,00	0,00	0,00	68	24,1
3	Pečnica od propusta do Bistrice	0,02	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	68	23,9
4	Bistrica do Pečnice	2,55	5,90	57,84	0,00	36,26	0,00	70	21,7
5	levi pritok Bistrice od propusta do sotočja z Bistrico	0,09	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	68	23,9
6	Bistrica do sotočja z levim pritokom	0,05	33,99	65,70	0,00	0,32	0,00	67	24,6
7	Bistrica do Leniške (Reber)	5,73	17,06	73,50	0,00	9,44	0,00	68	23,7
8	desni pritok Bistrice do Leniške (Reber)	2,90	0,00	57,03	0,00	42,97	0,00	71	21,2
9	Leniška (do Podloge)	3,49	45,34	50,33	0,00	4,33	0,00	67	24,6
10	Leniška (od Podloge) do Bistrice	1,20	43,93	56,08	0,00	0,00	0,00	67	24,9
11	Bistrica od Leniške do levega pritoka (Draga)	1,54	23,93	76,07	0,00	0,00	0,00	68	24,4
12	Skopečna	3,88	2,77	94,82	0,00	2,41	0,00	68	23,8
13	Bistrica (od levega pritoka) do Zagorskega potoka (Lesično)	2,51	33,88	51,53	0,00	14,59	0,00	68	23,7
14	Zagorski p. s Hudičevim grabnom (do Podloga pod Bohorjem)	4,13	92,90	7,08	0,00	0,02	0,00	66	26,0
15	Zagorski potok (do Bobovca)	7,17	58,54	37,13	0,00	4,33	0,00	67	24,9
16	Zagorski potok (od Bobovca do Dvorška)	1,30	97,34	2,66	0,00	0,00	0,00	66	26,1
17	Zagorski potok do Bistrice (Lesično)	0,29	56,94	43,06	0,00	0,00	0,00	67	25,2
18	Bistrica od Zagorskega potoka do Sušice	0,37	49,16	30,95	0,00	19,89	0,00	68	23,7
19	Sušica (do Kostajnska)	5,15	14,96	53,08	0,00	31,97	0,00	70	22,2
20	Sušica do Bistrice	0,33	35,42	9,87	0,00	54,71	0,00	71	21,2
21	Bistrica od Sušice do desnega pritoka (Založnik)	0,13	92,59	0,00	0,00	7,41	0,00	67	25,5
22	desni pritok Bistrice (Založnik)	1,37	100,40	0,00	0,00	0,00	0,00	66	25,9
23	Bistrica (od desnega pritoka) do Bistrega grabna (Kozje)	7,20	43,49	41,78	0,00	13,06	1,67	68	23,7
24	Medvednica in Bistri g. (sotočje)	4,26	94,10	0,00	0,00	5,91	0,00	66	25,6
25	Bistri graben (od sotočja z Medvednico do naselja)	4,63	88,22	5,58	0,00	6,20	0,00	61	32,6
26	Bistri graben do Bistrice (Kozje)	0,08	38,32	0,00	0,00	0,00	61,68	72	19,4
27	Bistrica (Kozje) do Rihtarjevega grabna	3,68	51,75	44,78	0,00	0,00	3,47	68	24,4
28	Bistrica in Rihtarjev graben (do Vrbja)	3,02	51,64	44,49	0,00	3,88	0,00	67	24,8
29	Dupla (do Bistrice)	3,53	59,13	24,33	0,00	16,55	0,00	68	24,1
30	Bistrica (Podsreda)	1,45	9,18	90,82	0,00	0,00	0,00	68	24,1
31	Bistrica (pod Podsredo)	2,76	41,38	50,48	0,00	8,15	0,00	68	24,3
32	Bistrica (Podsreda) do Sušice	3,41	87,58	12,42	0,00	0,00	0,00	66	25,9
33	Sušica do Bistrice	5,39	67,33	31,04	0,00	1,63	0,00	67	25,3
34	Bistrica (od Sušice) do profila 34	3,07	73,43	26,52	0,00	0,05	0,00	67	25,5
35	Bistrica od profila 34 do 35	0,91	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66	26,2
36	Bistrica (od profila 35) do VP Zagaj	2,17	95,50	4,51	0,00	0,00	0,00	66	26,1
37	Bistrica do sotočja s Čehovcem	0,63	53,88	46,12	0,00	0,00	0,00	67	25,1
38	Čehovec do Bistrice	1,68	92,01	8,00	0,00	0,00	0,00	66	26,0

... se nadaljuje

... nadaljevanje

39	Bistrica do sotočja s Trebčico	0,52	1,46	88,59	9,95	0,00	0,00	69	23,2
40	Trebčica (Trebče)	4,77	10,91	79,24	0,00	9,85	0,00	68	23,5
41	Trebčica (od profila 40 do 41)	2,32	4,96	90,09	0,00	4,95	0,00	68	23,7
42	Trebčica do Bistrice	0,28	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	68	23,9
43	Bistrica od profila 42 z Kozlenco do Štadlerjevega g.	1,82	0,00	85,34	14,66	0,00	0,00	69	22,8
44	Štadlerjev graben do Bistrice	1,38	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	68	23,9
45	Bistrica (od profila 43) do izliva v Sotlo	0,46	0,00	54,66	45,35	0,00	0,00	71	20,6

### 7.1.3 Propagacija vala – metoda Muskingum – Cunge

Metoda Muskingum – Cunge v modelu zahteva naslednje parametre: dolžina odseka L, padec vodotoka S, tip korita in Manningov koeficient trenja. V primeru sestavljenega korita je potrebno podati vrednost Manningovega koeficienta v osnovnem koritu ter vrednosti za levo in desno poplavno polje. V spodnji preglednici 30 so prikazani zahtevani parametri za izbrano metodo propagacije vala po koritu.

Preglednica 30: Vrednosti parametrov za propagacijo vala po koritu

Podporečje	Oznaka propagacije	Dolžina odseka L (m)	Padec vodotoka S (m/m)	Tip korita	$n_g$ levo	$n_g$ korita	$n_g$ desno
3	PV1-3	228	0,0200	sestavljeno korito	0,09	0,048	0,09
6	PV3-4	293	0,0110	sestavljeno korito	0,09	0,05	0,09
7	PV4-5	4184	0,0200	sestavljeno korito	0,07	0,045	0,07
11	PV5-6	1983	0,0076	sestavljeno korito	0,07	0,045	0,07
13	PV6-7	2005	0,0080	sestavljeno korito	0,07	0,045	0,07
18	PV7-8	524	0,0040	sestavljeno korito	0,07	0,042	0,07
21	PV8-9	462	0,0040	sestavljeno korito	0,08	0,045	0,08
23	PV9-10	4666	0,0060	sestavljeno korito	0,088	0,045	0,088
27	PV10-11	2938	0,0054	sestavljeno korito	0,06	0,043	0,077
28	PV11-12	1697	0,0074	sestavljeno korito	0,06	0,045	0,06
30	PV12-13	750	0,0014	sestavljeno korito	0,08	0,043	0,08
31	PV13-14	1387	0,0047	sestavljeno korito	0,08	0,045	0,08
32	PV14-15	1559	0,0054	sestavljeno korito	0,08	0,04	0,08
34	PV15-16	2451	0,0060	sestavljeno korito	0,08	0,04	0,08
35	PV16-17	192	0,0052	sestavljeno korito	0,08	0,042	0,08
36	PV17-18	2287	0,0039	sestavljeno korito	0,08	0,043	0,08
37	PV18-19	1072	0,0089	sestavljeno korito	0,06	0,04	0,08
39	PV19-20	560	0,0089	sestavljeno korito	0,06	0,04	0,077
43	PV20-1f	1058	0,0064	sestavljeno korito	0,085	0,043	0,085
45	PV1f-OUT	731	0,0036	sestavljeno korito	0,085	0,048	0,085

## 7.2 Padavinski situaciji in odtok padavin

Za boljše razumevanje hidrološkega dogajanja na povodju Bistrice sta bili izbrani in obdelani dve padavinski situaciji. Prva izbrana padavinska situacija je bila od 8. 10. do 9. 10. 1980 z maksimalnim zabeleženim vodostajem 302 cm (kar iz pretočne krivulje pomeni pretok  $64,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ter vsoto padlih padavin 117,7 mm. Druga izbrana situacija je trajala od 8. 8. do 9. 8. 1989 z maksimalnim zabeleženim vodostajem 220 cm (oziroma pretok  $49,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ter vsoto padavin 83,8 mm. Pretok vode se določi na podlagi izmerjenega vodostaja in pretočne krivulje, ki je izdelana za prerez korita pri vodomerni postaji.

V spodnji preglednici 31 sta izbrani padavinski situaciji, datum in ura meritve, maksimalni pretok, vsota padavin ter padavinska postaja za katero sem pridobila urne vrednosti padavin. Podatke o padavinah in vodostajih je posredovala Agencija RS za okolje. Podatki o padavinah in vodostaju so bili uporabljeni za določitev visokovodnega vala ter umerjanje hidrološkega modela.

Preglednica 31: Izbrani padavinski situaciji z zabeleženimi pretoki na vodomerni postaji Zagaj I ter izmerjenimi padavinami na padavinski postaji Planina pri Sevnici

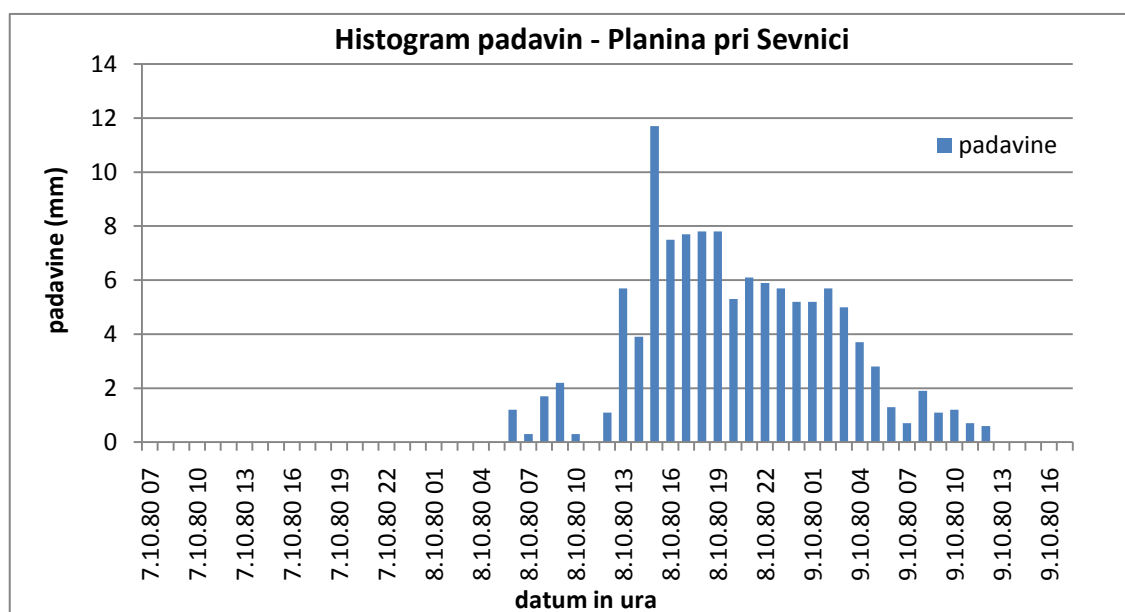
Datum in ura zabeleženega max. pretoka	Qmax ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Vsota padavin (mm)	Padavinska postaja
9.10.1980 7.00	63,4	117,7	Planina pri Sevnici
9.8.1989 7.00	49,7	83,8	Planina pri Sevnici

## 7.2.1 Padavinska situacija 8. 10. do 9. 10. 1980

Prve padavine so bile zabeležene 8.10. ob 6. uri in so trajale do 9.10. do 11 ure. Na grafu histograma padavin (Slika 26) in v preglednici urnih padavin od 8. do 9. oktobra 1980 (Preglednica 32) so prikazane padavine, ki so povzročile maksimalni odtok. Maksimalne 24-urne padavine v zabeleženem obdobju so dosegle vrednost 110,8 mm, kar pomeni padavine z 20-letno povratno dobo. Celotna količina padavin, ki je padla v 39 urah je znašala 117,0 mm, kar pomeni padavine s povratno dobo med 20 in 50 let. Porazdelitev padavin je trikotne oblike, s poudarjenim maksimumom v prvi četrtini trajanja padavin. Pred padavinami 8. in 9. oktobra ni bilo padavin, prav tako jih ni bilo v zadnjem tednu v septembru. Tla na povodju predhodno niso bila namočena. 8.10. ob 7. uri je bil zabeležen vodostaj 64 cm, ki je začel naraščati, ob 17. uri je narastel že na 106 cm. Naslednja meritev vodostaja je bila šele 9.10. ob 7. uri zjutraj in sicer 302 cm, kar iz pretočne krivulje pomeni pretok  $63,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . 10.10. Ob 7. uri je vodostaj že upadel na 106 cm.

Preglednica 32: Urne padavine na padavinski postaji Planina pri Sevnici od 8. do 9. oktobra 1980

Urne padavine od 8. do 9. oktobra 1980 za padavinsko postajo Planina pri Sevnici v mm																								
Dan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8 10	0	0	0	0	0	1,2	0,3	1,7	2,2	0,3	0	1,1	5,7	3,9	12	7,5	7,7	7,8	7,8	5,3	6,1	5,9	5,7	5,2
9 10	5,2	5,7	5	3,7	2,8	1,3	0,7	1,9	1,1	1,2	0,7	0,6	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0,1	0	0	0	0

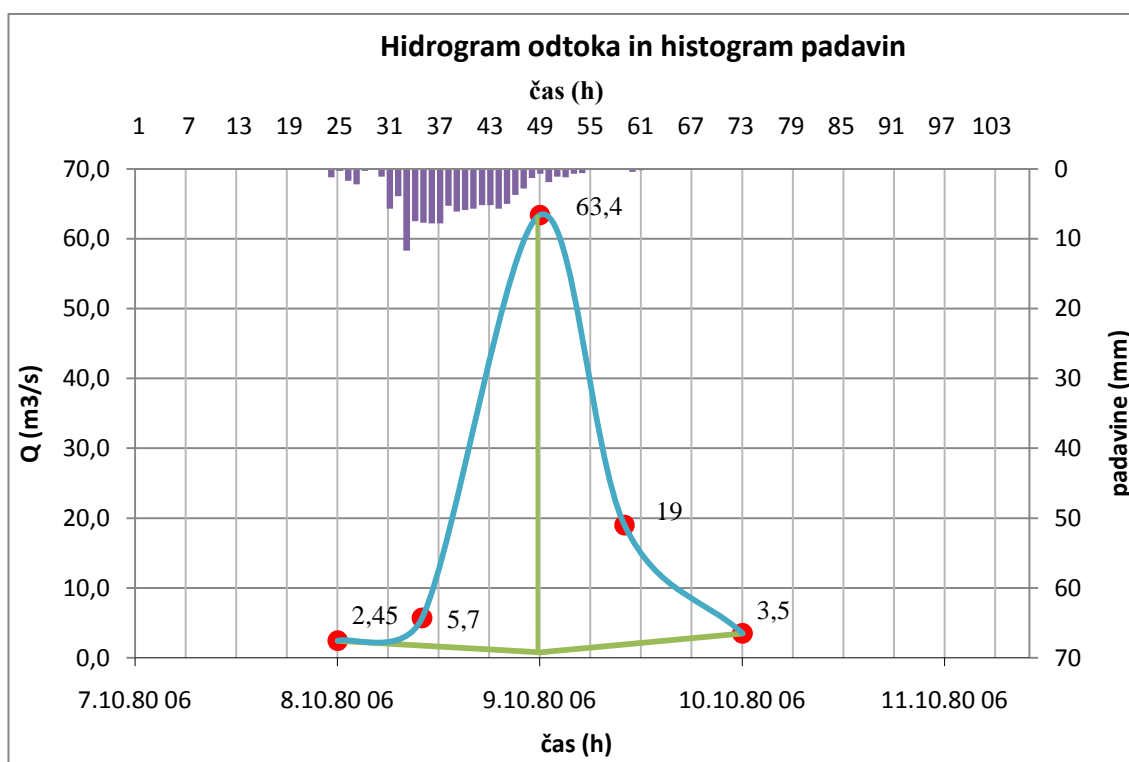


Slika 26: Histogram urnih vrednosti padavin

Preglednica 33: Dan in ura izmerjenega vodostaja ter iz pretočne krivulje pripadajoči pretok

Dan in ura	Vodostaj (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)
8.10.80 07	64	2,45
8.10.80 17	106	5,7
9.10.80 07	302	63,4
9.10.80 17	180	19,0
10.10.80 07	106	3,5

Na podlagi podatkov o izmerjenem vodostaju ter pretoku (Preglednica 33), sem izrisala spodnji graf (Slika 27). Hidrogram odtoka je napet čez diskretne točke (meritve). Vmesnih podatkov ni bilo na voljo, ker je vodomerna postaja opremljena le z vodomerno letvijo. Bazni odtok sem določila s tri točkovno metodo.



