

INŠTITUT
ZA VODE
REPUBLIKE
SLOVENIJE

Institute
for Water of
the Republic
of Slovenia

*Voda za življenje, znanje za vode.
Water for Life, Knowledge for Water.*

Program dela IzVRS za leto 2014

I/2 Priprava in zagotovitev strokovnih podlag
za izvajanje poplavne direktive (2007/60/ES)

I/2/11 Izdelava strokovnih podlag za izvajanje
poplavne direktive

Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov
poplavne nevarnosti za 7 območij pomembnega vpliva
poplav v RS. Nadaljevanje naloge I/2/1 iz leta 2013.

Naslov naloge:

**Hidravlična študija visokih vod na porečju Lipnice - za
OPVP 45-Kropa**

Vodja naloge:

Mladen Ajdič, univ.dipl.inž.grad.

LJUBLJANA, SEPTEMBER 2014

PROGRAM: Program dela IzVRS za leto 2014

I/2 Priprava in zagotovitev strokovnih
podlag za izvajanje poplavne direktive
(2007/60/ES)

I/2/11 Izdelava strokovnih podlag za izvajanje
poplavne direktive

Izdelava kart poplavne nevarnosti in kart razredov
poplavne nevarnosti za 7 območij pomembnega
vpliva poplav v RS. Nadaljevanje naloge I/2/1 iz leta
2013.

NASLOV NALOGE: **Hidravlična študija visokih vod na porečju
Lipnice - za OPVP 45-Kropa**

ŠIFRA NALOGE:

NAROČNIK: REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO IN OKOLJE

IZVAJALEC: INŠTITUT ZA VODE REPUBLIKE SLOVENIJE
Hajdrihova 28c
1000, Ljubljana

AVTOR(JI): Mladen Ajdič, univ.dipl.inž.grad.

SODELAVCI: Tina Mazi, univ.dipl.inž.grad.
Mitja Peček, univ.dipl.inž.vod. in kom. inž.
Branko Damjanovič, grad. teh.

KRAJ IN DATUM: LJUBLJANA, september 2014



VSEBINA

VSEBINA.....	I
KAZALO SLIK.....	II
1.0 UVOD.....	1
2.0 HIDROLOŠKE OSNOVE	5
3.0 GEODETSKE PODLAGE	14
4.0 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA	15
4.1 Kroparica.....	15
4.2 Pritoki Kroparice	17
5.0 MATEMATIČNI MODEL	20
5.1 Opis izdelave modela	20
5.2 Določitev robnih pogojev.....	20
6.0 HIDRAVLICNI IZRAČUNI	23
6.1 Visoke vode s povratno dobo 10 let	23
6.2 Visoke vode s povratno dobo 100 let	25
6.3 Visoke vode s povratno dobo 500 let	27
6.4 Visoke vode s povratno dobo 500 let "s scenarijem"	32
6.5 Interpretacija rezultatov	38
7.0 KARTA POPLAVNE NEVARNOSTI IN KARTA RAZREDOV POPLAVNE NEVARNOSTI.....	39
8.0 ZAKLJUČEK.....	41
PRILOGE.....	III
1.0 Pregledna situacija M 1:5000	III
2.0 Situacija KPN – dosegi poplavnih linij Q10, Q100 in Q500 M 1:2500	III
3.0 Situacija KPN – globine pri Q10 M 1:2500	III
4.0 Situacija KPN – globine pri Q100 M 1:2500	III
5.0 Situacija KPN – globine pri Q500 M 1:2500	III
6.0 Situacija KRPN – razredi poplavne nevarnosti M 1:2500	III
PODATKOVNI MEDIJ	IV



KAZALO SLIK

Slika 1: OPVP 45 - Kropa (vir: www.mko.gov.si).....	1
Slika 2: Območje modeliranja OHM (Kroparica)	2
Slika 3: Območje matematičnega modela Kroparice – batimetrija (iz MIKE)	3
Slika 4: Hidrogrami s povratno dobo 100 let za različne čase trajanja padavin - veljavni za začetni hidrološki profil HP37 (vir: hidrološka študija).....	6
Slika 5: uporaba točkovnih oziroma linijskih hidrogramov v matematičnem modelu	6
Slika 6: Hidrogram Kroparice s povratno dobo 500 let za 3 urno trajanja padavin v začetnem hidrološkem profilu HP37 (vir: MIKE-1D)	7
Slika 7: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za začetni HP37	8
Slika 8: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP37-38	8
Slika 9: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP39	9
Slika 10: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP40-45.....	9
Slika 11: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP41	10
Slika 12: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP42	10
Slika 13: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP45-47.....	11
Slika 14: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP46	11
Slika 15: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP48	12
Slika 16: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP49-50.....	12
Slika 17: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP46	13
Slika 18: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP49-50.....	13
Slika 19: Primer prikaza LIDAR podatkov (vir: Arc-Map).....	14
Slika 20: Fotografije Kroparice: 1, 2, 3, 4, 5 in 6	15
Slika 21: Fotografije Kroparice: 7, 8, 9 in 10	16
Slika 22: Fotografije Kroparice: 11, 12, 13 in 14.....	16
Slika 23: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 100 cm na HP39: 1 in 2.....	17
Slika 24: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 50 cm na HP41: 1 in 2.....	17
Slika 25: Fotografiji jarka in pokrite kanalete 70x70 cm na HP42: 1 in 2	18
Slika 26: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 60 cm na HP46: 1 in 2.....	18
Slika 27: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 60 cm na HP48: 1 in 2.....	19
Slika 28: Fotografiji Črnega potoka na HP51: 1 in 2	19
Slika 29: Program MIKE *.nwk11 datoteka.....	21
Slika 30: Program MIKE *.couple datoteka.....	22
Slika 31: Obseg poplav pri Q10: 1 in 2 (vir: MIKE).....	24
Slika 32: Obseg poplav pri Q100 (vir: MIKE)	26
Slika 33: Obseg poplav pri Q100 (vir: MIKE)	27
Slika 34: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)	29
Slika 35: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)	29
Slika 36: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)	30
Slika 37: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)	31
Slika 38: nezatrpana struga Kroparice.....	32
Slika 39: dvignjena struga Kroparice in zatrpan most v P72.....	32
Slika 40: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)	34
Slika 41: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)	35
Slika 42: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)	36
Slika 43: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)	37
Slika 44: Kritično mesto Kroparice pred mostom v P61.....	41

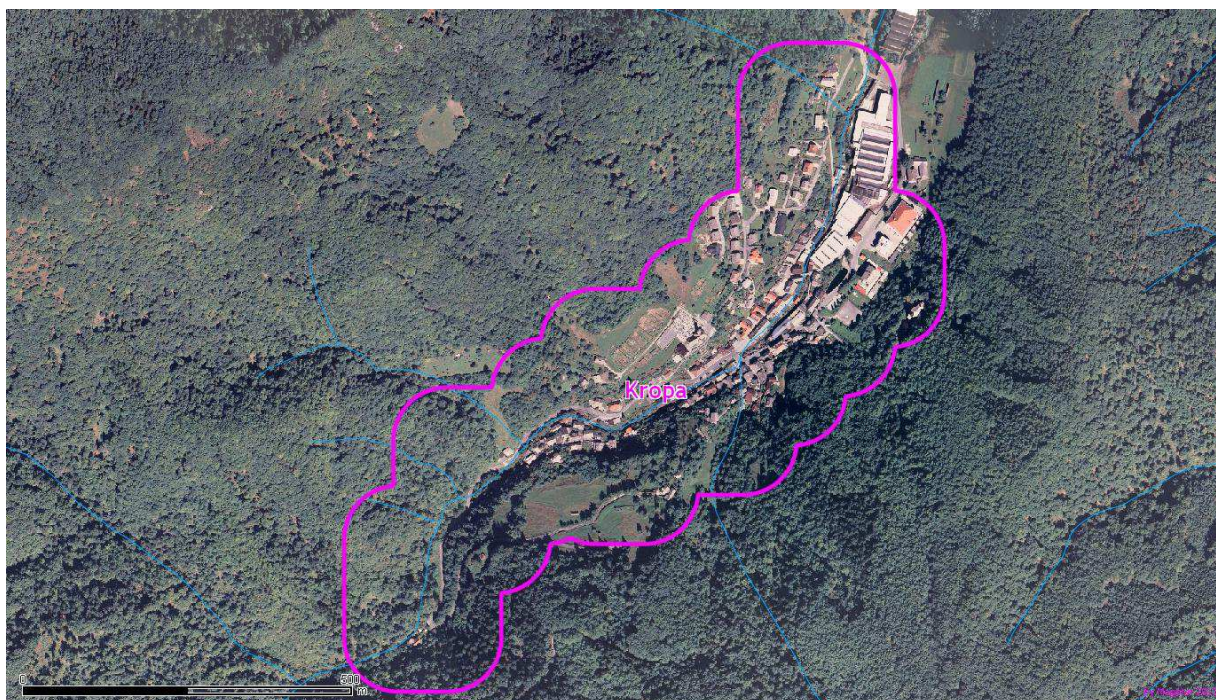


1.0 UVOD

Naloga je namenjena izvajanju Evropske poplavne direktive (2007/60/ES), oziroma izdelovanju kart poplavne nevarnosti (KPN) in kart razredov poplavne nevarnosti (KRPN) za območja pomembnega vpliva poplav (OPVP) v RS. Območja pomembnega vpliva poplav so območja za katera lahko z veliko verjetnostjo trdimo, da so glede na kriterije iz poplavne direktive (ogroženost zdravja ljudi, gospodarstva, kulturne dediščine in okolja) najbolj poplavno ogrožena v RS. V Sloveniji imamo 61 območij OPVP, ki so bila izbrana s pomočjo nabora različnih kriterijev, sodelovanja stroke ter javnosti.

