

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 študij vodarstva in  
komunalnega inženirstva

Kandidat:  
**Matjaž Šauta**

# **Hidrološka analiza hudournika Kroparica s pritoki**

**Diplomska naloga št.: 152**

**Mentor:**  
doc. dr. Mojca Šraj

**Somentor:**  
prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 2010

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATJAŽ ŠAUTA** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»**HIDROLOŠKA ANALIZA HUDOURNIKA KROPARICA S PRITOKI**«.

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

Ljubljana, \_\_\_\_\_ 2010

---

(Podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

**UDK:** 556:627.141 (043.2)  
**Avtor:** Matjaž Šauta  
**Mentor:** doc. dr. Mojca Šraj  
**Somentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Naslov:** Hidrološka analiza hudournika Kroparica s pritoki  
**Obseg in oprema:** 71 str., 17 pregl., 66 sl., 23en  
**Ključne besede:** Kropa, hudournik, hidrologija, HEC-HMS, statistična analiza

### **Izvleček**

Cilj diplomske naloge je podrobnejša analiza projekta Hidrološko – hidravlična analiza vodotoka Kroparice, ki sem ga pomagal izdelati med študentskim delom pri Podjetju za urejanje hudournikov v Ljubljani. Najprej sem predstavil ugotovitve in zaključke te analize v nadaljevanju pa sem poskusil preveriti kako natančne in zanesljive so nekatere metode, ki se že dolgo uporabljajo v praksi urejanja hudournikov in so v veliki meri izkustvene. Te metode sem primerjal s sodobnejšo hidrološko analizo vodotoka s programom HEC-HMS in skušal ugotoviti primernost obeh metod za analizo manjših, izrazito hudourniških povirij.

Za hudourniško območje Kroparice sem izdelal hidrološko analizo visokih voda, v kateri sem določil teoretične visokovodne valove z 10, 50 in 100- letno povratno dobo. Preveril sem razliko v odtoku glede na položaj konice histograma padavin in vse primerjal z enakomerno razporejenimi padavinami. Konice hidrogramov odtoka sem nato primerjal z 20 in 100-letnimi vodami izračunanimi po Kresnikovi metodi.

Hidrološka analiza vsebuje hidrološki opis območja, naravnogeografske značilnosti območja, analizo padavin z meteorološke postaje Lesce za obdobje od 1981 do 2008, analizo vremenskega dogajanja med neurjem v septembru 2007 in analizo poplav v Kropi, ki so sledile. Hidrološki model območja sem izdelal s pomočjo programa HEC-HMS (verzija 3.4), s Snyderjevim sintetičnim hidrogramom enote po metodi Riverside county.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 556:627.141 (043.2)  
**Author:** Matjaž Šauta  
**Supervisor:** Mojca Šraj, PhD  
**Co-supervisor:** prof. Matjaž Mikoš, PhD  
**Title:** Hydrologic analysis of the Kroparica torrent and its tributaries  
**Notes:** 71 p., 17 tab., 66 fig., 23 eq.  
**Key words:** Kropa, torrents, hydrology, HEC-HMS, statistical analysis

### **Abstract**

The aim of the analysis was a more in-depth analysis of the project that I helped to make during my student work at PUH in Ljubljana (a company that does stream regulations). I present the conclusions of the project and then proceed to assess the accuracy of some of the methods employed in torrent regulation that has been developed and used for some time in practice and compare them with more modern methods using the HEC-HMS program.

For the region of Kropa I have made a hydrologic analysis of high waters where I have determined the theoretical discharge and flood waves with return period of 10, 50 and 100 years. I determined the difference in the discharge for different intensity positions and regularly distributed rainfall. I then compared the peak outflows with the high waters with return periods of 20 and 100 years calculated with the Kresnik method.

The hydrologic analysis consists of hydrologic description of the area, natural geographic characteristics of the basin, statistic rainfall analysis for the Lesce weather station for the period from 1981 to 2008, analysis of the storm in September 2007 and the flooding that followed in Kropa. The hydrologic model was done in the HEC-HMS program (version 3.4), with the Snyder synthetic hydrogram by the Riverside county method.



## **ZAHVALA**

Na prvem mestu se zahvaljujem Janku Černivcu iz podjetja PUH, s katerim sem dva meseca izdeloval hidrološko-hidravlično študijo Kroke in se zraven zelo veliko naučil.

Zahvaljujem se mentorici Mojci Šraj in somentorju Matjažu Mikošu, za strokovno pomoč pri pisanju diplomskega dela, za potrpežljivost in spodbudo.

Zahvaljujem se tudi staršem in sestri ter vsem sošolcem, ki so mi vsi veliko pomagali na poti do zaključka študija.

## **KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Cilj diplomske naloge</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI HUDOURNIŠKEGA OBMOČJA KROPARICE</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Geografske značilnosti</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Geologija in pokrovnost tal</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>Pedologija</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Podnebje in padavine</b>	<b>5</b>
<b>2.5</b>	<b>Hidrografske značilnosti porečja</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>TEORETIČNE OSNOVE</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>Program HEC-HMS</b>	<b>8</b>
<b>3.2</b>	<b>Padavine</b>	<b>8</b>
3.2.1	Sintetični histogram padavin	8
3.2.2	Padavine z določeno povratno dobo	9
<b>3.3</b>	<b>Padavinske izgube</b>	<b>9</b>
3.3.1	Metoda SCS (Soil Conservation Service)	9
<b>3.4</b>	<b>Sintetični hidrogram enote</b>	<b>15</b>
3.4.1	Sintetični Snyderjev hidrogram enote	15
3.4.2	Metoda Riverside County	16
<b>3.5</b>	<b>Metoda zakasnitve – propagacija vala</b>	<b>17</b>
<b>3.6</b>	<b>Enačbe uporabljene v hidravlični študiji</b>	<b>17</b>
3.6.1	Manningova enačba	17
3.6.2	Kresnikova metoda za določanje površinskega odtoka	18
<b>4</b>	<b>ANALIZA METEOROLOŠKIH IN HIDROLOŠKIH PODATKOV</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Analiza padavinskih podatkov</b>	<b>19</b>



<b>4.2</b>	<b>Analiza pretokov</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Analiza padavinskega dogodka septembra 2007</b>	<b>20</b>
<b>4.4</b>	<b>Analiza poplav septembra 2007</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>RAČUN PADAVINSKEGA ODTOKA S PROGRAMOM HEC-HMS</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Vhodni podatki</b>	<b>28</b>
5.1.1	Padavine in izgube padavin	28
5.1.2	Hidrogram enote	28
5.1.3	Propagacija vala	31
<b>6</b>	<b>HIDRAVLIČNA OCENA PREVODNOSTI STRUGE HUDOURNIKA KROPARICA</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Prevodnost obstoječih pretočnih profilov struge Kroparice</b>	<b>35</b>
<b>6.2</b>	<b>Dimenzioniranje potrebnih pretočnih profilov struge Kroparice</b>	<b>49</b>
6.2.1	Povečanje pretočnega profila struge v območju Bodlajeve vigece	49
6.2.2	Povečanje pretočnega profila struge pod Koruznim mostom	50
6.2.3	Povečanje pretočnega profila struge v območju profila P 3A	51
<b>7</b>	<b>REZULTATI IN ANALIZA</b>	<b>53</b>
<b>7.1</b>	<b>Visoke vode Kroparice za ožje območje do Koruznega mostu</b>	<b>53</b>
<b>7.2</b>	<b>Visoke vode Kroparice v zadnjem vozlišču za celotno povodje</b>	<b>56</b>
<b>7.3</b>	<b>Primerjava odtoka za različne postavitve konice histograma in enakomerno razporejene padavine</b>	<b>63</b>
<b>7.4</b>	<b>Primerjava rezultatov v HEC-HMS z visokimi vodami izračunanimi po Kresnikovi metodi</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>68</b>

VIRI

NAPAKA! ZAZNAMEK NI DEFINIRAN.

## **KAZALO SLIK**

**Slika 1: Kropa in meteorološka postaja Lesce (Geopedia, 2010)**

**Slika 2: Geološka karta Kroke z označeno rabo tal (Geopedia, 2010)**

**Slika 3: Pokrovnost tal**

**Slika 4: Dolina Kroke v reliefu s pedološkim slojem**

**Slika 5: Pritoki Kroparice (PUH, 2008)**

**Slika 6: Ponazoritev enačbe Kohlerja in Richardsa (Brilly in Šraj, 2006)**

**Slika 7: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odtoka v odvisnosti od padavin (Brilly in Šraj, 2006)**

**Slika 8: Grafični prikaz podatkov o ekstremnih pdavinah za različne povratne dobe za meteorološko postajo Lesce**

**Slika9: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 9.30 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)**

**Slika10: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 12.10 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)**

**Slika11: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 14.00 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)**

**Slika12: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 16.00 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)**

**Slika13: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 19.50 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)**

**Slika 14: Dnevna kolicina padavin od 8. ure 18. septembra 2007 do 8. ure 19. septembra 2007 (ARSO, 2008)**

**Slika 15: S puščicami prikazana pot deroče vode, ki je povzročila razdejanje septembra 2007 (PUH, 2008)**

**Sliki 16 in 17: Uničena struga, cesta in vodovod v območju profila 11 in urejeno stanje po sanaciji decembra 2008(foto: Bojan Okorn)**

**Sliki 18 in 19: Zamašen Koruzni most med neurjem in odložen material v okolici mostu po njem (foto: Dominik Grozina)**

**Slika 20: Razdelitev povodja za izračun s programom HEC-HMS**

**Slika 21: Model povodja v HEC-HMS**

**Slika 22: Prikaz meritve dolžin in določitve težišč v programu AutoCad**

**Slika 23: Določitev površine travnikov in urbaniziranih površin za posamezna na podlagi ortofoto posnetka**

**Slika 24: Relief Kroke z označenim kraškim zaledjem ter ožjim območjem do Koruznega mostu in celotnim vodozbirnim območjem (Geopedia, 2010)**

**Slika 25: Prikaz pritokov Kroparice in označba profilov v katerih smo računali prevodnost (PUH, 2008)**

**Slika 26: Profil P1**

**Slika 27: Profil P2**

**Slika 28: Profil P3A**

**Slika 29: Profil P3**

**Slika 30: Profil P4**

**Slika 31: Profil P5**

**Slika 32: Profil P6**

**Slika 33: Profil P7**

**Slika 34: Profil P8**

**Slika 35: Profil P9**

**Slika 36: Profil P10**

**Slika 37: Profil P11**

**Slika 38: Profil P12**

**Slika 39: Pogled na vtok v rake na prelivu drče v profilu P10 in obokan most v profilu P9 (PUH, 2008)**

**Slika 40: Obnovljen "Koruzni most" v Kropi skupaj z dolvodno kamnito drčo (PUH, 2008)**

**Slika 41: Betonski prag s stopnjo 1,30 m v območju profila 3A (PUH, 2008)**

**Slika 42: Vtok pod most v profilu P4 pri stanovanjski hiši Kropa 82 s prenizko urejenim vrtom in vhodom (PUH, 2008)**

**Slika 43: Visokovodni valovi za 100-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu**

**Slika 44: Visokovodni valovi za 50-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu**

**Slika 45: Visokovodni valovi za 10-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu**

**Slika 46: Visokovodni valovi za 100-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

**Slika 47: Visokovodni valovi za 50-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

**Slika 48: Visokovodni valovi za 10-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

**Slika 49: Hidrogram odtoka v zadnjem vozlišču za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 50: Hidrogram odtoka za ožje območje za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 51: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 1 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 52: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 2 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 53: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 3 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 54: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 4 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 55: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 5 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 56: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 6 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 57: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 1 urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 58: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 3 urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 59: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 6 urno nevihto z 10-letno povratno dobo**

**Slika 60: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 1 urno nevihto s 50-letno povratno dobo**

**Slika 61: Primerjava odтока s celotnega povodja za 3 urno nevihto s 50-letno povratno dobo**

**Slika 62: Primerjava odтока s celotnega povodja za 6 urno nevihto s 50-letno povratno dobo**

**Slika 63: Primerjava konic hidrogramov odтока za nevihte različnih trajanj in povratnih dob iz HEC-HMS s Kresnikovo metodo**

## **KAZALO PREGLEDNIC**

**Preglednica 1: Najvišje in najnižje vrednosti izbranih meteoroloških spremenljivk merjenih na meteorološki postaji Lesce-Hlebce v obdobju 1979–2000**

**Preglednica 2: Klasifikacija zemljin po SCS (Brilly in Šraj, 2006)**

**Preglednica 3: Koeficienti CN za urbanizirane površine (USACE, 2008)**

**Preglednica 4: Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (USACE, 2008)**

**Preglednica 5: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (USACE, 2008)**

**Preglednica 6: Povratne dobe za ekstremne padavine za postajo Lesce v obdobju od 1981 do 2008 (ARSO, 2010)**

**Preglednica 7: Izračunan čas zakasnitve in koeficient vrha hidrograma enote po metodi Riverside county**

**Preglednica 8: Dolžine povodij, dolžine od točke na vodotoku najbližje težišču, do konca vodotoka in povprečni padci terena.**

**Preglednica 9: Določitev odtočnega koeficienta začetnih izgub**

**Preglednica 10: Velikosti vodozbirnih območij in količin visokih voda hudournika Kroparica po Kresniku (PUH, 2008)**

**Preglednica 11: Velikosti vodozbirnih območij in količin visokih voda hudourniških pritokov Kroparice (PUH, 2008)**

**Preglednica 12: Maksimalni pretoki za 100-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje**

**Preglednica 13: Maksimalni pretoki za 50-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje**

**Preglednica 14: Maksimalni pretoki za 10-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje**

**Preglednica 15: Maksimalni pretoki za 100-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

**Preglednica 16: Maksimalni pretoki za 50-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

**Preglednica 17: Maksimalni pretoki za 10-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje**

## 1 UVOD

Kropa je strnjeno naselje v ozki dolini, stisnjeno med strma pobočja Jelovice in Peči ter presekan s hudournikom Kroparica. Že v srednjem veku je bila v naselju razvita železarska (kovaška) industrija, pri kateri so izkoriščali naravna bogastva (železovo rudo, les, vodno energijo). Voda je poganjala številne kovaške naprave (mehove, norce, ...). Kropa je še danes poznana po kovaški obrti, vodni pogoni pa so preteklost. Ostaja pa obzidana struga s številnimi prečnimi objekti, odvzemi, izpusti in rakami.

Objekti vodne infrastrukture skozi naselje so stari, precej je dotrajanih, nekateri so v slabem stanju. Ponekod je že ogrožena stabilnost stopenj, brežin in na brežinah zgrajenih stanovanjskih ali poslovnih objektov. Veliko škodo je na teh dotrajanih objektih naredil hudournik s svojim delovanjem v neurju 18. 09. 2007, ko so zaradi napolnjenega kraškega zaledja in dodatnih obilnih padavin hudourne vode nenadno pridrvele v Kropo, z navlako v strugi zamašile premajhno mostno odprtino Koruznega mostu ter se razlile po ozkih ulicah na obeh straneh struge. Zaradi dotrajanosti priobrežnih zidov je deroča voda spodkopala več objektov (Modrijanovo hišo, garažo pri Gartnerjevih na Skalci, ipd.), ceste, vodovod, mostove ter zalila kleti in pritličja številnih hiš. (Po razgovoru s predsednikom KS Kropa g. Kozjekom)

Odnešen material je voda odložila na cestah, ob vtokih v mostove, v kletih in z blatom zamašila kanalizacijo. Precej škode so povzročili tudi številni hudourniški pritoki Kroparice, ki so zamašili vtoke večinoma poddimenzioniranih prepustov na izlivnih odsekih strug. Takoj po neurju so prizadevni krajski in prostovoljci s sodelovanjem občine, gasilcev in podjetij očistili hiše, tovarne in javne površine ter sanirali najbolj poškodovane objekte. Prav tako so tudi obnovili Koruzni most in povečali njegovo pretočno odprtino. Vendar ostaja še precej nedokončanih del, večina obrežnih zavarovanj in rak je dotrajanih, številni prepusti in mostovi so še vedno premajhni in jim bo v prihodnosti potrebno povečati pretočno odprtino. (Po razgovoru s predsednikom KS Kropa g. Kozjekom)

### 1.1 Cilj diplomske naloge

Cilj diplomske naloge je podrobnejša analiza projekta Hidrološko – hidravlična analiza vodotoka Kroparice, ki sem ga pomagal izdelati med študentskim delom pri Podjetju za urejanje hudournikov v Ljubljani. Najprej sem predstavil ugotovitve in zaključke te analize v nadaljevanju pa sem poskusil preveriti kako natančne in zanesljive so nekatere metode, ki se že dolgo uporabljajo v praksi urejanja hudournikov in so v veliki meri izkustvene. Te metode sem primerjal z modernejšo analizo vodotoka s programom HEC-HMS in skušal ugotoviti primernost obeh metod za analizo manjših izrazito hudourniških povirij.



## 2 NARAVNOGEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI HUDOURNIŠKEGA OBMOČJA KROPARICE

### 2.1 Geografske značilnosti

Hudournik Kroparica izvira v pobočjih Zidane skale, teče skozi naselje Kropa in se pri naselju Brezovica na nadmorski višini 432,00 m kot desni pritok zliva v vodotok Lipnica, ki se v naselju Podnart kot desni pritok zliva v Savo (Slika 1). Zaradi kraške geološke sestave in reliefa Jelovice ima hudournik vedno dovolj vode, ki je ne zmanjka niti v sušnih mesecih.

Zaradi kratkega toka (okoli 3,00 km) in velike višinske razlike pa ima Kroparica izrazit hudourniški značaj, saj ob deževju in taljenju snega hitro naraste, a tudi hitro upade. Številni pritoki ta značaj hudournika samo še poudarjajo.

Zaradi kompleksnosti in celovitosti sistema ureditev, z več različnimi uporabniki prostora in vode na obravnavanem odseku hudournika Kroparica (razen rednih vzdrževalnih del in v okviru sanacije poplav), se kakršnakoli večja dela niso izvajala. Ob visokih vodah Kroparica in njeni pritoki skozi naselje prinašajo s seboj večje količine materiala.

Zaradi starosti in dotrajanosti ureditev, erozije korita in zmanjšane stabilnosti objektov vodne infrastrukture, se na odsekih ponekod srečujemo s slabšimi stabilnostnimi razmerami, ki na celotnem odseku lahko ogrozijo urbanizirane površine (posebej staro jedro Kroepe – kulturna dediščina).



Slika 1: Kropa in meteorološka postaja Lesce (Geopedia, 2010)

## 2.2 Geologija in pokrovnost tal

V zaledju Kroepe je opaziti nekaj večjih območij plazljivega terena, ki lahko ogrozijo pretočnost ali povzročijo nevarni murasti tok. Tako se je v dneh po poplavih septembra 2007 v zaledju hudournika Črni potok pojavilo večje, z vodo namočeno plazljivo območje, ki je grozilo krajanom Kroepe, vendar pa je hudournik nastalo plazovino sam postopno odplaval v dolino.

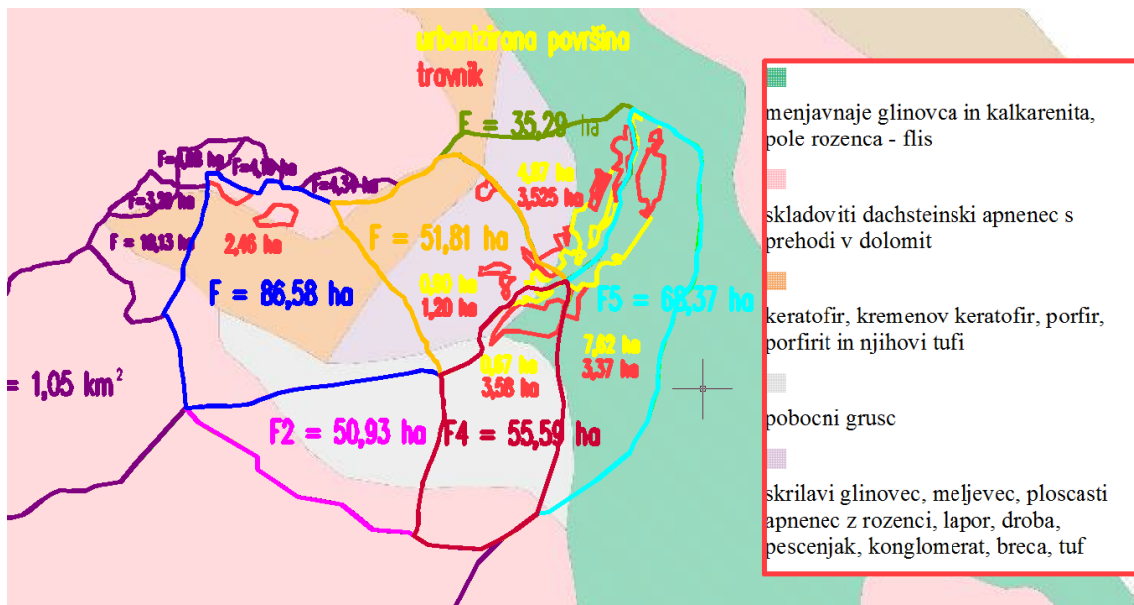
Drugo potencialno plazljivo območje se nahaja nad cerkvijo sv. Lenarta, ki ga bo v prihodnosti potrebno še sanirati. Poleg samega plazenja terena nad in pod cerkvijo, na kateri so že vidne razpoke, so za krajane posebno zaskrbljujoči močni izviri talnih voda, ki se posebno ob močnem deževju pojavljajo v kletih hiš v vznožju tega dela pobočja. Zato bo v okviru predvidenih raziskovalnih del premikov terena na obravnavanem pobočju potrebno tudi preveriti, ali ti močni dotoki ne prihajajo iz kraškega zaledja obronkov vzhodnega dela obronka Jelovice na vrhu leve brežine hudournika Kroparica.

Poleg tega so k plazenju podvrženi tudi aluvialni nanosi in ostanki ledeniških grobelj, ki predstavljajo zelo labilen teren v katerem lahko vode ustvarjajo večja ali manjše udore s čemer so dani vsi pogoji za delovanje razdiralnih sil vode.

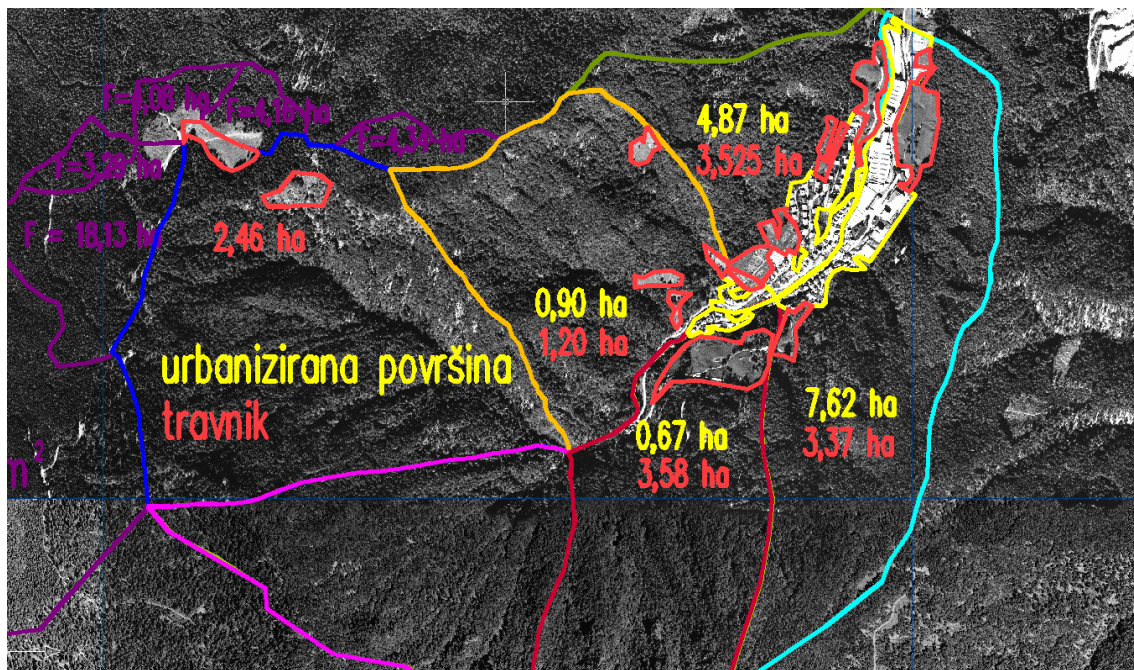
(Po razgovoru s predsednikom KS Kropa g. Kozjekom in ogledu na terenu)

Iz geološke karte (Slika 2) je razvidno, da se kraški svet iz Jelovice, za katero smo predpostavili, da podzemno napaja strugo Kroparice in njenih pritokov, nadaljuje v njeno neposredno porečje, kar podpira našo domnevo. Kraški svet apnenca in dolomita se nato v spodnjem desnem delu Kroparice prelevi v glinavec in fliš, na levem pa imamo zmes skrilavega glinavca, meljevca, laporja, drobe, peščenjaka, konglomerata, breče in tufa.

Na karti pokrovnosti tal (Slika 3) prevladuje mešani gozd, ki preko travnikov nato prehaja v poseljeni del porečja. Urbanizirane površine je na celotnem povodju le 14,5 hektarjev, travnikov je za dobrih 14 hektarjev, vse ostalo od 3,5 kvadratnih kilometrov povodja pa pokriva gozd.