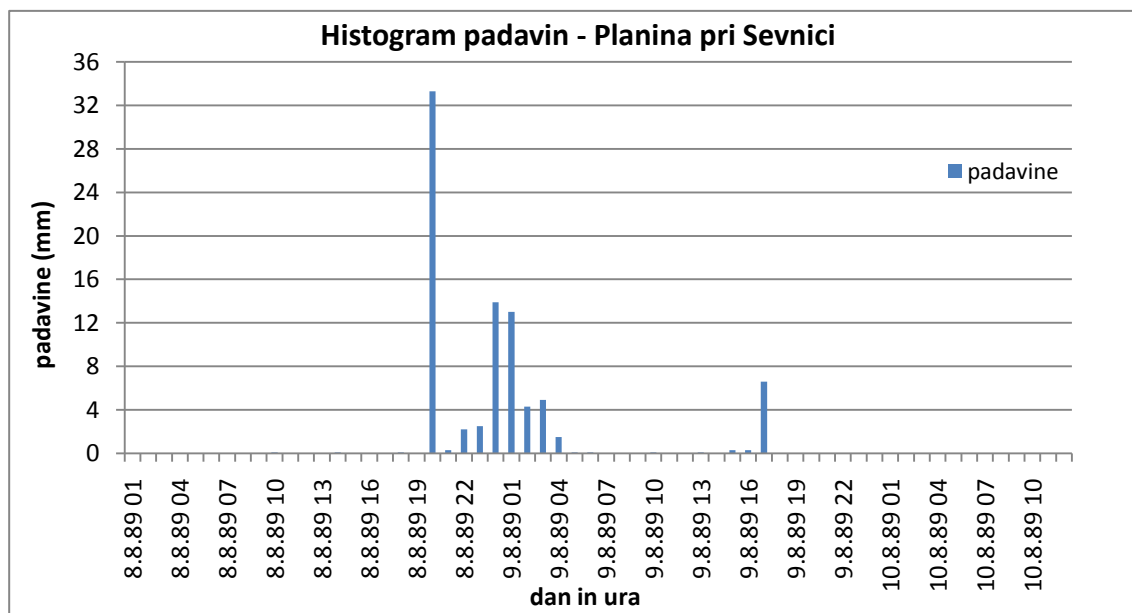
Slika 27: Hidrogram odtoka ter določen bazni odtok in histogram padavin za padavinsko situacijo 8. 10. do 9. 10. 1980

## 7.2.2 Padavinska situacija 8. 8. do 9. 8. 1989

Iz histograma padavin (Slika 28) vidimo, da gre za burno poletno vremensko dogajanje z izdatnimi nalivi ob nevihtah, ki se običajno odraža tudi v hitrem in silovitem odtoku. 8. avgusta je v eni uri padlo 33,3 mm padavin. Ostalih 50,2 mm je padlo v naslednjih 15 urah s še dvema intenzivnima urnima nalivoma po 13,0 mm padavin. Od 7. ure zjutraj (8.8.89) in do naslednjega dne do 7. ure je padlo 76,4 mm padavin. Skupaj od 8.8. do 9.8. je padlo 83,8 mm padavin. Vodostaj je v 24 urah narasel s 6 cm na 220 cm, kar pomeni pretok  $49,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . 10.8.89 je vodostaj upadel na 30 cm oziroma  $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Preglednica 34: Urne vrednosti padavin od 8. do 9. avgusta 1989 za postajo Planina pri Sevnici v mm

Urne padavine od 8. do 9. avgusta 1989 za padavinsko postajo Planina pri Sevnici v mm																								
Dan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0	0,1	0	33,3	0,3	2,2	2,5	13,9
9 8	13	4,3	4,9	1,5	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0,3	0,3	6,6	0	0	0	0	0	0	0

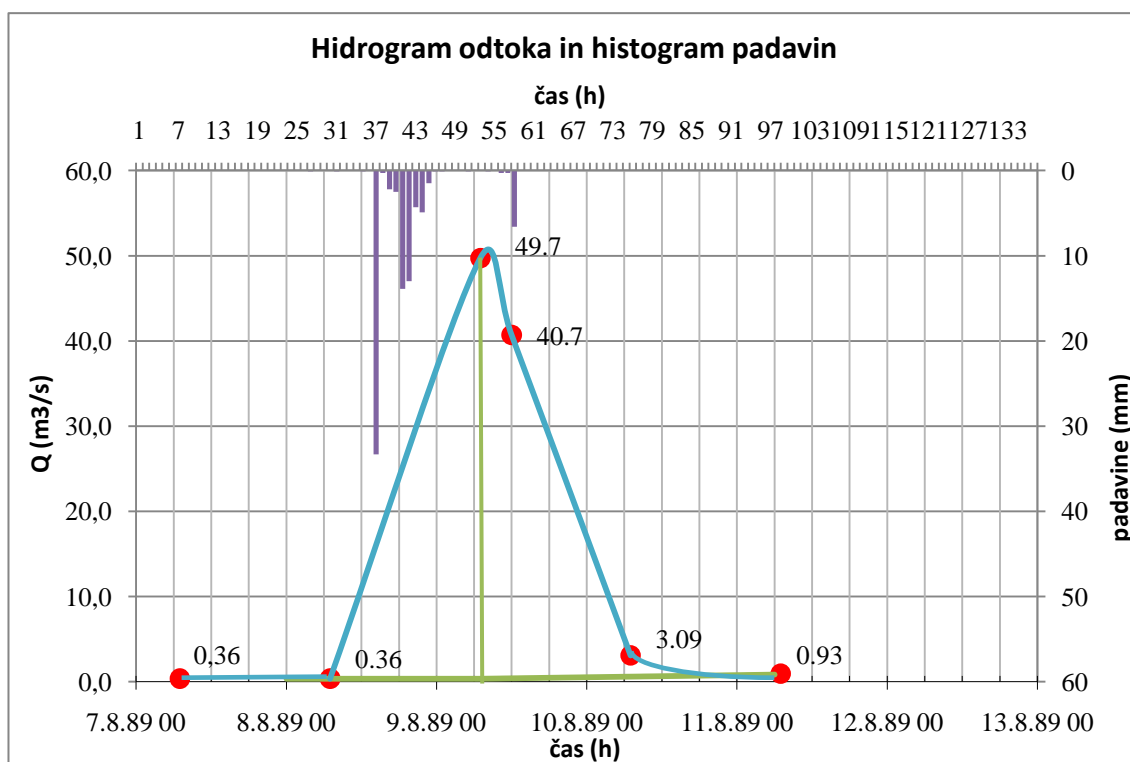


Slika 28: Histogram urnih vrednosti padavin

Preglednica 35: Dan in ura izmerjenega vodostaja ter iz pretočne krivulje pripadajoči pretok

Dan in ura	Vodostaj (cm)	Q (m <sup>3</sup> /s)
7.8.89 07	6	0,36
8.8.89 07	6	0,36
9.8.89 07	220	49,7
9.8.89 12	190	40,7
10.8.89 07	30	3,09

Na podlagi podatkov o izmerjenem vodostaju ter pretoku (Preglednica 35), sem izrisala spodnji graf (Slika 29). Hidrogram odtoka je napet čez diskretne točke (meritve). Bazni odtok sem določila s tri točkovno metodo.



Slika 29: Hidrogram odtoka ter določen bazni odtok in histogram padavin za padavinsko situacijo 8. 8. do 9. 8. 1989



### 7.3 Umerjanje modela in rezultati

V primeru v diplomski nalogi sem model umerila na osnovi znanih padavin in pretokov na območju porečja Bistrice. Na voljo sem imela izbrani dve padavinski situaciji, opisani sta v poglavju 7.2. Model lahko umerjamo ročno ali pa s programom, ki že vsebuje vgrajen avtomatski paket za umerjanje. Pri postopku umerjanja, program primerja izračunani hidrogram odtoka z opazovanim hidrogramom.

Na samem območju porečja Bistrice imamo samo eno vodomerno postajo (Zagaj I), ki je opremljena z vodomerno letvijo. Meritve vodostaja se izvajajo enkrat dnevno, ob 7. uri zjutraj ter v času visokih voda tudi večkrat dnevno. Kljub temu, imamo za samo avtomatsko umerjanje modela na podlagi hidrograma odtoka premalo podatkov. Poleg tega vrednosti zabeležene ob izmerjeni uri niso nujno tudi maksimalne vrednosti. Oblika visokovodnega vala je odvisna tudi od predhodnih pogojev (predhodnih padavin in vlažnosti zemljine, časa trajanja padavin, jakosti in razporeditve padavin, rabe tal, in tipa zemljine, lokalnega naklona terena, itd.) oziroma samega dogodka, ki je v vsakem primeru edinstven. Vsi ti različni dejavniki delujejo istočasno v različnih kombinacijah.

Ker vodomerna postaja ni opremljena z limnigrafom, za izbrane hidrološke podatke nimamo oblike hidrograma, imamo le diskretne vrednosti. Kakšna je bila oblika visokovodnega vala med posameznimi meritvami vodostaja lahko le predpostavimo in sklepamo na podlagi razporeditve, trajanja in intenzitete padlih padavin. Vendar se tudi pri meritvah padavin pojavi problem. Padavinske postaje so opremljene z ombrometrom, zato imamo na voljo le podatke o dnevni vrednosti padavin. Izjema sta postaji Planina pri Sevnici in postaja Lisca. Lahko se tudi zgodi lokalna nevihta, ki jo mreža padavinskih postaj na območju ne zabeleži in imamo zato nižje zabeležene dnevne vrednosti padavin.

Pri določitvi padavin za povodje ločimo dva pristopa. Prvi način obdelave je tako imenovana metoda izohiet, drugi način pa metoda simetral oziroma metoda Thiessenovih poligonov. Pri prvem načinu določimo linije vplivnic (izohiete) z isto višino padavin, pri drugem načinu pa vplivno območje za vsako padavinsko postajo. Tako pri enem kot pri drugem načinu

spreminjamo točkovno vrednost padavine v ploščinsko. Pri določitvi padavin za povodje Bistrice sem uporabila drugo metoda, ki je že opisana v poglavju 2.2.1.3.

### 7.3.1 Rezultati umerjanja

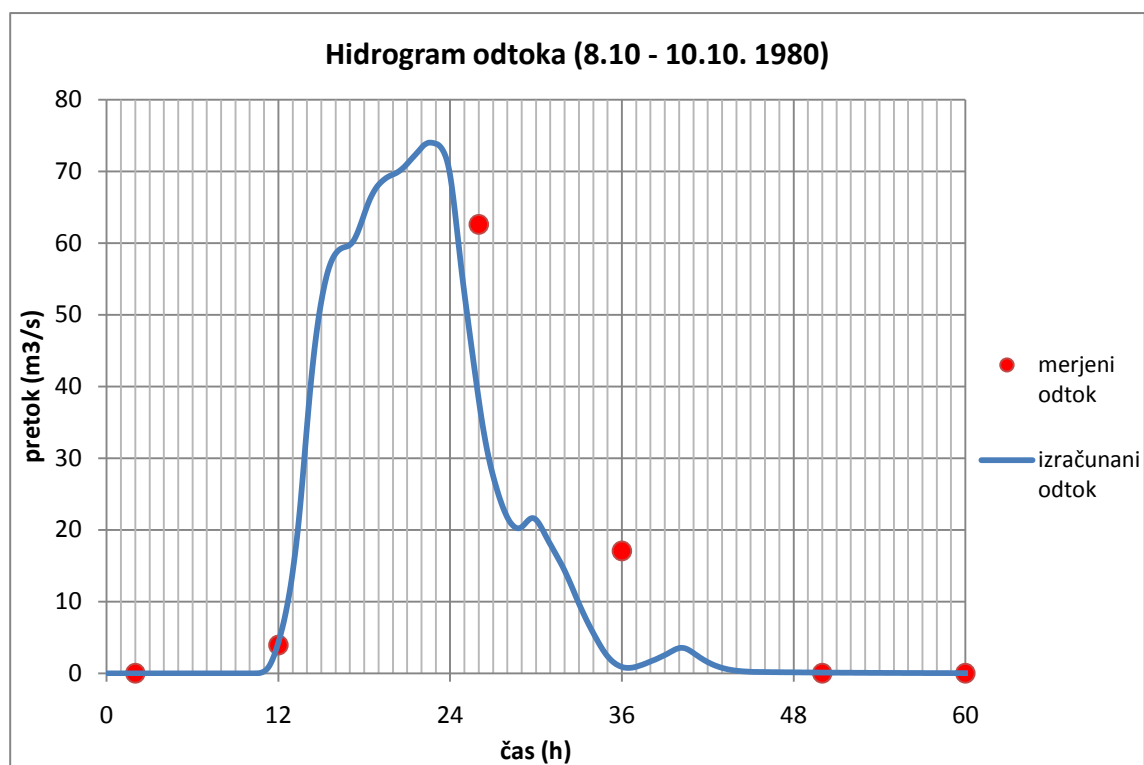
Rezultat umerjenega hidrološkega modela Bistrice prikazujeta spodnja dva grafa (Slika 30 in Slika 31). Model je bil umerjen glede na podatke o izmerjenem vodostaju oziroma na podlagi pretoka določenega iz pretočne krivulje, ki velja za prerez pri vodomerni postaji Zagaj I. Z rdečimi točkami so prikazane vrednosti merjenega pretoka, modra črta pa prikazuje izračunani hidrogram odtoka. Model umerjen na prvo padavinsko situacijo (8. do 10.10. 1980), pri kateri so padavine bolj enakomerno porazdeljene, z razliko od druge izbrane situacije kjer so urne padavine z zelo različno intenziteto, sem privzela kot reprezentativni model porečja s katerim sem izračunala teoretične visokovodne valove.

#### 7.3.1.1 Padavinska situacija 8.10. do 10.10. 1980

V primeru prve izbrane padavinske situacije so prve padavine nastopile 8.10. ob 6. uri in trajale do 12. ure naslednjega dne, potem je za 5 ur prenehalo deževati nato pa je v treh urah padlo še 0,7 mm padavin. Ob 7. uri je bil izmerjen pretok  $2,45 \text{ m}^3/\text{s}$ . Padavine so se nadaljevale, zato je bila opravljena tudi meritev ob 17. uri, pretok je narastel na  $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Od začetka padavin ter do naslednje meritve 9.10. ob 7. uri je padlo 110,8 mm padavin, nato so padavine začele pojenjati. Največja intenziteta padavin je bila med 13. uro 8.10. in 2. uro zjutraj naslednjega dne. Do maksimalnih pretokov je prišlo ponoči in zato obstaja verjetnost, da je maksimalni pretok nastopil pred meritvijo ob 7. uri zjutraj.