Ta elaborat vsebuje karte poplavne nevarnosti (KPN) in karte razredov poplavne nevarnosti (KRPN) za območje Kroepe. Cilj naloge so izdelane karte in podane linije za vse različne kriterije in dogodke v podatkovni obliki za program Arc-Gis.

Obravnavano področje pomembnega vpliva poplav obsega območje starega mestnega jedra Kroepe skupaj z industrijskimi objekti (Uko, Plamen). Mesto Kropa leži ob vzhodnem vznožju kraške planote Jelovica. Obravnavano območje se razteza vzdolž toka Kroparice v dolžini 1430 m, od profila P43 do P103 matematičnega hidravličnega 1D modela. Glavni vodotok Kroparica ima še nekaj (6) pritokov iz stranskih grap, ki so vključeni v model. Na spodnjem delu doline, izven obravnavanega OPVP, se Kroparica izliva v glavni vodotok Lipnica, ta pa se 5 km dolvodno pod naseljem Podnart izliva v reko Savo kot njen desni pritok. Območje OPVP je na spodnji sliki 1 zamejeno z vijolično črto.



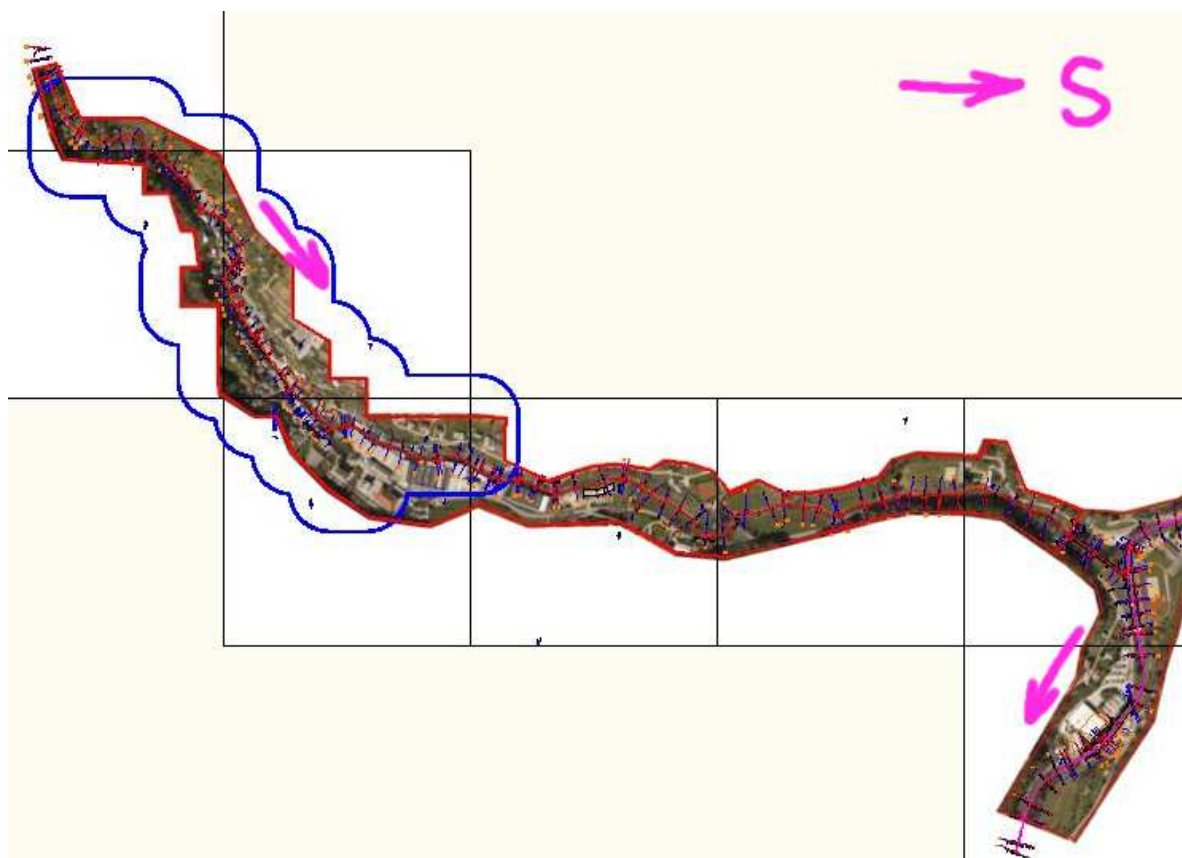
Slika 1: OPVP 45 - Kropa (vir: www.mko.gov.si)



Elaborat vsebuje simulacijo toka poplavnih vod z matematičnim hidravličnim modeliranjem, kjer so privzete vse topološke in hidrološke značilnosti povodja. Poleg glavnega vodotoka Kroparice so vključeni tudi njeni stranski pritoki (6). V modeliranju so upoštevane vse topološke značilnosti terena in vse prepreke in ovire kot so objekti (mostovi, hiše) in zidovi. Modelirali smo več različnih dogodkov pri različnih vhodnih hidroloških podatkih. Poskušali smo simulirati dejanske poplave na danem območju in jih primerjali z informacijami pridobljenimi na terenu.

Končni izdelek elaborata so izračunane simulacije poplav v območju hidravličnega modeliranja (OHM) in prikazane kot linije. Izračunani so bili trije dogodki visokovodnih valov. Za vsak dogodek so prikazani dosegi in globina poplavnih vod. Za sto letni dogodek so prikazane še hitrosti in razredi poplavne nevarnosti.

Območje OPVP je na spodnji sliki 2 zamejeno z modro črto, področje znotraj rdeče mejne črte pa predstavlja območje LIDAR snemanja in posledično območje matematičnega hidravličnega modela.



Slika 2: Območje modeliranja OHM (Kroparica)

V tej študiji nismo upoštevali kakšne predhodne hidravlične študije. Zaradi pomanjkanja podatkov o dejanskih pretokih v času poplav model ni bil umerjen. Za prikaz dosega visokih vod smo na terenu in iz raznih arhivov zbrali nekaj podatkov o preteklih poplavah.