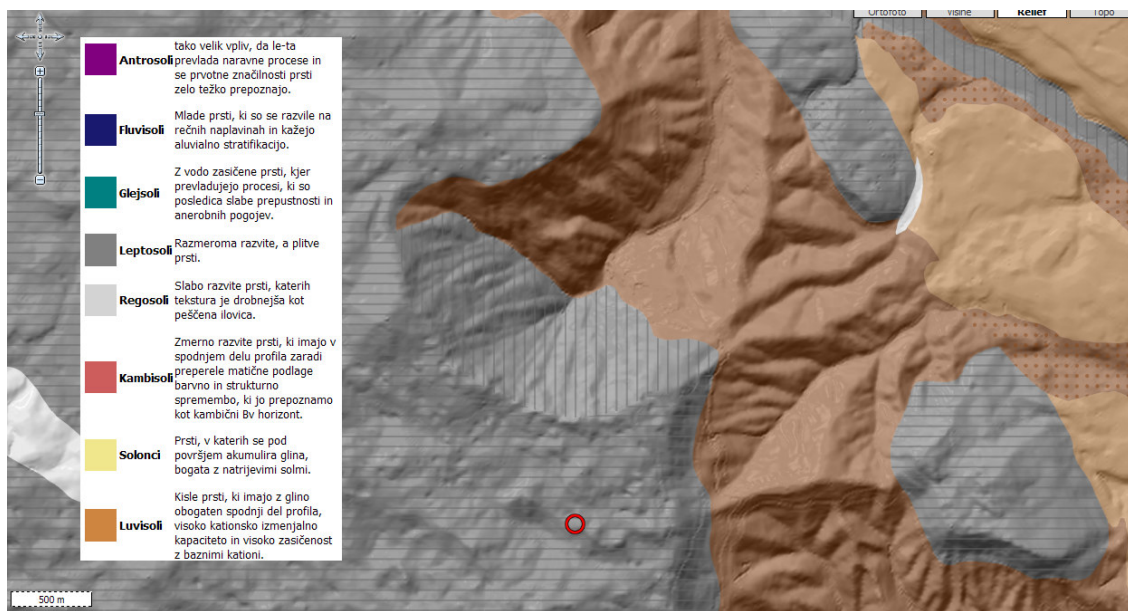
Slika 2: Geološka karta Krope z označeno rabo tal (Geopedia, 2010)



Slika 3: Pokrovnost tal

## 2.3 Pedologija

Iz pedološke karte (Slika 4) je razvidno, da prevladujejo Luvisoli in Regosoli, torej kisle prsti in peščena ilovica.



Slika 4: Dolina Kroke v reliefu s pedološkim slojem

## 2.4 Podnebje in padavine

Najbližje obravnavanem območju je meteorološka postaja Lesce–Hlebce, na nadmorski višini 521 m. V sredstvih javnega obveščanja jo imenujejo Lesce. Podatki s te postaje podajajo vremenske razmere v Deželi in Blejskem kotu. V tem delu Gorenjske so še tri meteorološke postaje: Bled, Bled- Jermenka in Breg, ki pa podajajo le padavinske razmere.

Meteorološko in fenološko postajo so v Hlebcah postavili 11. decembra 1978. Pred tem, od leta 1954 do 1978, je bila klimatološka meteorološka postaja v Radovljici. Od ustanovitve do danes je postaja v Hlebcah ves čas na istem mestu. Tončka Justin je na postaji opazovalka od vsega začetka; meteorološke meritve in meteorološka ter fenološka opazovanja opravlja že 23 let. Na postaji merijo temperaturo zraka 2 m in 5 cm nad tlemi, temperaturo tal na različnih globinah, vlago zraka, smer in hitrost vetra, vidnost, višino padavin in snežne odeje ter opazujejo oblačnost in meteorološke pojave ter fenološke faze (razvojne stopnje rastlin) na zeliščih, gozdnem drevju, poljščinah in posevkih ter sadnem drevju (Preglednica 1). Trajanje sončnega obsevanja merijo od 7. novembra 1990 na letališču v Lescah. (Nadbath, 2001)

Preglednica 1: Najvišje in najnižje vrednosti izbranih meteoroloških spremenljivk merjenih na meteorološki postaji Lesce-Hlebce v obdobju 1979–2000

	največ maximum	leto/datum year/date	najmanj minimum	leto/datum year/date
povprečna temperatura zraka / average air temperature (°C)	9.8	1994, 2000	7.2	1980
ekstremna dnevna temperatura zraka / extreme daily temperature (°C)	34.9	27.7.1983	-23.7	13.1.1987
število dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 25 °C na mesec number of days with max. air temperature above 25 °C per month	28	avgust 1992	0	/
število dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 25 °C na leto number of days with max. air temperature above 25 °C per year	64	1994	26	1989
število dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 30 °C na mesec number of days with max. air temperature above 30 °C per month	18	avgust 1992	0	/
število dni z najvišjo dnevno temperaturo zraka nad 30 °C na leto number of days with max. air temperature above 30 °C per year	21	1992	0	1979, 1989, 1997
letna višina padavin / yearly precipitation (mm)	1870	2000	1043	1983
mesečna višina padavin / monthly precipitation (mm)	614	november 2000	0.1	januar 1989
dnevna višina padavin / daily precipitation (mm)	132.3	21.8.1988	0	/
število dni s snegom na zimo number of days with snow cover per winter	107	1980/81 1985/86	5	1989/90 1992/93
letna višina snežne odeje / yearly snow cover (cm)	82	15.1.1987	6	26.2.1989

## 2.5 Hidrografske značilnosti porečja

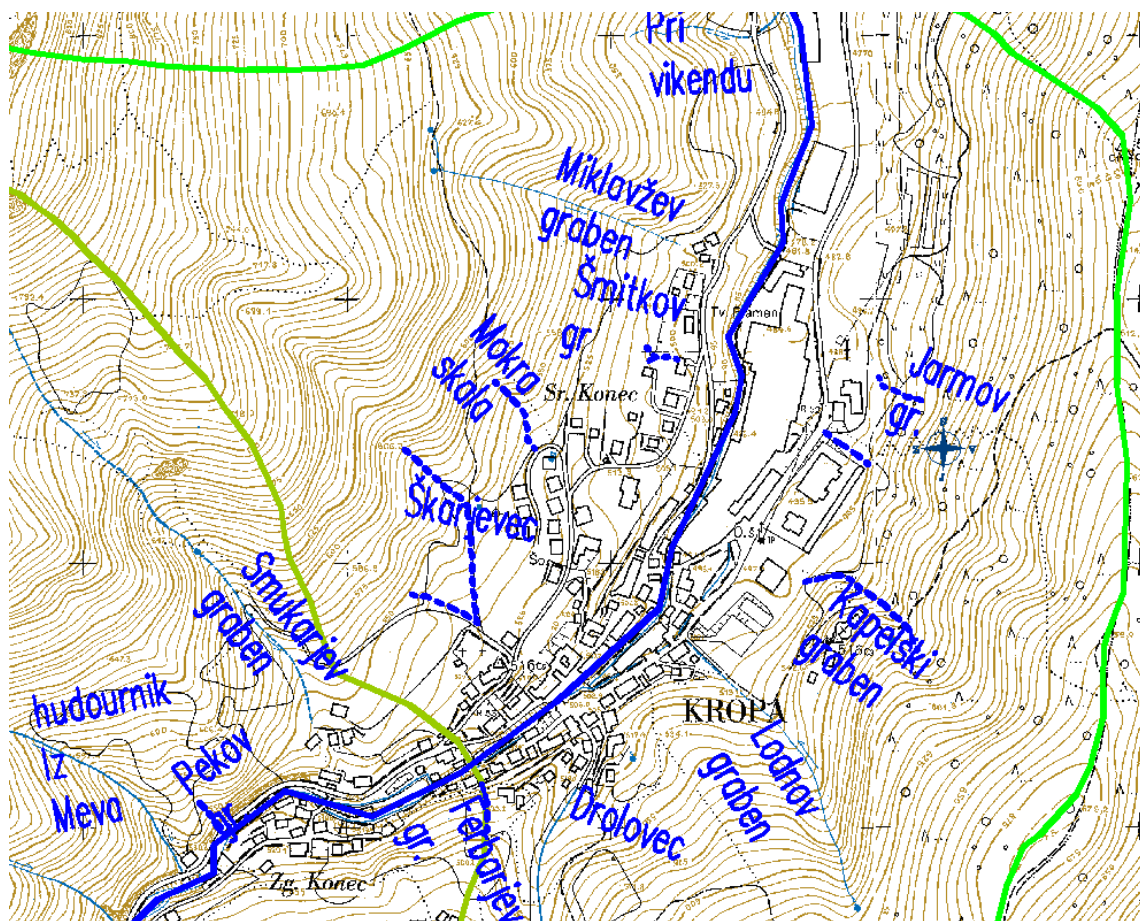
Od izvira do izliva se v Kroparico stekajo številni pritoki (Slika 5):

- desni pritoki:
  - Preprovka (zgornji tok Kroparice)
  - Jercin studenec
  - Čačmanov studenček
  - Ferbarjev graben
  - Hrinovec
  - Drolovec
  - Lodnov graben
  - Kapelška voda
  - Kapelški graben
  - Jarmov graben
  - Črni potok
- levi pritoki:
  - Zarten (Zorten potok)
  - Pod Špikom
  - Klobučarjev graben
  - Graben iz Meva
  - Pekov graben
  - Šmukarjev (Hercelnov) graben
  - Škarjevec
  - Mokra skala
  - Šmitkov studenec

- Miklavžev graben
- Graben pri vikendu
- Stočarjev graben

*(Imena so povzeta po krajevno značilnih imenih, spisek je nastal leta 2000 kot skupni projekt javne vodnogospodarske službe VGP Kranj, d.d. in Kovaškega muzeja Kropa, dopolnjen po razgovoru s predsednikom KS Kropa g. Kozjekom)*

Prispevno površino vodotoka Kroparica lahko delimo na dva dela. Neposredni del s katerega se zliva voda neposredno v hudournik je pahljačaste oblike, dolžine okoli 3,20 km in širine 1,90 km. Posredni del pa predstavlja kraška planota Jelovica (apnena podlaga in značilna kraška morfologija), s katere voda odteka podzemno. S te površine so odtočne količine in recipienti težko dokazljivi. (PUH, 2008)



Slika 5: Pritoki Kroparice (PUH, 2008)

### 3 TEORETIČNE OSNOVE

#### 3.1 Program HEC-HMS

Program je v osnovi namenjen modeliranju padavinskega odtoka s povodij. Vključuje tako naravni in umetni odtok s povodij, kot zaloge vode na velikih rečnih povodjih ter poplave. Izračunane hidrograme v programu lahko uporabimo neposredno ali v povezavi z drugo programsko opremo za različne študije, kot so napovedovanje poplav in vodnih zalog, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad in prepustov, študije vpliva bodoče urbanizacije in podobno.

Za izdelavo projekta je potrebno v programu izdelati tri modele: model povodja, meteorološki model ter kontrolni model, ki skupaj tvorijo podatke, ki jih potrebujemo za izračun. Posebno pozornost pri programu HEC-HMS je potrebno nameniti vnosu padavinskih podatkov. Pri modelu povodja je potrebno vrisati shemo povodja, da se lahko v naslednjem koraku vnese potrebne parametre za izračun. Za meteorološki model je potrebno za posamezna podpovodja določiti padavine, ki jih bo program uporabil za izračun. Kontrolni model določa časovne parametre modela, tj. računski interval ter začetek in konec simulacije. Rezultati izračuna se lahko izpišejo v grafični ali tabelarni obliki. (Brilly in Šraj, 2006)

#### 3.2 Padavine

Padavine so posledica kondenzacije vodne pare zaradi ohlajanja vlažnega zraka pod temperaturo rosišča. Ohlajanje zraka je običajno povezano z dviganjem, saj se ob dviganju zrak adiabatno razpenja in s tem opravi delo, zaradi česar se mu ustrezno zniža temperatura. Hitrejša ko je dviganje, bolj se zrak ohlaja in hitreje se kondenzira vodna para (Žagar, 2008).

Zrak se lahko dviga zaradi več vzrokov: prisilno s hitrostjo normalne komponente vetra ob pobočju, s konvergenco pri tleh, ob frontalnih površinah, v območju nizkega zračnega tlaka in konvektivno, kadar je temperatura delca zraka toplejša od okolice. Posebej konvektivno dviganje lahko povzroči zelo velike vertikalne hitrosti, saj je ozračje temperaturno razslojeno tako, da se delec ob dviganju ohladi manj kakor okolica in se mu s tem še poveča pozitivni vzgon. Ob kondenzaciji vodne pare se namreč sprostijo relativno zelo velike količine toplote, na kilogram vodne pare kar 2,5 MJ (Žagar, 2008).

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 (Kobold in Sušelj, 2005).

##### 3.2.1 Sintetični histogram padavin

Za izračun projektних pretokov določene povratne dobe, analizo poplav, načrtovanje, določanje poplavnih linij ipd. se pri hidrološkem modeliranju pogosto uporabljajo sintetični

histogrami padavin, dobljeni na podlagi statistične analize padavinskih dogodkov za čim daljše obdobje meritev. Uporabljamo pa jih tudi takrat, ko nimamo na voljo meritev padavin ali pa so le-te prekratke. Sintetični histogrami padavin določene povratne dobe so časovno porazdeljeni po vzorcu, ki ga ponavadi določimo na podlagi krivulj intenziteta-trajanje-pogostost (*ang. intensity-duration-frequency curves*) (Dirnbek in Šraj, 2010).

Med najbolj znane metode izdelave sintetičnega histograma spada 24-urna SCS porazdelitev padavin, razvita v ZDA, ki temelji na krivuljah intenziteta-trajanje-pogostost (USACE, 1982; SCS, 1986).

Metodo lahko uporabimo za ustvarjanje sintetične nevihte z določeno povratno dobo. Določiti je potrebno verjetnost pojava, trajanje padavin maksimalne intenzitete, skupen čas trajanja nevihte, površino vodozbirnega območja in položaj konice.

### 3.2.2 Padavine z določeno povratno dobo

Metodo lahko uporabimo za ustvarjanje uravnotežene, sintetične nevihte z določeno povratno dobo. Določiti je potrebno verjetnost pojava, trajanje padavin maksimalne intenzitete ter skupen čas trajanja nevihte. Določiti je potrebno tudi odstotek od časa trajanja nevihte, ki se zgodi pred maksimalno intenziteto. Za območje nevihte je potrebno vnesti celotno zbirno območje, ki bo vplivalo na izračunan pretok. (Brilly in Šraj, 2006)

## 3.3 Padavinske izgube

Metode padavinskih so empirične metode, 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).

### 3.3.1 Metoda SCS (Soil Conservation Service)

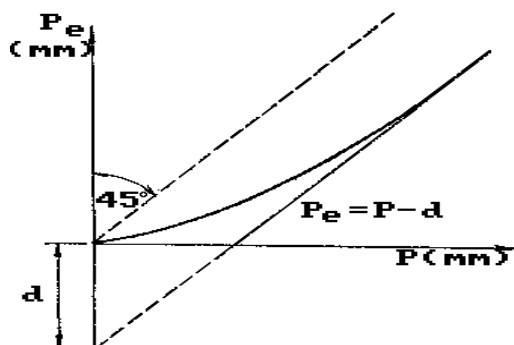
Metodo sta razvila Kohler in Richards (1962). Model je modificirana enačba:

$$P_e = (P^n - d^n)^{1/n} - d \quad (1)$$

kjer je  $n$  koeficient odvisen od  $d$  ( $d$  je podan v palcih):

$$n = 2 + 0.5 d \quad (2)$$





Slika 6: Ponazoritev enačbe Kohlerja in Richardsa (Brilly in Šraj, 2006)

Metodo SCS so izdelali po naslednji soodvisnosti:

$$\frac{P - P_e}{d} = \frac{P_e}{P} = \eta \quad \text{ozioroma} \quad P_e = \frac{P^2}{d + P} \quad (3,4)$$

Zveza velja samo, če je intenziteta padavin večja od intenzitete infiltracije in se odtok pojavi že neposredno po začetku padavin. V nasprotnem bo v začetnem intervalu  $P_e=0$  (slika 6). V tem primeru in če je celotna količina padavin večja od izgub ( $P > F_0$ ), lahko napišemo enačbo:

$$\frac{P - F_0 - P_e}{d} = \frac{P_e}{P - F_0} \quad (4)$$

in je 
$$P_e = \frac{(P - F_0)^2}{P - F_0 + d} \quad (5)$$

V deficit vlažnosti ( $d$ ) so vključene tudi začetne izgube in na osnovi ugotovljene empirične soodvisnosti  $F_0 = 0.2d$  dobi enačba obliko:

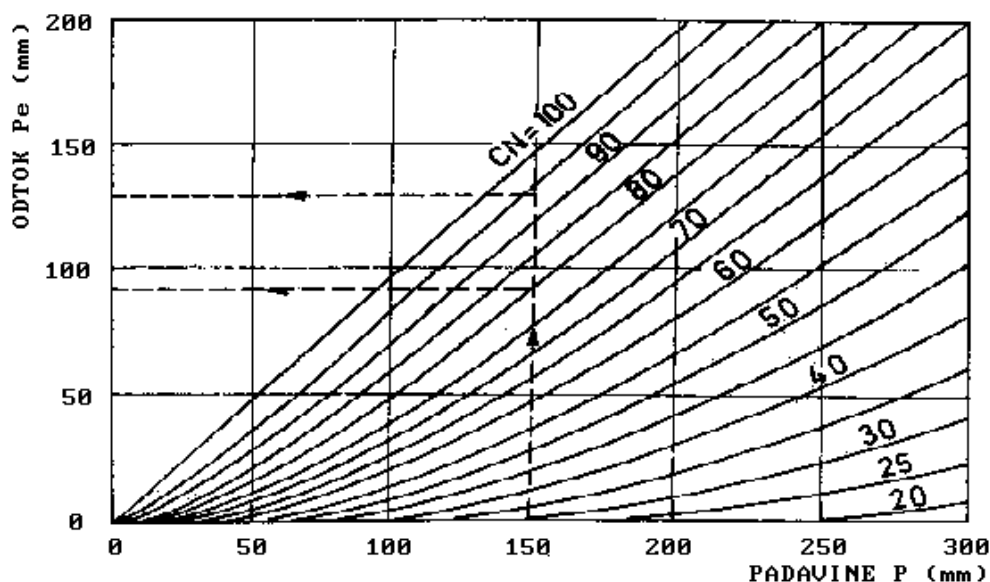
$$P_e = \frac{(P - 0.2d)^2}{P + 0.8d} \quad (6)$$

Vrednosti parametra  $d$  so odvisne od tipa zemljišča. Pri SCS je izdelana empirična soodvisnost med parametrom  $d$  in koeficientom CN s pomočjo enačbe:

$$CN = \frac{1000}{10 + d} \quad (7)$$

Kot je razvidno iz omenjene enačbe, ko  $d \rightarrow \infty$  je  $CN \rightarrow 0$  (ni odtoka) in ko je  $d=0$  je  $CN=100$  ( $P_e=P_0$ ). Za določanje števila CN so podane tabele na osnovi empiričnih podatkov,

ki omogočajo določanje števila CN v odvisnosti od: tipa zemljišča (lahka globoka zemljišča, plitka...), vrste vegetacije (pašnik, njiva, gozd,...), načina obdelave (oranje prečno ali vzporedno s padcem terena, terasiranje) (Preglednice 2 do 5) (Brilly in Šraj)



Slika 7: Grafična predstavitev parametra CN za določitev odtoka v odvisnosti od padavin (Brilly in Šraj, 2006)

SCS metoda oceni presežek padavin kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnosti tal. Pri tem uporabi enačbo:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (8)$$

Kjer je:

- Pe akumulirane efektivne padavine v času t,
- P višina padavin v času t,
- Ia začetne izgube
- S maksimalno potencialno zadrževanje (retenzija – mera za sposobnost povodja odvzeti in zadržati padavine).

Iz analiz za manjša eksperimentalna povodja je SCS razvil empirično zvezo med Ia in S.

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (9)$$

Tako lahko kumulativne efektivne padavine zapišemo kot:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{P - 0.8 \cdot S} \quad (10)$$

Maksimalno zadrževanje S in karakteristike povodja so povezani s parametrom CN:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (11)$$

$$S = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1000 - 10 \cdot CN}{CN}, \text{ angleški \cdot merski \cdot sistem} \\ \frac{25400 - 254CN}{CN}, \text{ SI \cdot sistem} \end{array} \right\} \quad (12)$$

CN za povodja ocenimo s pomočjo tabel kot funkcijo rabe in vrste tal ter predhodne vlažnosti ali pa s pomočjo SCS krivulj (slika 7). Za povodja z več vrstami zemljin in različno rabo tal se enoten CN izračuna kot:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{\sum A_i} \quad (13)$$

Kjer je:

$CN_{skupen}$	enoten skupen CN za izračun odtoka
$CN_i$	CN posameznega dela podpovodja
$A_i$	površina pripadajočega podpovodja

Preglednica 2: Klasifikacija zemljin po SCS (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 zasajena zemljišča	0.0 – 1.30

Preglednica 3: Koeficienti CN za urbanizirane površine (USACE, 2008)

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<b>Odrpte 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 4: Koeficienti CN za obdelana kmetijska zemljišča (USACE, 2008)

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 5: Koeficienti CN za ostala kmetijska zemljišča (USACE, 2008)

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

### 3.4 Sintetični hidrogram enote

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).

#### 3.4.1 Sintetični Snyderjev hidrogram enote

Snyder je v osnovi razvil parametrično tehniko HE za ocenjevanja maksimalnega pretoka in osnovnega časa hidrograma. Dopolnjena metoda HE po Snyder-ju uporablja metodo HE po Clark-u za izračun ordinat. Parametri za Clark-ovo metodo so ocenjeni s pomočjo Snyder-jeve metode z uporabo iterativnega procesa. Pri tem dobimo hidrogram z maksimalnim pretokom in osnovnim časom. Pri vnosu podatkov je potrebno podati čas zakasnitve  $T_p$  v urah in koeficient maksimalnega pretoka  $C_p$ , ki ima vrednost med 0,1 in 1,0. (Brilly in Šraj, 2006)

### 3.4.2 Metoda Riverside County

Metodo sta razvila Riverside County Flood Control in Water Conservation District iz Kalifornije. (1963). Za izračun časa zakasnitve s povodja je bila izpeljana enačba, veljavna za podeželska območja Riverside v Kaliforniji. Ta enačba se zelo malo razlikuje od enačb Tulsa District (U.S. Army Corps of Engineers). Tu je čas zakasnitve definiran kot čas od začetka padavin do točke na enotnem hidrogramu, ki se ujema s polovico volumna odtoka. Enačba ima obliko:

$$T_p = 0.5077 \cdot C \cdot \left( \frac{L \cdot L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.38} \quad (14)$$

Kjer je:

- $T_p$  čas zakasnitve [h],
- $C$  koeficient, ki je odvisen od strmine terena;  
 $C = 1.2$  za strm teren;  
 $C = 0.72$  za srednje strm teren;  
 $C = 0.38$  za ravninski teren,
- $L$  dolžina povodja [km]
- $L_{ca}$  dolžina vodotoka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližji težišču vodotoka
- $S$  nagib povodja [‰]

Metoda nima svoje enačbe za izračun koeficienta vrha hidrograma enote ( $C_p$ ), zato sem enačbo vzel iz metode Tulsa district:

$$C_p = \frac{q_p \cdot T_p}{6.992} \quad (15)$$

$$q_p = 4.1515 \cdot T_p^{-0.92} \quad (16)$$

Kjer je:

- $C_p$  koeficient vrha hidrograma enote
- $q_p$  maksimalni pretok

(Brilly in Šraj, 2006)

### 3.5 Metoda zakasnitve – propagacija vala

Metoda zakasnitve je najenostavnejša metoda potovanja v programu HEC-HMS. Pri metodi je iztočni hidrogram enostavno enak vtočnemu hidrogramu s časovno premaknjenimi ordinatami. Pretok se med potovanjem po odseku ne zmanjša, zato se oblika hidrograma ne spremeni. Metoda je široko uporabna. (Brilly in Šraj, 2006)

Metoda zakasnitve je poseben primer ostalih metod, ko so rezultati podvojeni, če pazljivo izberemo parametre metod. Če imamo na razpolago opazovane hidrograme, lahko zakasnitev ocenimo kot pretečeni čas med centroidom površine dveh hidrogramov, med časoma dveh vrhov ali med časoma srednjih točk naraščajoče krivulje. (Brilly in Šraj, 2006)

### 3.6 Enačbe uporabljene v hidravlični študiji

#### 3.6.1 Manningova enačba

Je nastala kot rezultat izvedenja podatkov in je torej čisto eksperimentalnega značaja (brez izpeljave).

$$\bar{u} = \frac{1}{n_G} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \quad (17)$$

Kjer je:

- $\bar{u}$  = povprečna hitrost po prerezu  $Q = \bar{u} S$
- $R$  = hidravlični radij:  $R = S / O$
- $I_0$  = vzdolžni padec (naklon) kanala
- $n_G$  = koeficient trenja (avtorji Manning-Gauckler-Strickler)

Za praktični izračun enačbo 17 preuredimo :

$$S \cdot R^{2/3} = \frac{n_G \cdot Q}{\sqrt{I_0}} \quad (18)$$

V tej enačbi je desni del konstanta, leva stran pa faktor prevodnosti preseka, ki je funkcija oblike kanala in globine toka. Najbolj direktna metoda za določitev globine  $h_0$  je metoda s poskušanjem. Rešitev  $h_0$  dobimo pri globini, pri kateri velja enačaj v zgornji enačbi. (Steinman, 1999)

V našem primeru smo poznali obliko prereza in tudi pretok 100-letne vode, iskali pa smo globino  $h_0$ , ki smo jo spreminjali dokler nismo dobili želenega pretoka. Račun smo izvajali v programu Excel.