Ker nisem imela dovolj natančnih podatkov za avtomatsko umerjanje, sem se odločila za ročno umerjanje modela. Vrednosti vhodnih parametrov sem določila tako, da sem poizkušala izračunani odtok čim bolj približati izmerjenim vrednostim. Na spodnjem grafu (Slika 30) vidimo da se izračunani odtok zadovoljivo ujema z izmerjenimi vrednostmi. Iz izračunanega hidrograma odtoka lahko vidimo, da se pojavi maksimalni pretok ob 4:25 zjutraj, torej 2 uri in 30 minut prej, preden je opazovalec opravil redno meritev vodostaja. Poudarila bi tudi to, da ima hidrogram odtoka lepo zvončasto obliko - enakomerno narašča do maksimuma, nato pa

začne enakomerno padati. Padavine dokaj hitro dosežejo maksimalno intenziteto (približno na 25 % celotnega trajanja padavin) nato začnejo postopoma pojenjati (Slika 26) Oblika histograma padavin s postaje Planina pri Sevnici je bila privzeta za ostale padavinske postaje s katerih sem imela na voljo le dnevne vsote padavin.



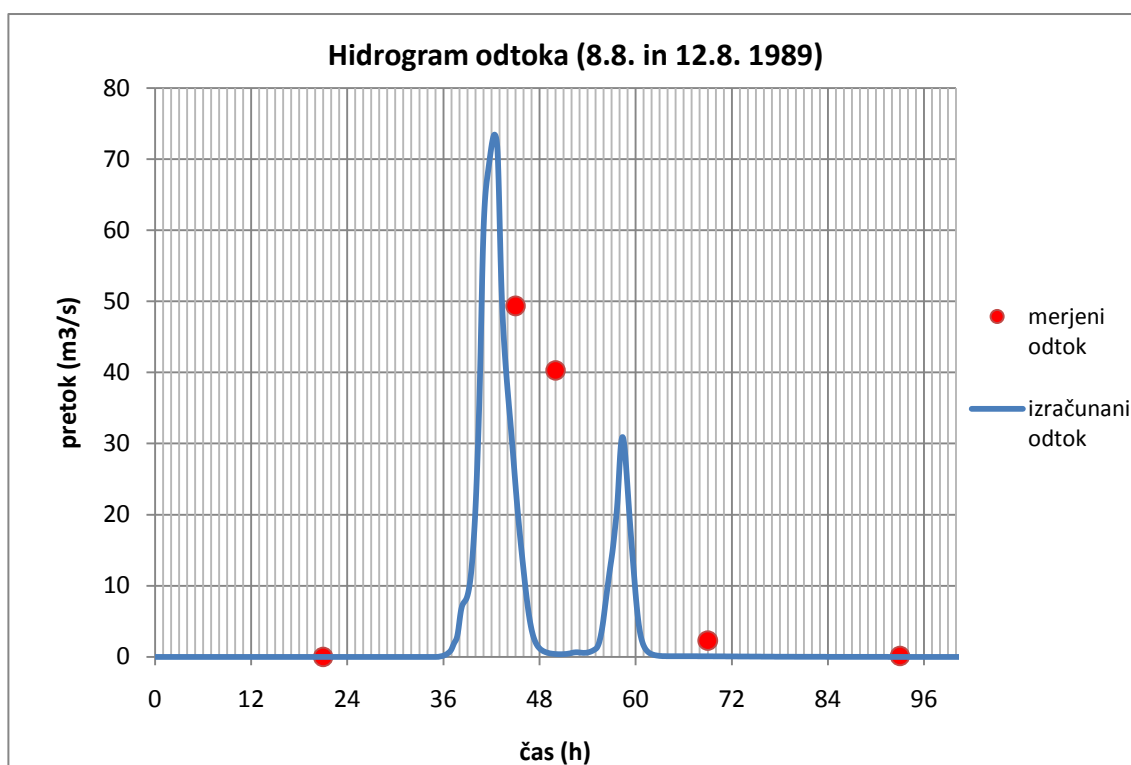
Slika 30: Hidrogram odtoka izračunan s programom HEC – HMS v profilu KT18 (VP Zagaj)

### 7.3.1.2 Padavinska situacija 8.8. do 12.8. 1989

Spodnji graf (Slika 31) prikazuje rezultate druge padavinske situacije od 8.8 do 12.8. 1989. Iz histograma padavin (Slika 28) vidimo, da gre za popolnoma drugačno razporeditev in intenziteto padavin kot v prvi padavinski situaciji iz leta 1980. Padavinski dogodek se začne tako, da v eni sami uri pade 33,3 mm padavin, v naslednjih treh urah skupaj pade le 5,0 mm padavin. Sledita še dve konici po 13,9 mm in 13,0 mm padavin, nato padavine hitro upadejo in prenehajo za 10 ur. Sledi še en višek ko pade v eni uri 6,6 mm padavin. Posledica takšne razporeditve padavin je tudi oblika izračunanega hidrograma odtoka, ki ima dve konici (Slika 31).

Posledica tako intenzivnih padavin je tudi oblika hidrograma odtoka. Hidrogram odtoka padavin s povodja hitro naraste, doseže maksimum ter hitro upade. Od začetka upadanja do ponovnega maksimuma preteče 9 ur. V primeru kratkotrajnih in intenzivnih padavin, ko vodostaj hitro naraste in prav tako hitro upade se pokaže slabost vodomernih postaj opremljenih z vodomernimi letvami. Dejansko obliko merjenega hidrograma odtoka bi imeli v primeru, če bi bila vodomerna postaja opremljena z limnigrafom.

Model izračuna hidrogram odtoka na podlagi vhodnih podatkov o padavinah in upošteva, da je podana količina padla na celotnem prispevnem območju Bistrice. Ker je šlo v primeru izbrane padavinske situacije iz leta 1989 za burno poletno vremensko dogajanje je malo verjetno da so nevihtne celice zajele celotno območje v taki intenziteti. Padavine izmerjene na padavinskih postajah Žusem, Vrenska gorca in Podsreda so bile od 15 do 20 % manjše kot so bile izmerjene na postaji Planina pri Sevnici.



Slika 31: Hidrogram odtoka izračunan s programom HEC – HMS v profilu KT18 (VP Zagaj)

## 7.4 »Dejanske« visoke vode

Vrednosti »dejanskih« visokih vod v tej študiji imenujemo tiste vrednosti, za katere menimo, da so rezultat sedanjega stanja pokrovnosti vodozbirnih območij, klimatskih značilnosti in ne nazadnje urejenosti odvodnje. Vhodni podatki za izračun »dejanskih« visokih voda so bile padavine različnega trajanja in različnih povratnih dob (preglednice 17 do 22). Visokovodne valove sem izračunala po dveh metodah, metodi uteži (Gage Weights) in metodi tipične neenakomerne razporeditve padavin z določeno povratno dobo (Frequency Storm) (USACE, 2000). Pri prvi metodi sem tvorila histogram padavin tako, da sem količino padavin razporedila enakomerno pri drugi metodi pa je tip razporeditve padavin vgrajena v program. V meteorološkem modelu določimo metodo Frequency Storm, kjer izberemo povratno dobo in trajanje naliva ter vpišemo zahtevane višine padavin. Izberemo tudi konico naliva, ki se lahko nahaja na 25 %, 33 %, 50 %, 66 % in 75 % časa glede na celoten čas trajanja nevihte. Za izračun sem izbrala konico naliva, ki se nahaja na 25 %, 50 % in 75 % časa glede na celoten čas trajanja nevihte.

### 7.4.1 Visoke vode Bistrice

Visokovodne valove sem določila v dveh ključnih hidroloških prerezih Bistrice, KT10 in KT18 (Preglednica 36), s pomočjo sintetičnega hidrograma enote po metodi SCS in padavin s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let. V metodi sem uporabila histogram padavin z enakomerno razporeditvijo padavin.

Preglednica 36: Izbrani hidrološki prerezi Bistrice z določenimi osnovnimi karakteristikami, kot so prispevna površina do prereza, dolžina vodotoka do prereza, povprečni naklon terena ter povprečni koeficient CN

Vodotok	Lokacija	Profil	Vozlišče KT	A (km <sup>2</sup> ) do profila	L (km) do profila	Povp. naklon terena (%)	Povp. CN
Bistrica	pod Bistrim gr.(Kozje)	23y	KT10	64,4	17,1	32,4	68
Bistrica (VP Zagaj I)	profil 36	36y	KT18	93,8	30,3	34,0	68

Preglednica 37: Izračunani maksimalni 5, 10, 50, 100 in 500-letni pretoki v vozlišču KT10 in KT18

Profil	Vozlišče KT	Q5 (m <sup>3</sup> /s)	Q10 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q500 (m <sup>3</sup> /s)
23y	KT10	50	70	119	134	197
36y	KT18 (VP)	58	78	123	146	204

Preglednica 38: Primerjava maksimalnih pretokov Bistrice 5, 10, 50 in 100-letne povratne dobe z izračuni v študiji Sotle (VGI, 1996) v prerezu vodomerne postaje Zagaj I

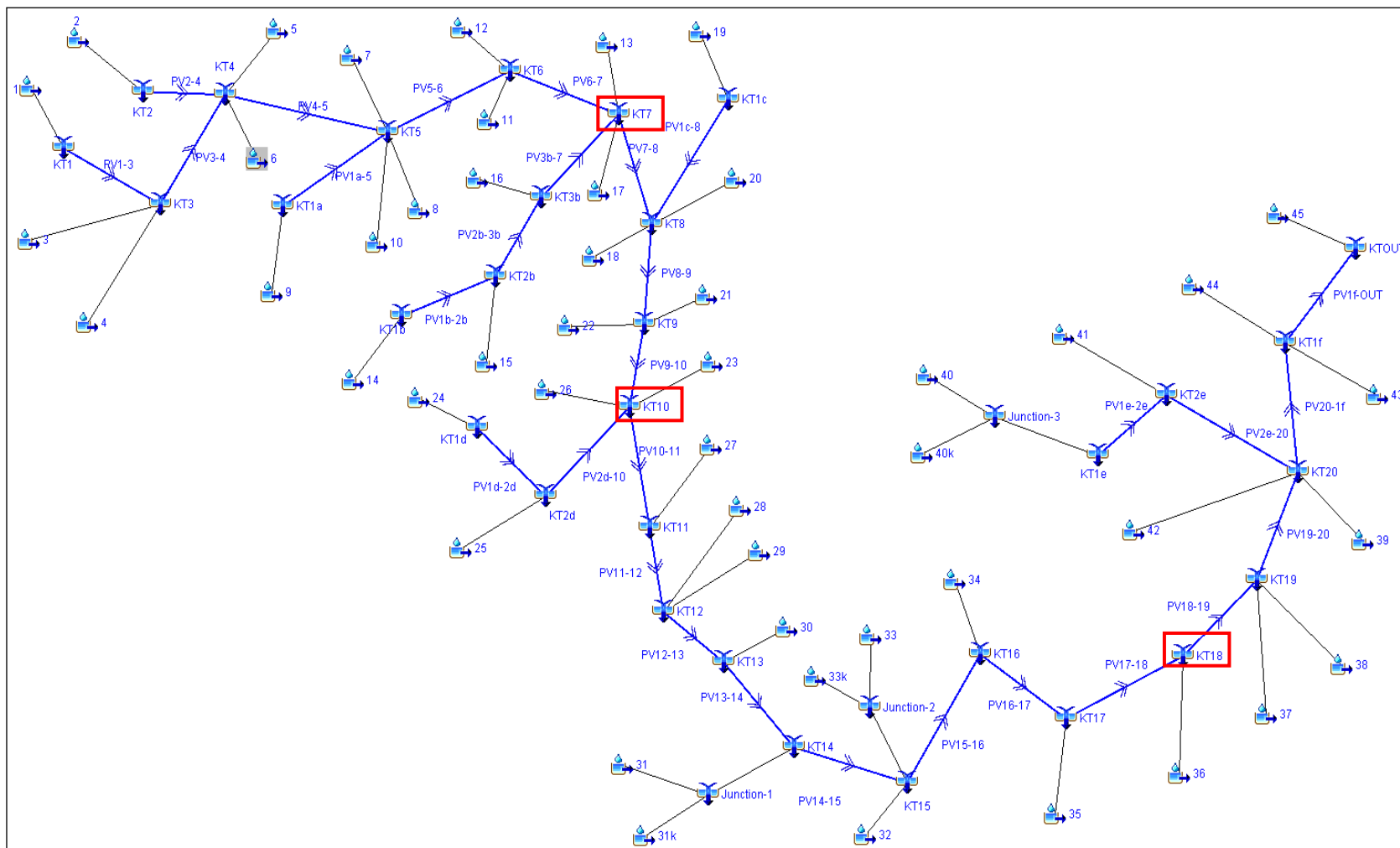
Povratna doba (leta)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s) v KT18 (VP Zagaj I)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s), (VGI, 1996)
100	146	123
50	123	105
10	78	71
5	58	56

V preglednici 37 so rezultati izračuna hidrološkega modela Bistrice za vozlišče KT10 in KT18. V preglednici 38 pa so prikazane vrednosti izračunanih maksimalnih pretokov 5, 10, 50 in 100-letne povratne dobe v prerezu vodomerne postaje Zagaj I - KT18 in vrednosti izračunane v hidrološki študiji VGI iz leta 1996. Dobljeni rezultati so primerljivi z rezultati iz hidrološke študije Sotle, kjer je maksimalni izračunan pretok Bistrice s 100-letno povratno dobo v profilu vodomerne postaje Zagaj I 123 m<sup>3</sup>/s (ta študija 146 m<sup>3</sup>/s), pretok s 50-letno povratno dobo 105 m<sup>3</sup>/s (ta študija 123 m<sup>3</sup>/s), pretok z 10-letno povratno dobo 71 m<sup>3</sup>/s (ta študija 78 m<sup>3</sup>/s) ter pretok s 5-letno povratno dobo 56 m<sup>3</sup>/s (ta študija 58 m<sup>3</sup>/s).

Osnova za določitev projektnih visokih vod v Hidrološki študiji Sotle iz leta 1996 je bila Hidrološka študija Sotle izdelana leta 1988. V spodnji preglednici 39 so vrednosti verjetnostne analize v obdobju od 1955 – 2006, ter vrednosti iz študije (VGI, 1988) v obdobju 1955 – 1988. V obdobju 18 let iz analize razberemo, da so se vrednosti 100- letnih pretokov povečale za približno 10 %, prav tako 50-letni pretoki. Vrednost 10 in 5-letnih pretokov se niso bistveno spremenile. Glede na rezultate verjetnostne analize, ki je pokazala povečanje 100 in 50-letnih maksimalnih pretokov v obdobju 1955 – 2006 v primerjavi z verjetnostno analizo za obdobje 1955 – 1988 lahko sprejmemo večje izračunane maksimalne vrednosti pretokov za sprejemljive.