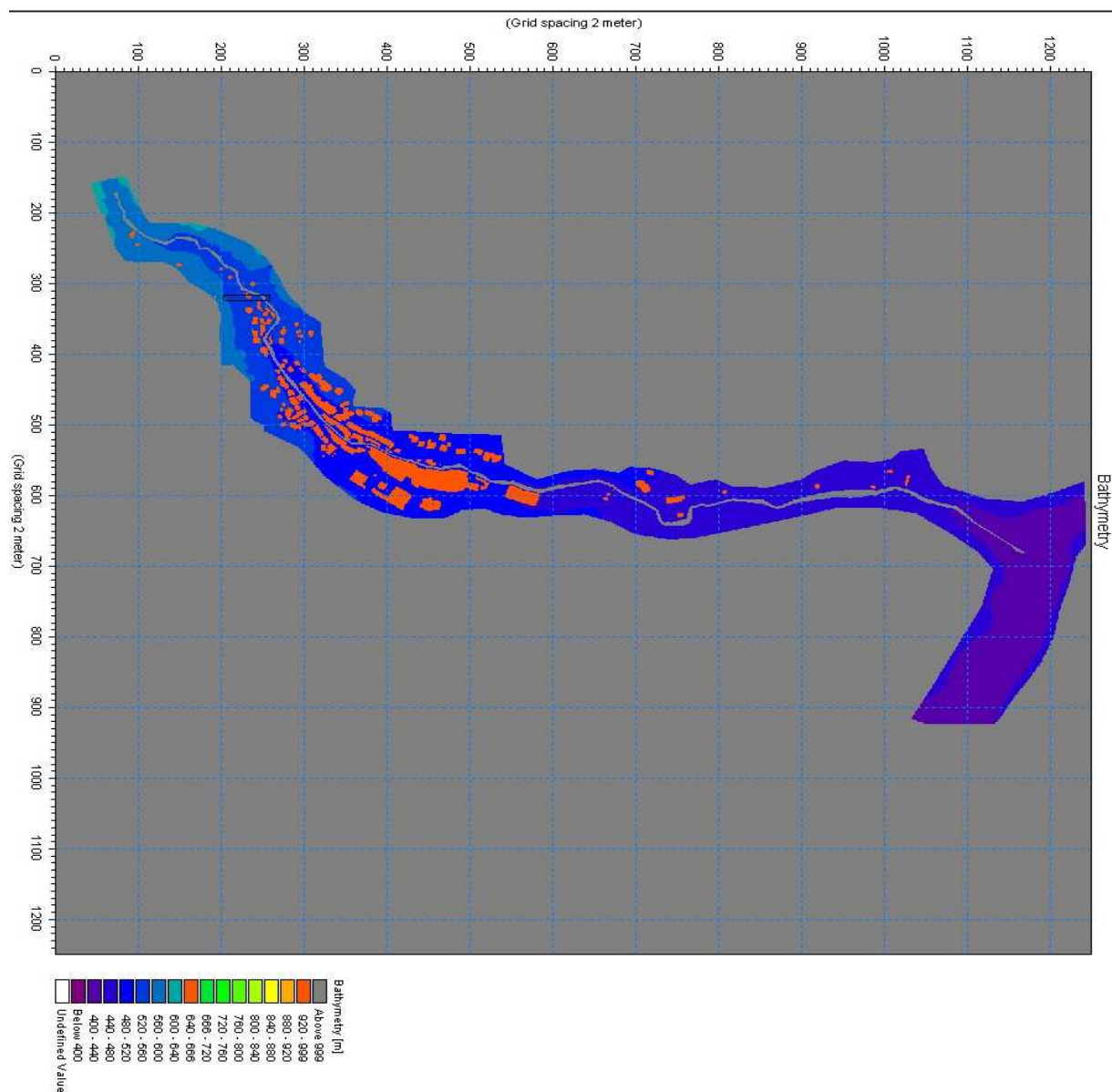


Kroparica je značilen hudournik, ki skupaj s hudourniškiimi pritoki ob velikih nalivih prihrumi po strmih pobočjih in s seboj prinese veliko plavin in proda. Mostovi (8) v glavnem prevajajo visoke vode, problem nastopi zaradi zaplavljanja struge in posledično zamažitve mostnih odprtin. Sama struga Kroparice je skozi naselje in dolvodno do Lipnice urejena.

Zaledje Kroparice na začetku OPVP, oziroma na začetku hidravličnega modela (HP37 - pod Hrenovcem), obsega 10.8 km², na koncu OPVP (hidrološki profil HP47) pa obsega 13.18 km². Korigirane maksimalne vrednosti pretokov za začetni HP37 modela so:

$$\begin{aligned} Q_{10} &= 14.6 \text{ m}^3/\text{s} \text{ oz. } Q_{10} = 17.7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ na koncu OPVP (HP47)} && (4 \text{ urne padavine}) \\ Q_{100} &= 19.2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ oz. } Q_{100} = 27.7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ na koncu OPVP (HP47)} && (4 \text{ urne padavine}) \\ Q_{500} &= 22.4 \text{ m}^3/\text{s} \text{ oz. } Q_{500} = 35.7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ na koncu OPVP (HP47)} && (3 \text{ urne padavine}) \end{aligned}$$

Maksimalne vrednosti pretokov za posamezne povratne dobe so razvidne iz hidrološkega poročila, kjer je narejena študija poplavnega vala s časom trajanja 48 ur.



Slika 3: Območje matematičnega modela Kroparice – batimetrija (iz MIKE)



Obravnavano področje OPVP št. 45 obsega tok Kroparice v dolžini 1430 m, od profila P43 do P103. Območje matematičnega modeliranja pa sega do Lipnice. Na prejšnji sliki 3 je v modrih niansah prikazano območje modela (batimetrija). Z rdečo je označeno območje, ki ga model ne obravnava (izločene celice - objekti).

Hidravlični izračun je bil izveden s programom MIKE FLOOD, ki združuje 1D modeliranje (MIKE 11) z 2D modeliranjem (MIKE 21). Za izdelavo 1D modela smo uporabili prečne profile izmerjene na terenu in sicer 176 profilov na Kroparici, ter 8 objektov (mostov).

Samo računsko območje je veliko 2.500 m x 2.500 m, s spodnjim levim kotom na Gauss-Kruegerjevih koordinatah $Y=438.000$ in $X=127.000$. Za potrebe računa je območje razdeljeno na 1250 x 1250 celic (kvadratov) velikosti 2 m.

V topografijo so vključeni vsi objekti, ki se nahajajo ob strugi oz. na območju poplav. Pri združitvi 1D in 2D modela smo vključili vse topografske značilnosti terena in vseh strug.



2.0 HIDROLOŠKE OSNOVE

Za območje porečja Lipnice smo izdelali hidrološko študijo visokih vod z določitvijo »dejanskih« maksimalnih pretokov in visokovodnih valov s povratno dobo 10, 100 in 500 let v nekaterih ključnih prerezih Lipnice in njenih pritokih ter ključnih prerezih Kroparice in njenih pritokih in sicer za potrebe izdelave kart razredov poplavne nevarnosti za območij pomembnega vpliva poplav (OPVP) 45-Krope in 48-Kamne Gorice. Določitev hidroloških območij je sledilo izhodišču, da morajo hidrološke obdelave visokih vod zajeti celotno prispevno območje Lipnice. Podatki in rezultati so prikazani za hidrološke prereze za celotno porečje Lipnice. Za namen hidravličnega modeliranja na območjih OPVP so podani vhodni hidrogrami.

Za potrebe obdelave so bili pridobljeni in analizirani meteorološki in hidrološki podatki Agencije RS za okolje (v nadaljevanju ARSO). Analiza padavin (maksimalne dnevne padavine, maksimalne padavine z različnim trajanjem 5 minut do 24 ur) je obravnavala 19 padavinskih postaj od tega 5 ombroagrafov. Opredeljeno je prispevno območje Lipnice in njenih pritokov, določena so bila posamezna prispevna območja, dolžine vodotokov ter padci terena in padci vodotokov. Celotno prispevno območje Lipnice in njenih pritokov je bilo opredeljeno na podlagi kart TTN 1:5.000 (GURS). Pokrovnost tal je bila določena s pomočjo podatkovnega sloja Corine Land Cover za Slovenijo. Odtočni potencial zemljine je bil ocenjen na podlagi rezultatov študije "Ocena hidravlične prevodnosti tal v Sloveniji za pedokartografske enote merila 1:250000" (Biotehniška fakulteta UL, 2009). Glede na pokrovnost tal in odtočni potencial je bil določen izhodiščni parameter CN (številka krivulje) za določitev padavinskih izgub po SCS metodi.

Za posamezna prispevna območja je bil izdelan hidrološki model površinskega odtoka z različico programa HEC-HMS 3.5. Visokovodni valovi so bili izvrednoteni z metodo sintetičnega enotnega hidrograma po metodi SCS. Za modeliranje transformacije visokovodnega vala je bila uporabljena metoda Muskingum-Cunge. Na osnovi verjetnostne analize padavin in izdelanega hidrološkega modela so bili izračunani maksimalni odtoki v odvisnosti od padavin s povratno dobo 10, 100 in 500 let.

V študiji so obravnavane sledeče vsebine:

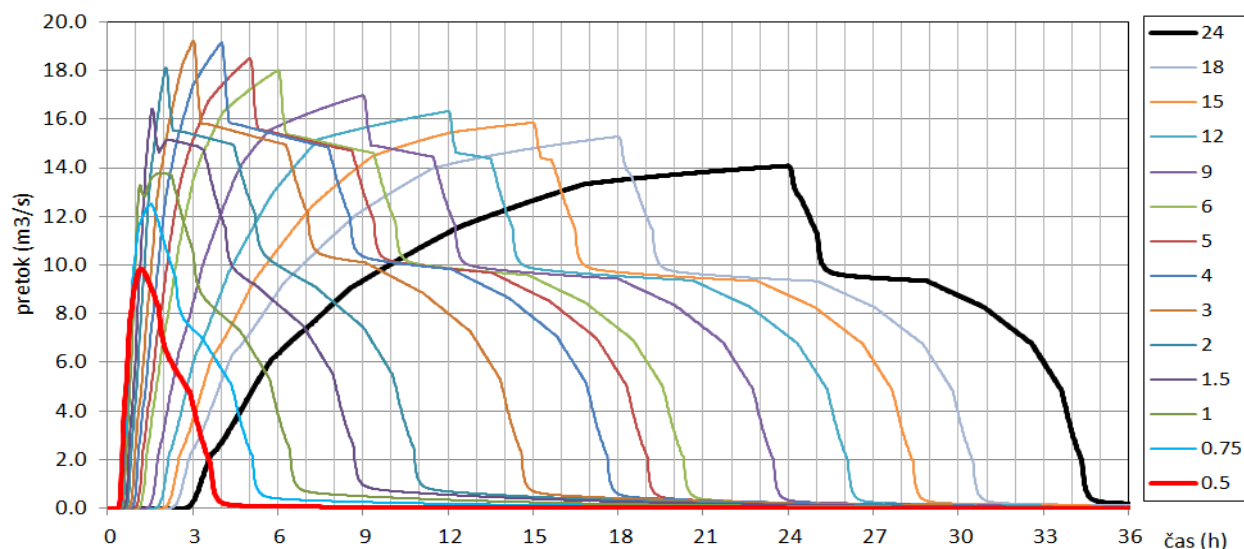
- opis hidrografskih, topografskih in drugih značilnosti porečja,
- analiza meteoroloških in hidroloških podatkov,
- izračun "dejanskih" pretokov in visokovodnih valov s povratno dobo 10, 100 in 500 let v izbranih hidroloških prerezih za različno trajanje padavin.