### 3.6.2 Kresnikova metoda za določanje površinskega odtoka

Medtem ko so največji pretoki odvisni predvsem od velikosti in oblike povodja, so najmanjši pretoki posledica izcejanja podzemnih voda, pogojenih z geološko sestavo povodja. Zakonitosti spremembe pretokov, posebno možnosti pojava velikih voda, lahko preprosto ugotovimo s pomočjo verjetnostne analize, če imamo na voljo merjene podatke pretokov. V primeru, ko omenjenih podatkov ni, si lahko pomagamo z modeli ali s preprostimi empiričnimi enačbami. (Brus, 1981)

Omenjene enačbe temeljijo na meritvah in veljajo predvsem za povodja s podobnimi lastnostmi, kot jih ima povodje, na katerem so opravljene meritve. Ena izmed teh enačb je Kresnikova enačba za določanje površinskega odtoka (Brilly in Šraj, 2005) :

$$Q_{VV100} = \frac{S \cdot \alpha \cdot 30}{0.5 + \sqrt{S}} \quad (19)$$

$$Q_{VV50} = Q_{VV100} \cdot \left( \frac{\mu_{100}}{\mu_{50}} \right)^\beta \quad (20)$$

$$Q_{VV50} = Q_{VV100} \cdot 0,841 \quad (21)$$

$$Q_{VV20} = Q_{VV100} \cdot \left( \frac{\mu_{100}}{\mu_{20}} \right)^\beta \quad (22)$$

$$Q_{VV20} = Q_{VV100} \cdot 0,669 \quad (23)$$

Kjer je :

- S površina povodja [km<sup>2</sup>]
- $\alpha$  koeficient z vrednostjo od 0.6 do 6
- $\beta$  koeficient enakomernosti privzet kot konstanta = 0,25
- $\mu_{100}$  verjetnost pojava 100-letne vode = 0.01
- $\mu_{50}$  verjetnost pojava 50-letne vode = 0.02
- $\mu_{20}$  verjetnost pojava 20-letne vode = 0.05

Brus (1981) navaja, da so dobljene vrednosti za celoten razpon  $\alpha = 0.6 - 6.0$  previsoke in da že najnižji privzeti koeficient  $\alpha = 0.6$  lahko služi le za določanje velikih vod v gornjih tokovih z neporaslimi, strmimi pobočji in neprepustno podlago. Formula je za naše območje uporabna le za izrazito hudourniška območja. (Brus, 1981)

## 4 ANALIZA METEOROLOŠKIH IN HIDROLOŠKIH PODATKOV

### 4.1 Analiza padavinskih podatkov

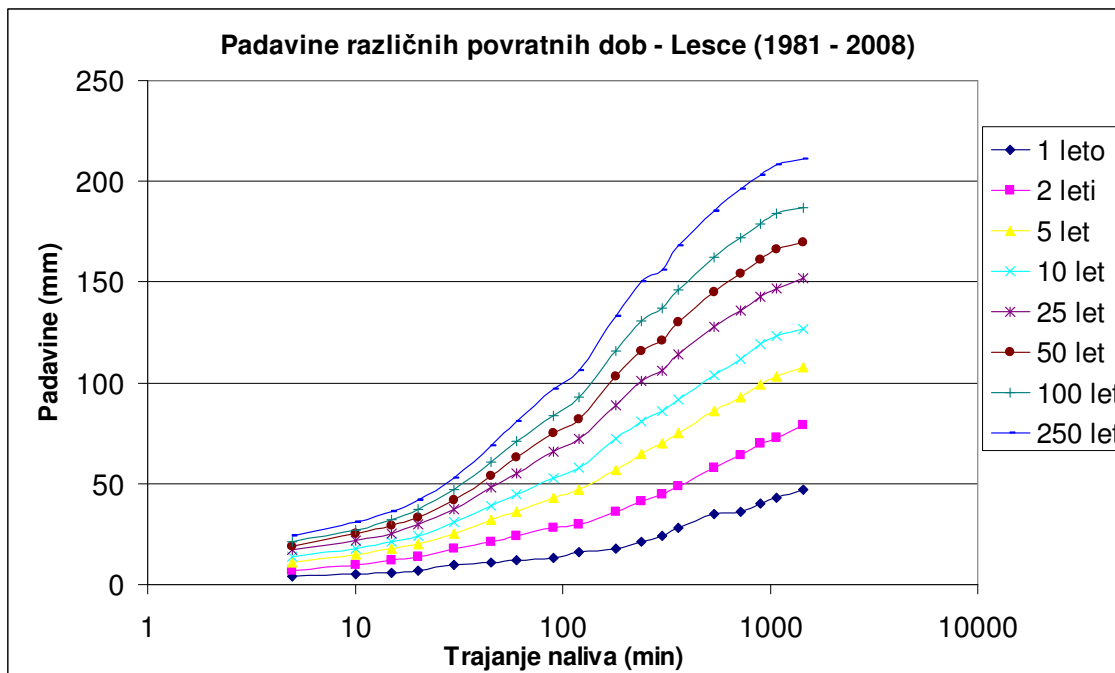
Zaradi narave hudournikov ponavadi nimamo dostopa do terenskih podatkov za opis ekstremnih pojavov, zato opisujemo hudourniške visoke vode kot posledico padavinskih pojavov. V teh primerih vzamemo povratno dobo največje intenzivnosti padavin v nevihti kot povratno dobo nevihte. Vendar pa so takšne povratne dobe vprašljive in subjektivne, saj intenziteta padavin v nevihti lahko zelo niha odvisno od trajanja. (Rusjan is sod., 2009)

Rezultat računa s programom HEC-HMS je graf pretoka na posameznih točkah na strugi vodotoka, pri čemer nas zanima predvsem največji pretok po strugi in čas pojava konice glede na histogram nevihte, ki ga program zgradi na podlagi verjetnostne analize padavin.

Podatki v preglednici 6, ki so grafično prikazani na sliki 8, nam povedo količino padavin za določeno trajanje pri določeni povratni dobi. V programu lahko v meteorološkem modelu izberemo za katero povratno dobo bomo vnesli podatke, nastavimo trajanje nevihte, površino celotnega povodja in kje naj bo konica histograma. Dirnbek (2008) v svoji diplomski nalogi ugotavlja, da se maksimalni pretok poveča, če konico histograma prestavimo proti koncu nevihte, oziroma zmanjša, če je konica pri začetku, zato sem jo na začetku postavil na sredino, da sem dobil srednje vrednosti pretokov.

Preglednica 6: Povratne dobe za ekstremne padavine za postajo Lesce v obdobju od 1981 do 2008 (ARSO, 2010)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA							
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let
5 min	4	7	11	14	17	19	21	24 mm
10 min	5	10	15	18	22	25	27	31 mm
15 min	6	12	18	21	25	29	32	36 mm
20 min	7	14	20	24	30	33	37	42 mm
30 min	10	18	25	31	37	42	47	53 mm
45 min	11	21	32	39	48	54	61	69 mm
60 min	12	24	36	45	55	63	71	81 mm
90 min	13	28	43	53	66	75	84	97 mm
120 min	16	30	47	58	72	82	93	106 mm
180 min	18	36	57	72	89	103	116	133 mm
240 min	21	41	65	81	101	116	131	150 mm
300 min	24	45	70	86	106	121	137	156 mm
360 min	28	49	75	92	114	130	146	168 mm
540 min	35	58	86	104	128	145	162	185 mm
720 min	36	64	93	112	136	154	172	196 mm
900 min	40	70	99	119	143	161	179	203 mm
1080 min	43	73	103	123	147	166	184	208 mm
1440 min	47	79	108	127	152	170	187	211 mm



Slika 8: Grafični prikaz podatkov o ekstremnih padavinah za različne povratne dobe za meteorološko postajo Lesce

## 4.2 Analiza pretokov

Merjenih pretokov za hudournik Kroparica žal ni, kar ni nič presenetljivega, saj je veliko večino časa pretok nizek, opisali bi ga lahko kot malo večji potok (PUH, 2008). Kljub temu pa ima zelo pomembno lastnost, in ta je konstantnost in izdatnost skozi vse leto, kar je tudi razlog za poselitev in razvoj železarske panoge v Kropi. K temu verjetno veliko pripomore tudi kraško zaledje.

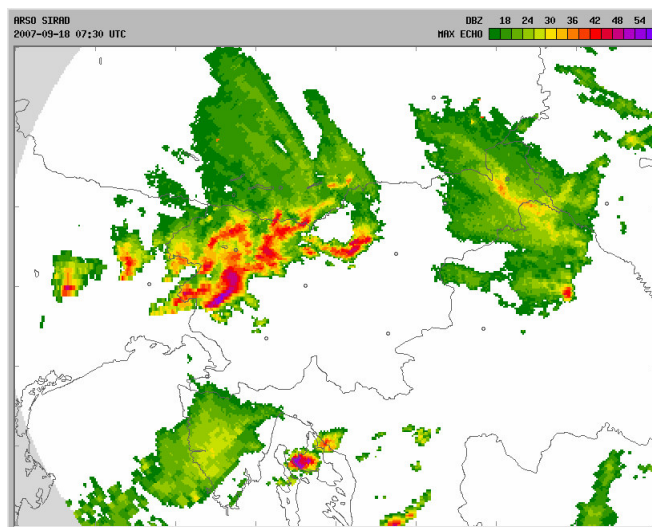
## 4.3 Analiza padavinskega dogodka septembra 2007

Izjemno veliko padavin lahko pade, če se konvektivna celica zaradi dalj časa trajajočih vzrokov obnavlja na istem mestu. Dva poglobitna taka vzroka sta oblika reliefa in značilnost zračne mase. Ob situacijah, ko se hladna fronta od severozahoda bliža Alpam, lahko nad območjem zahodne Slovenije dalj časa piha jugozahodni veter, ki prinaša precej vlažen in relativno tople zrak (Žagar, 2008).

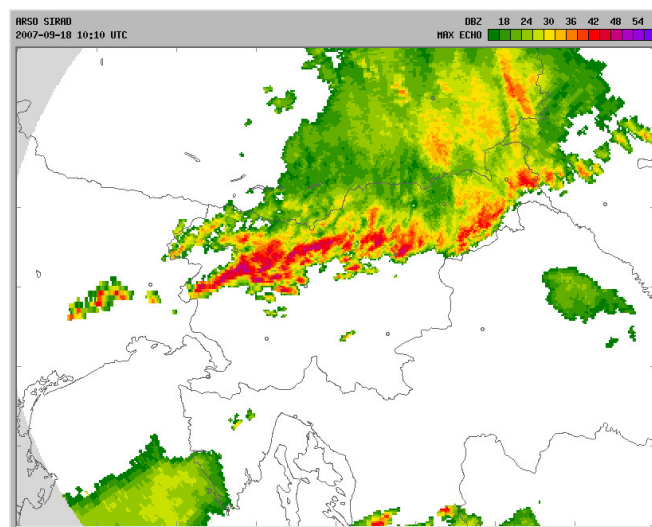
Dne 18. septembra 2007 je bilo nad Severno Evropo območje nizkega zračnega pritiska. Hladna fronta se je preko zahodne in srednje Evrope od severozahoda bližala Alpam. Hkrati se je preko zahodne Evrope proti vzhodu pomikala dolina s hladnim zrakom. Nad Slovenijo se je okrepil jugozahodni veter. Stalen dotok vlažnega zraka od jugozahoda, močna nestabilnost ozračja in striženje vetra v višjih plasteh so povzročili obilne padavine predvsem

v goratih predelih zahodne Slovenije, ob prehodu hladne fronte pa je močno deževalo tudi drugod v notranjosti in v severni polovici države (Kobold, 2007).

Prva padavinska cona se je preko zahodne Slovenije proti vzhodu pomikala 18. septembra 2007 zjutraj med 5. in 7. uro. Sledil je krajši premor in kmalu po 8. uri so bile v hribovitem delu zahodne Slovenije spet nevihte, ki so se jim po 9. uri pridružili močni nalivi (sliki 9 in 10). Vzpostavila se je nevihtna linija od Posočja preko Idrijsko-Cerkljanskega in Škofjeloškega hribovja do severnega dela Ljubljanske kotline, ki se je tam zadrževala skoraj dve uri (Kobold, 2007).

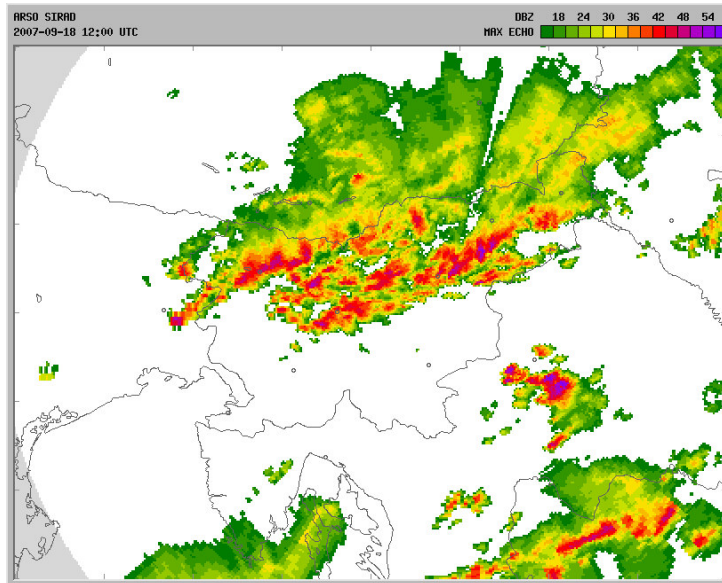


Slika9: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 9.30 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)

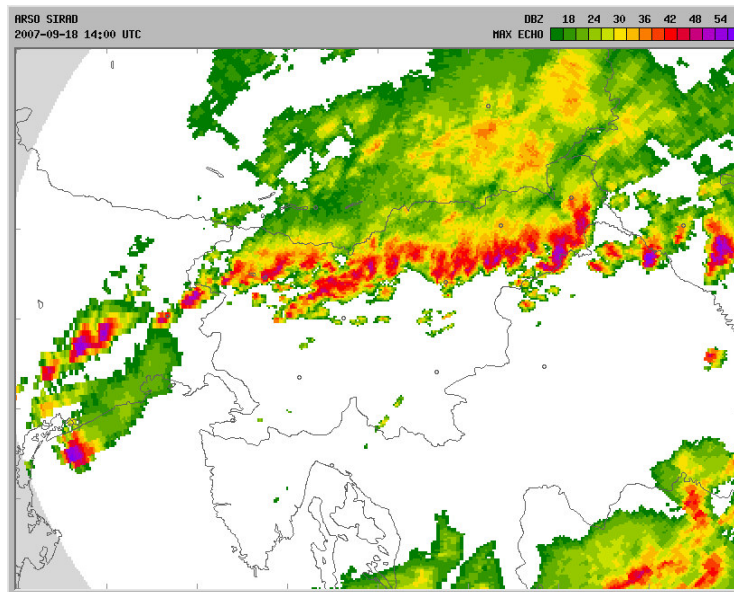


Slika10: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 12.10 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)

Naslednja izrazita stacionarna nevihtna linija se je vzpostavila 18. septembra okoli 13.30 ure v smeri Tolmin–Radovljica (slika 11). Padavine so na območju Bohinja oslabele šele okoli 17. ure, a še ne ponehale (slika 12).



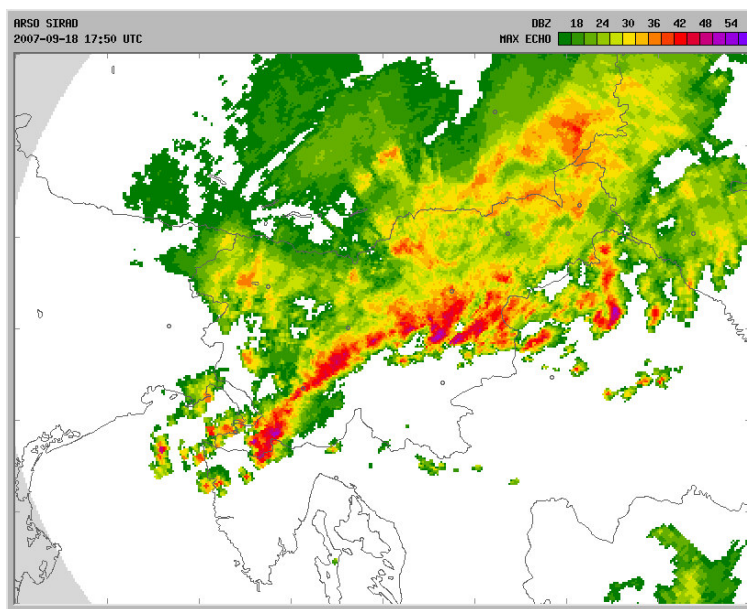
Slika11: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 14.00 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)



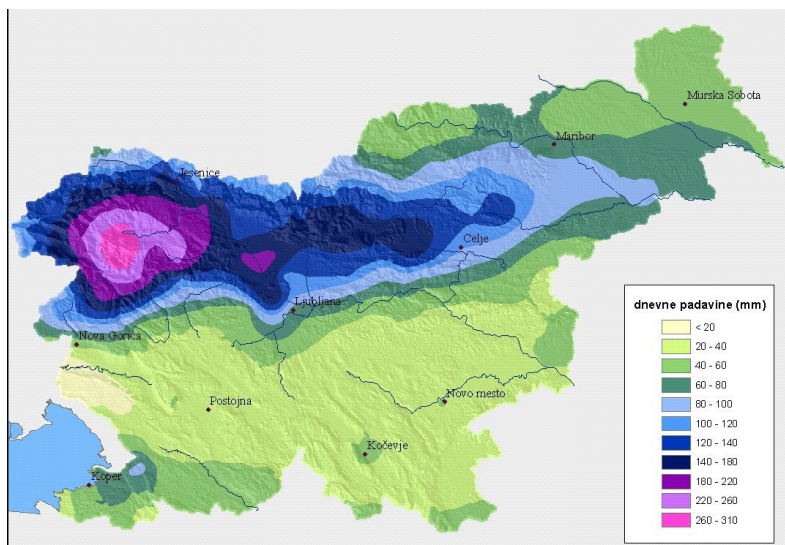
Slika12: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 16.00 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)

V celotnem popoldnevu so predvsem v severni polovici Slovenije nastajale vedno nove nevihtne celice, padavine so se okrepile tudi v severovzhodni Sloveniji. Zvečer je v nižjih

plasteh ozračja zapihal severozahodni do severovzhodni veter. Nevihte so nastajale še ob prehodu hladne fronte in se s padavinami širile proti južni Sloveniji. Okrog 20. ure je nastala nevihtna linija od Slovenske Istre do Posotelja. Padavine so prenehale v skrajni zahodni Sloveniji okoli 21. ure, v severovzhodnem delu okoli polnoči, v jugovzhodni Sloveniji pa med 2. in 3. uro naslednjega dne (slika 13) (Kobold, 2007).



Slika13: Radarska slika padavin nad Slovenijo ob 19.50 uri po lokalnem času (ARSO, 2008)



Slika 14: Dnevna kolicina padavin od 8. ure 18. septembra 2007 do 8. ure 19. septembra 2007 (ARSO, 2008)

Krajevna porazdelitev padavin je bila raznolika. Velike razlike v količini padavin so bile že na majhnih razdaljah, tudi na območju, kjer je padlo največ padavin. Po zbranih podatkih mreže padavinskih postaj ARSO (ARSO, 2007a; ARSO, 2007b) je največ padavin, od 200 do 300 mm, padlo na širšem območju Bohinja ter na Cerkljanskem in v Škofjeloškem hribovju. Količina padavin se je proti severovzhodu zmanjševala. Nad 100 mm padavin je padlo v severnem delu Ljubljanske kotline in na posameznih območjih Štajerske, kjer je bilo največ padavin v okolici Celja in posameznih delih Savinjske doline. Glavnina padavin je na celotnem območju padla v intervalu od 6 do 12 ur. Na območju z najobilnejšimi padavinami so bile dosežene več kakor 100-letne povratne dobe (slika 14) (Kobold, 2007).

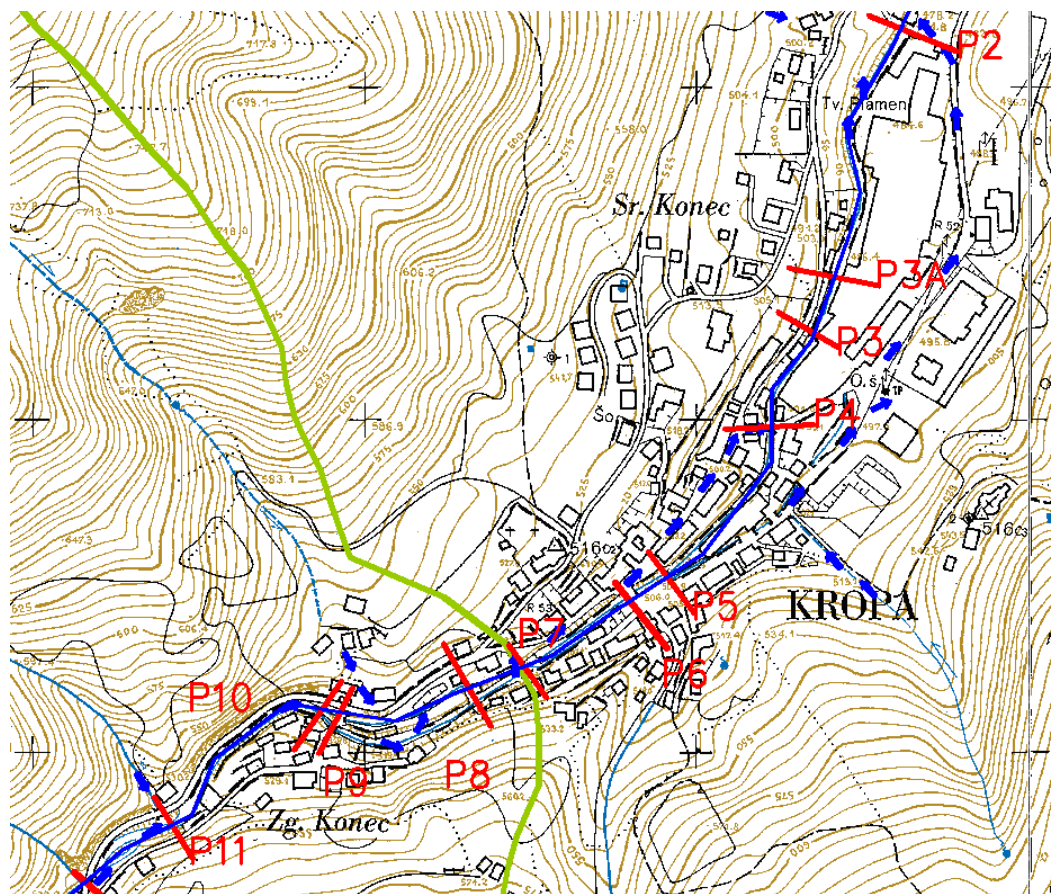
#### 4.4 Analiza poplav septembra 2007

V Sloveniji se s poplavami, običajno hudourniškimi, srečujemo skoraj vsako leto. Do poplav in izrednih razmer najpogosteje prihaja zaradi obilnih padavin, ki nastopijo po dolgotrajnem, večdnevem zmernem deževju. Posledice dnevnih in večdnevnih ekstremnih padavin so poplave večjega obsega. Sem vsekakor spadajo poplave iz leta 1990 in leta 1998, ki jih štejemo med največje poplave v Sloveniji. Tudi padavine, ki padejo na snežno odejo, povzročijo njeno taljenje in velik, lahko katastrofalen površinski odtok. Velikokrat pa poplave povzročijo kratkotrajni in močni nalivi v sušnem obdobju, ki pa so lokalno omejeni. To potrjujejo izkušnje zadnjih let v Sloveniji, ki so bila v letnem povprečju skromnejša s padavinami, toda bogata z raznimi ujмами, kot so neurja z vetrom, zemeljski plazovi in poplave. V avgustu 2003 so največ škode naredile hudourniške poplave v Zgornjesavski dolini in porečju Tržiške Bistrice. V oktobru 2004 smo bili priča poplavam na porečju Ljubljanice in Gradaščice, ki so zahtevale celo smrtno žrtev (Kobold, 2005).

Najbolj izdatne padavine v Sloveniji dobimo v jeseni ob kombinaciji ciklonskih in orografskih padavin z nevihtami. Ker pozno jeseni pri vegetaciji upade retencijski učinek, sta oktober in november značilna kot meseca, ko se na večjih slovenskih vodotokih pojavljajo največji pretoki. Poleg količine padavin povzroča poplave tudi časovna razporeditev padavin (jakost). Ni vseeno, ali padavine nastopijo z visoko jakostjo in potem izzvenijo, ali pa začnejo z rahlim dežjem, ki na koncu preraste v močan naliv. Za nevihtni tip je značilna velika jakost padavin na začetku dogodka in potem počasno upadanje, za ciklonske padavine pa rahel dež na začetku, ki se sprevrže v močne padavine. Volumsko enake količine padavin, ki imajo različno dinamiko, bodo dale bistveno drugačne odtočne hidrograme. 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 (Kobold, 2005).

Izredno pomembna je tudi količina vlage v tleh ali predhodna namočenost. Od vlažnosti tal je odvisno, kolikšen del padavin odteče površinsko v strugo vodotoka in povzroča dvig gladine vode v strugi. Čim večja je predhodna vlažnost, tem večja količina padle vode odteče površinsko. Za poplavne valove je značilno hitro naraščanje pretoka vode ob pojavu, nato sorazmerno kratkotrajni največji pretok in počasnejše upadanje pretoka. Ker leži Slovenija v glavnem v povirju rek, se srečujemo s kratkotrajnimi večurnimi hudourniškimi poplavami, razen območja Drave in Mure, kjer lahko poplave trajajo tudi več dni (Kobold, 2005).

Za boljše razumevanje izračuna prevodnosti obstoječih pretočnih profilov in dimenzioniranje potrebnih, je potrebno analizirati dogajanje v neurju 18. septembra 2007, saj nam obnašanje hudournih voda med neurjem lahko veliko pove o erozijskih procesih v zaledju, dogajanju na vtokih prekritih odsekih, plavinah, zadostni velikosti pretočnih profilov strug, kinet, prepustov, itd. Pri analizi so nam z opisi dogajanj pomagali poveljnik CZ občine Radovljica mag. Marijan Ješe, poveljnik občinske GZ Radovljica g. Janez Koselj in predsednik KS Kropa g. Ciril Kozjek.



Slika 15: S puščicami prikazana pot deročee vode, ki je povzročila razdejanje septembra 2007 (PUH, 2008)

Pravih podatkov o začetku dogajanj ni, tako da ni možno ugotoviti, kje se je pravzaprav začelo, saj so si dogodki od začetka zelo hitro sledili in kasneje tudi hitro umirili. Po kasnejših sledih sodeč pa je hudournik Kroparica verjetno zaradi izredno velikih količin dotekajoče vode in plavin v strugi najprej začel spodjedati obe brežini in državno ceto R3/636 dolvodno od mostu v profilu P12. Ko pa je hudournik enkrat dobil svojo moč, pa se je začel izmenično zajedati v eno in v drugo brežino, spodkopavati brežini, obrežne zidove, objekte in uničeval strugo, rake in vse površine v okolici skupaj z objekti (glej kritična mesta in potek vodnih tokov, označenih s puščicami na sliki 15). Tako je v času neurja hudournik na odseku med Slovensko pečjo in Bodlajevim vigencem popolnoma odnesel 150,00 m državne ceste



R3/636, uničil obstoječ vodovod (sliki 16 in 17) in na desni brežini spodkopal garažo pri Gartnarjevih "na skalci". V območju Bodlajeve vigece je hudournik močno poškodoval obrežna zavarovanja ter vtok v rake, po katerih so nato visoke vode bruhnile mimo garaž in poplavile brežino na območju zgornjih fužin nad vigeccem Vice.