Preglednica 39: Primerjava pretokov verjetnostne analize za obdobje 1955 – 2006 ter 1955 – 1988 (vrednosti iz študije VGI, 1988)

Povratna doba (leta)	Verjetnostna analiza pretokov (m <sup>3</sup> /s)	
	Obdobje 1955-2006	Obdobje 1955-1988
100	96,3	88,6
50	83,3	78,3
10	55,6	55,3
5	44,4	45,4



Slika 32: Shema porečja Bistrice v modelu HEC – HMS z označenimi ključnimi vozlišči (KT7, KT10 in KT18)

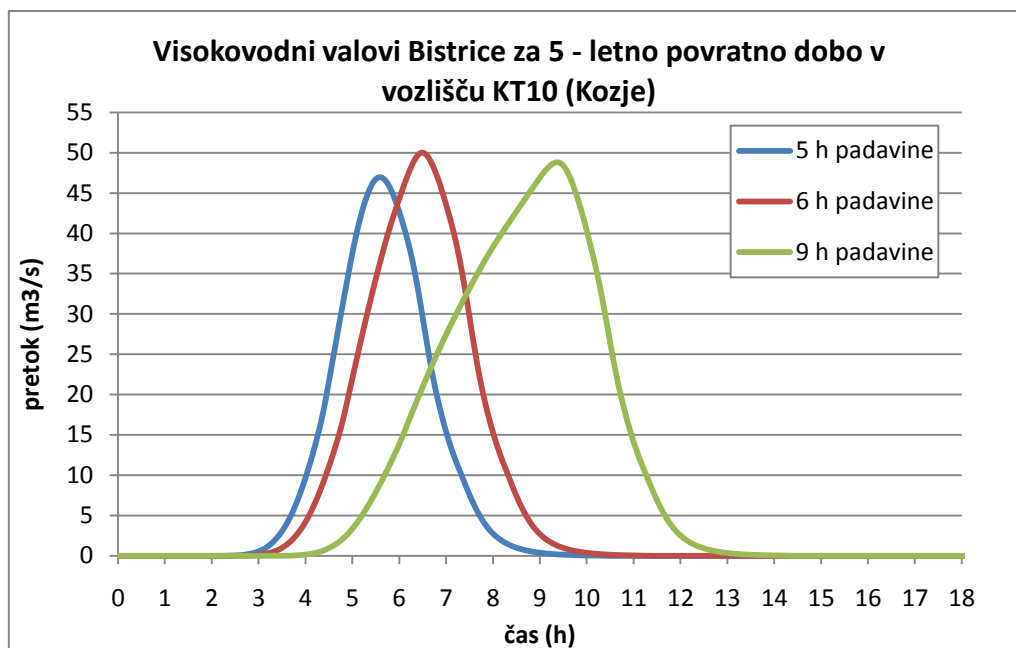
#### 7.4.1.1 Visokovodni valovi Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) – enakomerno razporejene padavine

Na podlagi enakomerno razporejenih padavin z različnim trajanjem in izbrane povratne dobe sem izračunala visokovodne valove Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje). Na spodnjih grafih (slike 33 do 37) so prikazani visokovodni valovi 5, 6 in 9-urnih padavin za povratno dobo 5, 10, 50 in 100 let ter visokovodni valovi 2, 3 in 4-urnih padavin za povratno dobo 500 let. Merodajne padavine, ki dajejo maksimalne pretoke s 5, 10, 50 in 100-letno povratno dobo so 6 ur, za 500-letno povratno dobo pa 3 ure. Maksimalni izračunan pretok Bistrice na podlagi enakomerno razporejenih padavin s 500-letno povratno dobo v profilu KT10 je  $197 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $134 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $119 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  (Preglednica 40).

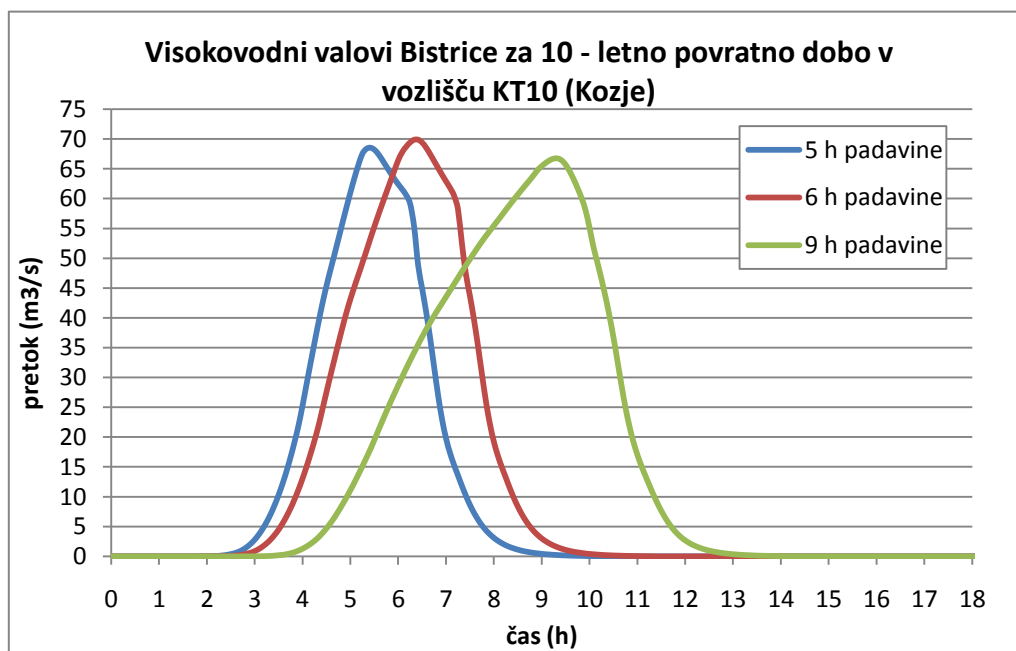
Preglednica 40: Pregledna tabela maksimalnih izračunanih pretokov Bistrice v vozlišču KT10, povratna doba, merodajne padavin in intenziteta enakomerno porazdeljenih padavin

Povratna doba (leta)	Merodajne padavine (h)	Intenziteta padavin (mm/h)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
500	3	32,9	197
100	6	16,2	134
50	6	14,7	119
10	6	11,1	70
5	6	9,5	50

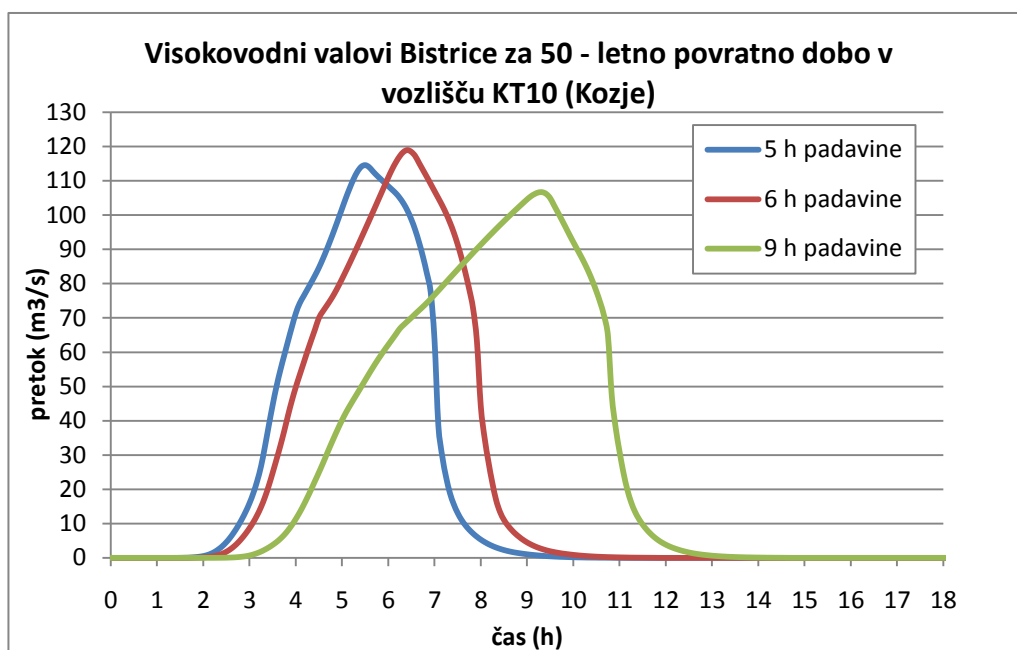




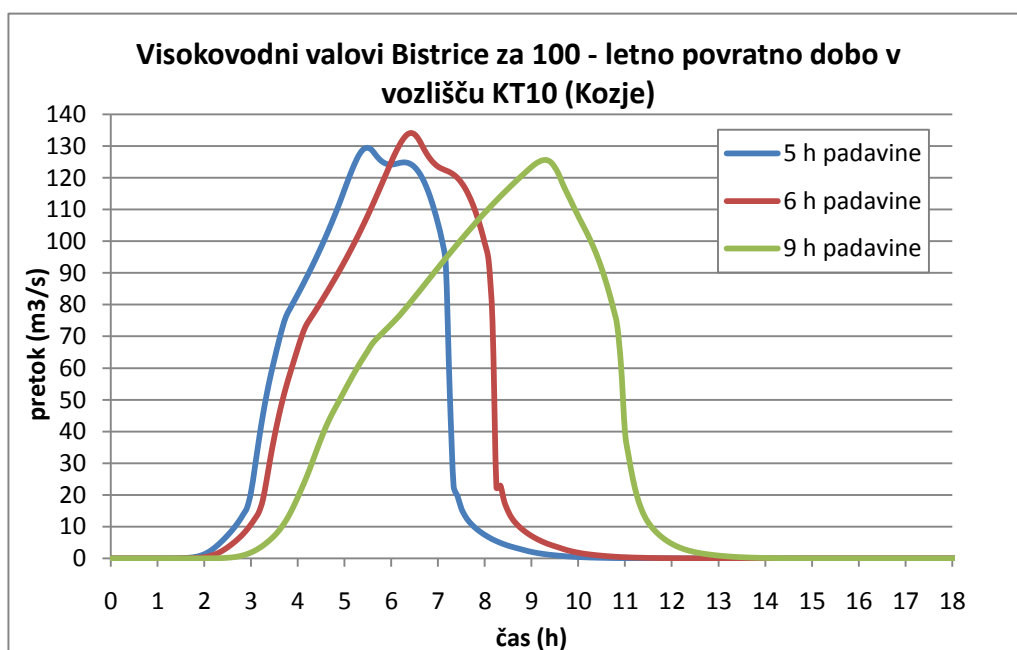
Slika 33: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 5-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin



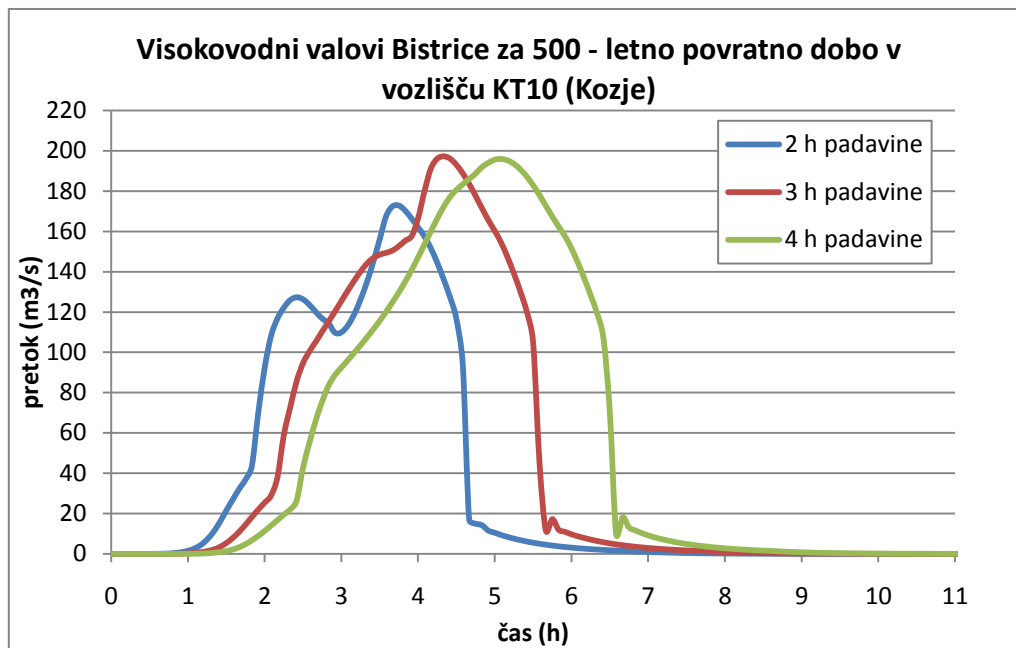
Slika 34: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 10-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 35: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 50-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 36: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 100-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 37: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 500-letno povratno dobo 2, 3 in 4-urnih enakomerno razporejenih padavin

#### 7.4.1.2 Visokovodni valovi Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) – 24-urne neenakomerno razporejene padavine po metodi USACE

V preglednicah 41 do 45 so prikazani rezultati izračunanih vrednosti maksimalnih pretokov po metodi tipične neenakomerne razporeditve padavin z določeno povratno dobo (Frequency Storm) (USACE, 2000) za 24-urno nevihto in različne položaje konic (na 25 %, 50 % in 75 %) v vozlišču KT10 (Kozje). Pri vsaki izbrani povratni dobi daje metoda maksimalne vrednosti pri 24-urnih padavinah in konici padavin na 75 % (slike 38 do 42), medtem ko so izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri enakomerno razporejenih padavinah s trajanjem 24 ur najmanjše.

Maksimalni izračunan pretok Bistrice po metodi tipične neenakomerne razporeditve padavin pri 24-urnih padavinah s konico na 25% in s 500-letno povratno dobo v profilu KT10 je  $288 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $184 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $145 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $43 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pretok v profilu KT10 s konico na 50% in 500-letno povratno dobo je  $344 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $228 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $183 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $63 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pretok v profilu KT10 s konico na 75% in 500-letno povratno dobo je  $393 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $268 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $218 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $116 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $78 \text{ m}^3/\text{s}$  (preglednice 41 do 45).

Preglednica 41: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

Vozlišče	5-letna povratna doba		
	KT10		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	43	63	78

Preglednica 42: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

Vozlišče	10-letna povratna doba		
	KT10		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	75	95	116

Preglednica 43: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

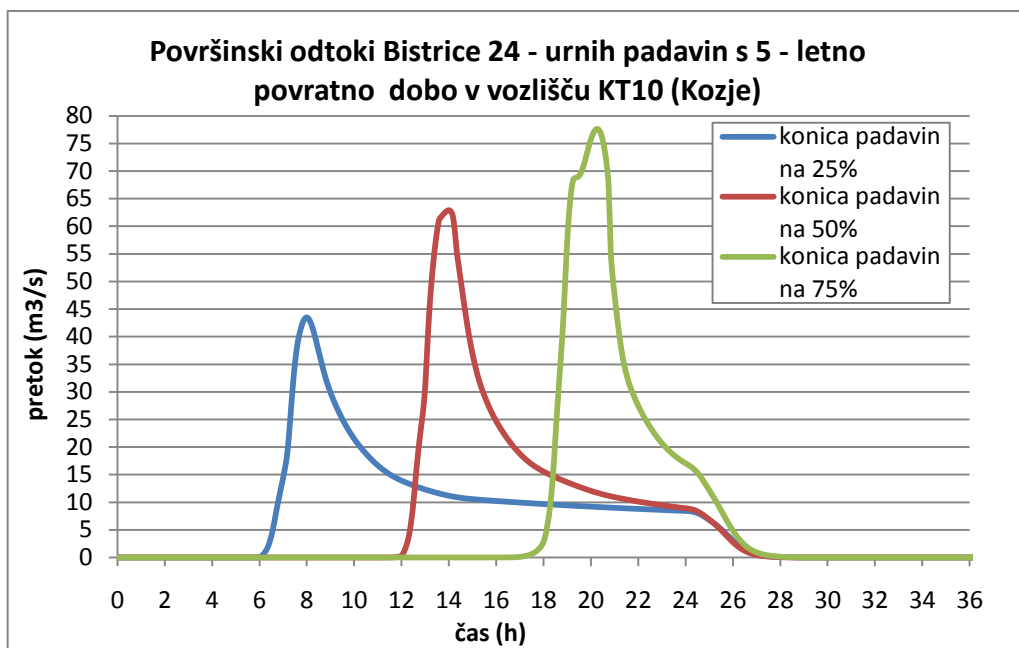
Vozlišče	50-letna povratna doba		
	KT10		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	145	183	218