Glede na predhodno hidrološko študijo Lipnice (VGI, 1996) so vrednosti visokih vod v pričujoči študiji višje.

Vsi uporabljeni hidrogrami so podani na priloženem CD-ju v mapi: Hidrologija.



37	Kroparica pod Hrenovcem					visokovodni valovi s povratno dobo 100 let								
Trajanje padavin (ur)	0.5	0.75	1	1.5	2	3	4	5	6	9	12	15	18	24
Qmax (m ³ /s)	9.8	12.5	13.8	16.4	18.1	19.2	19.2	18.5	18.0	17.0	16.3	15.9	15.3	14.1
Volumen (1000 m ³)	73.9	138.1	203.7	310.1	402.6	561.9	682.3	725.3	764.2	858.6	932.5	992.4	1,015.5	983.5



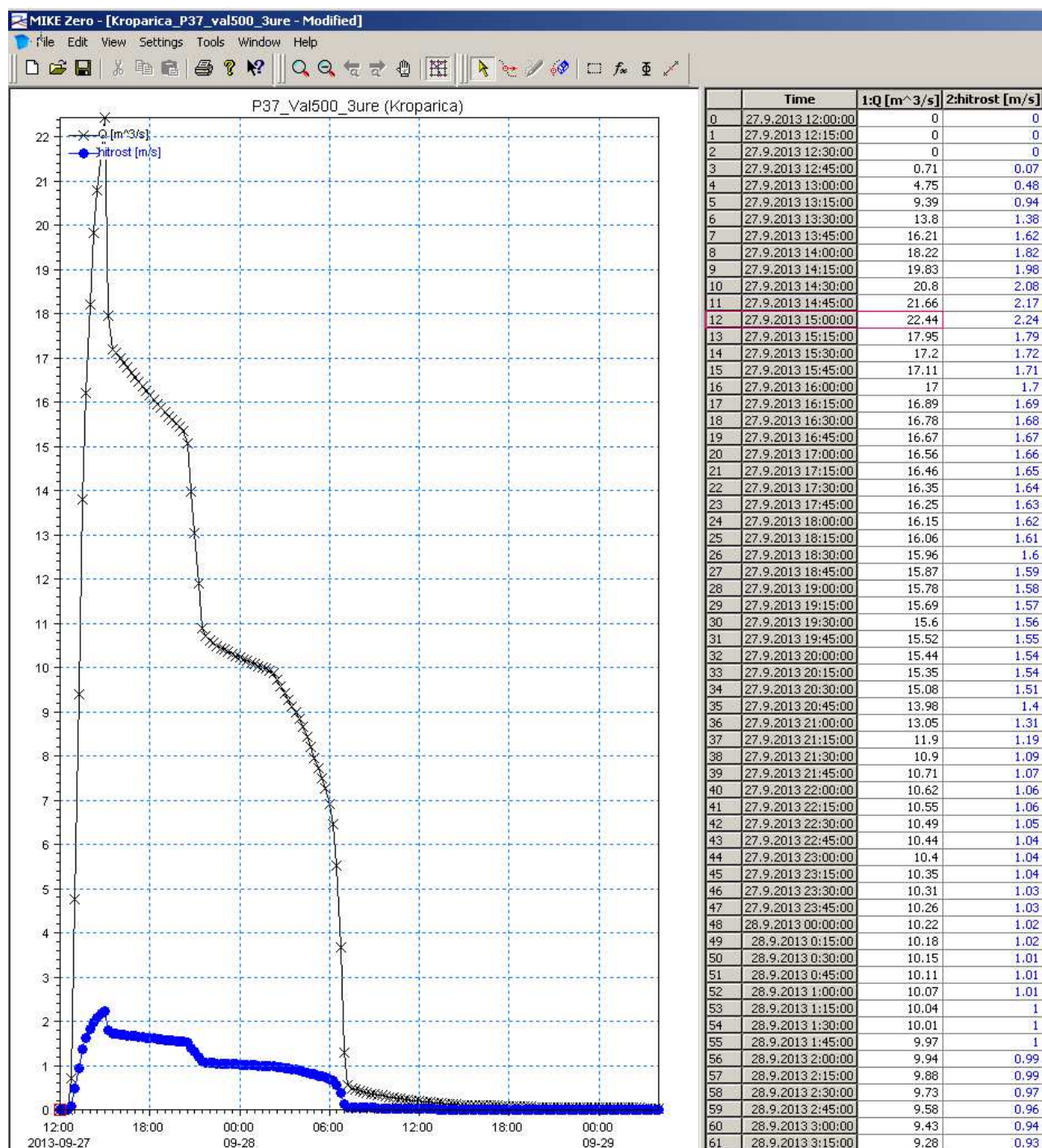
Slika 4: Hidrogrami s povratno dobo 100 let za različne čase trajanja padavin - veljavni za začetni hidrološki profil HP37 (vir: hidrološka študija)

Za Kroparico s pritoki smo za merodajne izbrali padavine s trajanjem, ki je dal največji pretok. Tako smo za povratno dobo 10 in 100 let izbrali 4 urno trajanje padavin. Za 500 letno povratno dobo smo izbrali 3 urne padavine.

Pri modeliranju smo hidrograme upoštevali kot točkovni oziroma kot linijski dotok. Na Kroparici smo na primer v profilu P105b (2864.1 m) kot začetku 1D matematičnega modela upoštevali točkovni dotok, med profiloma P105 in P89 (2864.1 m do 2418.93 m) smo upoštevali pa linijski dotok. Podobno je bilo upoštevano za preostali odsek dolvodno, oziroma za posamezne pritoke Kroparice, glej spodnjo sliko 5. Za hidrološki prerez HP48 je bil hidrogram vnešen samo v 2D modelu.

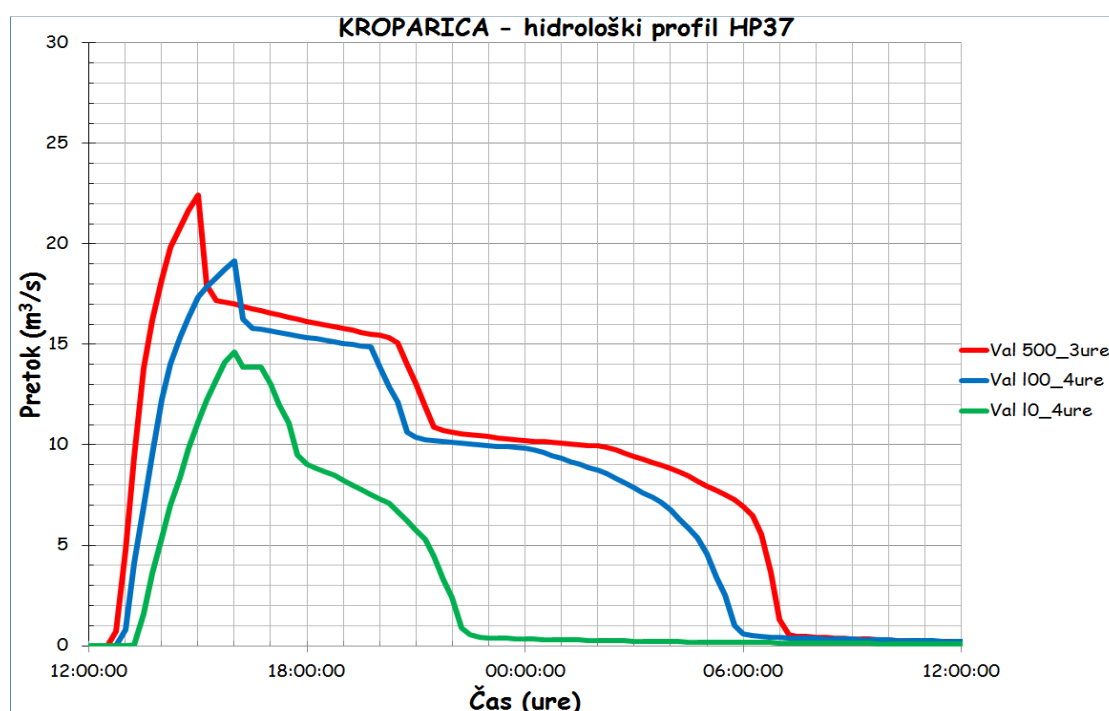
MIKE Zero - [kroparica_val100_4ure]							
File Edit View Tools Window Help							
Boundary Description Boundary Type Branch Name Chainage Chainage Gate ID Boundary ID							
1	Open	Water Level	kroparica	0	0		lipnica
2	Open	Inflow	kroparica	2864.1	0		P105b (HP37)
3	Distributed Source	Inflow	kroparica	2864.1	2418.93		vmesni dotok med P105 in P89 (HP37-38)
4	Distributed Source	Inflow	kroparica	2418.83	1924.26		vmesni dotok med P89 in P66 (HP40-45)
5	Point Source	Inflow	kroparica	2391.95	0		vtok HP 39
6	Point Source	Inflow	kroparica	2205.7	0		vtok HP 41
7	Point Source	Inflow	kroparica	1950.25	0		vtok HP 42
8	Distributed Source	Inflow	kroparica	1924.26	1113.62		vmesni dotok med med P66 in P34 (HP45-47)
9	Point Source	Inflow	kroparica	1832.87	0		vtok HP 46
10	Distributed Source	Inflow	kroparica	1048.08	349.03		vmesni dotok med med P30 in P11 (HP49-50)
11	Distributed Source	Inflow	kroparica	285.69	18.72		vmesni dotok med med P10 in P1 (HP53-54)
12	Point Source	Inflow	kroparica	324.6	0		vtok Črnega potoka (HP51)