Sliki 16 in 17: Uničena struga, cesta in vodovod v območju profila 11 in urejeno stanje po sanaciji decembra 2008(foto: Bojan Okorn)

Dolvodno je hudournik z lesnimi ostanki, vejami, debli, cevmi in ostalim plavjem popolnoma zamašil precej poddimenzioniran Koruzni most v profilu P7 (sliki 18 in 19). Hudournik se je na vtoku pod zamašen most razlil, dokončno prestopil bregove in se razdelil v dva dela. Večina hudournih voda na desnem bregu se je zaradi ujetega avtomobila na cesti takoj zopet usmerila v strugo, zaradi česar so bile poškodbe cest in objektov na desni brežini bistveno manjše. Večino hudourne vode pa se je skupaj s plavinami preusmerilo po levi brežini, mimo mostu Na placu, po "Gosposki gasi" in se je v strugo vrnilo šele v območju mostu v profilu P4 pri hiši Kropa 82 (slika 15).

Na tej poti je hudournik popolnoma razdejal asfaltno cestišče z vso vgrajeno infrastrukturo, zalila kleti in pritličja sosednjih hiš ter v njih in na cesti odložila ogromno naplavin. Preostala visoka voda, ki je tekla po obstoječi strugi pa je na tem odseku spodkopala dotrajane obrežne zidove kamnite drče pri Modrijanovi hiši Kropa 67 in poškodovala rake ter zidove pod cisterno na desnem bregu.



Sliki 18 in 19: Zamašen Koruzni most med neurjem in odložen material v okolici mostu po njem (foto: Dominik Grozina)

Na dolvodnem odseku je voda prestopila bregove gorvodno od praga v profilu 3A in popolnoma razdejala nezaščiteni levo brežino ob iztoku hudournika Miklavžev graben nasproti tovarne Novi plamen. Dolvodno od mostu v profilu P2 do konca obravnavanega odseka hudournik tako velike škode ni več povzročil, čeprav so bile na posameznih mestih nezaščiteni brežine tudi poškodovane.

Poleg glavne struge pa so zaradi velikih količin sproženega materiala v zaledju in premajhnih vtokov v večinoma prekriti odseke "izbruhnili" tudi nekateri stranski hudourniški pritoki. S prinešenimi naplavinami so se zamašili predvsem levi pritoki hudournikov Iz Meva, Smukarjev graben, Miklavžev graben in hudournik Pri Vikendu. Od desnih pritokov pa sta največ škode povzročila neurejena, a na iztočnem delu zacevljena hudournika Lodnov graben in Kapelški graben, ki sta oba z materialom zamašila vtoka svojih poddimenzioniranih prepustov, poplavlila regionalno cesto, stanovanjski blok na naslovu Kropa 3b in se v strugo vrnila zopet pri mostu v profilu P2 (slika 15).

Preostali hudourniški pritoki kljub poddimenzioniranim iztočnim prekritim odsekom niso povzročili tako velike škode, kar kaže na to, da same visoke vode na tem ožjem območju Kroparske doline niso bile tako velike kot je sprva kazalo in da je bil osnovni vzrok poplavljanja velika količina sproženega materiala, ki je zamašil vtoke v prepuste in hudourni voda je poplavlila vse nižje ležeče predele. Ta sklep izhaja iz dejstva, da desni hudourniški pritok Drolovec kljub premajhnemu pretočnemu profilu na prekritem odseku ni povzročil večjih težav. Hudournik je v zgornjem delu povodja in na vtoku v prepust urejen, in na hudourniku sta postavljena dva pragova iz armiranobetonskih elementov polnjenih s kamenjem, ki sta zadržala sprožen material v svojih zaplavlkih. (PUH, 2008)

## 5 RAČUN PADAVINSKEGA ODTOKA S PROGRAMOM HEC-HMS

### 5.1 Vhodni podatki

#### 5.1.1 Padavine in izgube padavin

Rezultat računa s programom HEC-HMS je hidrogram v posameznih profilih na strugi vodotoka, pri čemer nas zanima predvsem največji pretok po strugi in čas pojava konice glede na sintetični histogram nevihte, ki ga program določi v našem primeru na podlagi statistične analize padavin na padavinski postaji Lesce.

Cilj računa je določiti povratno dobo in trajanje nevihte, ki zajame celotno območje, da povzroči odtok  $28,3 \text{ m}^3/\text{s}$  na celotnem območju, oziroma  $22,8 \text{ m}^3/\text{s}$  na ožjem območju do Koruznega mostu. Vrednostim za celotno območje smo v predhodnih izračunih dodali še  $10,7 \text{ m}^3/\text{s}$  vode iz kraškega zaledja, vrednostim za ožje območje pa  $7,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

HEC-HMS za vsako vodozbirno območje naredi histogram padavin glede na nastavljeno trajanje in količino, odšteje izgube in izračuna hidrogram odtoka s tega območja.

#### 5.1.2 Hidrogram enote

Za program HEC-HMS sem porečje Kroparice razdelil drugače, in sicer na šest delov (Sliki 20 in 21). Za izračun odtoka sem potreboval vhodne podatke. Določiti sem moral površine območij, težišče, dolžino vodnega toka, dolžino vodotoka od točke najbližje težišču, do konca toka ( $Lca$ ), naklon pobočij, koeficient CN, ki upošteva rabo tal, tip zemljine in koeficient Ia, ki opisuje začetne izgube na površini povodja, preden pride do infiltracije vode v zemljino (Preglednici 7 in 8, Slika 22). Na podlagi tega sem se odločil za metodo izračuna časa zakasnitve ( $Tp$ ) in koeficienta vrha hidrograma enote ( $Cp$ ) po Snyderjevi metodi. (Preglednica 9).

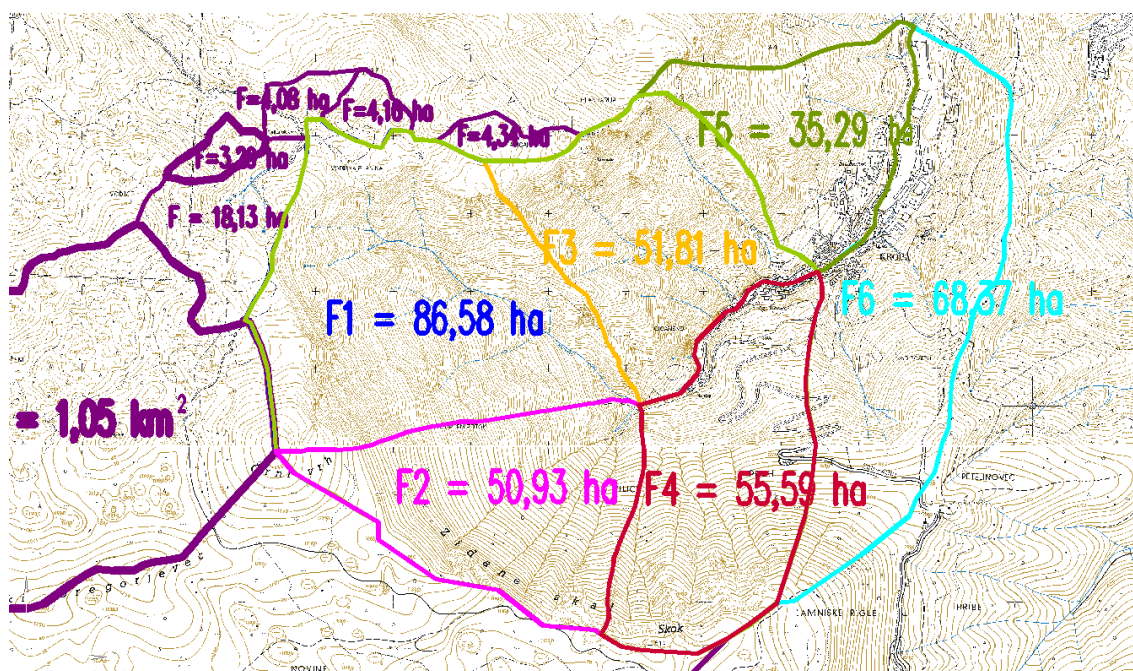
Zaradi zelo strmega naklona in majhnosti porečja sem imel zelo omejeno izbiro metod. Na koncu se je za najprimernejšo izkazala metoda Riverside County, ki pa nima svoje enačbe za izračun  $Cp$ , zato sem enačbo vzel iz metode Tulsa District. Metoda ustreza zelo strmemu terenu, ker vsebuje koeficient C, ki je odvisen od strmine terena (V našem primeru strm teren  $C = 1.2$ ).

Preglednica 7: Izračunan čas zakasnitve in koeficient vrha hidrograma enote po metodi Riverside county

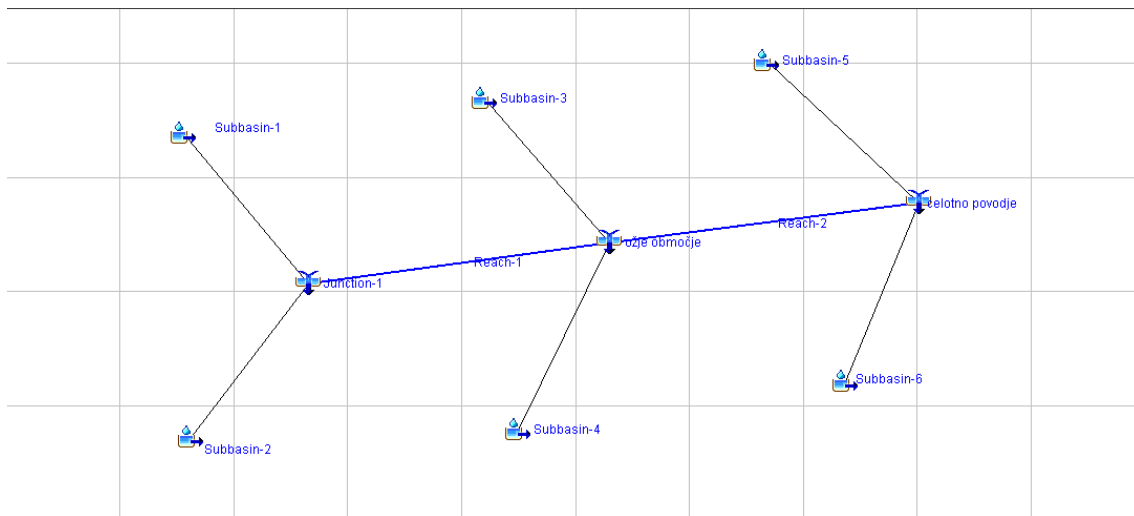
Vhodni podatki za metodo Riverside County			
Čas zakasnitve (h)		Koeficient vrha hidrograma enote ( $m^3/km^2$ )	
Tp1	0,1969	Cp1	0,5214
Tp2	0,1297	Cp2	0,5042
Tp3	0,1353	Cp3	0,5059
Tp4	0,1776	Cp4	0,5171
Tp5	0,0889	Cp5	0,4892
Tp6	0,2096	Cp6	0,5240

Preglednica 8: Dolžine povodij, dolžine od točke na vodotoku najbližje težišču, do konca vodotoka in povprečni padci terena.

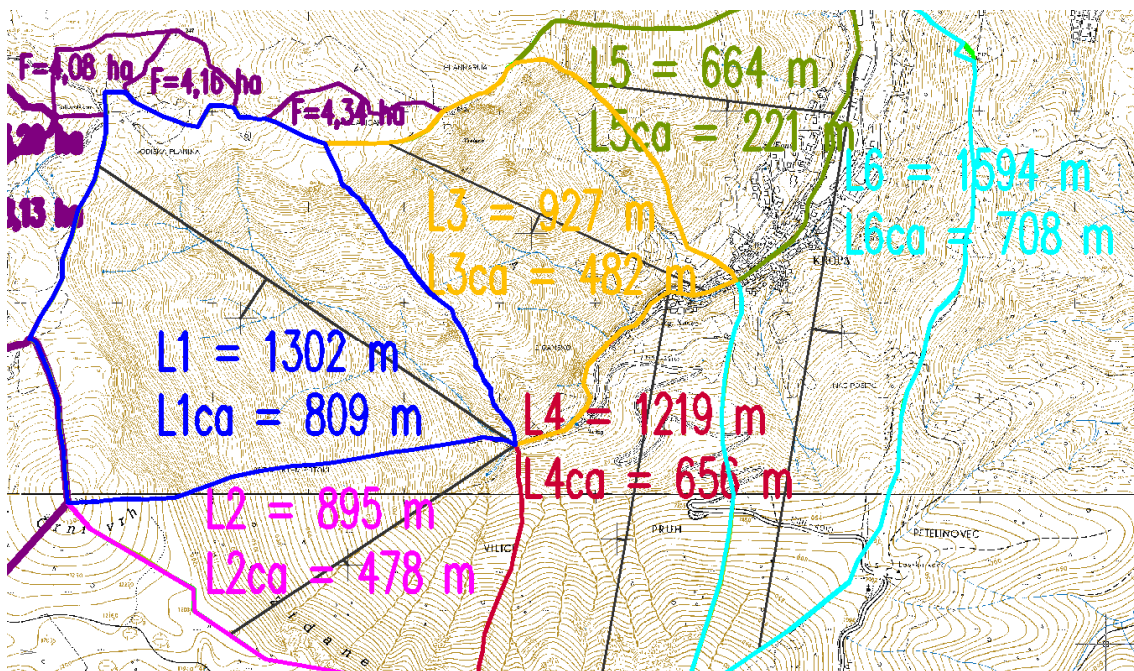
Dolžine povodij L (m)		Lc		Padci (m/m)	
L1	1302	Lc1	809	S1	0,424
L2	895	Lc2	478	S2	0,63
L3	927	Lc3	482	S3	0,55
L4	1219	Lc4	656	S4	0,42
L5	664	Lc5	221	S5	0,54
L6	1594	Lc6	708	S6	0,35



Slika 20: Razdelitev povodja za izračun s programom HEC-HMS



Slika 21: Model povodja v HEC-HMS

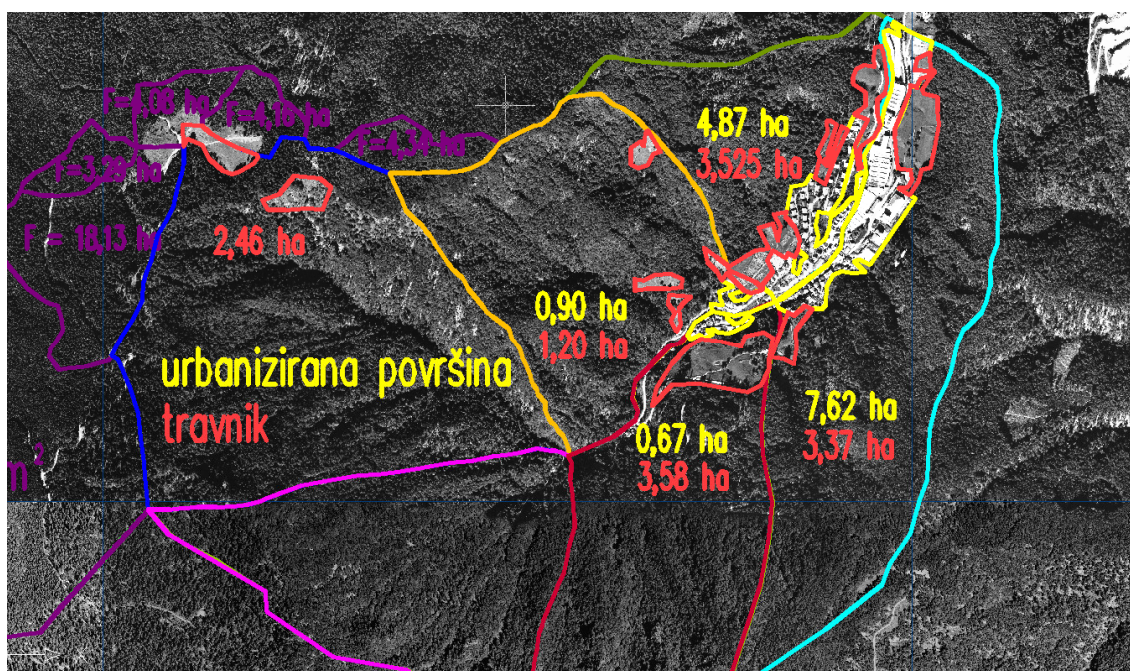


Slika 22: Prikaz meritve dolžin in določitve težišč v programu AutoCad

Odočni koeficient CN (enačba 13) sem določil na podlagi deležev površin gozda, za katerega sem vzel vrednost koeficienta 83, travnikov (CN = 89) in urbaniziranih površin (CN = 98). Zaradi velikih naklonov in kraške narave povodja sem izbral velik odočni potencial (D)(preglednica 3). Na sliki 23 sem označil območja s travniki (rdeče) in urbanizirane površine (rumeno), ostalo pokriva mešani gozd. Za izračun začetnih izgub Ia (enačba 9) sem moral najprej določiti maksimalno potencialno zadrževanje S (enačba 11) (preglednica 9).

Preglednica 9: Določitev odtočnega koeficienta začetnih izgub

Podpovodje	Površina (km <sup>2</sup> )	Travnik (km <sup>2</sup> )	Urbanizirano (km <sup>2</sup> )	Gozd (km <sup>2</sup> )	CN	S	Ia
F1	0,87	0,02	0,00	0,84	83,17	51,39	10,28
F2	0,51	0,00	0,00	0,51	83,00	52,02	10,40
F3	0,52	0,02	0,01	0,49	83,45	50,36	10,07
F4	0,56	0,04	0,01	0,51	83,57	49,95	9,99
F5	0,35	0,04	0,05	0,27	85,67	42,49	8,50
F6	0,68	0,03	0,08	0,57	84,97	44,93	8,99



Slika 23: Določitev površine travnikov in urbaniziranih površin za posamezna na podlagi ortofoto posnetka

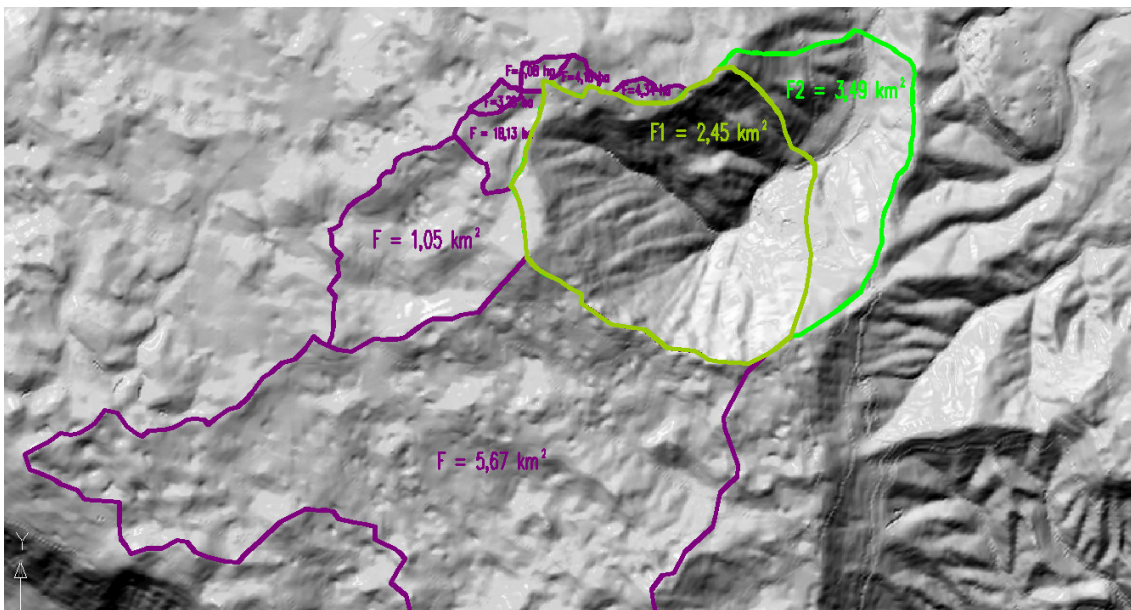
### 5.1.3 Propagacija vala

Po enostavni metodi zakasnitve sem izračunal čas, ki ga voda potrebuje, da prepotuje prvi in drugi del struge vodotoka. Ocenil sem povprečno hitrost vode v strugi na 4,0 m/s in določil dolžino prvega dela (812m) in drugega dela struge (916m). Ocenil sem, da voda potrebuje približno 3 minute in pol, da prepotuje prvi del struge in približno 4 minute za drugi del.

## 6 HIDRAVLIČNA OCENA PREVODNOSTI STRUGE HUDOURNIKA KROPARICA

Pomembno je, da pri hidravličnem izračunu upoštevamo več kot stoletne izkušnje slovenskih hudourničarjev, ki so v preteklosti preračunavali količine visokih hudournih voda v zelo podobnih pogojih v alpskem in predalpskem prostoru. Včasih so za izračun odtočnega koeficienta ( $\alpha$ ) po formuli Kresnika na podobnih vodozbirnih območjih upoštevali vrednost  $\alpha = 0.8$ , ki pa je na podlagi kasnejših ugotovitev nekoliko previsoka, posebno zaradi dobre zaraščenosti območja in kraškega zaledja. Ta koeficient so kasneje uporabljali le za večinoma gola, skalnata erozijska območja v osrednjem delu visokogorja, v predalpskem prostoru pa so za odtočni koeficient uporabljali  $\alpha = 0.6$ . (PUH, 2008)

Obravnavano območje s hudournikom Kroparica dolžine 1320,00 m smo glede na položaj stranskih hudourniških pritokov razdelili na dva odseka in za vsakega po formuli Kresnika z odtočnim koeficientom  $\alpha = 0,6$  izračunali višino visokih 100, 50 in 20 - letnih voda (Preglednica 10 in slika 24). (PUH, 2008)



Slika 24: Relief Kroke z označenim kraškim zaledjem ter ožjim območjem do Koruznega mostu in celotnim vodozbirnim območjem (Geopedia, 2010)

Preglednica 10: Velikosti vodozbirnih območij in količin visokih voda hudournika Kroparica po Kresniku (PUH, 2008)

zap. št.	lokacija konca obravnavanega odseka	velikost območja		barva mej v pregledni karti	visoke vode Q100 na ožjem območju	visoke vode Q20 na ožjem območju	visoke vode Q100 iz kraškega zaledja	visoke vode Q20 iz kraškega zaledja	skupne visoke vode Q100	skupne visoke vode Q20
		ha	km <sup>2</sup>		m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek
1.	Vodozbirno območje do Koruznega mostu	244,87	2,45	zelena	22,8	15,2	10,8	7,2	33,5	22,4
2.	Celotno vodozbirno območje do konca OPPN	348,55	3,49	živo zelena	28,3	18,9	10,8	7,2	39,0	26,1

Vsaki od dobljenih količin smo dodali še 25 % celotne izračunane vrednosti visokih voda za celotno kraško zaledje hudournika na JV delu planote Jelovica med Podbliško goro na vzhodu, Dražgoško goro na jugu in Lipniško planino v osrednjem delu Jelovice. Večina osrednjega dela kraškega območja, na katerem voda ponika v številnih vrtačah in se večinoma zopet pojavi v močnem izviru Kroparice pod Zidanimi skalami na nadmorski višini 620,00 m, meri 5,67 km<sup>2</sup>. Drugo večje območje velikosti 1,05 km<sup>2</sup> zavzema vrtače severno od pobočij Velikega Gregorjevca, na območju Vodiške planine pa se pojavljajo lokalni izviri, ki se po krajšem površinskem teku izgubijo v vrtačah in ponorih ter kasneje pojavijo kot izvorni kraki hudournika Hrenovec. Površina teh kraških uval in vrtač, ki so morfološko odprte proti jugu, obsega 34,00 ha. Skupna površina tega dela Jelovice, iz katerega se talne vode stekajo v dolino Kroke, znaša 7,07 km<sup>2</sup>.

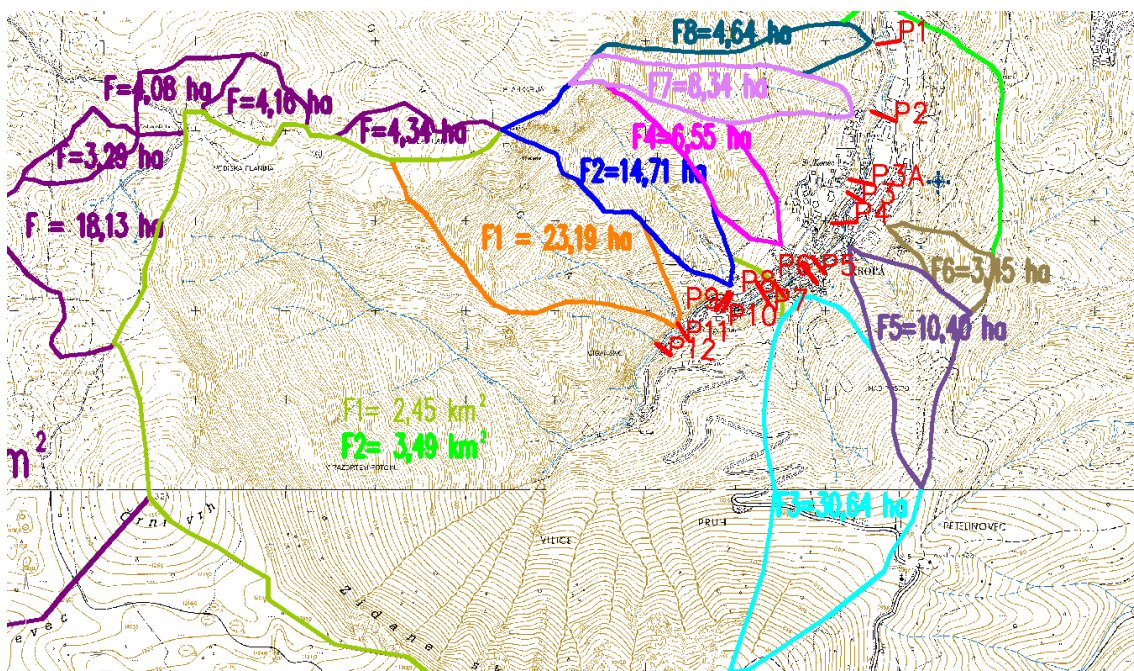
Ker je to območje še enkrat večje kot neposredno vodozbirno območje Kroparice do obravnavanega območja, te zbrane in ponikajoče meteorne vode iz tako velikega prispevnega območja nikakor ne smemo zanemariti, pa čeprav skozi porozen kraški svet do izvira Kroparice priteče z nekaj urno zakasnitvijo. Če pa je to podzemlje zaradi dolgotrajnejšega deževja pred neurjem že zapolnjeno, je izvir močan in stalen že pred nalivom. To se je zgodilo tudi v neurju 19. septembra 2007 na izviru Lipnice, ko so bila tla zaradi le enodnevnega predhodnega deževja zapolnjena z vodo in je to dodatno močno deževje povzročilo močno bruhanje vode iz izvira Lipnice in pojav novih, sekundarnih in neznanih izvirov nad obstoječim.