Preglednica 44: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

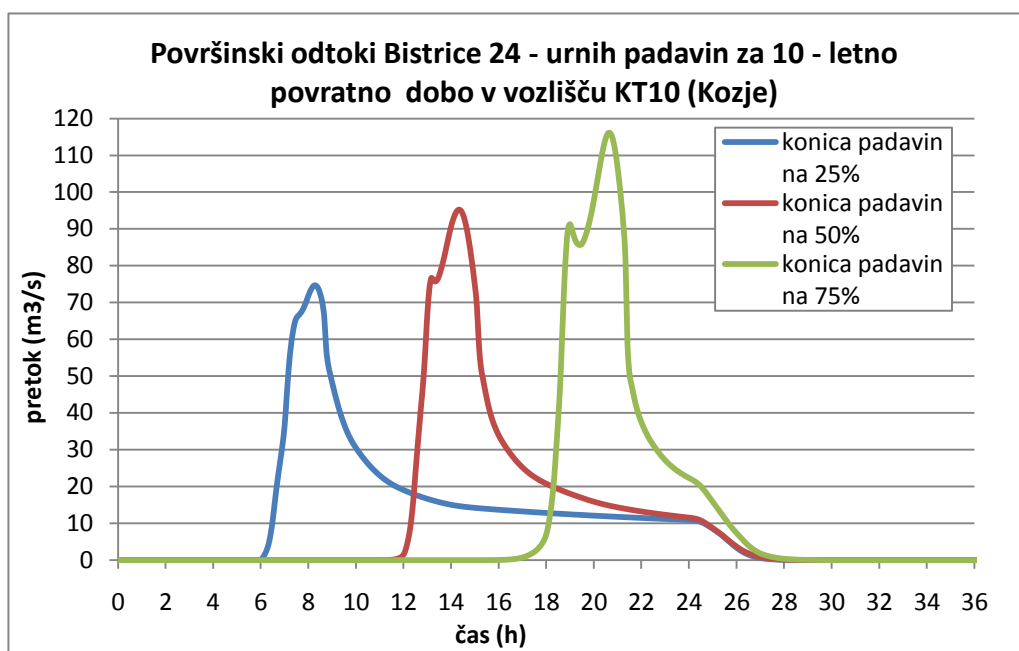
Vozlišče	100-letna povratna doba		
	KT10		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	184	228	268

Preglednica 45: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

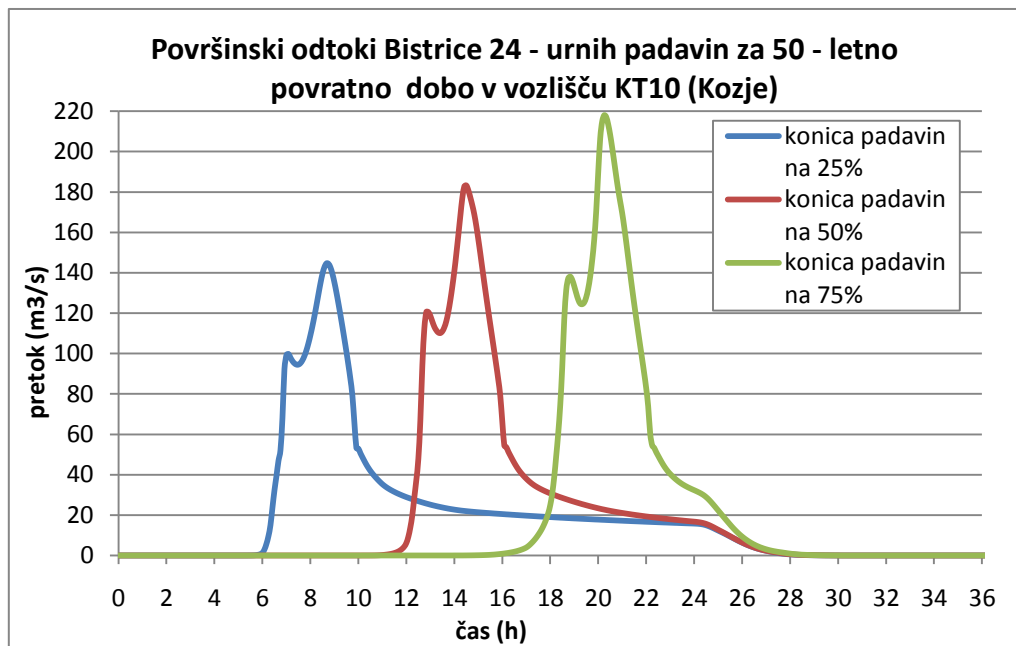
Vozlišče	500-letna povratna doba		
	KT10		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	288	344	393



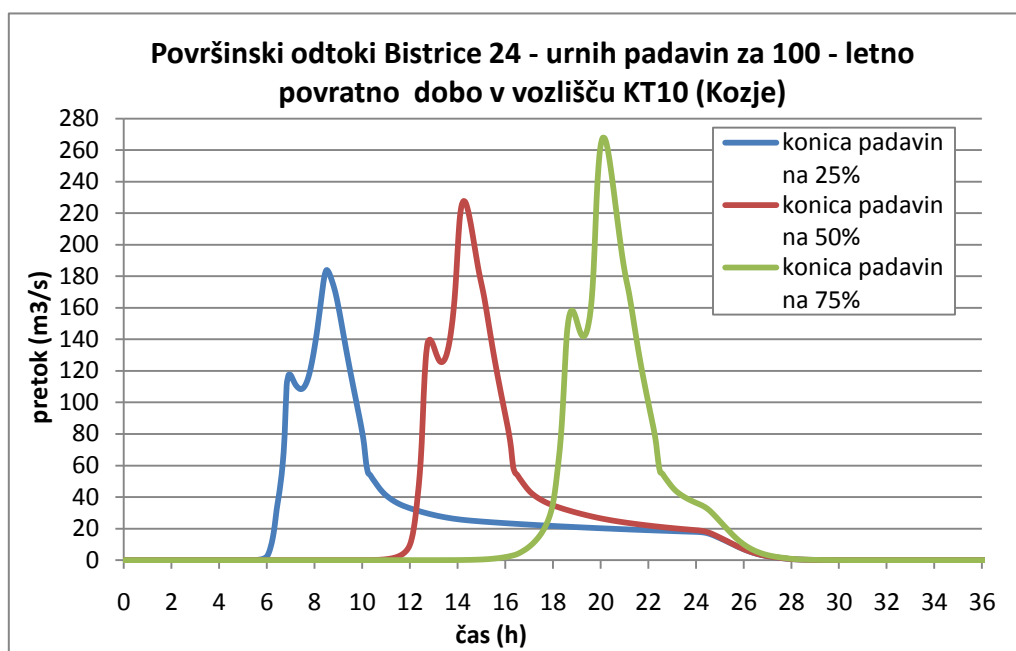
Slika 38: Površinski odtok 24 – urne nevihte s 5-letno povratno dobo za različne položaje konice



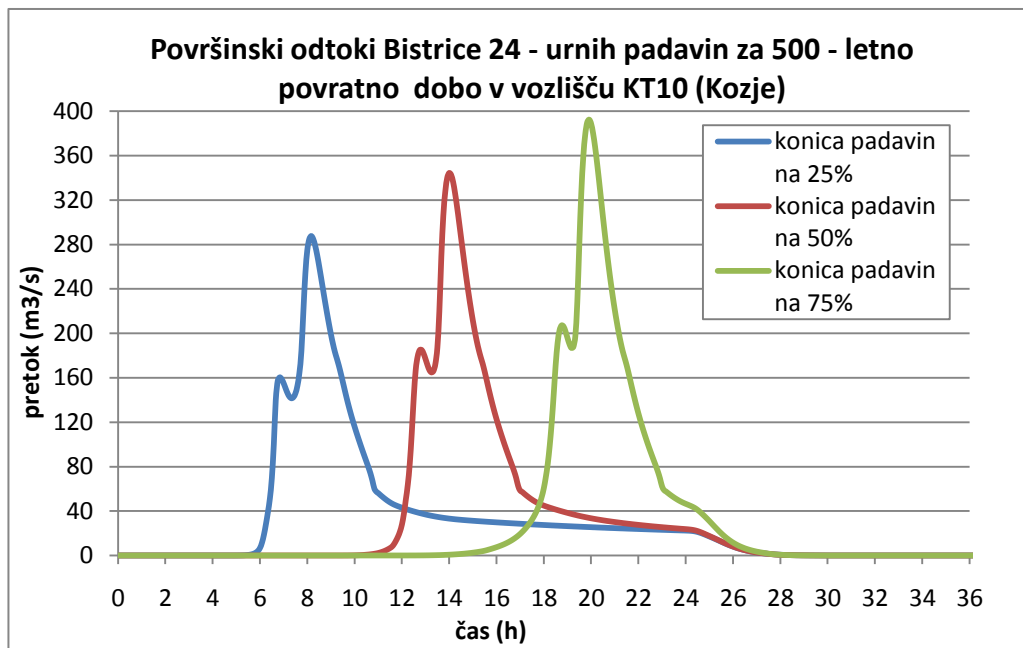
Slika 39: Površinski odtok 24-urne nevihte z 10-letno povratno dobo za različne položaje konice



Slika 40: Površinski odtok 24-urne nevihte s 50-letno povratno dobo za različne položaje konice



Slika 41: Površinski odtok 24-urne nevihte s 100-letno povratno dobo za različne položaje konice



Slika 42: Površinski odtok 24-urne nevihte s 500-letno povratno dobo za različne položaje konice

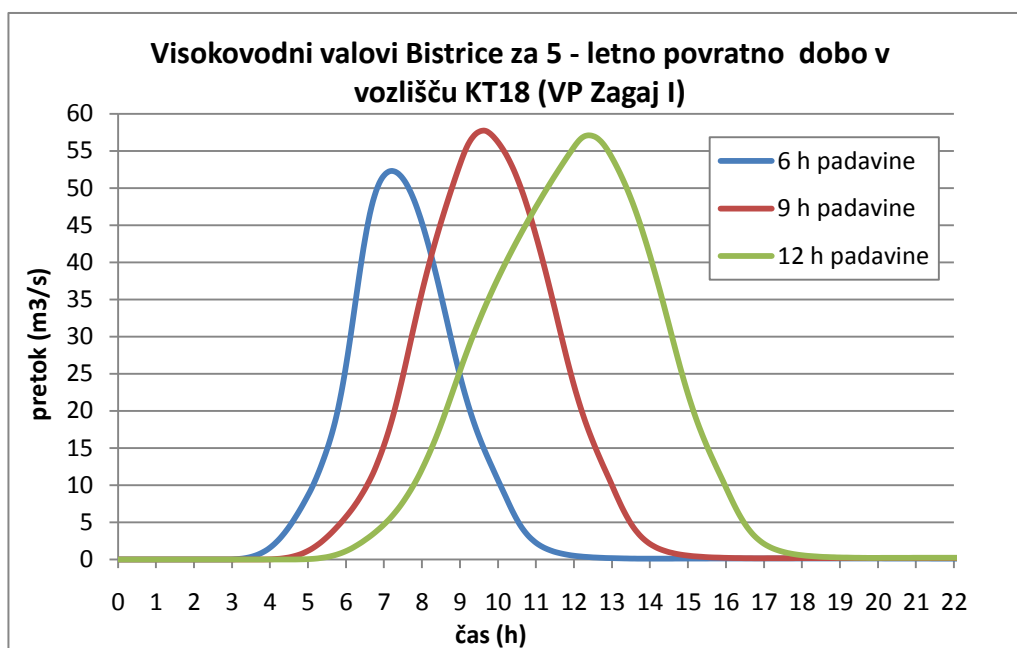


## 7.4.1.3 Visokovodni valovi Bistrice v vozlišču KT18 (VP Zagaj I)

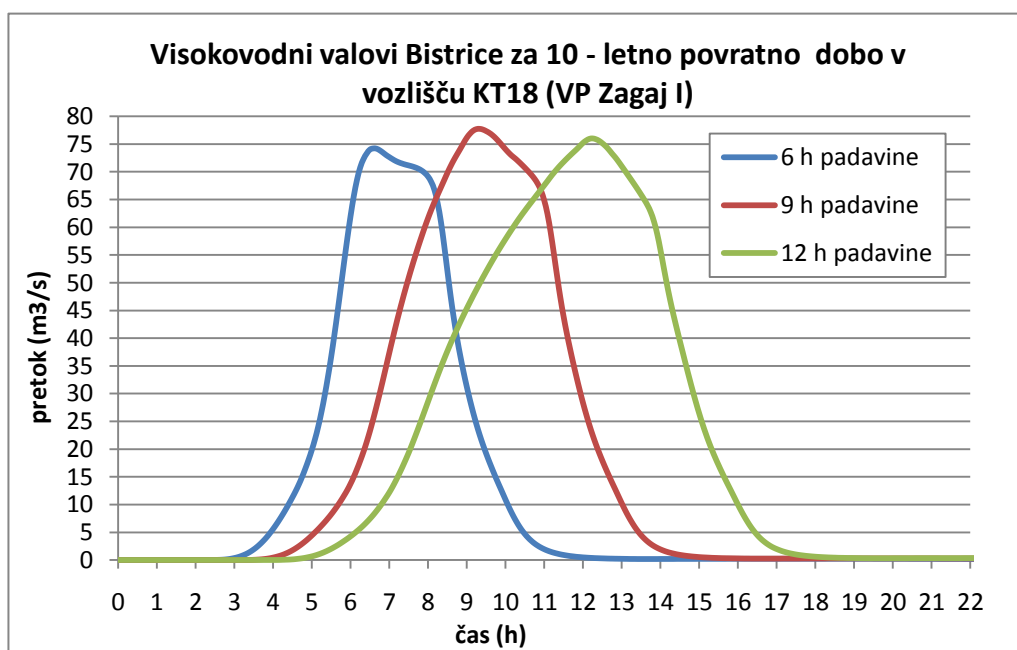
Prav tako sem na podlagi enakomerno razporejenih padavin z različnim trajanjem in izbrane povratne dobe izračunala visokovodne valove Bistrice v vozlišču KT18 (VP Zagaj I). Na spodnjih grafih (slike 43 do 47) so prikazani visokovodni valovi 6, 9 in 12-urnih padavin za povratno dobo 5, 10, 50 in 100 let ter valovi 5, 6 in 9-urnih padavin za povratno dobo 500 let. Merodajne padavine, ki dajejo maksimalne pretoke s 5, 10, 50 in 100-letno povratno so 9 ur, za 500-letno povratno dobo pa 6 ur. Maksimalni izračunan pretok Bistrice na podlagi enakomerno razporejenih padavin s 500-letno povratno dobo v profilu KT18 je  $204 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $146 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $123 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $78 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $58 \text{ m}^3/\text{s}$  (Preglednica 46).

Preglednica 46: Pregledna tabela maksimalnih izračunanih pretokov Bistrice v vozlišču KT18, povratna doba, merodajne padavin in intenziteta enakomerno porazdeljenih padavin

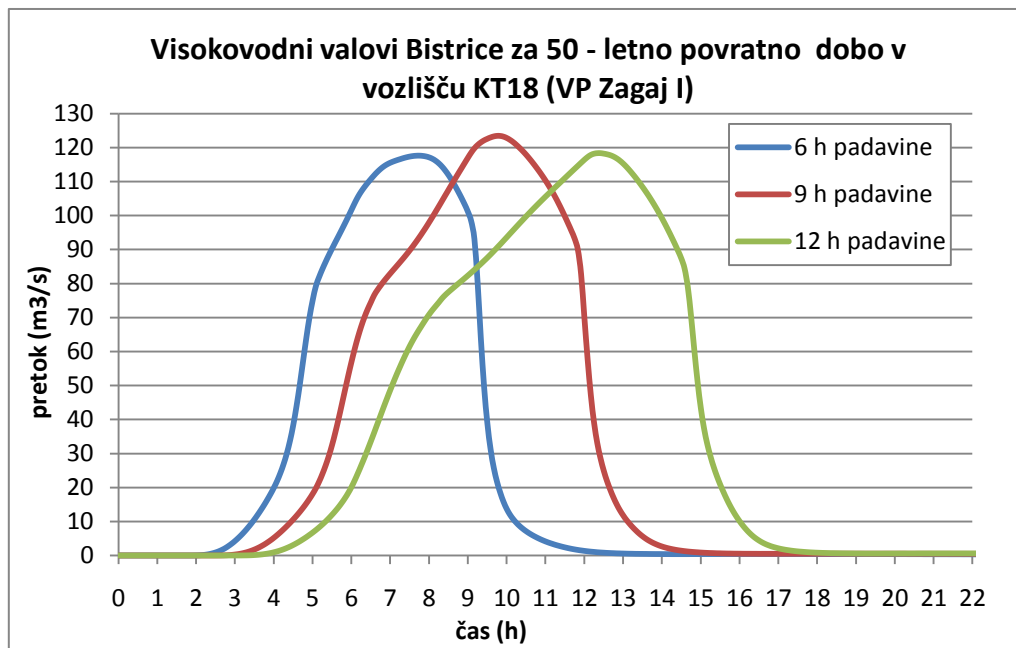
Povratna doba (leta)	Merodajne padavine (h)	Intenziteta padavin (mm/h)	Qmax ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
500	6	19,2	204
100	9	11,6	146
50	9	10,5	123
10	9	8,0	78
5	9	6,9	58