Slika 5: uporaba točkovnih oziroma linijskih hidrogramov v matematičnem modelu

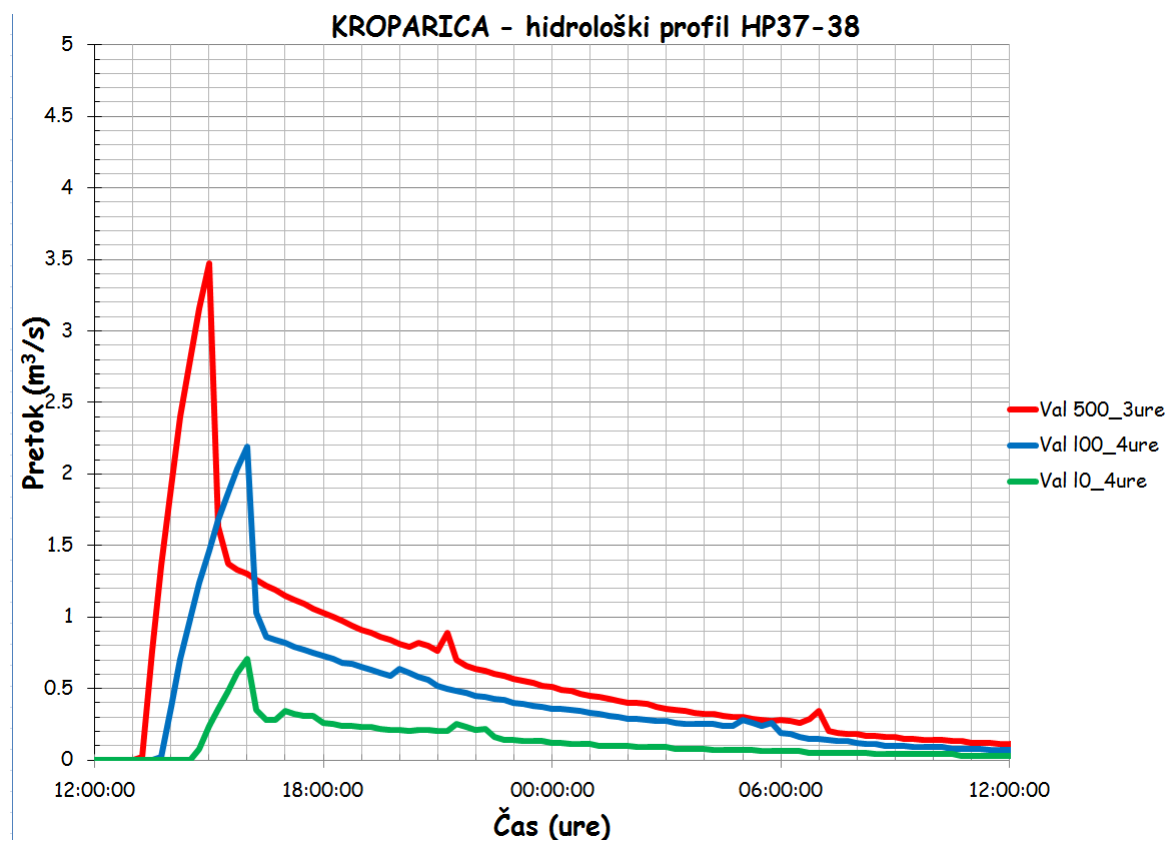


Slika 6: Hidrogram Kroparice s povratno dobo 500 let za 3 urno trajanja padavin v začetnem hidrološkem profilu HP37 (vir: MIKE-1D)

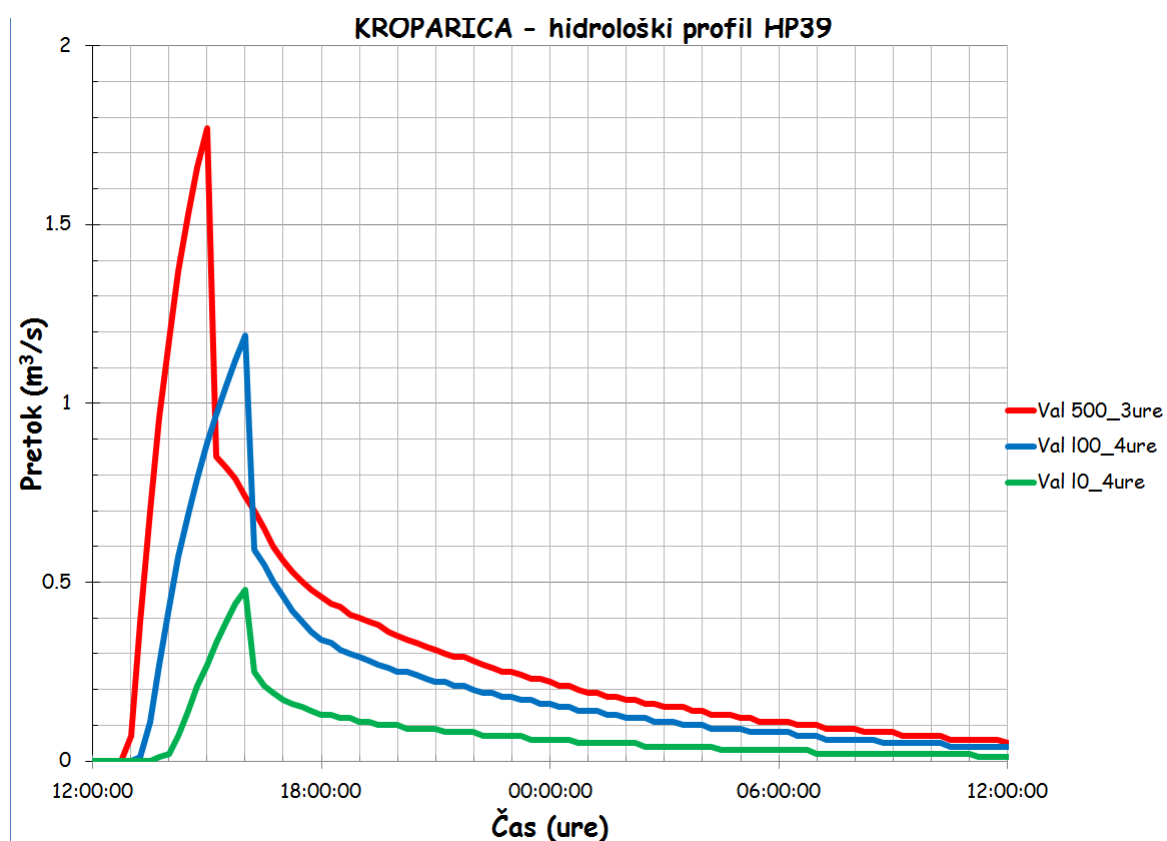
Uporabljeni hidrogrami v matematičnem hidravličnem modelu imajo interval 15 minut, pri čemer so zavzete vse vrednosti - tako maksimalna vrednost pretoka (konico) kot celoten izračunan volumen. Pri simulaciji padavin z maksimalnim pretokom smo uporabili čas modeliranja do 10 ur, saj se je v predhodnih preračunih modela izkazalo, da uporaba daljših časov trajanja vala ne doprinese k bolj neugodnim rezultatom. Konica vala pri uporabljenih časih merodajnih padavin je dosežena že po 3-4 urah. V modelu uporabljeni hidrogrami (3x14) so razvidni v slikah št. 7–18 na naslednjih straneh.