Prvo območje velikosti  $F_1 = 2,45 \text{ km}^2$ , ki je na sliki 7 označeno s svetlejšo zeleno barvo, obsega celotno neposredno prispevno površino do Koruznega mostu in tudi dva večja leva hudourniška pritoka Iz Meva in Smukarjev graben. Izračun pričakovanih visokih voda po formuli Kresnika z  $\alpha = 0.6$  za območje pokaže, da znaša količina visokih voda nekaj manj kot 23.00 m<sup>3</sup>/s, če pa temu dodamo še ocenjeno količino talnih voda s kraškega območja, pa je izračunana količina večja in znaša okoli 33.50 m<sup>3</sup>/s. Čeprav izgleda ta razlika velika, pa v izračunu višin poplavnih voda v posameznih profilih po obeh metodah ni bistvene razlike, saj so računске hitrosti vode v hudourniških koritih strug večje kot so računane v podobnih strugah nižinskih vodotokov.



Celotno neposredno vodozbirno območje do konca ureditvenega območja, ki je na sliki 7 označeno s svetlo zeleno barvo pa je veliko  $3,49 \text{ km}^2$ , 100 - letne vode pa skupaj z dotokom iz kraškega zaledja znašajo  $39,0 \text{ m}^3/\text{sek}$ .

Na enak način kot za ožje območje Kroparice, smo izračunali tudi visoke 100, 50 in 20 – letne visoke vode njenih hudourniških pritokov (slika 25 in preglednica 11). Izračun po formuli Kresnika smo izvedli za vse hudourniške pritoke z vodozbirnim območjem, večjem od  $3,00 \text{ ha}$  in sicer za pet levih pritokov (hudournik Iz Meva, Smukarjev graben, Škarjevec, Miklavžev graben in hudournik Pri vikendu) ter za tri večje desne pritoke (Drolovec, Lodnov graben in Kapelški graben). V preglednici 11 so prikazane velikosti vodozbirnih območij vseh naštetih hudournikov do njihovih vtokov v prekrite dele in izračunane količine 100 - letnih in 20 - letnih voda po formuli Kresnika s koeficientom hrapavosti  $\alpha = 0,6$ . V posebnem stolpcu so zapisane tudi dimenzije posameznih prepustov, skozi katere so speljani hudourniki na njihovih iztočnih odsekih, v zadnjem stolpcu pa so prikazane dimenzije potrebnih pretočnih profilov teh odsekov skupaj s potrebno varnostno višino  $0,50 \text{ m}$ . (PUH, 2008)



Slika 25: Prikaz pritokov Kroparice in označba profilov v katerih smo računali prevodnost (PUH, 2008)

Preglednica 11: Velikosti vodozbirnih območij in količin visokih voda hudourniških pritokov Kroparice (PUH, 2008)

zap. št.	hudournik	velikost območja		visoke vode Q100	visoke vode Q20	barva mej v pregledni karti	dimenzije obstoječih prepustov	potrebne dimenzije prepustov
		ha	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /sek	m <sup>3</sup> /sek			
1.	Iz Meva	23,19	0,23	2,8	1,9	oranžna	prepusta fi 80 in fi 30, kineta 0.50 m x 0.50 m	škatlast prepust 1,00 m x 1,00 m
2.	Smukarjev graben	14,70	0,15	1,8	1,2	modra	prepust fi 40, prekritje 0.85 m x 1.85 m	škatlast prepust 0,85 m x 0,90 m
3.	Drolovec	30,64	0,31	3,7	2,5	cinober	kineta 0.90 m x 1.10 m, prekritje 0.70m x 0.70m	škatlast prepust 0,90 m x 1,20 m
4.	Škarjevec	6,55	0,07	0,8	0,5	roza	prepust fi 40 in fi 50, prekritje 0.50m x 0.50m	škatlast prepust 0,50 m x 0,80 m
5.	Lodnov graben	10,40	0,10	1,3	0,8	vijolična	kineta 1,05 m x 1,10 m, prepust fi 60	škatlast prepust 0,85 m x 0,80 m
6.	Kapelški graben	3,45	0,03	0,4	0,3	vojaško zelena	kineta 0.90 m x 0.50 m, prepust fi 40	prepust fi 60
7.	Miklavžev graben	8,34	0,08	1,00	0,7	svetlo roza	prepust fi 40, prekritje 0.50 m x 0.50 m	škatlast prepust 0,85 m x 0,75 m
8.	Pri vikendu	4,64	0,05	0,6	0,4	temno modra	kineta 0.50 m x 0.50 m, prepust fi 40	škatlast prepust 0,60 m x 0,70 m

## 6.1 Prevodnost obstoječih pretočnih profilov struge Kroparice

Celoten odsek hudournika Kroparica na obravnavanem območju za center naselja in za staro jedro Kroe dolžine 1320,00 m smo razdelili na dva odseka in za vsakega izračunali vodozbirno območje in pričakovane 100, 50 in 20 - letne vode. V okviru teh dveh območij pa smo še dodatno izmerili 13 prečnih profilov, ki so izmerjeni preko karakterističnih prečnih profilov struge (vtokih mostov, prelivnih sekcij drč ali pragov in prečnih profilov, kjer obstaja nevarnost prelivanja). Za vsak pretočni profil smo nato po enačbi Manninga preverili njegovo prevodnost in v prečni profil vrisali višino, do kamor sega 100 in 20 - letna voda (slike 26 do 38). Pri vseh pretočnih odprtinah mostov smo tudi preverjali njihovo varnostno višino, ki mora v skladu z Zakonom o vodah in s Smernicami št.: 35001-632/2007-2, znašati vsaj 0,50 m.

Pri izračunu smo za koeficient hrapavosti na urejenih odsekih struge z obojestranskimi obrežnimi zidovi in utrjeno niveleto s pragovi upoštevali koeficient  $K = 45 s \cdot m^{-1/3}$ , za bolj grobe pretočne profile na neurejenih odsekih struge z bolj grobo sestavo dna struge pa smo uporabili koeficient  $K = 35 s \cdot m^{-1/3}$ .

Za izračun hitrosti vode v posameznem pretočnem profilu smo v račun vpisali padec struge hudournika gorvodno od profila. Ker so razdalje med prečnimi profili precejšnje, smo povzeli povprečen padec zadnjih nekaj deset metrov pred računskim profilom, zaradi česar se hitrosti med seboj tudi nekoliko razlikujejo, prav tako tudi višina  $Q_{100}$  in  $Q_{20}$ . Pri tem kota visokih voda ni povsod natančno določena, vendar pa je v vsakem primeru v mejah zahtevane varnostne višine. (PUH, 2008)

- Hudournik Kroparica v profilu P1 pri hiši Kropa 49

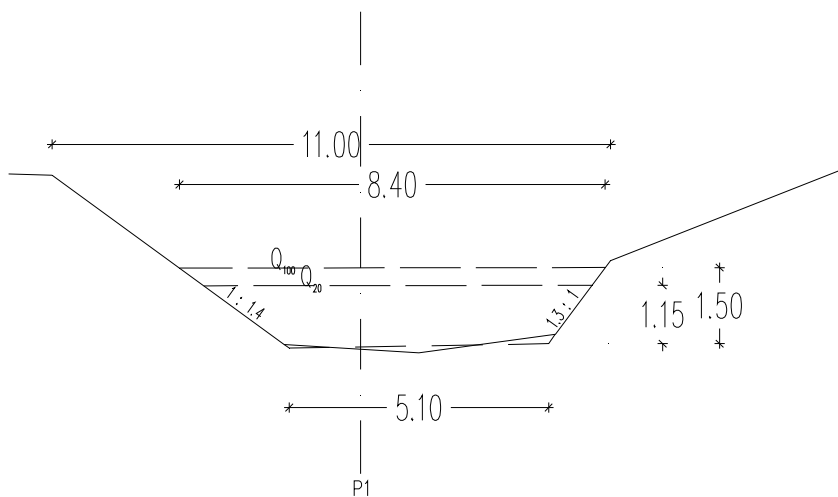
Opis profila:  
pretočni profil struge

podatki:

$\bar{s} = 5,10$  m širina struge na dnu  
 $n = 0,77$  nagib leve brežine 1 : n  
 $m = 1,40$  nagib desne brežine 1 : m  
 $K = 35$   $s \cdot m^{-1/3}$  koeficient hrapavosti  
 $i = 2,60$  % nagib nivelete  
 $Q_{vv} = 39,0$  m<sup>3</sup>/s pričakovane visoke vode  
 $h = 1,50$  m višina profila

rezultati:

$F = 10,12$  m<sup>2</sup> površina pretočnega profila  
 $U = 9,58$  m omočeni obod pretočnega profila  
 $R = 1,06$  m hidravlični radij  
 $v = 3,88$  m/s povprečna profilna hitrost vode  
 $Q = 39,29$  m<sup>3</sup>/s prevodnost pretočnega profila



Slika 26: Profil P1

- Hudournik Kroparica v profilu P2 pri tovarni Novi plamen

Opis profila:

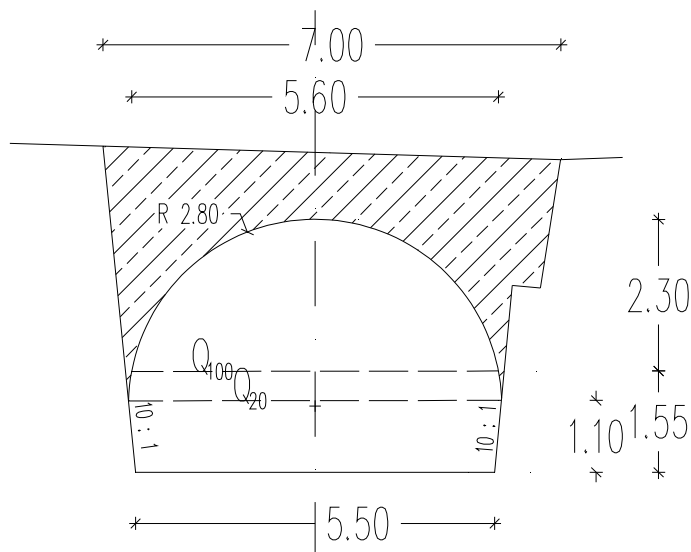
most z obokano pretočno odprtino

podatki:

$\bar{s}$ =	5,50	m	širina struge na dnu
$n$ =	0,10		nagib leve brežine 1 : n
$m$ =	0,10		nagib desne brežine 1 : m
$K$ =	45	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
$i$ =	1,80	%	nagib nivelete
$Q_{vv}$ =	39,0	$m^3/s$	pričakovane visoke vode
$h$ =	1,53	m	višina profila

rezultati:

$F$ =	8,65	$m^2$	površina pretočnega profila
$U$ =	8,58	m	omočeni obod pretočnega profila
$R$ =	1,01	m	hidravlični radij
$v$ =	4,54	m/s	povprečna profilna hitrost vode
$Q$ =	39,27	$m^3/s$	prevodnost pretočnega profila



Slika 27: Profil P2



- Hudournik Kroparica v profilu P3

Opis profila:

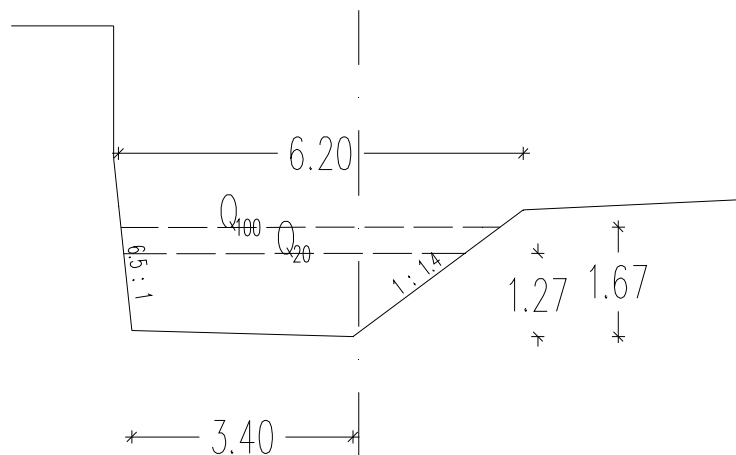
pretočni profil struge

podatki:

$\bar{s}$ =	3,40	m	širina struge na dnu
$n$ =	1,40		nagib leve brežine 1 : n
$m$ =	0,15		nagib desne brežine 1 : m
$K$ =	45	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
$i$ =	2,90	%	nagib nivelete
$Q_{vv}$ =	39,0	$m^3/s$	pričakovane visoke vode
$h$ =	1,67	m	višina profila

rezultati:

$F$ =	7,84	$m^2$	površina pretočnega profila
$U$ =	7,96	m	omročeni obod pretočnega profila
$R$ =	0,99	m	hidravlični radij
$v$ =	5,01	m/s	povprečna profilna hitrost vode
$Q$ =	39,26	$m^3/s$	prevodnost pretočnega profila



Slika 29: Profil P3

- Hudournik Kroparica v profilu 4 pri hiši Kropa 82

Opis profila:

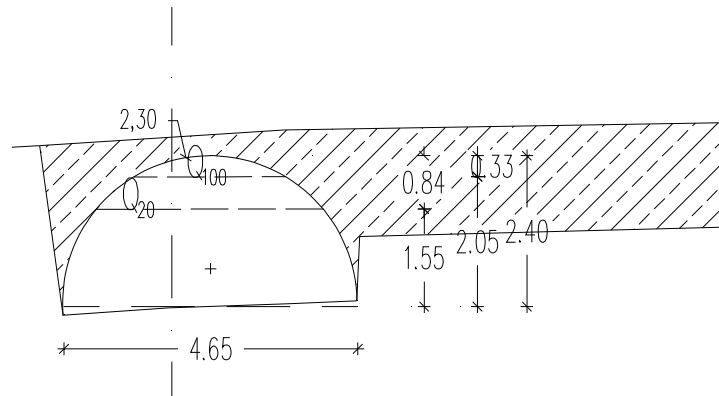
most z obokano pretočno odprtino

podatki:

$\bar{s}$ =	4,65	m	širina struge na dnu
$n$ =	-0,36		nagib leve brežine 1 : n
$m$ =	-0,36		nagib desne brežine 1 : m
$K$ =	45	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
$i$ =	2,30	%	nagib nivelete
$Q_{vv}$ =	39,0	$m^3/s$	pričakovane visoke vode
$h$ =	2,05	m	višina profila

rezultati:

$F$ =	8,02	$m^2$	površina pretočnega profila
$U$ =	9,01	m	omočeni obod pretočnega profila
$R$ =	0,89	m	hidravlični radij
$v$ =	4,63	$m/s$	povprečna profilna hitrost vode
$Q$ =	39,11	$m^3/s$	prevodnost pretočnega profila



Slika 30: Profil P4

- Hudournik Kroparica v profilu 5 pri Modrijanovi hiši Kropa 67

Opis profila:

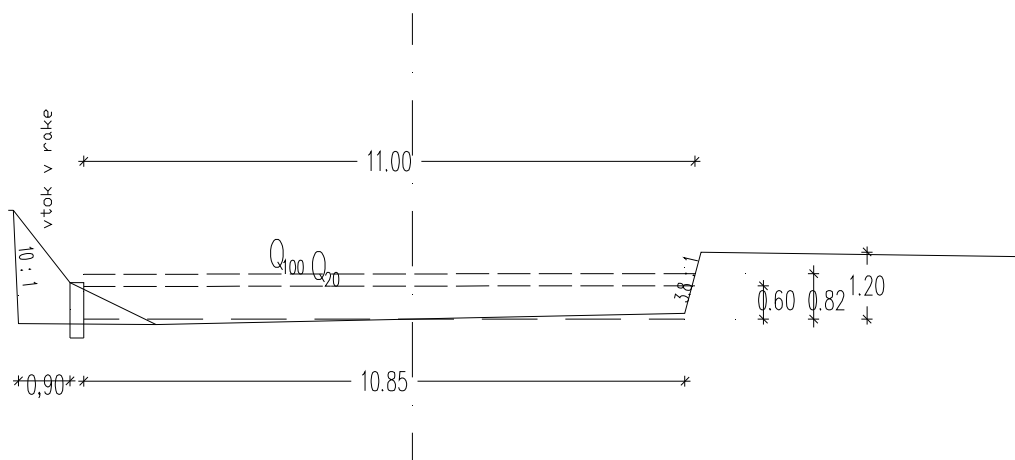
pretočni profil struge na vtoku v rake

podatki:

$\bar{s}$ =	10,85	m	širina struge na dnu
$n$ =	0,26		nagib leve brežine 1 : n
$m$ =	0,00		nagib desne brežine 1 : m
$K$ =	45	$s \cdot m^{-1/3}$	koefficient hrapavosti
$i$ =	1,80	%	nagib nivelete
$Q_{vv}$ =	39,0	$m^3/s$	pričakovane visoke vode
$h$ =	0,82	m	višina profila

rezultati:

$F$ =	8,99	$m^2$	površina pretočnega profila
$U$ =	12,52	m	omočeni obod pretočnega profila
$R$ =	0,72	m	hidravlični radij
$v$ =	4,13	m/s	povprečna profilna hitrost vode
$Q$ =	39,13	$m^3/s$	prevodnost pretočnega profila



Slika 31: Profil P5



- Hudournik Kroparica v profilu 6 na trgu v Kropi

Opis profila:

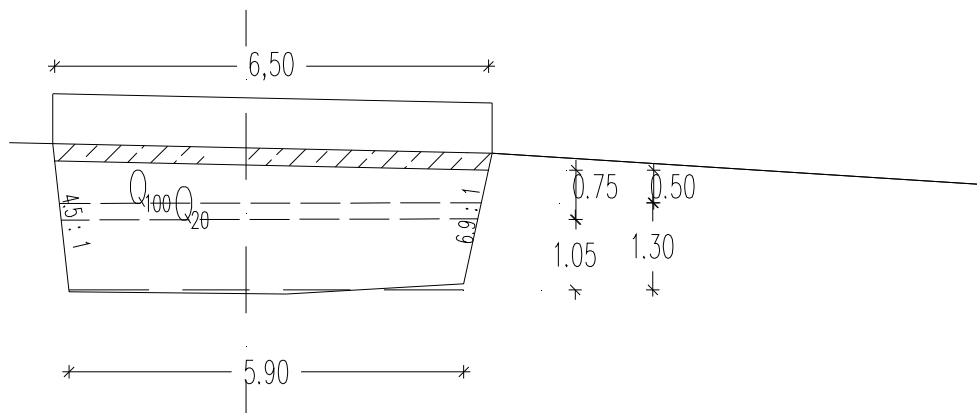
vtok mostu na državni cesti z obokano pretočno odprtino

podatki:

š =	5,90	m	širina struge na dnu
n =	0,15		nagib leve brežine 1 : n
m =	0,22		nagib desne brežine 1 : m
K =	45	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
i =	1,80	%	nagib nivelete
Q <sub>vv</sub> =	39,0	m <sup>3</sup> /s	pričakovane visoke vode
h =	1,30	m	višina profila

rezultati:

F =	7,98	m <sup>2</sup>	površina pretočnega profila
U =	8,54	m	omočeni obod pretočnega profila
R =	0,93	m	hidravlični radij
v =	4,45	m/s	povprečna profilna hitrost vode
Q =	39,50	m <sup>3</sup> /s	prevodnost pretočnega profila



Slika 32: Profil P6

- Hudournik Kroparica v profilu 7 pod Koruznim mostom

Opis profila:

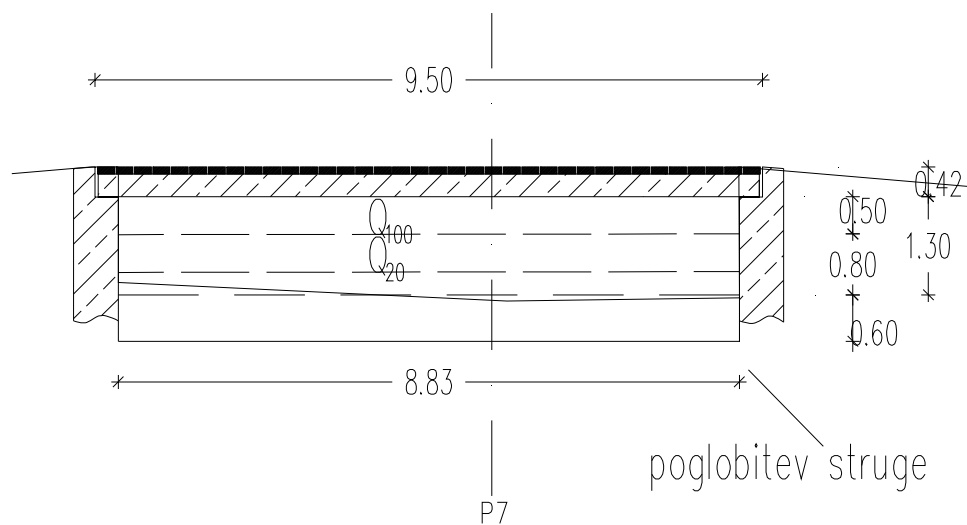
predvidena pretočna odprtina obnovljenega mostu

podatki:

š =	6,70	m	širina struge na dnu
n =	0,00		nagib leve brežine 1 : n
m =	0,20		nagib desne brežine 1 : m
K =	35	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
i =	2,60	%	nagib nivelete
Q <sub>vv</sub> =	33,5	m <sup>3</sup> /s	pričakovane visoke vode
h =	1,30	m	višina profila

rezultati:

F =	8,88	m <sup>2</sup>	površina pretočnega profila
U =	9,33	m	omočeni obod pretočnega profila
R =	0,95	m	hidravlični radij
v =	3,78	m/s	povprečna profilna hitrost vode
Q =	33,52	m <sup>3</sup> /s	prevodnost pretočnega profila



Slika 33: Profil P7

- Hudournik Kroparica v profilu 8

opis profila:

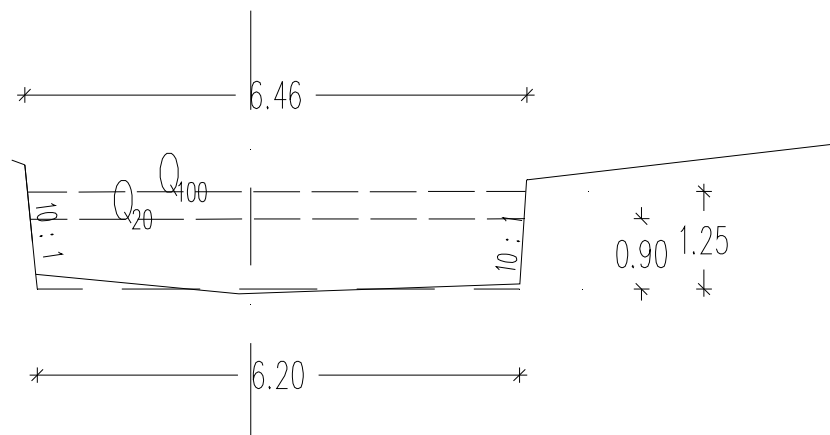
pretočni profil struge pri hiši Kropa 34

podatki:

š =	6,20	m	širina struge na dnu
n =	0,10		nagib leve brežine 1 : n
m =	0,10		nagib desne brežine 1 : m
K =	35	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
i =	5,70	%	nagib nivelete
Q <sub>v</sub> =	33,5	m <sup>3</sup> /s	pričakovane visoke vode
h =	1,25	m	višina profila

rezultati:

F =	7,91	m <sup>2</sup>	površina pretočnega profila
U =	8,71	m	omočeni obod pretočnega profila
R =	0,91	m	hidravlični radij
v =	4,29	m/s	povprečna profilna hitrost vode
Q =	33,89	m <sup>3</sup> /s	prevodnost pretočnega profila



Slika 34: Profil P8

- Hudournik Kroparica v profilu 9 v Zgornjem Koncu  
opis profila:

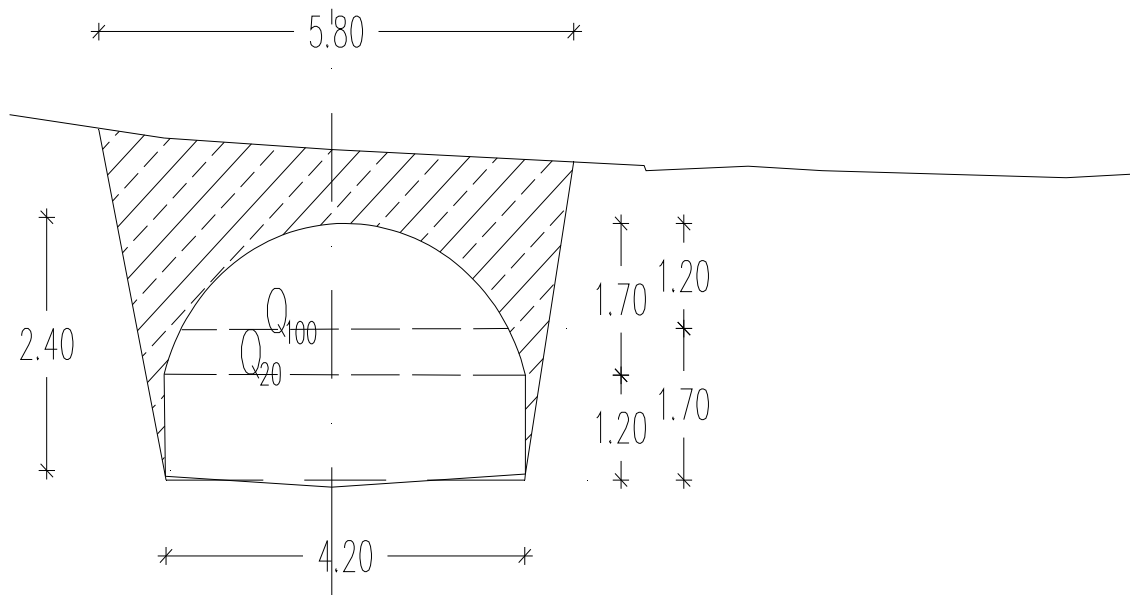
kamniti most z obokano pretočno odprtino na koncu drčee

podatki:

š = 4,20 m širina struge na dnu  
n = 0,00 nagib leve brežine 1 : n  
m = 0,00 nagib desne brežine 1 : m  
K = 35  $s \cdot m^{-1/3}$  koeficient hrapavosti  
i = 12,40 ‰ nagib nivelete  
Q<sub>vv</sub> = 33,5 m<sup>3</sup>/s pričakovane visoke vode  
h = 1,70 m višina profila

rezultati:

F = 7,14 m<sup>2</sup> površina pretočnega profila  
U = 7,60 m omočeni obod pretočnega profila  
R = 0,939 m hidravlični radij  
v = 4,83 m/s povprečna profilna hitrost vode  
Q = 34,46 m<sup>3</sup>/s prevodnost pretočnega profila



Slika 35: Profil P9

- Hudournik Kroparica na vtoku v rake v profilu 10 v Zgornjem Koncu

opis profila:

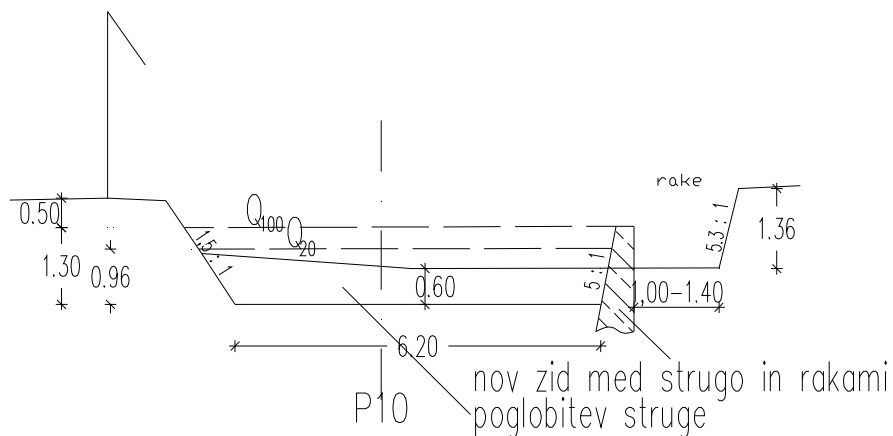
potrebni pretočni profil struge na začetku drče

podatki:

š = 6,20 m širina struge na dnu  
n = 0,20 nagib leve brežine 1 : n  
m = 0,67 nagib desne brežine 1 : m  
K = 35  $s \cdot m^{-1/3}$  koeficient hrapavosti  
i = 2,67 ‰ nagib nivelete  
Q<sub>v</sub> = 33,5 m<sup>3</sup>/s pričakovane visoke vode  
h = 1,30 m višina profila

rezultati:

F = 8,80 m<sup>2</sup> površina pretočnega profila  
U = 9,09 m omočeni obod pretočnega profila  
R = 0,97 m hidravlični radij  
v = 3,81 m/s povprečna profilna hitrost vode  
Q = 33,51 m<sup>3</sup>/s prevodnost pretočnega profila



Slika 36: Profil P10

- Hudournik Kroparica v profilu 11

opis profila:

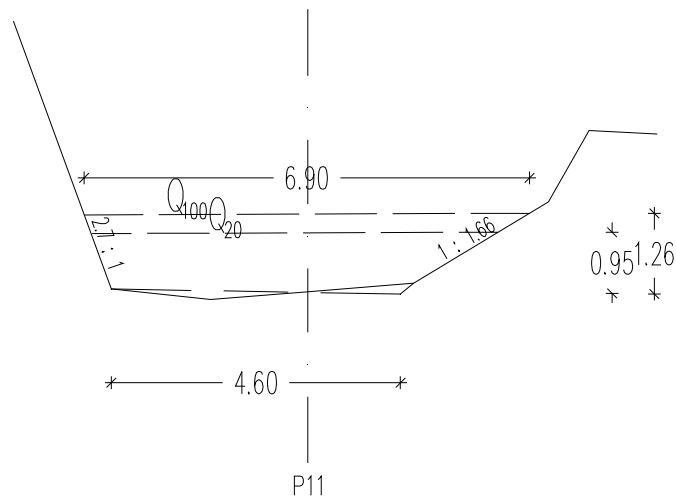
pretočni profil struge pri hiši Kropa 45

podatki:

š =	4,60	m	širina struge na dnu
n =	0,37		nagib leve brežine 1 : n
m =	1,66		nagib desne brežine 1 : m
K =	35	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
i =	8,80	%	nagib nivelete
Q <sub>vv</sub> =	33,5	m <sup>3</sup> /s	pričakovane visoke vode
h =	1,26	m	višina profila

rezultati:

F =	7,41	m <sup>2</sup>	površina pretočnega profila
U =	8,39	m	omočeni obod pretočnega profila
R =	0,88	m	hidravlični radij
v =	4,54	m/s	povprečna profilna hitrost vode
Q =	33,63	m <sup>3</sup> /s	prevodnost pretočnega profila



Slika 37: Profil P11

- Hudournik Kroparica v profilu 12

opis profila:

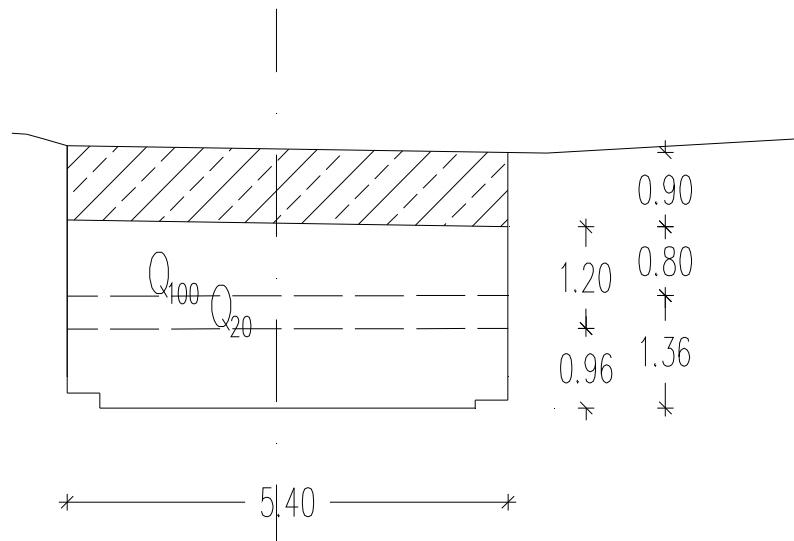
pretočni profil pri mostu na državni cesti

podatki:

š =	5,40	m	širina struge na dnu
n =	0,00		nagib leve brežine 1 : n
m =	0,00		nagib desne brežine 1 : m
K =	35	$s \cdot m^{-1/3}$	koeficient hrapavosti
i =	8,80	%	nagib nivelete
Q <sub>v</sub> =	33,5	m <sup>3</sup> /s	pričakovane visoke vode
h =	1,36	m	višina profila

rezultati:

F =	7,35	m <sup>2</sup>	površina pretočnega profila
U =	8,12	m	omočeni obod pretočnega profila
R =	0,91	m	hidravlični radij
v =	4,56	m/s	povprečna profilna hitrost vode
Q =	33,49	m <sup>3</sup> /s	prevodnost pretočnega profila



Slika 38: Profil P12

## 6.2 Dimenzioniranje potrebnih pretočnih profilov struge Kroparice

### 6.2.1 Povečanje pretočnega profila struge v območju Bodlajeve vigece

Prvi, najbolj kritičen odsek struge, kjer se lahko ponovijo škode iz poplav septembra 2007, je odsek struge v območju Bodlajeve vigece, gorvodno od preliva praga z zajetjem za rake v profilu P10 (slika 39). Na tem odseku pretočni profil na vtoku rak sedaj prevaja le 20 - letne vode, tako da so zaradi previsokega zajema vode ogroženi vsi objekti na desni brežini, zaradi rak pa tudi vsi objekti (garaže) na levi brežini dolvodno vse do vigece Vice. V neurju septembra 2007 je hudournna voda namreč prelila vtok v rake in po njih pridrla na cesto, zalila garaže ter levo brežino dolvodno (glej sliko 39). Prav tako je na tem odseku ogrožena tudi državna cesta R3/636, kjer so obstoječi betonski zidovi dotrajani in spodkopani.



Slika 39: Pogled na vtok v rake na prelivu drče v profilu P10 in obokan most v profilu P9  
(PUH, 2008)

Po neurju so desno brežino gorvodno od vigece zaščitili s kamnito zložbo v betonu, obstoječi in obnovljen desnoobrežni zid ob vigece pa je ostal prenizek. Pretočni profil struge na vtoku v drčo pod Kamniti most, oz. vtoka v rake pri Bodlajevi vigece namreč prevaja le 20 - letne visoke vode, poleg tega pa tudi državna cesta ni varna pred visokimi vodami. Zato predlagamo znižanje krone drče za okoli 0,60 m in poglobitev nivelete gorvodno vsaj na dolžini 20,00 m. S poglobitvijo nivelete, morebitne izdelave tlaka po dnu struge (talnih pragov) in izdelave praga na začetku, bi povečali padec struge in hitrost visokih voda, s tem pa tudi prevodnost profila. Zaradi znižanja nivelete pa bi bilo seveda potrebno prestaviti vtok v rake gorvodno med strugo in rakami pa v sedanji strugi zgraditi nov zid iz kamna v betonu, ki bi omogočal poglobitev struge hudournika ob nespremenjeni niveleti zajemnega kanala. S



poglobitvijo struge na vtoku bi sicer tudi zožali dno struge na 6,20 m (ki bi se gorvodno še zožala), vendar bi pri obnovi in podzidavi desnoobrežnega zidu na 1,80 m pod sedanjo krono dosegli tudi potrebno varnostno višino 0,50 m. Namesto podzidave obstoječega zidu je na krajšem odseku možno izvesti tudi nadomestni zid iz kamna v betonu. (PUH, 2008)

### 6.2.2 Povečanje pretočnega profila struge pod Koruznim mostom

Problem povečanja pretočne odprtine Koruznega mosta (slika 40), ki je bil glavni vzrok za večino povzročenih škod v osrednjem delu Krope so skušali rešiti že v času vodne ujme, ko so ga hoteli odstraniti, vendar to med neurjem ni bilo mogoče. Zato so v okviru odprave škod po neurju betonsko ploščo podrli in zgradili začasen lesen most ter pričeli z izdelavo projektov in zbiranjem potrebnih soglasij za izdelavo novega mostu.

Pri izgradnji novega mostu so v največji možni meri razširili betonske opornike mostu in jih gorvodno in dolvodno prilagodili obstoječim obrežnim zidovom. Poleg tega so mostno konstrukcijo nekoliko dvignili, tako da je pod mostom nastala 1,30 m visoka mostna odprtina. Premostitev je izvedena s tremi jeklenimi nosilci, preko katerih so položeni leseni morali, ob straneh pa je kovinska ograja, ki jo je možno odstraniti. Premostitev je skonstruirana tako, da jo bo možno v primeru napovedi visokih voda dvigniti. Pretočni profil je sicer bistveno večji kot nekdanji, vendar je še vedno komaj zadosten za prevajanje vseh visokih 100-letnih voda brez varnostne višine (glej izračun prevodnosti po Manningu v prejšnjem poglavju).



Slika 40: Obnovljen "Koruzni most" v Kropi skupaj z dolvodno kamnito drčo (PUH, 2008)

Zato smo v prejšnjem poglavju izračunali potreben pretočni profil struge pod mostom, ki bo prevajal vse visoke vode in bo imel še 0,50 m varnostne višine za morebitne plavine. Tak pretočni profil bo možno doseči na enak način kot pri drči v profilu P10, to je z znižanjem

krone dolvodne drče za 0,60 m in povečanjem padca struge pod mostom na vsaj 2,6 %. (PUH, 2008)

### 6.2.3 Povečanje pretočnega profila struge v območju profila P 3A

Nekoliko premajhen je tudi pretočni profil struge hudournika Kroparica med tovarno Novi plamen in lokalno cesto v profilu P3A, gorvodno od stanovanjske hiše Kropa 89. Na tem odseku je leva brežina ob parkirišču neurejena, deloma zasuta, niveleto struge pa podpira prag iz kamna v betonu s stopnjo 1,30 m (slika 41).



Slika 41: Betonski prag s stopnjo 1,30 m v območju profila 3A (PUH, 2008)

Ker se na tem odseku voda zaradi zoževanja struge razliva po prenizko zgrajeni lokalni cesti, je potrebno pretočni profil povečati in zaščititi levo brežino. Za povečanje pretočnega profila in preprečitvi poplavljanja je možno :

- razširiti strugo na prvotno širino in zavarovati levo brežino, pri čemer bi bili cesta in objekti še vedno poplavno ogroženi,
- deloma razširiti strugo, ob levi brežini pa izvesti nasip (ali dvignjen zid) za prevajanje vseh visokih voda z zagotovitvijo potrebne varnostne višine in jo ustrezno zaščititi,
- znižati obstoječi betonski prag in niveleto gorvodno, po potrebi podzidati desno brežino in jo ustrezno zaščititi.

Da bi pri ureditvenih delih ohranili še dovolj površine za parkirišče in obenem zagotovili možnost iztoka zalednih površinskih voda v strugo (preko ustreznih lovilcev olj in maščob)

predlagamo poglobitev struge, zaščito leve brežine in utrditev nivelete z nizkimi pragovi. Zato smo izračunali potreben pretočni profil struge, ki bi zagotavljal potreben profil za preprečitev nadaljnjega poplavljanja tega odseka struge. V okviru teh del bo potrebno v kamniti obliki tudi obnoviti sam prag in njegovo podslapje.

Ostali obravnavani pretočni profili struge hudournika Kroparica prevajajo vse visoke vode in imajo večinoma tudi zadosti veliko varnostno višino. Premalo varnostne višine imajo le pretočni profil struge v območju profila P5 ("Na placu"), profila 8 nad vigenco Vice (ki ga bo potrebno povečati v okviru ureditve struge nad Koruznim mostom) in mostna odprtina v profilu P4 pri hiši Kropa 82. Ta profil pod mostom se poveča na enak način kot gorvodno - z znižanjem dolvodne stopnje, poglobitvijo nivelete struge, podzidavo obrežnih zidov in odstranitvijo nerabljenih rak ob levi brežini. Na ta način bi tudi povečali varnost stanovanjske hiše Kropa 82, katere kletne prostore lahko poplavlja že srednje nizke vode (slika 42). (PUH, 2008)



Slika 42: Vtok pod most v profilu P4 pri stanovanjski hiši Kropa 82 s prenizko urejenim vrtom in vhodom (PUH, 2008)

## 7 REZULTATI IN ANALIZA

### 7.1 Visoke vode Kroparice za ožje območje do Koruznega mostu

Preglednice 12 do 14 prikazujejo največje pretoke, izračunane s hidrološkim modelom, ki bi jih zabeležili glede na povratno dobo nevihte in njeno trajanje. Konica histograma s 5-minutnim 100-letnim nalivom je postavljena na sredino. Na ožjem območju smo po metodi Kresnika za 100-letno vodo dobili vrednost  $22,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , ki smo ji dodali še vodo iz kraškega zaledja. Takšno vrednost dobimo pri 10-letni 3 urni nevihti, ali pri večjih povratnih dobah s trajanjem nevihte manj kot eno uro in ta povratna doba se zdi zelo majhna, vendar predvidevam, da tako veliki odtoki izhajajo iz občutljivosti povodja na veliko intenziteto padavin, kar bom poskusil dokazati s primerjavo odtoka po intenzivnih in enakomernih padavinah enake količine. Vse to seveda potrjuje hudourniški značaj povodja z zelo velikimi nakloni in hitrim odtokom.

Preglednica 12: Maksimalni pretoki za 100-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje

območje	100-letna povratna doba			
	Ožje območje do Koruznega mostu			
čas trajanja nevihte (h)	1h	2h	3h	6h
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	33,5	40,4	46,4	51,6

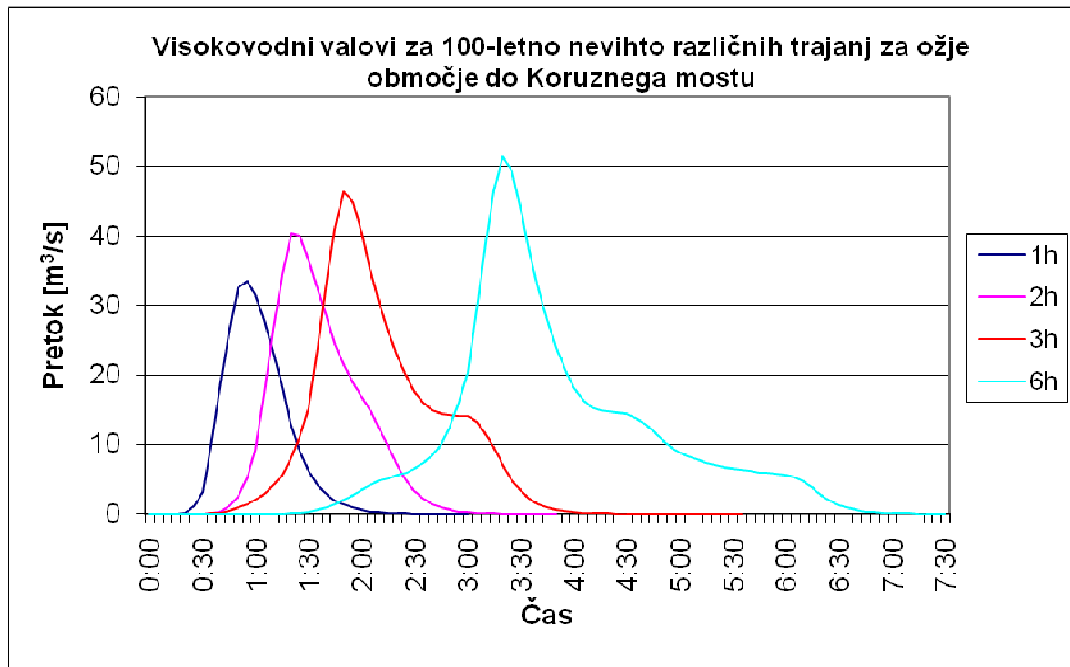
Preglednica 13: Maksimalni pretoki za 50-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje

območje	50-letna povratna doba				
	Ožje območje do Koruznega mostu				
čas trajanja nevihte (h)	1	2	3	6	12
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	27,5	33,4	39,2	44,3	47,3

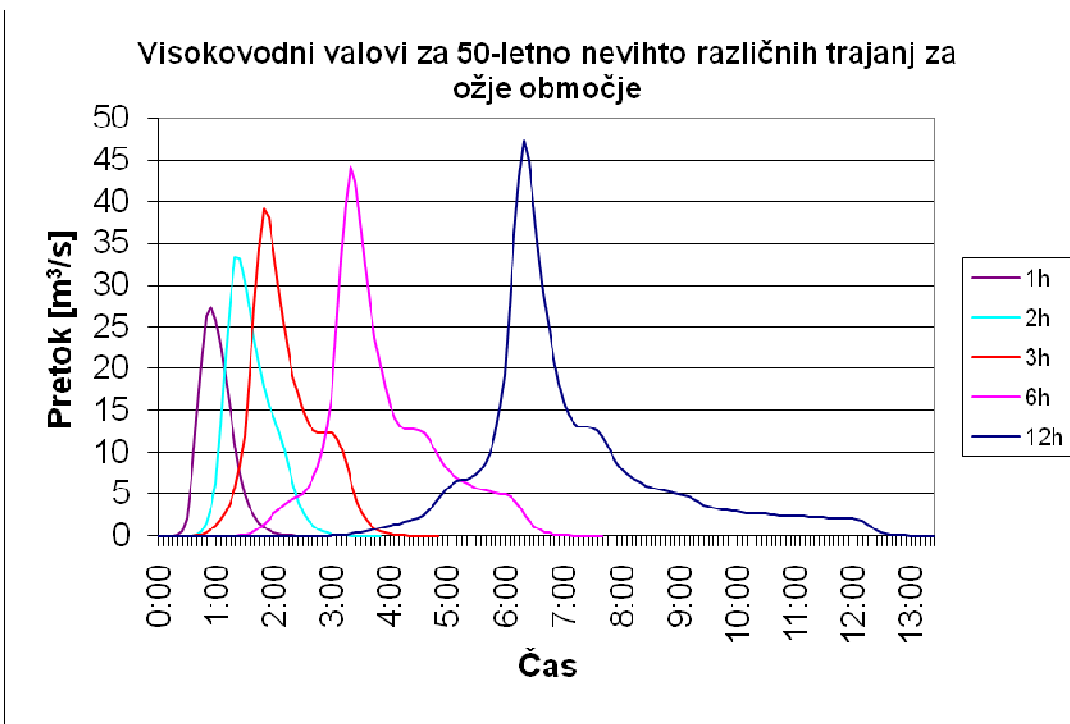
Preglednica 14: Maksimalni pretoki za 10-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje

območje	10-letna povratna doba				
	Ožje območje do Koruznega mostu				
čas trajanja nevihte (h)	1	2	3	6	12
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	14,2	18,5	22	26,5	29,7

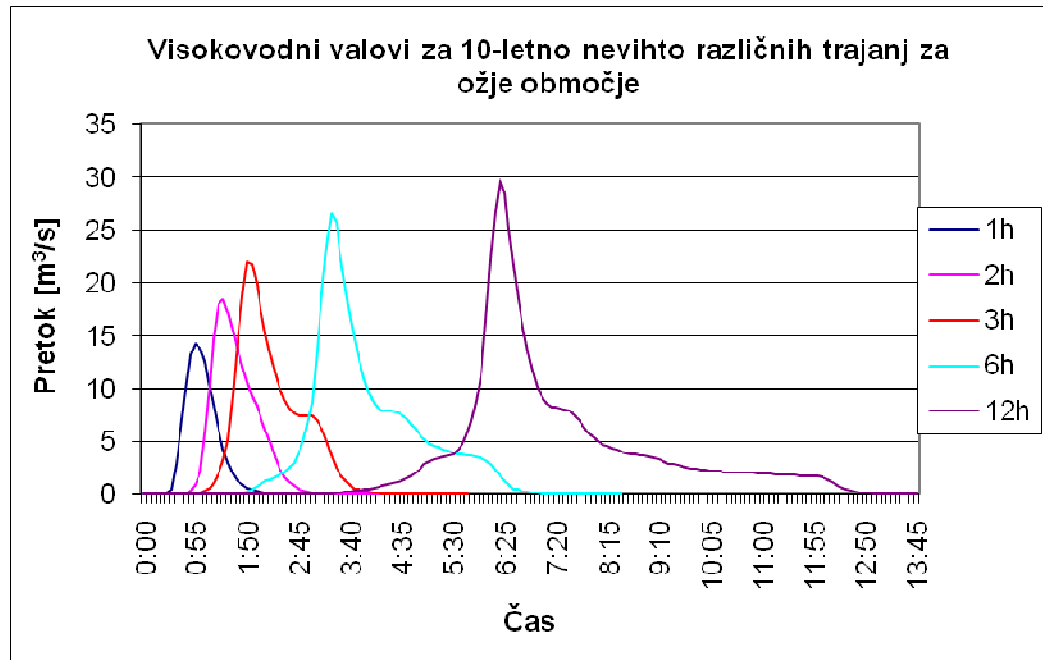
Na slikah 43 do 45 so prikazani visokovodni valovi za nevihte različnih trajanj in različne povratne dobe.



Slika 43: Visokovodni valovi za 100-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu



Slika 44: Visokovodni valovi za 50-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu



Slika 45: Visokovodni valovi za 10-letno nevihto različnih trajanj za ožje območje do Koruznega mostu

## 7.2 Visoke vode Kroparice v zadnjem vozlišču za celotno povodje

Rezultati za celotno območje (Preglednice 15 do 17, Slike 46 do 48) kažejo, da je za pretok  $28,3 \text{ m}^3/\text{s}$  potrebna nevihta z 10-letno povratno dobo s trajanjem okoli dve uri in pol, ali nevihta z večjo povratno dobo in trajanjem nevihte manj kot eno uro. Tem vrednosti dodamo še vodo iz kraškega zaledja, da dobimo  $39 \text{ m}^3/\text{s}$ , oziroma  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  za ožje območje.

Ko podvojimo trajanje nevihte, se razlike v pretoku zmanjšujejo. Trendna črta bi pokazala veliko podobnost z grafičnim prikazom podatkov o ekstremnih padavinah za različne povratne dobe za meteorološko postajo Lesce (Slika 8). To že nakazuje pravilnost moje domneve o občutljivosti povodja na intenzivne padavine.