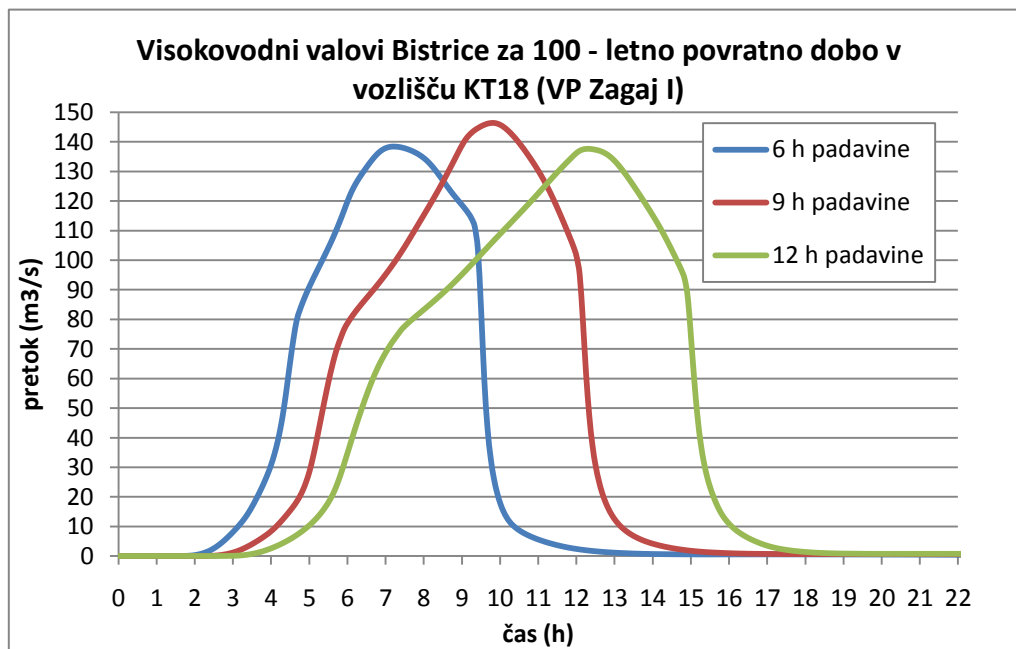
Slika 43: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT18 (Kozje) za 5-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin



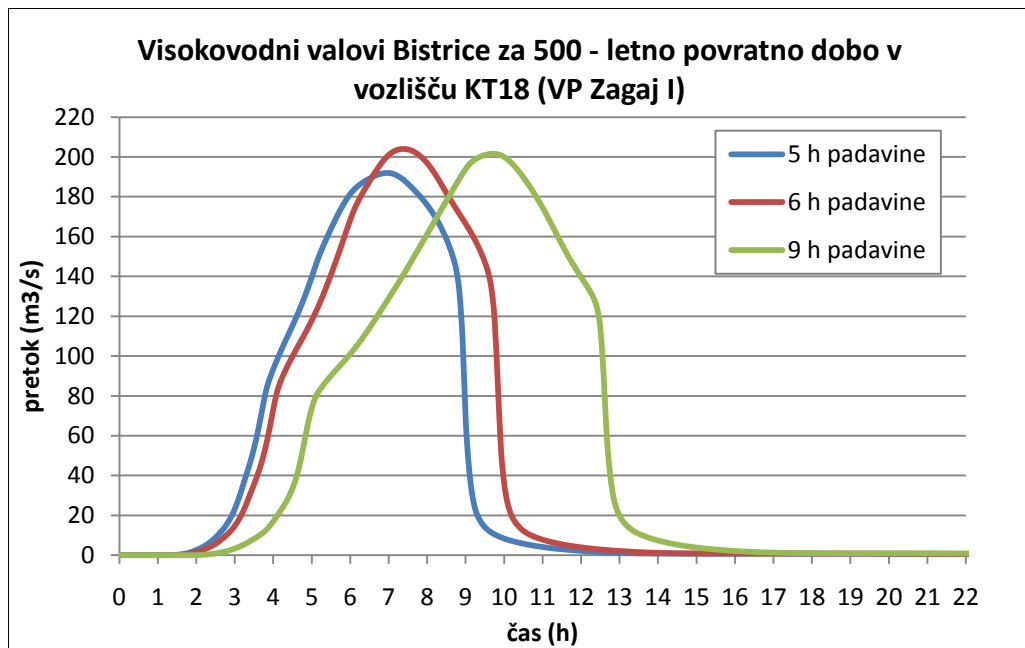
Slika 44. Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 10-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 45: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 50-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 46: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 100-letno povratno dobo 6, 9 in 12-urnih enakomerno razporejenih padavin



Slika 47: Graf visokovodnih valov Bistrice v vozlišču KT10 (Kozje) za 500-letno povratno dobo 5, 6 in 9-urnih enakomerno razporejenih padavin

#### 7.4.1.4 Visokovodni valovi Bistrice v vozlišču KT18 (VP Zagaj I) – 24-urne neenakomerno razporejene padavine po metodi USACE

V preglednicah 47 do 51 so prikazani rezultati izračunanih vrednosti maksimalnih pretokov po metodi tipične neenakomerne razporeditve padavin z določeno povratno dobo (Frequency Storm) (USACE, 2000) za 24-urno nevihto in različne položaje konic (na 25 %, 50 % in 75 %) v vozlišču KT18 (VP Zagaj I). Pri vsaki izbrani povratni dobi daje metoda maksimalne vrednosti pri 24-urnih padavinah in konici padavin na 75 % (slike 48 do 52), medtem ko so izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri enakomerno razporejenih padavinah s trajanjem 24 ur najmanjše.

Maksimalni izračunan pretok Bistrice po metodi tipične neenakomerne razporeditve padavin pri 24-urnih padavinah s konico na 25% in s 500-letno povratno dobo v profilu KT18 je  $268 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $178 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $143 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $79 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $48 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pretok v profilu KT18 s konico na 50% in 500-letno povratno dobo je  $325 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $219 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $179 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $69 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pretok v profilu KT18 s konico na 75% in 500-letno povratno dobo je  $377 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 100-letno povratno dobo  $256 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok s 50-letno povratno dobo  $212 \text{ m}^3/\text{s}$ , pretok z 10-letno povratno dobo  $121 \text{ m}^3/\text{s}$  ter pretok s 5-letno povratno dobo  $85 \text{ m}^3/\text{s}$  (preglednice 47 do 51).

Preglednica 47: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

	5-letna povratna doba		
Vozlišče	KT18		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	48	69	85

Preglednica 48: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

	10-letna povratna doba		
Vozlišče	KT18		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	79	100	121

Preglednica 49: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

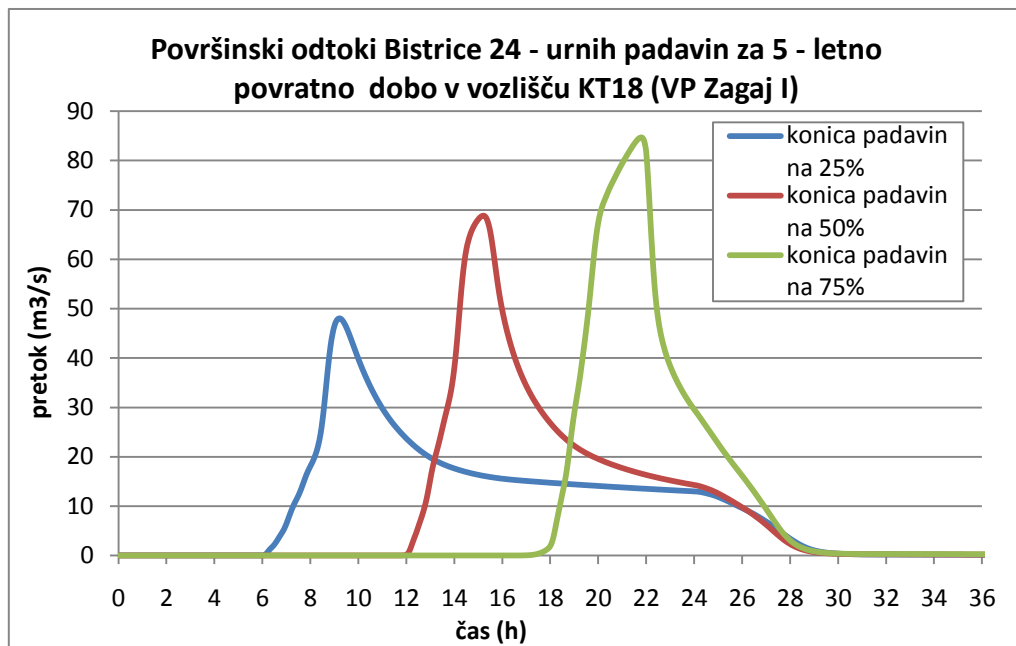
	50-letna povratna doba		
Vozlišče	KT18		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	143	179	212

Preglednica 50: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

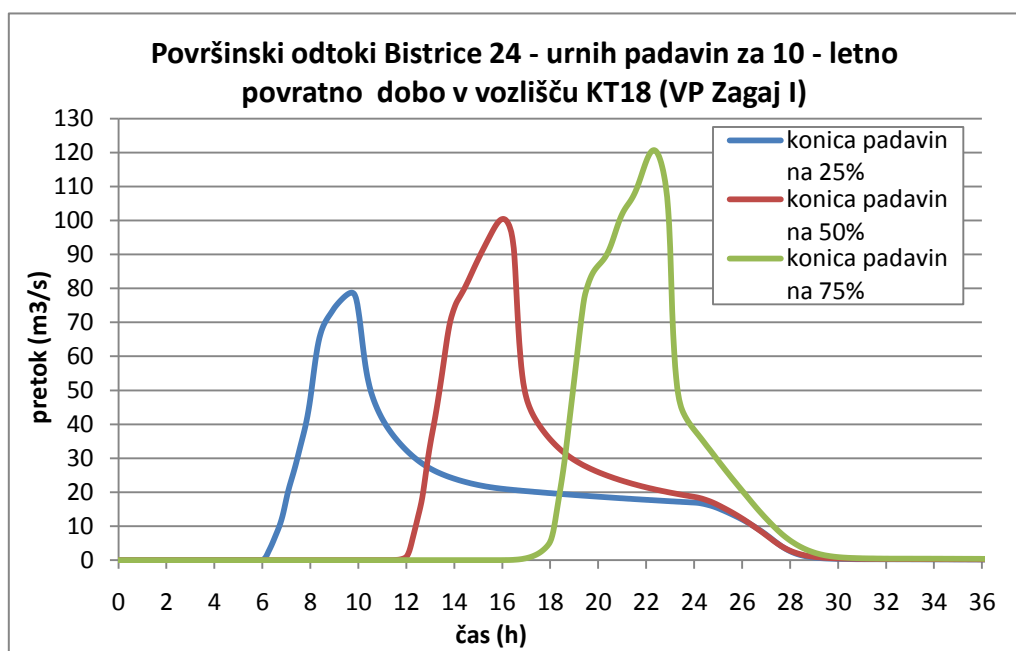
	100-letna povratna doba		
Vozlišče	KT18		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	178	219	256

Preglednica 51: Izračunane vrednosti maksimalnih pretokov pri 24-urni nevihti za različne položaje konic

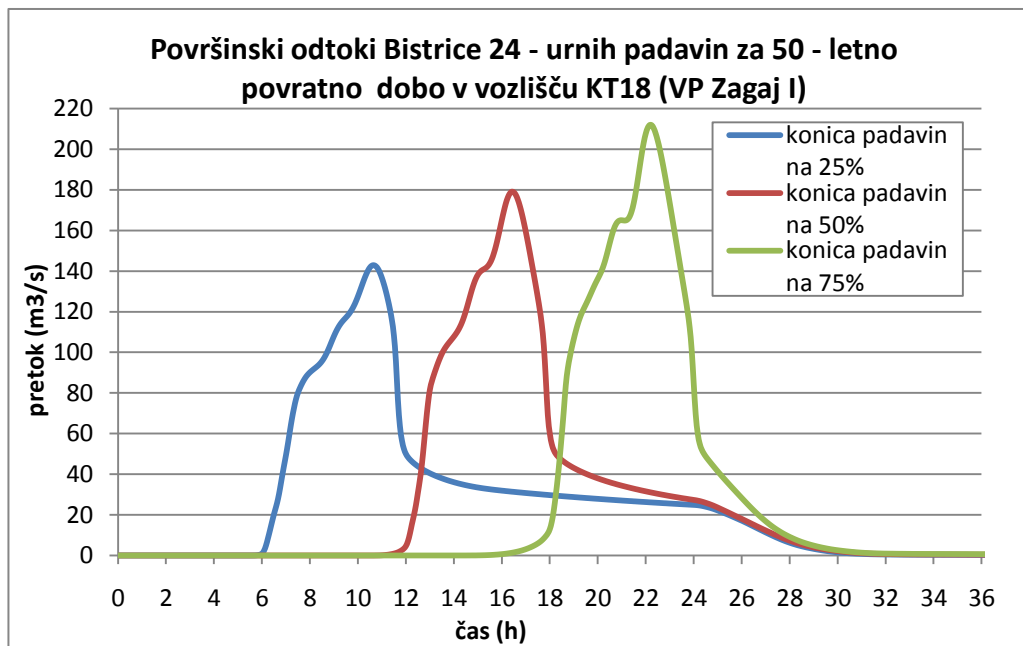
	500-letna povratna doba		
Vozlišče	KT18		
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24
Položaj konice	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	268	325	377



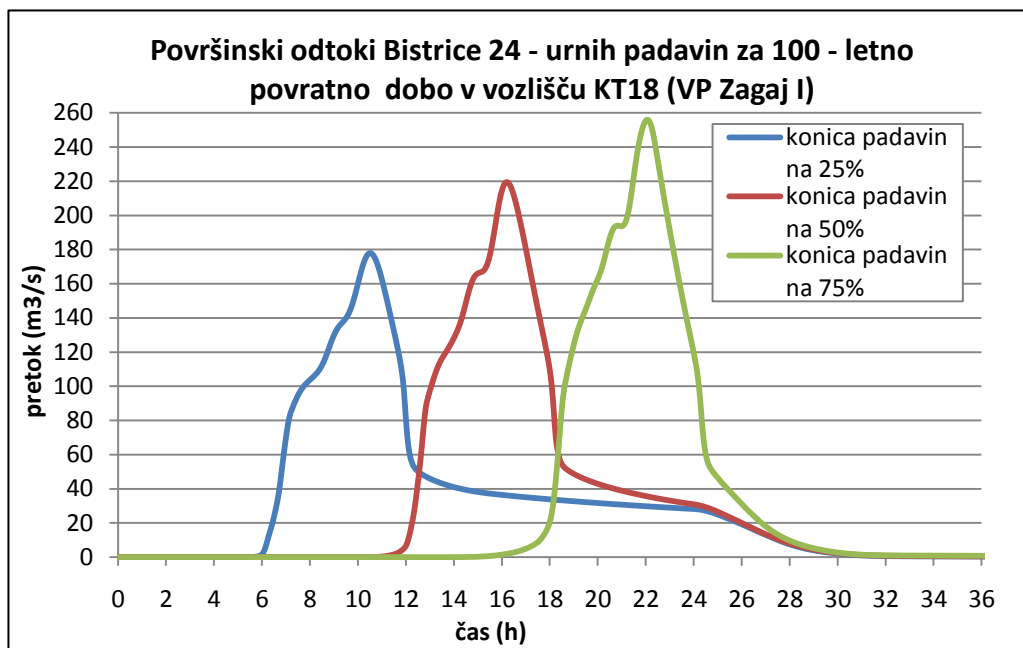
Slika 48: Površinski odtok 24-urne nevihte s 5-letno povratno dobo za različne položaje konice



Slika 49: Površinski odtok 24-urne nevihte z 10-letno povratno dobo za različne položaje konice