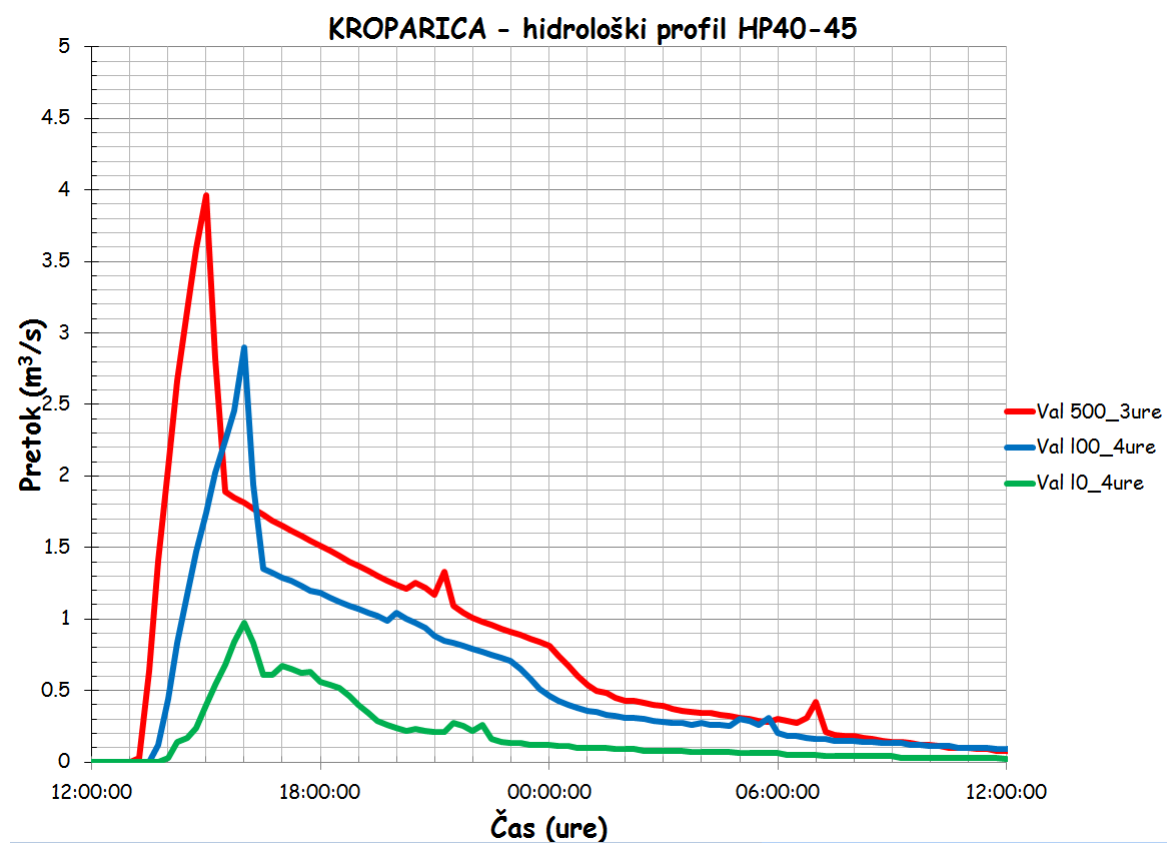
Slika 7: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za začetni HP37



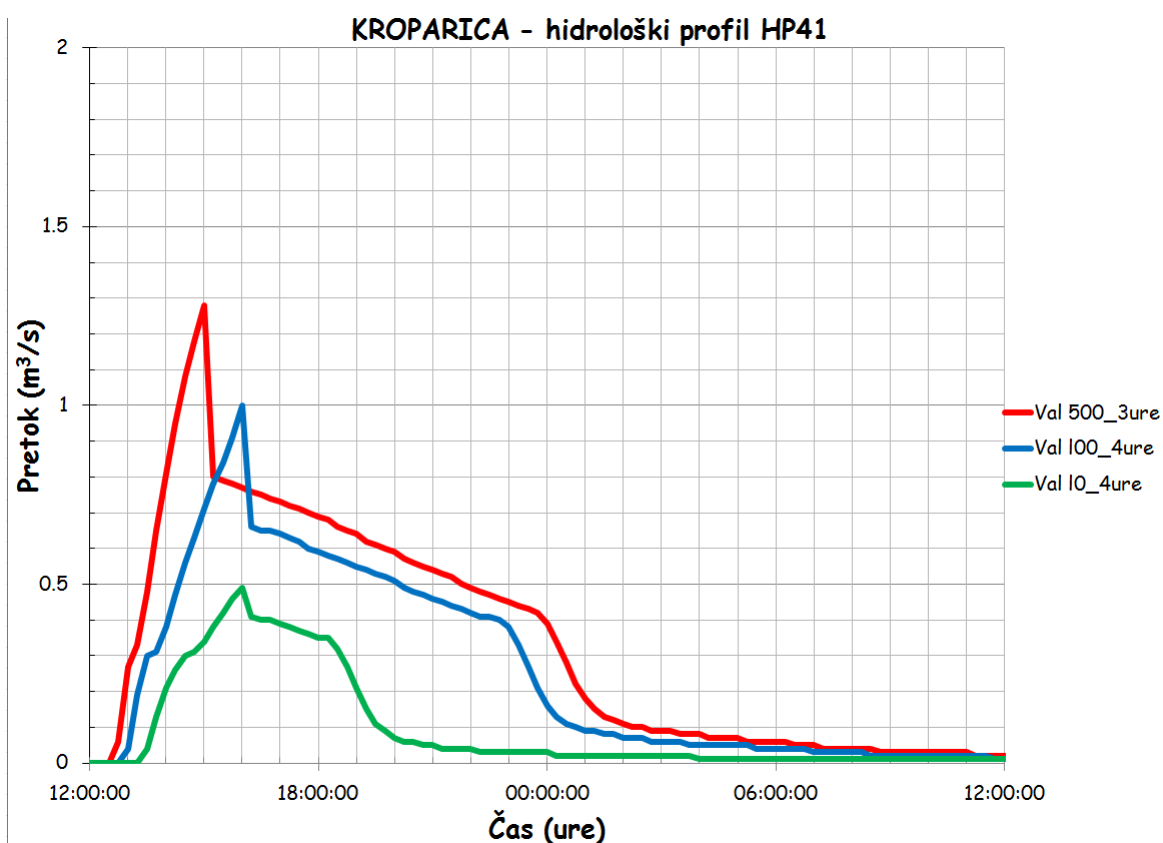
Slika 8: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP37-38



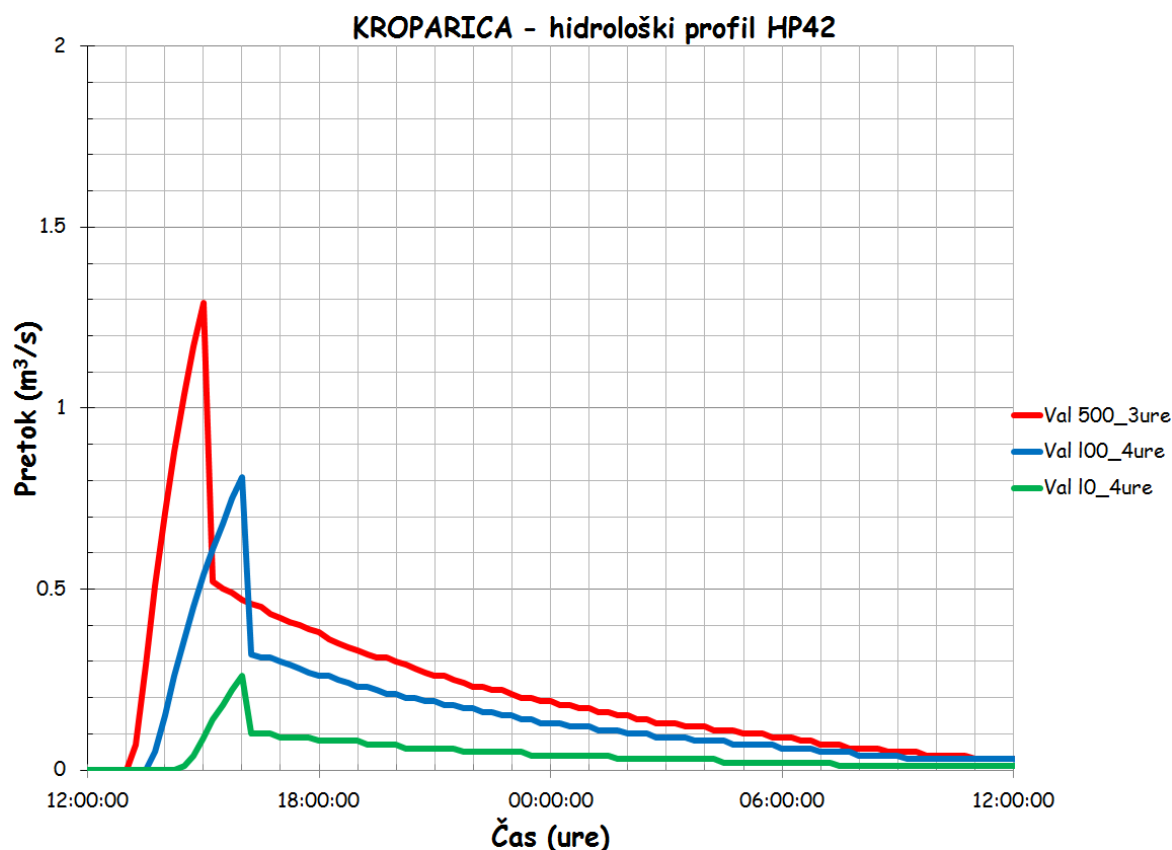
Slika 9: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP39