Preglednica 15: Maksimalni pretoki za 100-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje

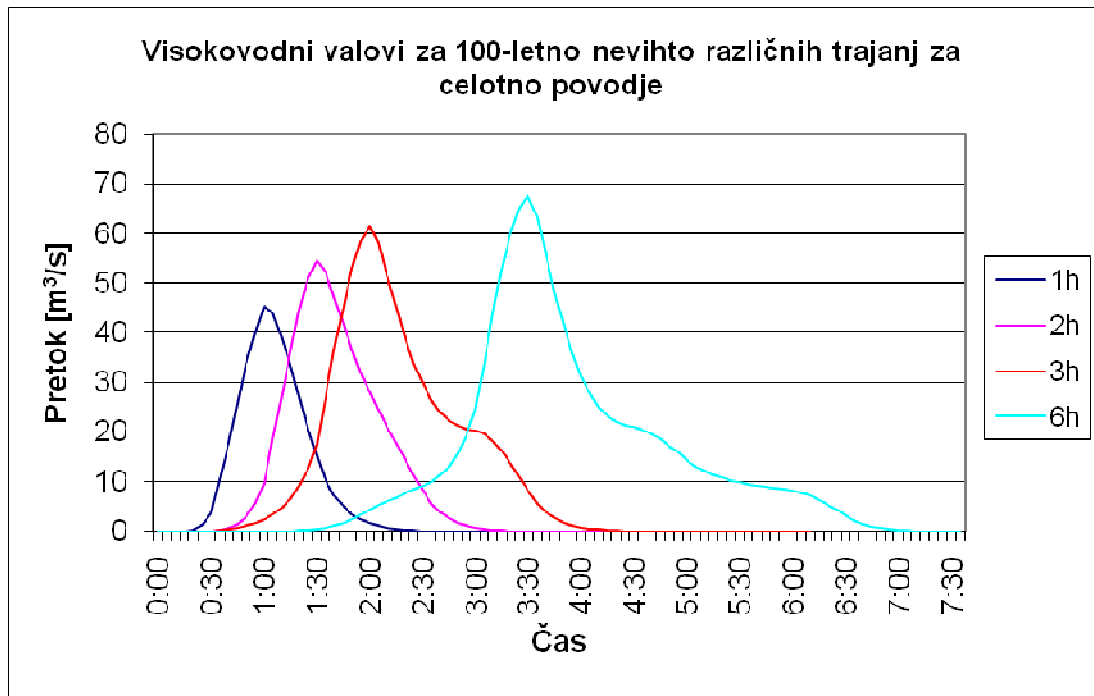
območje	100-letna povratna doba			
	Celotno območje			
čas trajanja nevihte (h)	1h	2h	3h	6h
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	45,3	54,6	61,7	67,7

Preglednica 16: Maksimalni pretoki za 50-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje

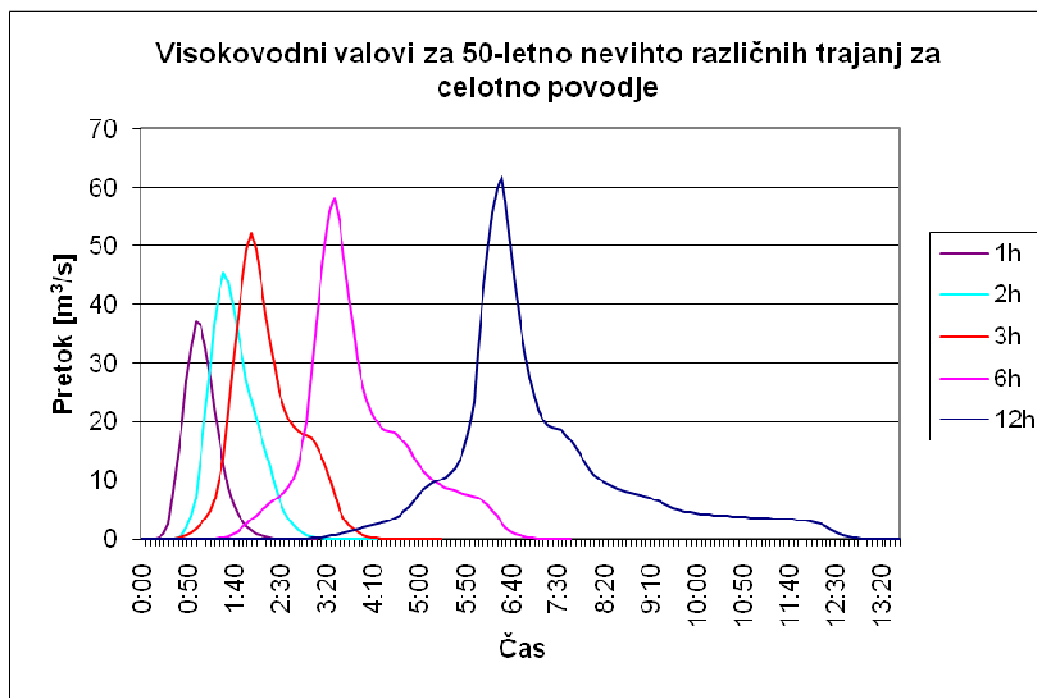
območje	50-letna povratna doba				
	Celotno območje				
čas trajanja nevihte (h)	1	2	3	6	12
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	37,1	45,4	52,3	58,2	61,80

Preglednica 17: Maksimalni pretoki za 10-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje

območje	10-letna povratna doba				
	Celotno območje				
čas trajanja nevihte (h)	1	2	3	6	12
Največji pretok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	27,5	33,4	39,2	44,3	47,3

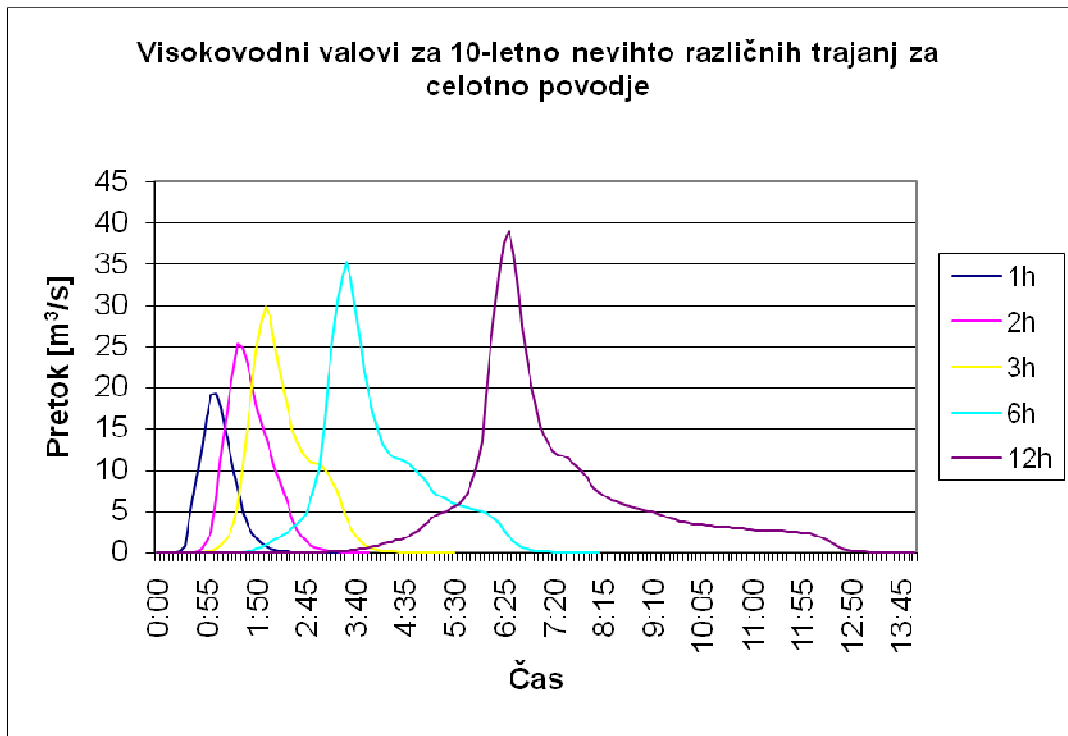


Slika 46: Visokovodni valovi za 100-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje



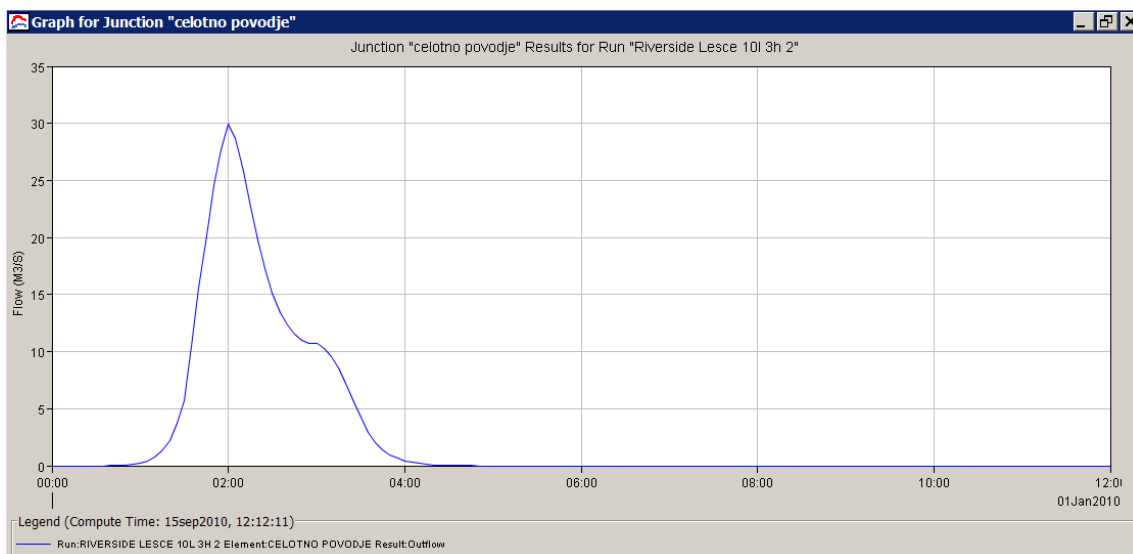
Slika 47: Visokovodni valovi za 50-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje



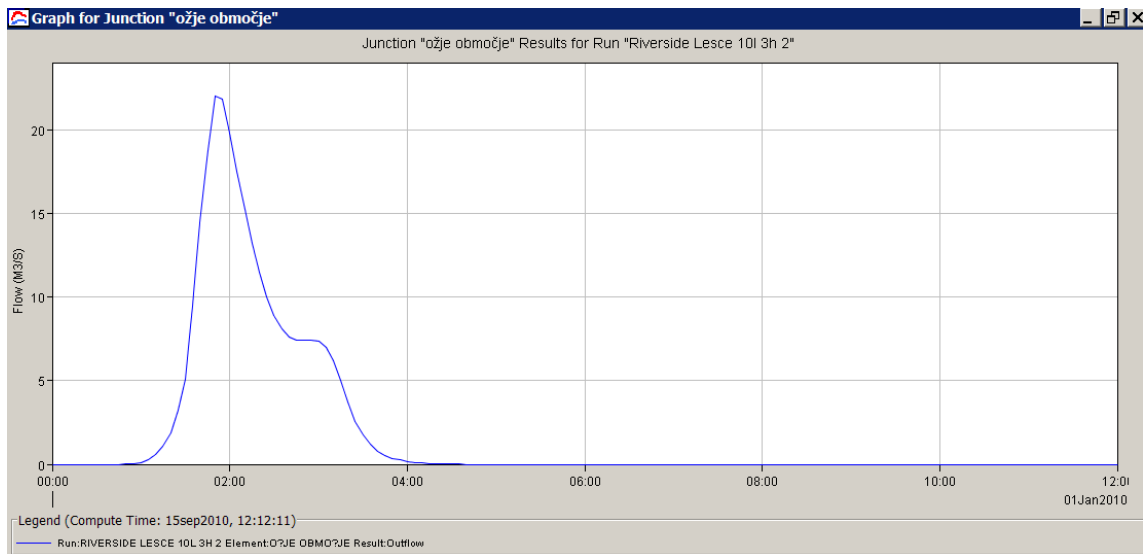


Slika 48: Visokovodni valovi za 10-letno nevihto različnih trajanj za celotno povodje

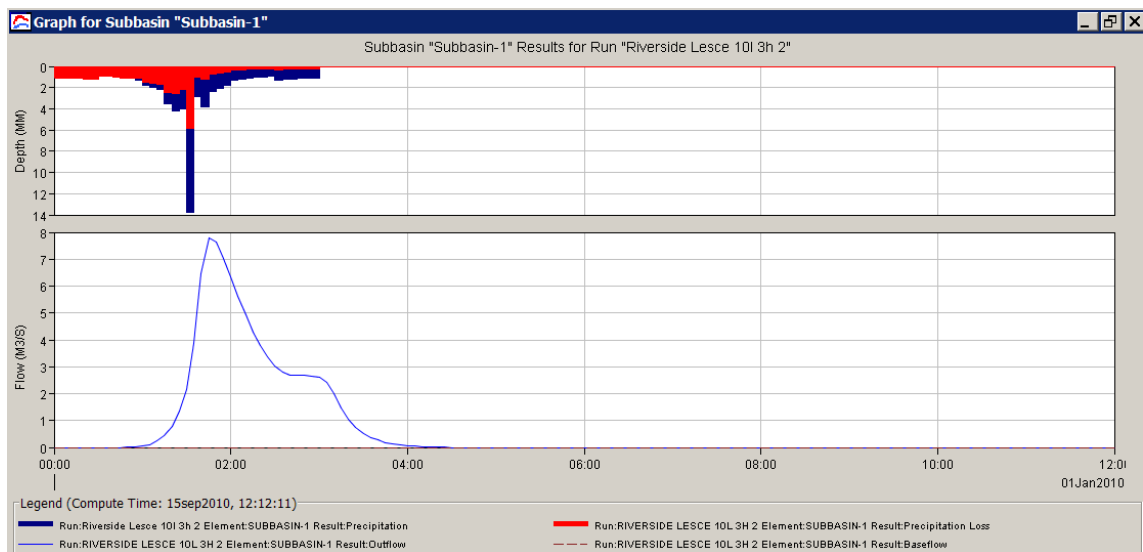
Poglejmo si torej podrobneje rezultate računa s HEC-HMS za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo (Slike 49 do 56).



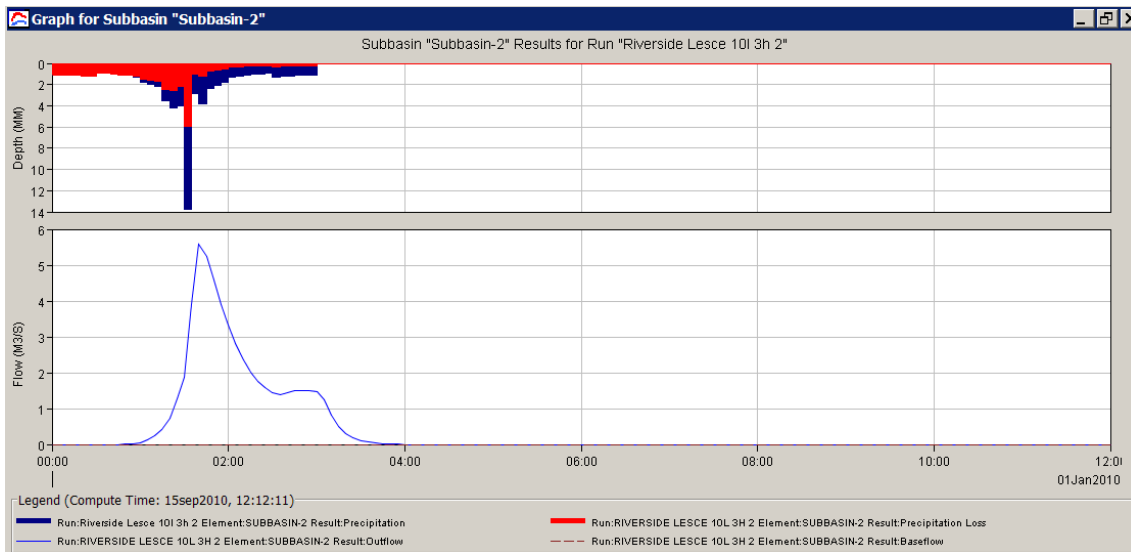
Slika 49: Hidrogram odtoka v zadnjem vozlišču za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



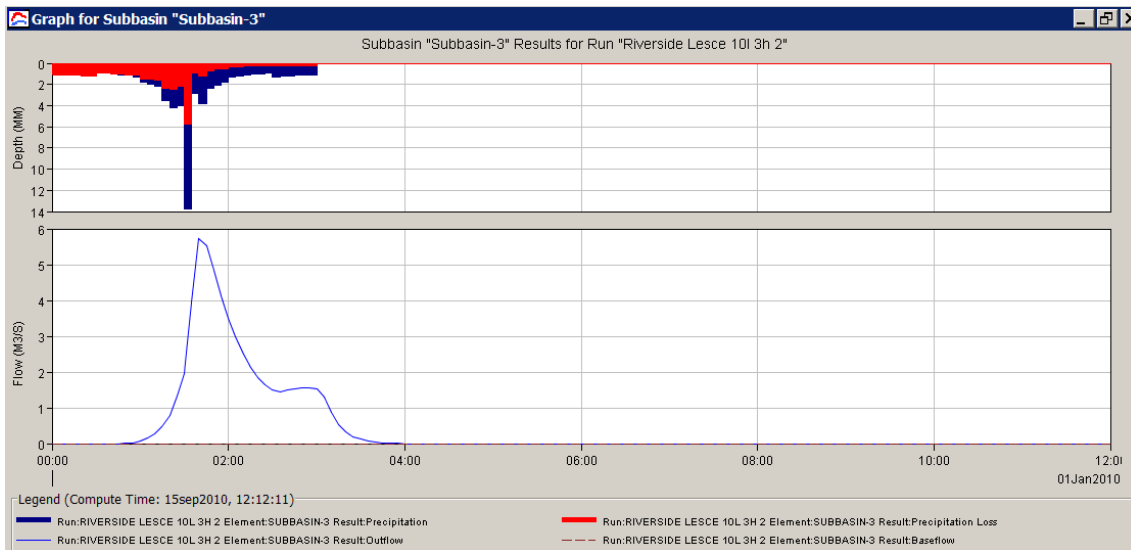
Slika 50: Hidrogram odtoka za ožje območje za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



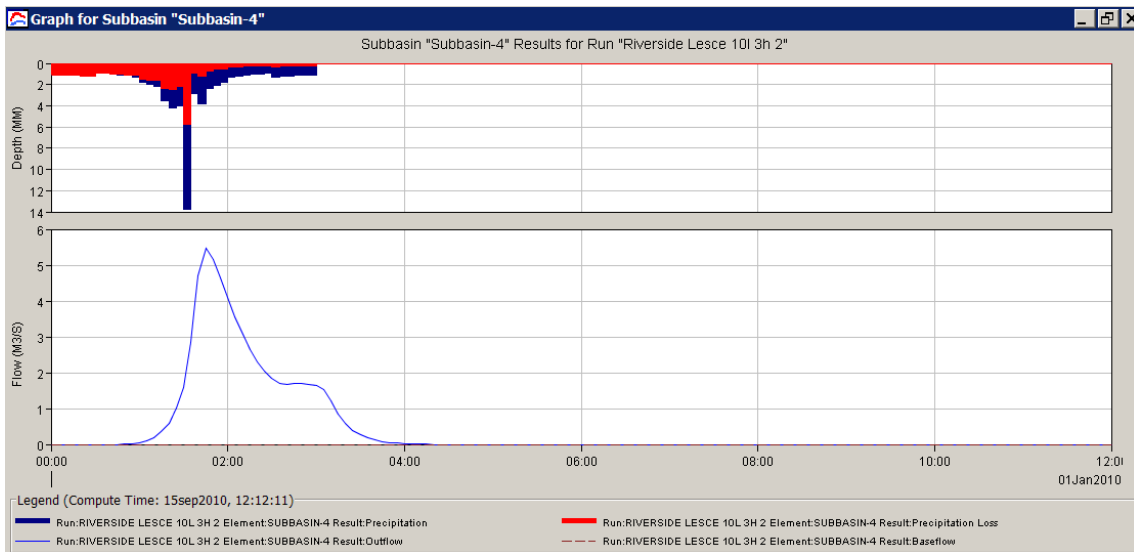
Slika 51: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 1 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



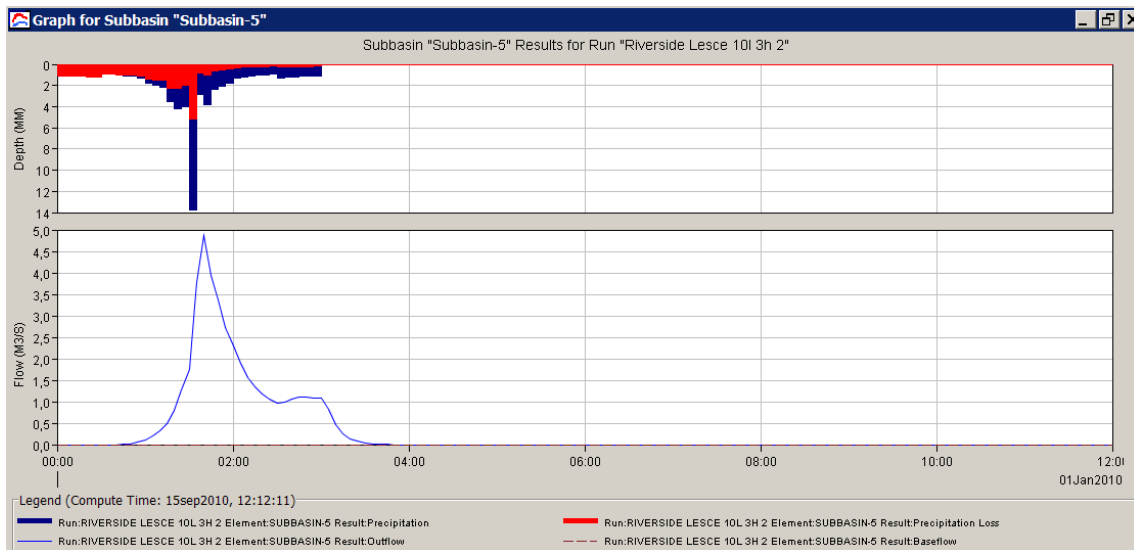
Slika 52: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 2 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



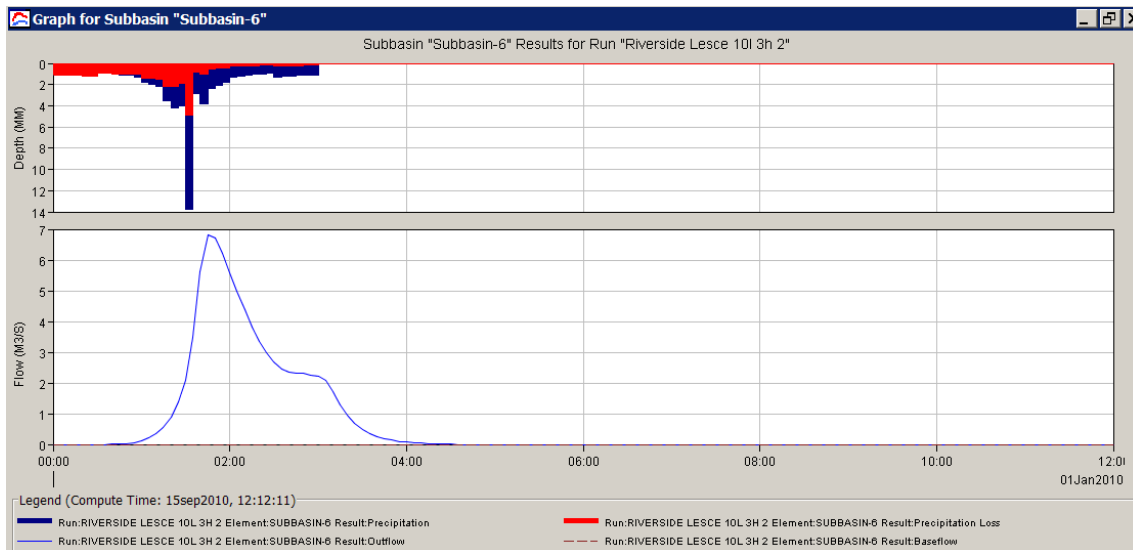
Slika 53: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 3 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



Slika 54: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 4 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



Slika 55: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 5 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo



Slika 56: Histogram padavin z izgubami in hidrogram odtoka iz podpovodja 6 za 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo

Konica histograma je postavljena na sredino trajanja naliva. Izgube se s časom zmanjšujejo, zemljina se prepoji z vodo in ne absorbira več toliko. To je vzrok za drugo, manjšo konico na hidrogramu odtoka.

Največji odtok pričakovano zabeleži največje podpovodje 1, in sicer skoraj 9 m<sup>3</sup>/s, najmanjši pretok pa najmanjše podpovodje 5, malo manj kot 5 m<sup>3</sup>/s.

Povodja so majhna, čas zakasnitve je kratek, pretok zelo hitro naraste in tudi hitro upade. Vse to so karakteristike hudourniških vodotokov.

Čas zakasnitve, izračunan po metodi Riverside County, je zelo kratek, okoli 10 minut in še manj za nekatera podpovodja (Preglednica 7). Izgube so po nastopu konice histograma že manjše in po približno desetih minutah že sledi konica hidrograma odtoka. Po daljšem zmernem deževju in še toliko bolj zaradi hudourniškega značaja povodja obstaja velika nevarnost poplave če pride do intenzivnega naliva.

Da dosežemo pretok, ki je določen na podlagi izkušenj kot 100-letni, potrebujemo razmeroma kratko a zelo intenzivno nevihto z 10-letno povratno dobo ali večjo po celotnem območju. Kot sem že omenil v tej nalogi, je možno, da voda ob nastopu poplav leta 2007 ni bila 100-letna ampak manj in so bile poplave vzrok zamašitve Koruznega mostu in prepustov nekaterih pritokov z naplavinami.

Po mojem mnenju dobljeni rezultati podpirajo to hipotezo, saj je po Kresniku dobljena 100-letna voda majhna glede na to, da za njo potrebujemo le 3-urno nevihto z 10-letno povratno dobo oz. še krajšo nevihto večje povratne dobe. Kaže tudi na to, da se je treba pri urejanju hudournikov posvetiti tudi vzdrževanju in praznjenju objektov, ki zadržujejo plavine, in ne le povečevanju pretočnih profilov.

### 7.3 Primerjava odtoka za različne postavitve konice histograma in enakomerno razporejene padavine

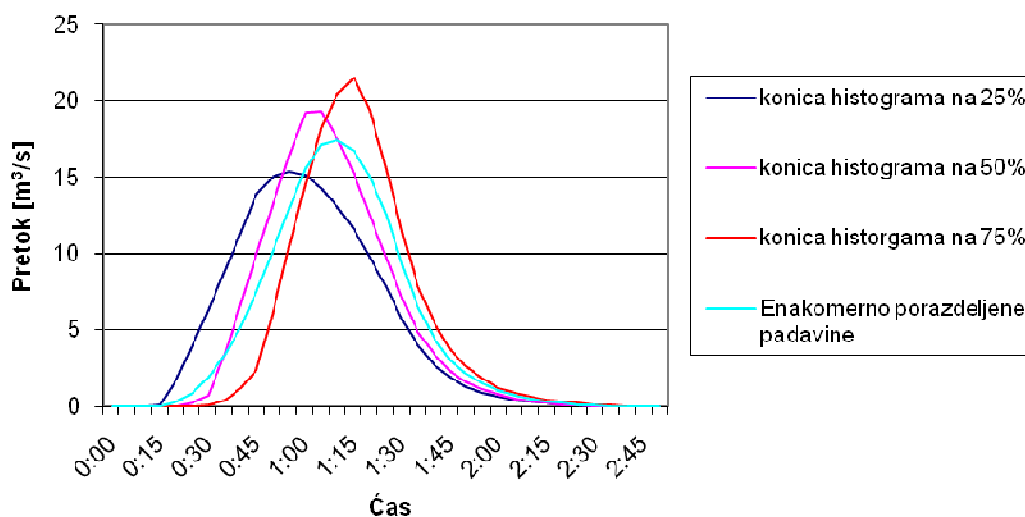
Na končni odtok s povodja vpliva postavitev konice maksimalnih padavin, kot tudi razporeditev in trajanje padavin. S premikanjem konice padavin vplivamo na čas nastopa in tudi na količino največjega pretoka.