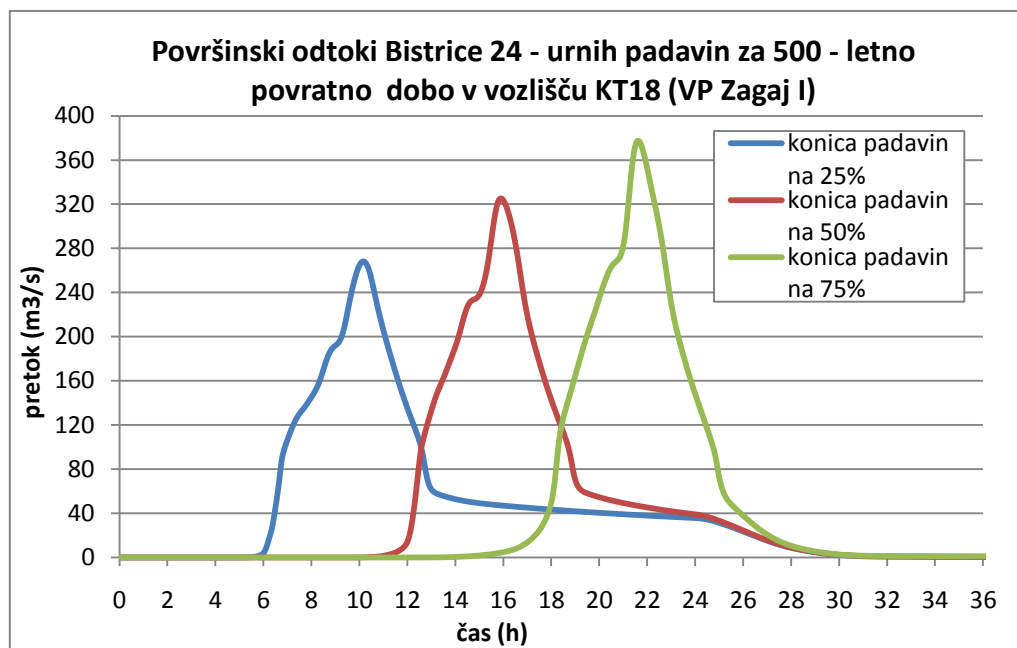


Slika 50: Površinski odtok 24-urne nevihte s 50-letno povratno dobo za različne položaje konice



Slika 51: Površinski odtok 24-urne nevihte s 100-letno povratno dobo za različne položaje konice





Slika 52: Površinski odtok 24-urne nevihte s 500-letno povratno dobo za različne položaje konice

#### 7.4.2 Visoke vode Zagorskega potoka in Bistrega grabna

Maksimalne pretoke s povratno dobo 5, 10, 50 in 100 let sem izračunala tudi za dva večja pritoka Bistrice in sicer za Zagorski potok, ki se izliva v Bistrico v kraju Lesično (vozlišče KT7) ter Bistri graben, ki se izliva v Bistrico v Kozjem (vozlišče KT10). Prispevna površina Zagorskega potoka je 12,9 km<sup>2</sup>, Bistrega grabna pa 9,0 km<sup>2</sup>.

Merodajne padavine, to so padavine, ki dajo maksimalne pretoke so za 50 in 100-letne pretoke Zagorskega potoka 3 ure, za 10-letno povratno dobo 4 ure in za 5-letne pretoke 6 ur. V preglednici 52 so prikazani maksimalni izračunani pretoki Zagorskega potoka, na podlagi enakomerno porazdeljenih merodajnih padavin. V preglednici 53 pa so prikazani izračunani maksimalni pretoki Bistrega grabna. Prav tako so pripisane merodajne padavine, ki dajejo največje pretoke ter urna intenziteta enakomerno razporejenih padavin.

Preglednica 52: Maksimalni 5, 10, 50 in 100-letni pretoki Zagorskega potoka

Povratna doba (leta)	Merodajne padavine (h)	Intenziteta padavin (mm/h)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
100	3	28,6	41
50	3	25,8	33
10	4	15,6	18
5	6	9,8	12

Preglednica 53: Maksimalni 5, 10, 50 in 100-letni pretoki Bistrega grabna

Povratna doba (leta)	Merodajne padavine (h)	Intenziteta padavin (mm/h)	Q <sub>max</sub> (m <sup>3</sup> /s)
100	2	39,2	29
50	2	35,3	22
10	4	15,6	11
5	6	9,8	7

#### 7.4.3 Primerjava površinskega odtoka enakomerno razporejenih padavin z konico padavin na 25 %, 50 % in 75 % časa glede na celoten čas trajanja nevihte

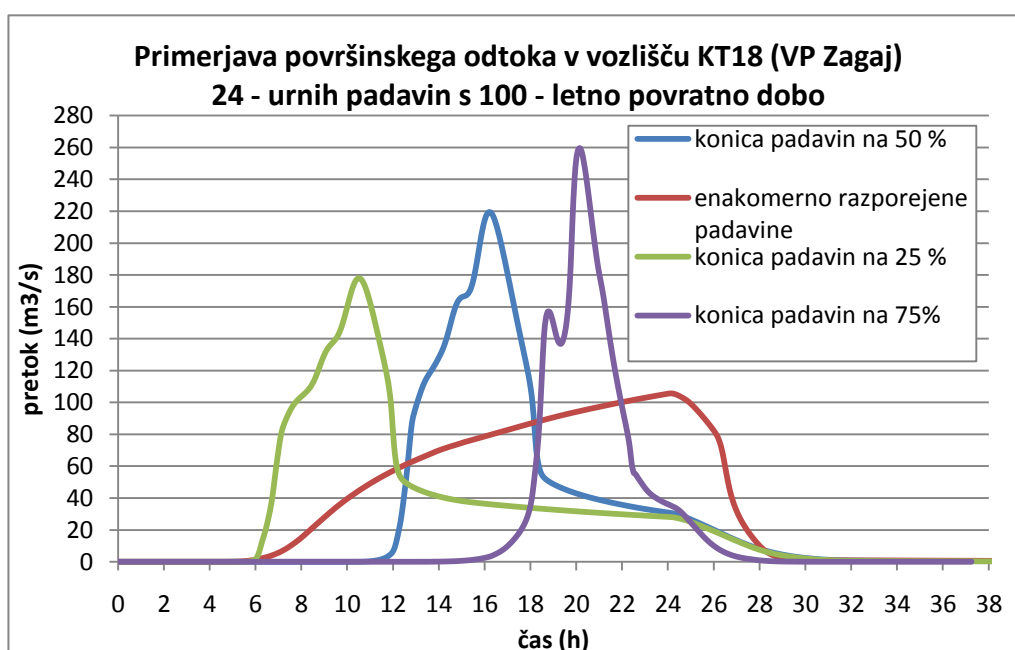
Primerjavo površinskega odtoka sem izdelala za enakomerno razporejene padavine in padavine s postavljeno konico na 25 %, 50 % in 75 % časa celotnega trajanja nevihte, in sicer za 6-urno nevihto s 5, 10, 50, 100 in 500-letno povratno dobo. Za 6-urno nevihto sem se odločila zato, ker 6-urne enakomerno razporejene padavine dajejo maksimalne površinske odtoke s porečja. Grafi na slikah 54 – 58 prikazujejo primerjavo površinskega odtoka s porečja glede na izbiro razporeditve padavin in postavitev konice maksimalnih padavin za 6-urne padavine.

Trajanje padavin močno vpliva na pretok in čas nastopa maksimalnega odtoka. Pri enakomerno razporejenih padavinah maksimalni odtoki naraščajo do merodajnih padavin, nato pa začnejo upadati. Enakomerno razporejene padavine s trajanjem 24 ur nam v tem primeru dajejo najmanjše vrednosti maksimalnih pretokov. V primeru ko razporedimo padavine tako, da je druga največja vrednost pred maksimalno vrednostjo, tretja največjo pa za maksimalno vrednostjo itd., pa nam 24-urne padavine dajejo največje vrednosti.

Na končni odtok iz povodja vpliva postavitve konice maksimalnih padavin, kot tudi razporeditev in trajanje padavin (preglednice 54 do 59). S premikanjem konice padavin vplivamo na čas nastopa maksimalnega odtoka in tudi na količino maksimalnega odtoka. Različna postavitve konice ima večji vpliv pri daljših in intenzivnejših nevihtah, kar lepo prikazuje slika 53. Največje pretoke pri 24-urnih padavinah daje postavitve konice na 75 %, potem postavitve na 50 % in nato postavitve konice na 25 %, najmanjše pretoke pa dobimo pri enakomerno razporejenih padavinah.

Preglednica 54: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT18	100-letna povratna doba			
	24	24	24	24
Čas trajanja nevihte (h)	24	24	24	24
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok ( $m^3/s$ )	106	178	219	259
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	24:10	10:30	16:20	20:10

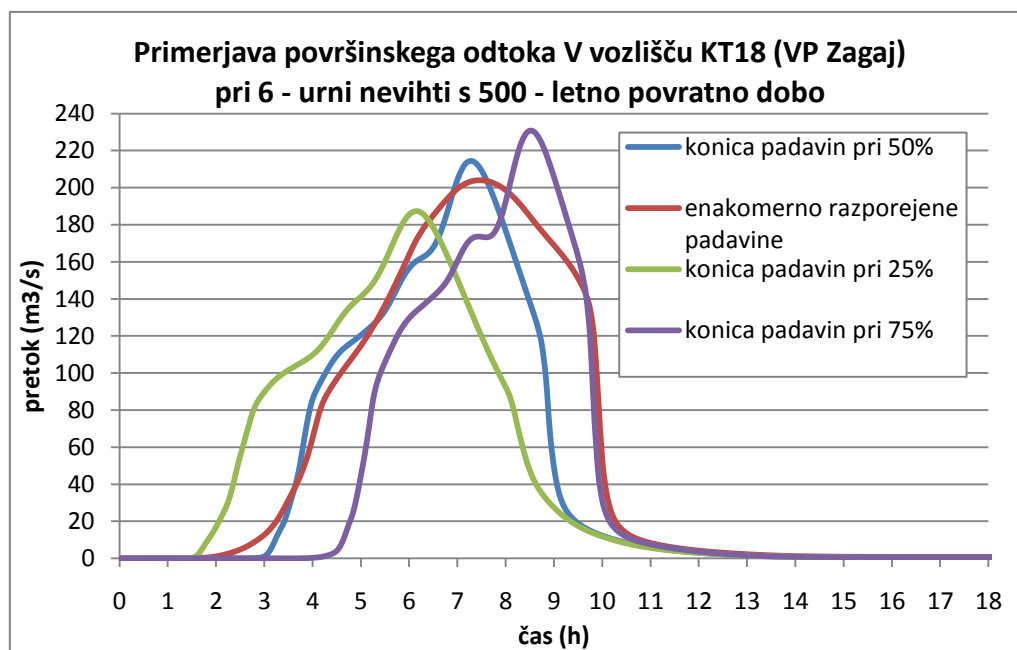


Slika 53: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT18 (VP Zagaj) pri 24-urnih padavinah s 100-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin

Pri 6-urnih padavinah s 500-letno povratno dobo so razlike v času nastopa maksimalnega odtoka najmanjše pri enakomerno razporejenih padavinah in padavinah s konico na 50 % celotnega trajanja nevihte. Padavine s konico na 25 % dajejo manjše odtoke, padavine s konico na 50 % in 75 % pa dajejo večje odtoke kot enakomerno razporejene padavine (Slika 54).

Preglednica 55: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT18	500-letna povratna doba			
Čas trajanja nevihte (h)	6	6	6	6
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	204	187	214	231
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	7:20	6:10	7:15	8:30

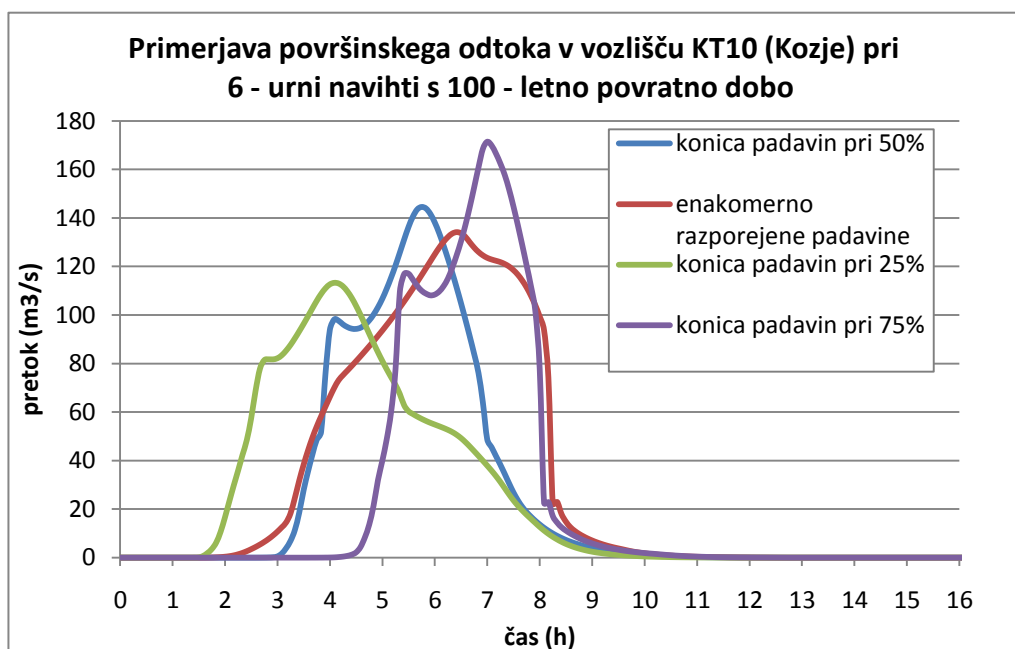


Slika 54: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT18 (VP Zagaj) pri 6-urni nevihti s 500-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin

Pri različno razporejenih 6-urnih padavinah s 100-letno povratno dobo najmanj odstopajo konice površinskega odtoka pri enakomerno razporejenih padavinah in padavinah s konico na 50 %. Najbolj pa odstopajo časi in maksimalni odtoki pri padavinah s konico pri 25 % in 75 % (Slika 55).

Preglednica 56: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT10	100-letna povratna doba			
Čas trajanja nevihte (h)	6	6	6	6
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	134	113	145	171
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	6:25	4:05	5:05	7:00

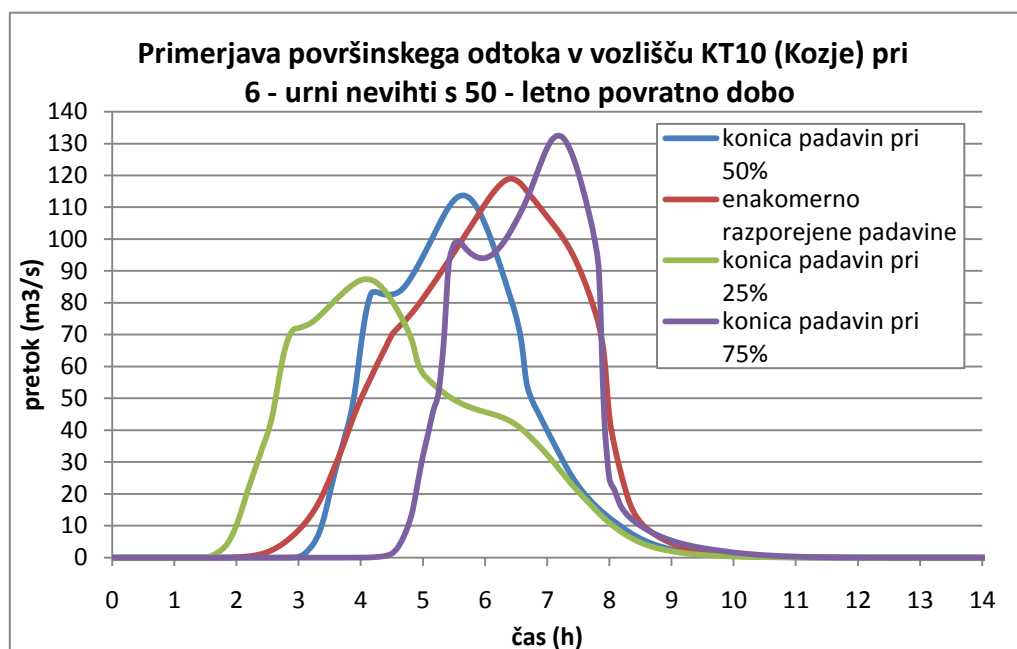


Slika 55: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 100-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin

Pri različno razporejenih 6-urnih padavinah s 50-letno povratno dobo najmanj odstopajo konice površinskega odtoka pri enakomerno razporejenih padavinah in padavinah s konico na 50 %. Najbolj pa odstopajo časi in maksimalni odtoki pri padavinah s konico pri 25 % in 75 % (Slika 56).