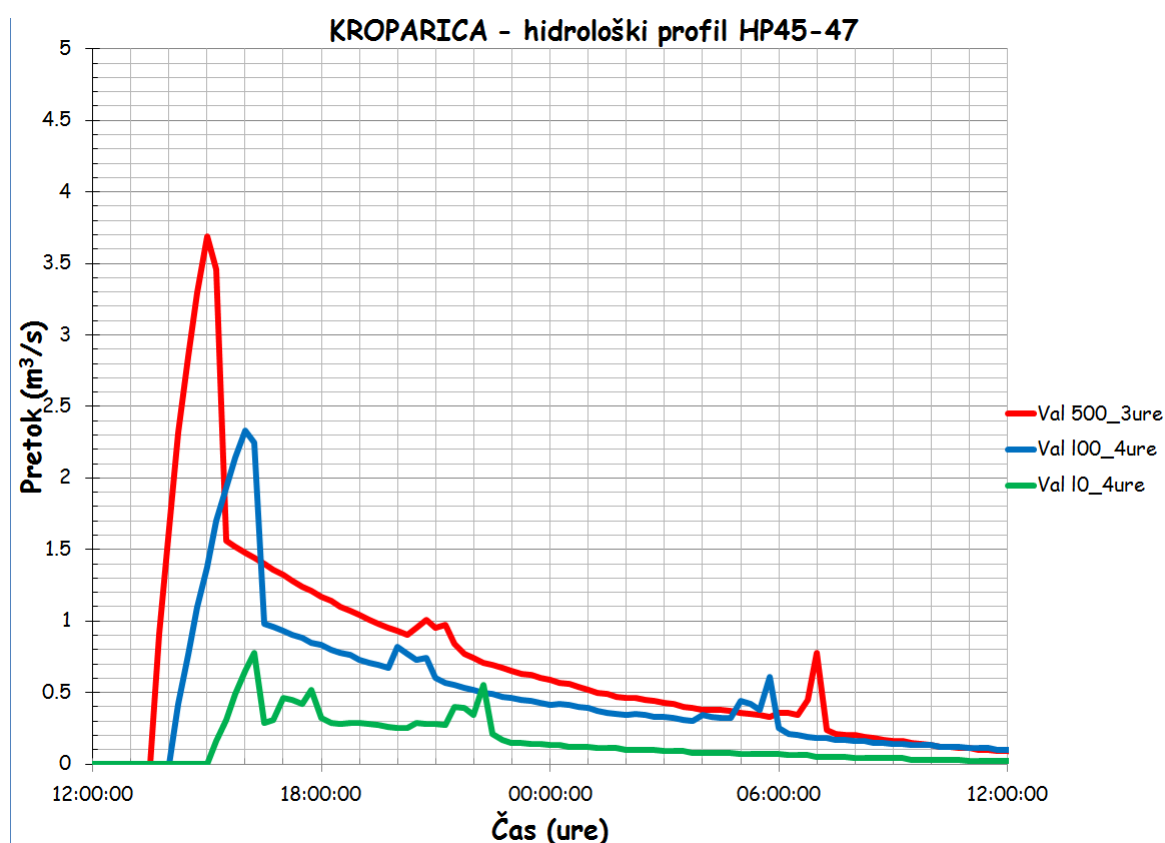
Slika 10: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP40-45



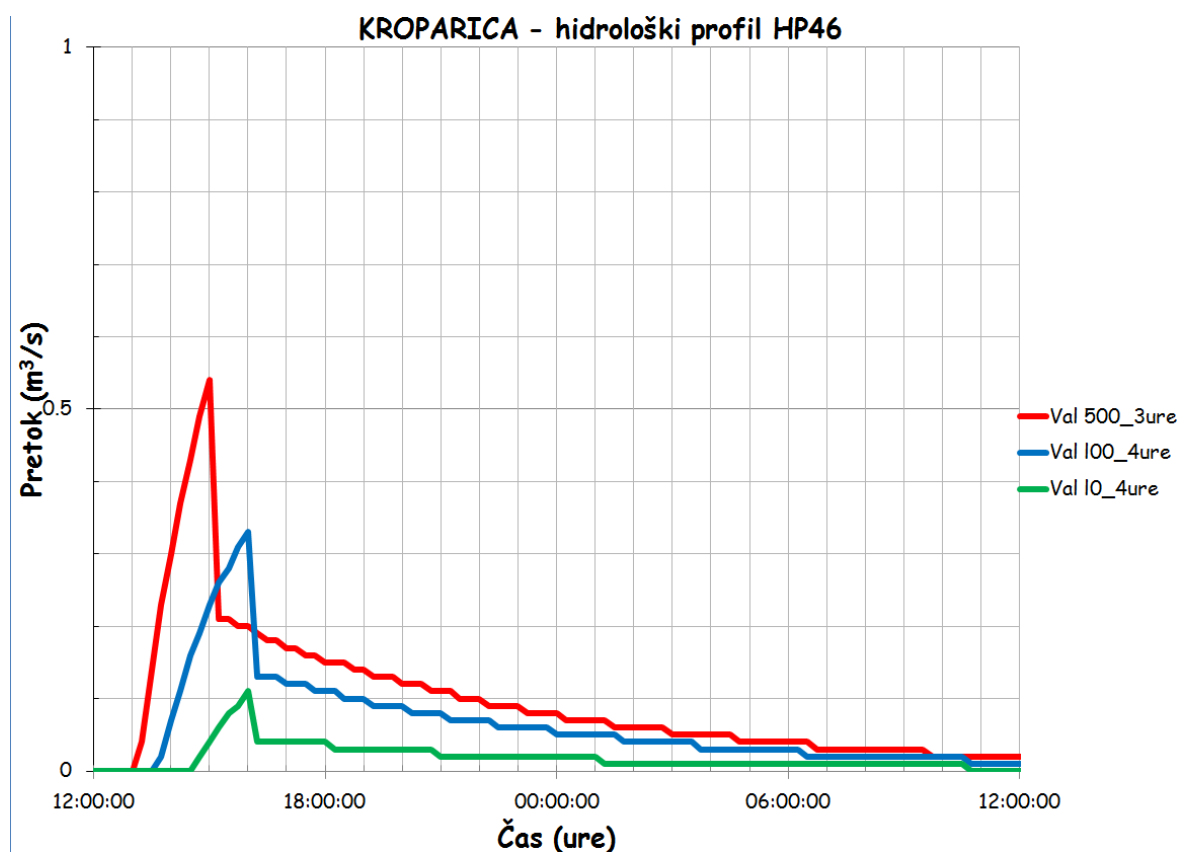
Slika 11: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP41