V diplomski nalogi Katje Sovre (2009) sem opazil, da je povodje Bistrice podobno temu Kroparice s podobno strmimi nakloni in ima tudi podoben primerjalni graf med intenzivnimi in enakomernimi padavinami pri 24-urni nevihti s 100-letno povratno dobo, kot Kroparica pri 1-urni nevihti s 50-letno povratno dobo.

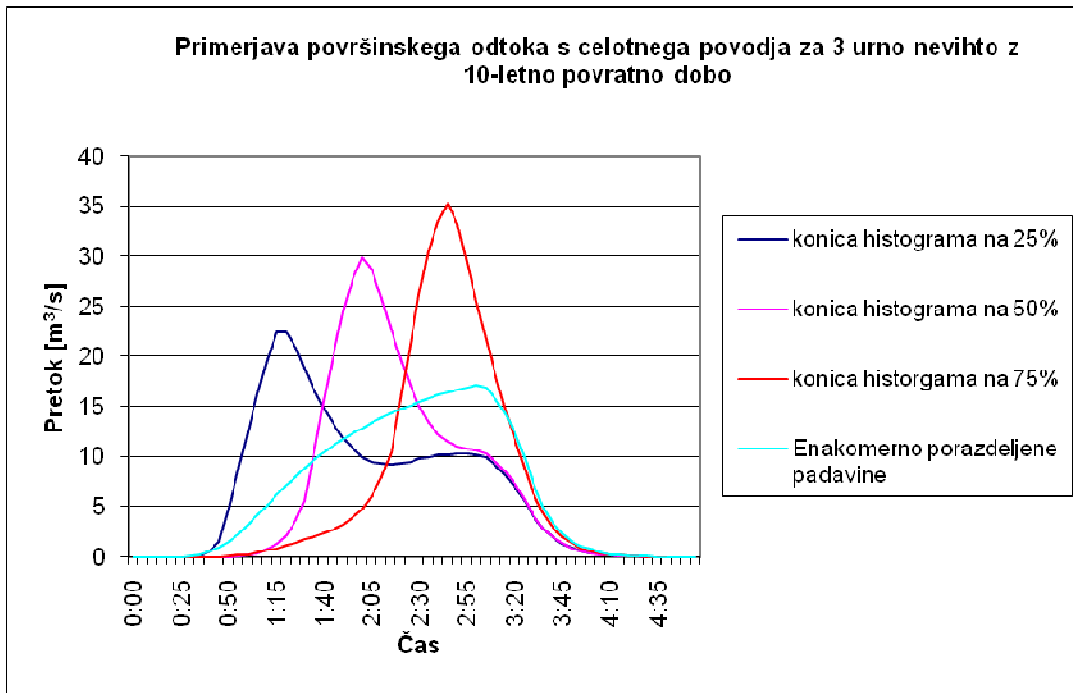
Moja domneva torej je, da v primeru Bistrice zaradi velikosti povodja nastopi občutljivost na velike intenzitete padavin kasneje kot v primeru Kroparice in mislim, da bi bilo zanimivo primerjati rezultate odtoka s povodij za podatke o ekstremnih padavinah za različne povratne dobe z iste meteorološke postaje.

Iz spodnjih primerjalnih grafov med različnimi pozicijami konice histograma in enakomerno porazdeljenimi padavinami za 50 in 10-letne vode je razvidno, da v primeru Kroparice pri 1-urni nevihti ni toliko pomembno, kako so padavine porazdeljene, medtem ko je pri daljših nevihtah razlika tudi več kot trikratna. Do podobnih zaključkov so prišli tudi Dirnbek (2009), Dirnbek in Šraj (2009) in Sovre (2009) v svojih študijah. Menim, da spodnji grafi (Slike 57 do 62) potrjujejo mojo domnevo o občutljivosti porečja na zelo intenzivne nalive.

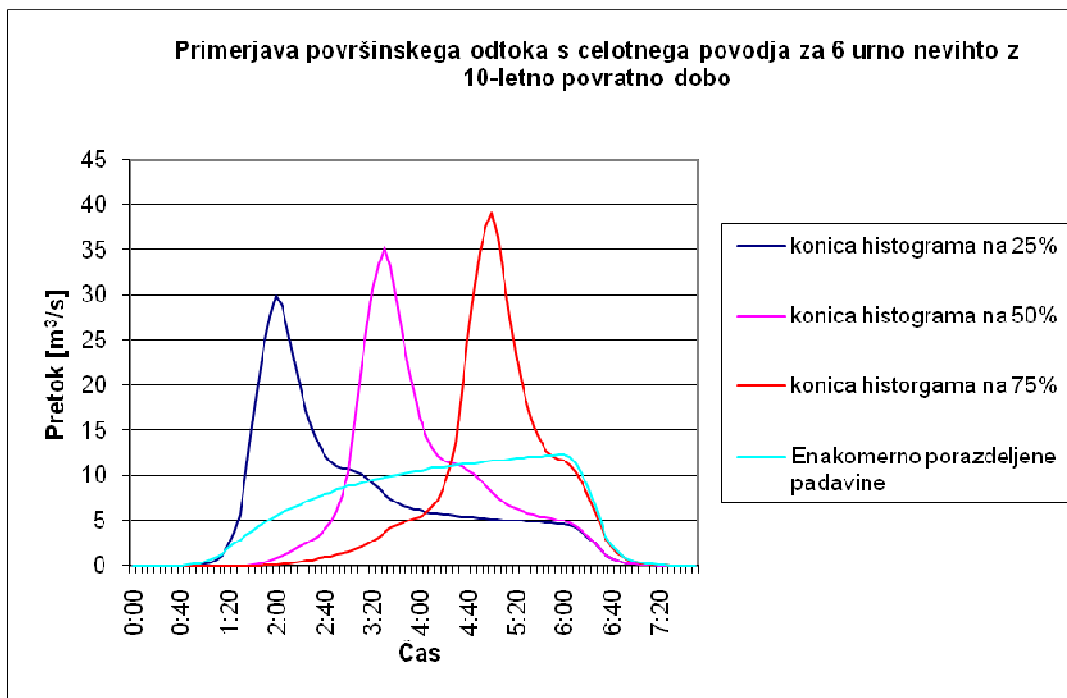
Primerjava površinskega odtoka s celotnega povodja za 1 urno nevihto z 10-letno povratno dobo



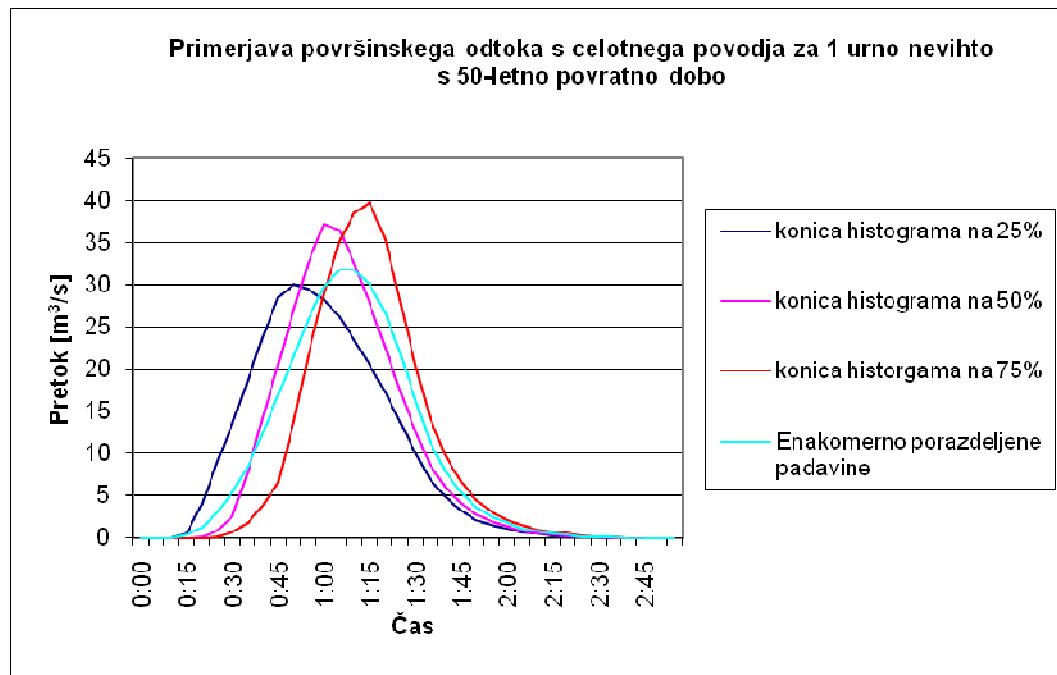
Slika 57: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 1 urno nevihto z 10-letno povratno dobo



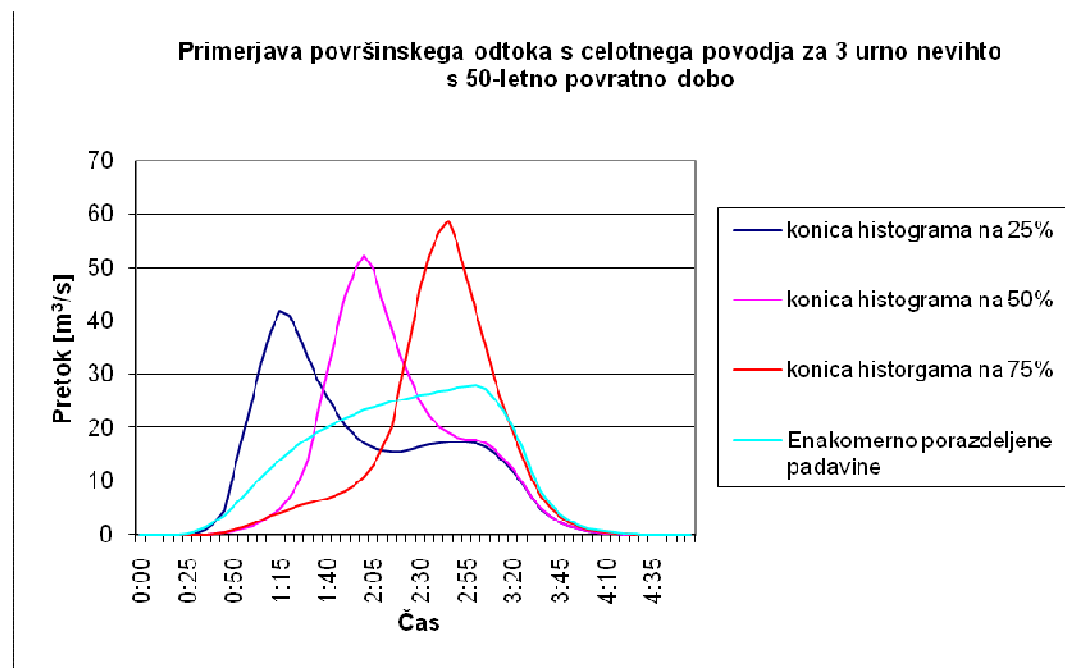
Slika 58: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 3 urno nevihto z 10-letno povratno dobo



Slika 59: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 6 urno nevihto z 10-letno povratno dobo

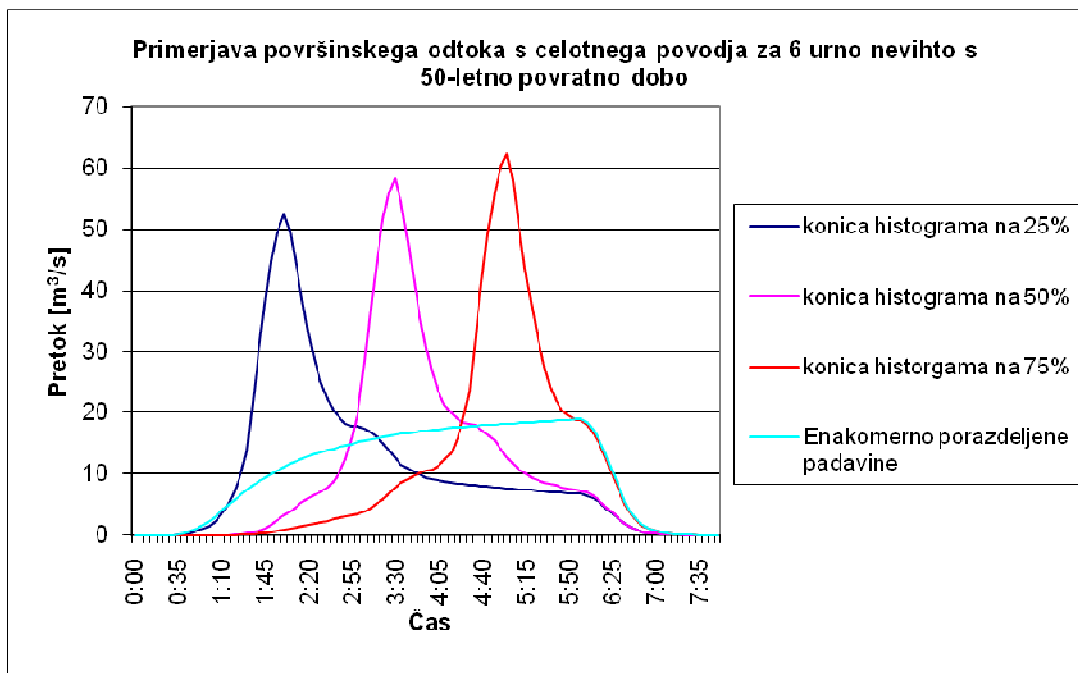


Slika 60: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 1 urno nevihto s 50-letno povratno dobo



Slika 61: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 3 urno nevihto s 50-letno povratno dobo





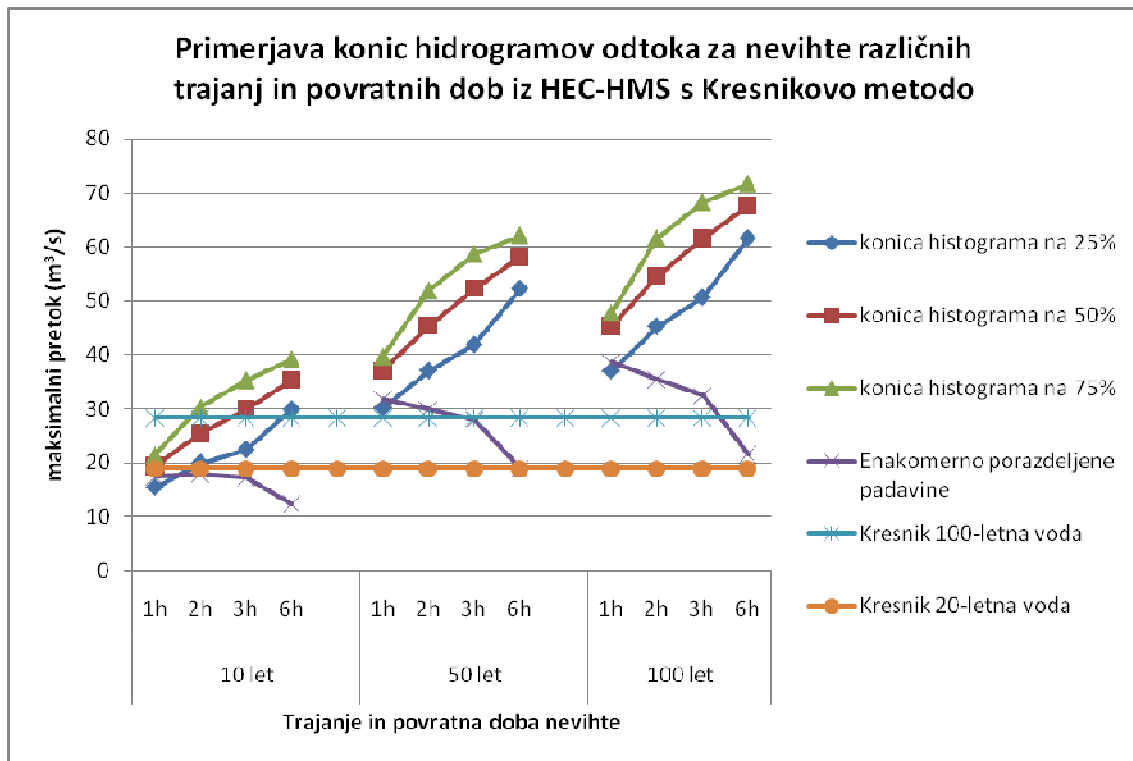
Slika 62: Primerjava odtoka s celotnega povodja za 6 urno nevihto s 50-letno povratno dobo

#### 7.4 Primerjava rezultatov v HEC-HMS z visokimi vodami izračunanimi po Kresnikovi metodi

Na sliki 63 je graf, na katerem je nazorna primerjava rezultatov iz programa HEC-HMS in visokih vod izračunanih po Kresnikovi metodi. Vidne so zelo velike razlike v odtoku, ki ga povzročijo zelo intenzivne in enakomerno porazdeljene padavine ter razlike med različnimi postavitvami konice histograma padavin, ki so posledica začetnih izgub.

HEC-HMS izračuna zelo velike konice hidrogramov odtoka, ki so pri 100-letnih nevihtah tudi več kot dvakrat višje. Pri tako velikih razlikah se vprašam ali je program izračunal preveč, ali pa je Kresnikova metoda določanja visokih voda tudi že malce preživeta. Resnica je nekje vmes in ker smo v hidrologiji vedno raje na varni strani, se bo v prihodnosti potrebno bolj poglobiti v hudourniška območja pred določitvijo stoletnih voda.

Primerjava pokaže, da bo ocena 100-letnih voda po Kresniku v prihodnje premajhna, da bo potrebno izdelovati podrobnejše hidrološke analize in zaradi vse večjih podnebnih sprememb vedno izhajati iz zadnjih statističnih analiz padavin.



Slika 63: Primerjava konic hidrogramov odtoka za nevihte različnih trajanj in povratnih dob iz HEC-HMS s Kresnikovo metodo

## 8 ZAKLJUČEK

Eden pomembnejših podatkov, ki so nam tudi prikazali razmere v strugi hudournika Kroparice s pritoki je bila analiza poplav septembra 2007, iz katerih je možno razbrati obseg problematike hudourniških strug v območju urejanja (plavine v strugi, poddimenzioniranje strug, prepustov, mostov, erozijska ogroženost, poplavljanje,...).

V okviru preverjanja prevodnosti obstoječih pretočnih profilov hudourniških pritokov Kroparice smo preverili vse večje hudourniške pritoke na obravnavanem območju in sicer:

1. Hudournik Iz Meva
2. Hudournik Smukarjev graben
3. Hudournik Drolovec
4. Hudournik Škarjevec
5. Hudournik Lodnov graben
6. Hudournik Kapelški graben
7. Hudournik Miklavžev graben in
8. Hudournik Pri vikendu.

Pri vsakem hudourniku smo preverjali zlasti prevodnost prekritih izlivnih odsekov strug in ureditev vtokov z zadrževanjem plavin. Ugotovili smo, da so v neurju 19. septembra 2007 zlasti zaradi neurejenih, poddimenzioniranih vtokov v prepuste (ki so se zamašili s plavjem iz zgornjih delov vodozbirnih območij) največ škode povzročili hudournik Iz Meva, Smukarjev graben, Lodnov graben in Miklavžev graben. Na drugi strani pa je relativno malo škode povzročil hudournik Drolovec, kar gre pripisati zlasti urejenem zaledju z zgrajenima dvema večjima zaplavnima pregradama.

To nam je tudi osnova za načrtovanje prihodnjih nujnih intervencijskih del, saj je poleg do sedaj že izvedenih del v zaledju vseh hudournikov najprej potrebno izdelati čim več zaplavno - ustalitvenih prečnih objektov, s katerimi bi ves morebiti sprožen material zadržali v hudourniških jarkih v osrednjem delu vodozbirnih območij.

Naslednji pomemben dejavnik pri preprečevanju zamašitev prepustov pa je ureditev vtokov z izvedbo uvajalnih pragov s primerno urejenimi podslapji in ureditvami strug do vtokov v prepuste. S pragovi bi tako zajeli vse vode in v njihovem zaplavku zadržali večino večjih plavin (veje, štori, večje kamenje,...), s tekočim prehodom iz podslapja pragov do prepustov pa bi povečali hitrost vode in tako v čim večji meri izkoristili obstoječe pretočne profile prepustov. V okviru tega bi bilo nujno potrebno preoblikovati neustrezne vtoke v kanalizaciji hudournikov Kapelški graben in Škarjevec in odstraniti vse rešetke na vtokih, oz. jih preoblikovati tako, da jih bo možno med neurjem sproti čistiti. Pri zamenjavi premajhnih prepustov pa je nujno najprej zamenjati tiste prepuste, ki prevajajo najmanjši delež visokih voda in ki jih je zaradi dostopnosti najlažje zamenjati.

Poseben problem predstavlja drsenje pobočja v območju pokopališča in cerkve "Na dolini", ki ga bo potrebno obravnavati posebej s posebnim načrtom, za katerega bo nujna izvedba predhodnih geoloških raziskav in meritev premikov plaz. Eden od ukrepov, ki bi zanesljivo

priпомogel k zmanjšanju obsega plazenja bi bila tudi izvedba pobočnih jarkov, v dnu zaščitenih s hudourniškimi kanaletami na preklon na obeh krakih hudournika Škarjevec in preureditev vtoka v obstoječo kanalizacijo. Na ta način bi verjetno tudi zmanjšali dotok izvirmih talnih voda v kletih hiš ob vznožju pobočja.

Rezultati poplavnih valov za 100-, 50- in 10-letne povratne dobe neviht z različnim trajanjem kažejo, da se ob daljšanju nevihte maksimalni pretoki ne povečujejo skladno ampak počasi zaostajajo. Trendna črta maksimalnih pretokov za nevihte različnih trajanj kaže veliko podobnost s grafičnim prikazom podatkov o ekstremnih padavinah za različne povratne dobe za meteorološko postajo Lesce.

Rezultati primerjave različnih postavitev konice histograma in enakomerno razporejenih padavin, kažejo veliko občutljivost povodja na intenzivnost padavin. Pri veliki količini dežja, razporejeni čez dovolj dolgo časovno obdobje voda sproti odteka in pretoki ne dosežejo kritičnih vrednosti. Veliko je torej odvisno od tega, kakšno razporeditev padavin izberemo.

V nalogi sem pravzaprav spoznal pravo naravo in delovanje hudournikov iz bolj znanstvenega vidika, podrobneje pa sem spoznal tudi uporabo programa HEC-HMS.

Cilj naloge je bil ocena metod, uporabljenih v praksi urejanja hudournikov, ki so po mojem mnenju kljub svoji preprostosti, trdna opora pri nadaljnjem iskanju boljših načinov določanja stoletnih voda hudourniških vodotokov.

## VIRI

ARSO, 2007a. Poročilo o vremenski in hidrološki situaciji 18. septembra 2007: 23 str. [http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke\\_vode-20070918.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke_vode-20070918.pdf) (24.09.2007)

ARSO, 2007b. Izjemen padavinski dogodek 18. Septembra 2007: 17 str. [http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/padavine\\_18sep07.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/padavine_18sep07.pdf) (25.11.2007)

ARSO, 2008. Visoke vode in poplave 18. septembra 2007: 12 str. <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Visoke%20vode%20in%20poplave%2018.%20septembra%202007.pdf> (26.02.2008)

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

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

Brus J. 1981. Grafikoni za določanje velikih voda in numerične tabele za določanje odtočnih koeficientov ter povprečnih letnih specifičnih pretokov po empiričnih obrazcih nekaterih tujih avtorjev, Zveza vodnih skupnosti Slovenije, Ljubljana: 19 str.

Dirnbek L. 2009. Vpliv histograma efektivnih padavin na hidrogram odtoka. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 101 str.

Dirnbek L., Šraj M. 2010. Hidrološko modeliranje: Vpliv histograma padavin na hidrogram površinskega odtoka. Gradbeni vestnik 59: 48-56.

Geopedia, 2010. - interaktivni spletni atlas in zemljevid Slovenije <http://www.geopedia.si/> (9.8.2010)

Kobold M. 2005. Poplave in evropski sistem napovedovanja, Ujma, 19: 257-264.

Kobold M. 2008. Katastrofalne poplave in visoke vode 18. septembra 2007, Ujma, 22: 65-75.

Kobold M., Sušelj K. 2005. Padavinske napovedi in njihova nezanesljivost v hidrološkem prognoziranju, Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004, Zbornik predavanj, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana: str. 61–75.

Kohler M. A., Richards M. M. 1962. Multicapacity Basin Accounting for Predicting Runoff from Storm Precipitation, Journal of Geophysical Research 67, 13: 5187-5197.

- Mikoš M., Kranjc A., Matičič B., Müller J., Rakovec J., Roš M., Brilly M. 2002. Hidrološko izrazje – Terminology in Hydrology. Acta hydrotechnica 20/32: 324 str.  
<http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta> (16.8.2010)
- Nadbath M. 2001. Meteorološka postaja Lesce-Hlebce, Mesečni bilten, ARSO, Avgust 2001, 2 str.
- PUH, 2008. Hidrološko – hidravlična analiza vodotoka Kroparica s pritoki, projekt IV–32/08, Ljubljana, 27 str.
- Rusjan S., Kobold M., Mikoš M. 2009. Characteristics of the extreme rainfall and consequent flash floods in W Slovenia in September 2007, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9: 947-956.
- Smernice št.: 35001-632/2007-2, 2008. MOP, ARSO, Urad za upravljanje z vodami, Sektor za porečje reke Save, Oddelek območja Zgornje Save, Mirka Vadnova 5, Kranj
- Soil Conservation Service (SCS), 1986. Urban hydrology for small watersheds, Technical reference manual 55. Springfield, VA, USDA: 164 str.
- Sovre K., 2009. Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 115. str.
- Steinman F. 1999. Hidravlika, Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.
- US Army Corps of Engineers, 1982. Hydrologic Analysis of Ungaged Watersheds Using HEC-1. Davis, California, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: 122 str.
- US Army Corps of Engineers, 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Tehnical Reference Manual: 278 str.
- Žagar M. 2008. Analiza vzrokov in numerično modeliranje močnih padavin 18. septembra 2007, Ujma, 22: 101-104.