Preglednica 57: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT10	50-letna povratna doba			
Čas trajanja nevihte (h)	6	6	6	6
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok ( $m^3/s$ )	119	87	114	132
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	6:25	4:05	5:40	7:10

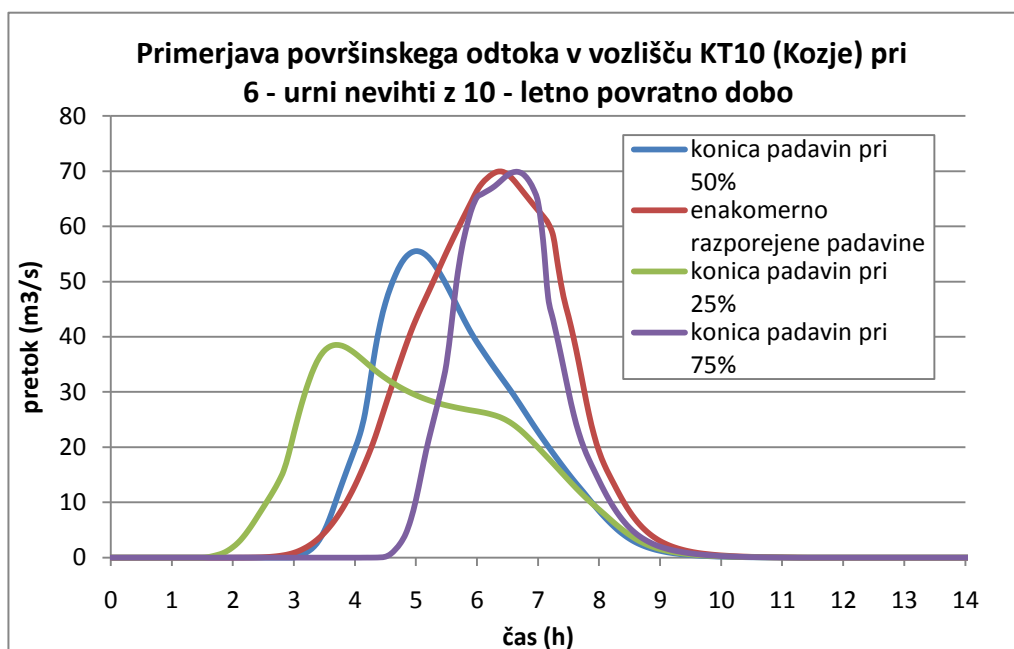


Slika 56: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 50-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin

Pri različno razporejenih 6-urnih padavinah z 10-letno povratno se po času nastopa in velikosti konice površinskega odtoka najbolj ujemata izračuna modela z enakomerno razporejenimi padavinami in padavinami s konico na 75 %. Najbolj pa odstopajo časi in maksimalni odtoki pri padavinah s konico pri 25 % in 50 % (Slika 57).

Preglednica 58: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT10	10-letna povratna doba			
	Čas trajanja nevihte (h)	6	6	6
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok (m <sup>3</sup> /s)	70	38	56	70
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	6:25	3:45	5:00	6:40



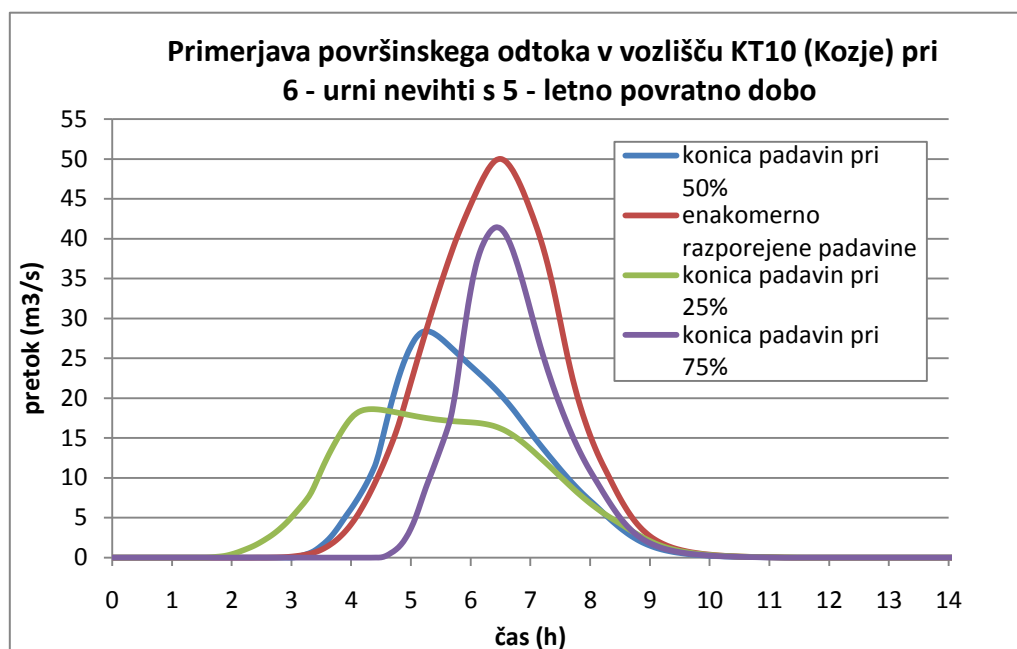
Slika 57: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6-urni nevihti s 10-letno povratno dobo za različne razporeditve padavin



Pri različno razporejenih 6-urnih padavinah s 5-letno povratno se po času nastopa konice površinskega odtoka najbolj ujemajo izračuni modela z enakomerno razporejenimi padavinami in padavinami s konico na 75 %. Najbolj pa odstopajo časi in maksimalni odtoki pri padavinah s konico pri 25 % in 50 % (Slika 58).

Preglednica 59: Primerjava vrednosti maksimalnih odtokov in časa nastopa vrha odtoka v odvisnosti od razporeditve padavin

Vozlišče KT10	5-letna povratna doba			
Čas trajanja nevihte (h)	6	6	6	6
Razporeditev padavin, položaj konice	enakomerna	25%	50%	75%
Maksimalni odtok ( $m^3/s$ )	50	19	28	41
Čas nastopa vrha odtoka od pričetka nevihte	6:30	4:20	5:15	6:25



Slika 58: Primerjava površinskega odtoka v vozlišču KT10 (Kozje) pri 6 - urni nevihti s 5 – letno povratno dobo za različne razporeditve padavin

## 8 ZAKLJUČEK

Naloga predstavlja primer izdelave hidrološke študije visokih voda z določitvijo dejanskih maksimalnih pretokov in visokovodnih valov. V nalogi sem predstavila teoretične osnove hidrološkega modela HEC – HMS (osnovne gradnike in njihovo uporabo ter uporabljene metode), hidrološki in hidrografski opis porečja ter naravnogeografske značilnosti porečja. Na podlagi podatkov o padavinah in vodostaju, ki jih je posredovala Agencija RS za okolje, sem izdelala verjetnostno analizo padavin za izbrane padavinske postaje in verjetnostno analizo pretokov.

Izbrala sem dve padavinski situaciji, na podlagi katerih sem umerila model. Model je bil umerjen glede na izbrane podatke o izmerjenem vodostaju oziroma na podlagi pretoka določenega iz pretočne krivulje, ki velja za prerez pri vodomerni postaji Zagaj I (padavinska situacija leta 1980 in 1999). Pri samem umerjanju modela lahko območja, na katerih imamo na razpolago dobre podatke o padavinah in pretokih, zelo natančno umerimo. Območja, za katera imamo na razpolago malo podatkov (dnevne vrednosti padavin in dnevne meritve vodostaja) pa težje umerimo. Na območju Bistrice se nahaja šest padavinskih postaj, od teh je bila le ena opramljena z ombrografom, to je postaja Planina pri Sevnici, ki pa ne deluje več ter vodomerna postaja Zagaj I, ki je opremljena z vodomerno lato. Mreža vodomernih postaj je dokaj skromna, zato predlagam da se ta razširi, prav tako pa dopolni z merilno napravo za merjenje pretokov (limnigrafom), padavinske postaje pa se dopolnijo z ombrografi. Poleg tega meritve ne smemo omejiti samo na večje vodotoke, spremljati in beležiti je potrebno tudi dogajanje na manjših pritokih.

V dveh ključnih prerezih (Kozje in VP Zagaj I) sem izračunala visokovodne valove s povratno dobo 5, 10, 50, 100 in 500 let ter maksimalne pretoke dveh večjih pritokov Bistrice - Zagorskega potoka in Bistrega grabna. Izračunane hidrograme površinskega odtoka lahko uporabimo direktno ali pa v povezavi z drugo programsko opremo za različne študije, kot so napovedovanje poplav, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad in prepustov, študije vpliva urbanizacije na odtok, izdelavo opozorilne karte poplav in podobno.

Hidrološki modeli so občutljivi na padavine, ki so glavni vhodni podatek v model. Zanesljivost izračunanega pretoka je odvisna od zanesljivosti padavin in od točnosti ocen parametrov modela ter drugih napak vhodnih podatkov. Poleg količine padavin povzročajo poplave tudi časovna razporeditev padavin. Ni vseeno, ali padavine nastopijo z visoko jakostjo in potem izzvenijo, ali pa začnejo z rahlim dežjem, ki na koncu preraste v močan naliv. Tudi enaka največja jakost dveh različnih nalivov ne bo dala enakih največjih odtočnih količin. Padavine z maksimumom proti koncu situacije bodo dale bistveno večje konice odtoka od padavin z maksimumom na začetku. Pomembna je tudi predhodna namočenost tal, čim večja je predhodna vlažnost, tem večja količina padle vode odteče površinsko.

Trajanje in razporeditev padavin torej močno vpliva na pretok in čas nastopa maksimalnega odtoka. Primerjavo površinskega odtoka sem izdelala za enakomerno razporejene padavine in padavine s postavljenimi konicami na 25 %, 50 % in 75 % časa celotnega trajanja nevihte. Pri enakomerno razporejenih padavinah maksimalni odtoki naraščajo do merodajnih padavin (padavine, ki dajejo maksimalne pretoke), nato pa začnejo upadati. Enakomerno razporejene padavine s trajanjem 24 ur nam v primeru enakomerne razporeditve dajejo najmanjše vrednosti maksimalnih pretokov. V primeru ko razporedimo padavine tako, da je druga največja vrednost pred maksimalno vrednostjo, tretja največjo pa za maksimalno vrednostjo itd., pa nam 24-urne padavine dajejo največje vrednosti. Na velikost odtoka vpliva tudi postavitve konice padavin. Izračuni so pokazali, da največje odtoke dajejo 24-urne padavine s konico na 75 %. V primeru 6-urne nevihte pa so razlike, med enakomerno razporejenimi padavinami in padavinami, ki jim določimo nastop konice, manjše. Za presojo o pravilnosti izbire posamezne metode določanja sintetičnega histograma padavin, bi bile potrebne natančne statistične analize padavin za daljše obdobje.

## VIRI

ARSO MOP, 2009. Podatki o padavinah in pretokih.

Brilly, M., 1993. Priročnik za program HEC 1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 122 str.

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

Brilly, M., Šraj, M., 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 309 str.

Brady, C. N., Weil, R. R., 2002. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, New Jersey, USA: 960 str.

CPVO, 1990 - 2009. Talni informacijski sistem Slovenije (TIS). Interno gradivo Centra za pedologijo in varstvo okolja pri vzpostavitvi in vzdrževanju TIS, Ljubljana

(<http://web.bf.uni-lj.si/icpvo/index.htm>; (<http://soil.bf.uni-lj.si/> - nova stran v nastajanju) (5.9. 2009)

Dirnbek, L., 2008. Vpliv histograma efektivnih padavin na hidrogram odtoka. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij gradbeništva: 86 str.

Davie, T., 2008. Fundamentals of Hydrology. Second edition: 199 str.

Grad, K., 1967. Geologija Kozjanskega. Geografski zbornik, 10: str. 5–16.

GURS, Geodetska uprava Republike Slovenije, Pokrovnost tal CORINE Land Cover Slovenija.

GURS, Geodetska uprava Republike Slovenije, TTN 1:5000. Kartografsko gradivo v digitalni obliki.

GURS, 2008. Tehnična navodila za določanje bonitete zemljišč. Številka: 00705-6/2008, Geodetska uprava Republike Slovenije: 91 str.

Haestad Methods, S. Rocky Durrans, 2003. Stormwater conveyance modeling and design, First Edition: 686 str.

IzVRS, 2009a. Karta ocenjene hidravlične prevodnosti tal na območju porečja Bistrice za enote pedološke karte.

IzVRS, 2009b. Karta pokrovnosti tal po CORINE za območje porečja Bistrice.

Kutilek, M., Nielsen, D.R., 1994. Soil Hydrology, Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, Germany.

Miller, R.W., Donahue, R.L., 1990. Soils - An introduction to soils and plant growth (sixth ed.). Prentice Hall, New Jersey: 768 str.

Ocena hidravlične prevodnosti tal v Sloveniji za pedokartografske enote merila 1:250 000. 2009. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 14 str.

Ponce, V. M., Hawkins, R. H.. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering 1(1):11-19 str.

Skumavec, D., Šabić. D., 2005. Pokrovnost tal v Sloveniji 1993 – 2001. Rezultati raziskovanj, Statistični urad Republike Slovenije, Št. 815.

[http://www.stat.si/tema\\_okolje\\_ozemlje.asp](http://www.stat.si/tema_okolje_ozemlje.asp) (18. 5. 2009)

Suhadolc, M., Ruprecht, J., Zupan, M., 2005. Priročnik za vaje iz pedologije. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja, univerzitetni študij Zootehnike: 42 str.

Turk, G., 2009. Verjetnostni račun in statistika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 225.

<http://www.km.fgg.uni-lj.si/predmeti/sei/vrs1.pdf> (5.7.2009).

USDA-SCS. 1985. National Engineering Handbook, Section 4 - Hydrology. Washington, D.C.: USDA-SCS.

US Army Corps of Engineers, 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Tehnical Reference Manual: 149 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html> (12. 3. 2009)

US Army Corps of Engineers, 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual Version 3.3: 278 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html> (12. 3. 2009)

US Army Corps of Engineers, 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Applications Guide: 108 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html> (12. 3. 2009)

VGI, 1988. Hidrološka študija Sotle, C – 1069, Ljubljana: 16 str.

VGI, 1996. Sotla. Vodnogospodarska ureditev povodja – zadrževanje visokih voda v povodju, C – 123, Ljubljana: 28 str.

Vodna bilanca Slovenije 1971 – 2000. 2008. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 119 str.

WMO, 1994. Guide to Hydrological practices, No. 168, Fifth edition: 735 str.

Žagar, M., 1967. Kozjansko. Gospodarsko-geografska problematika. Geografski zbornik, 10: str. 17–155.

### **Spletni viri:**

1... Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija republike Slovenije za okolje

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/> (30. 3. 2009)

2... Kozjanski park

<http://www.kozjanski-park.si/> (15.4. 2009)

3... Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija republike Slovenije za okolje

<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> (20.9. 2009)

4... Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

[http://stari.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/SF\\_PodatkiTalSlovenije.htm](http://stari.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/SF_PodatkiTalSlovenije.htm) (10.9. 2009)

5... Inštitut za ohranjanje naravne dediščine

<http://izobrazevanje.lutra.si/krozenje-vode.html> (8.10. 2009)

### **Vir hidroloških in meteoroloških podatkov:**

Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor

Arhiv Republike Slovenije