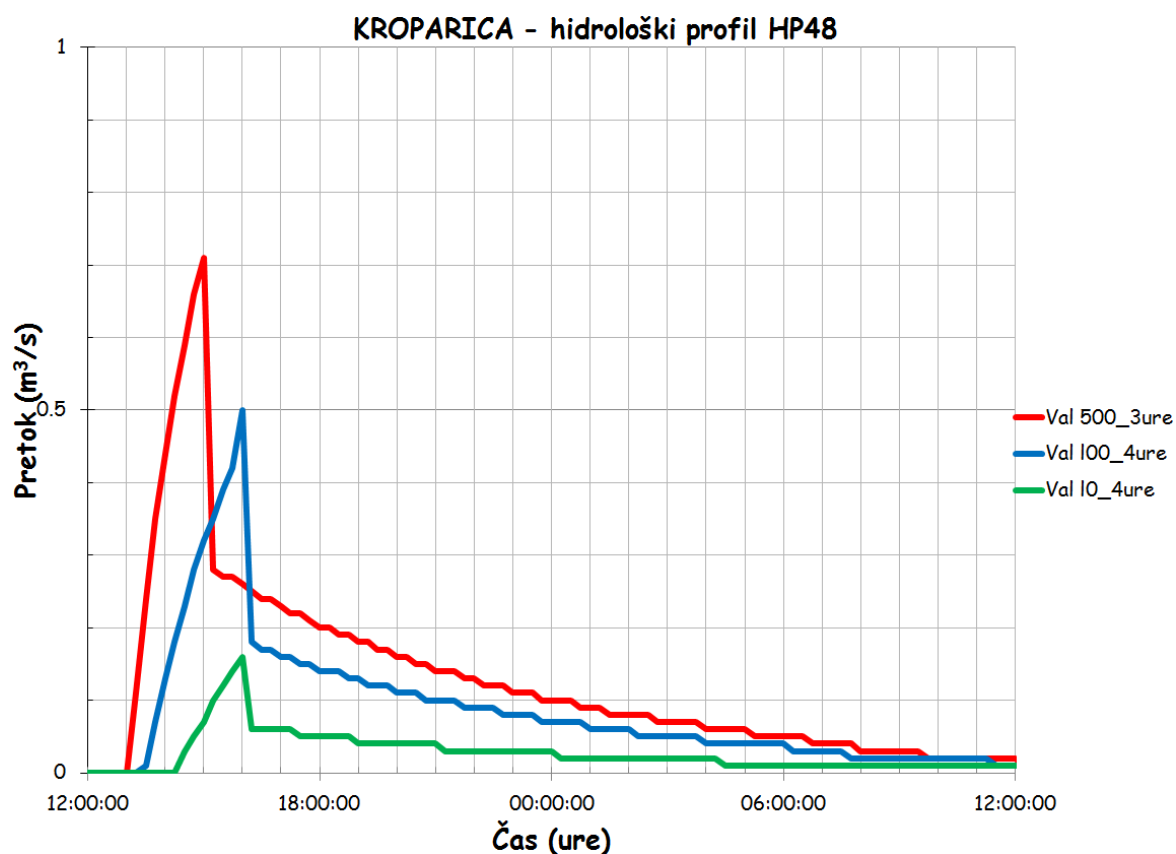
Slika 12: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP42



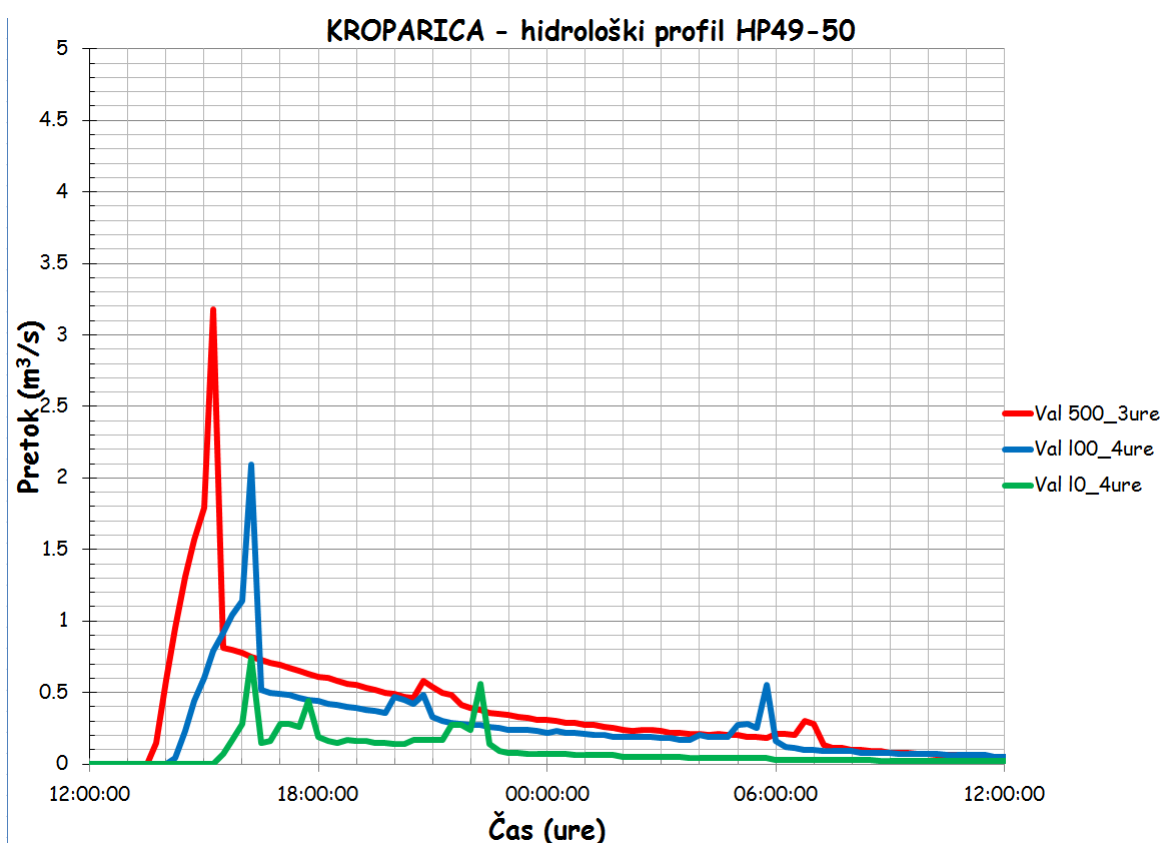
Slika 13: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP45-47



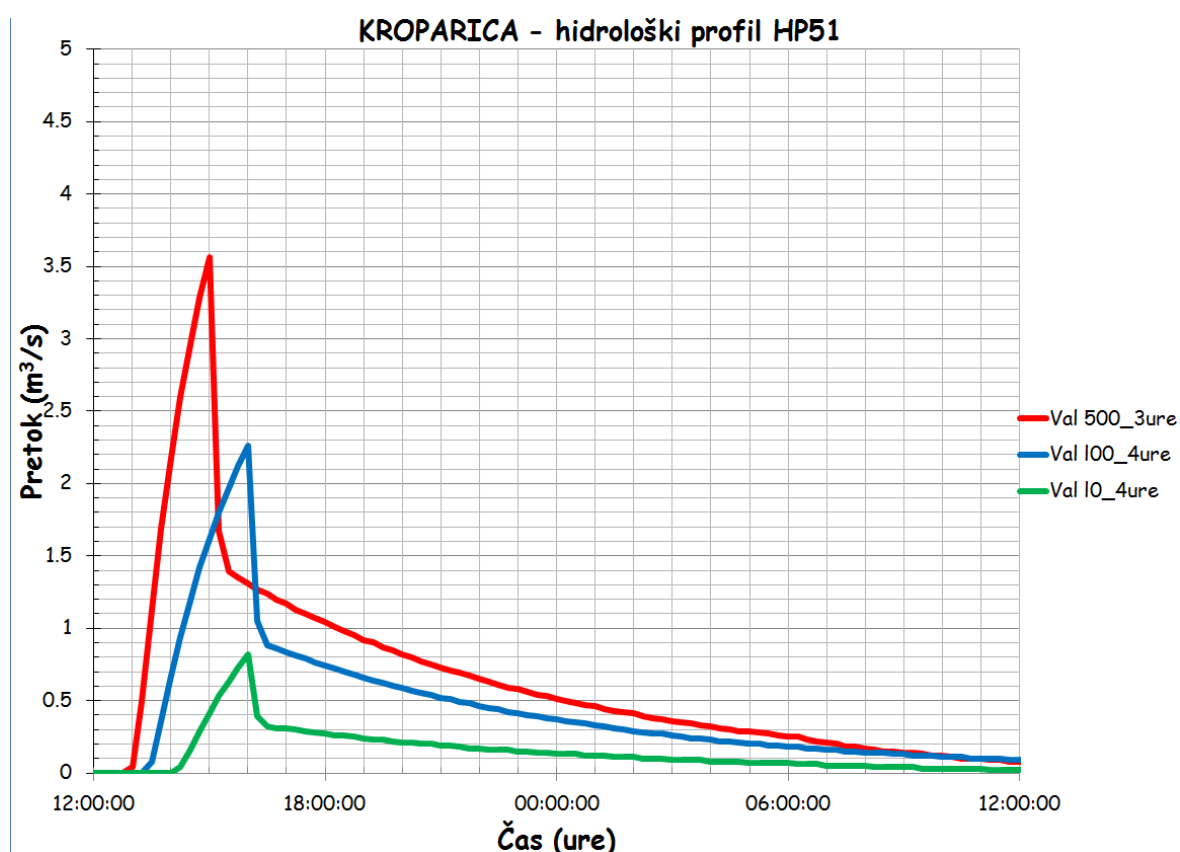
Slika 14: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP46



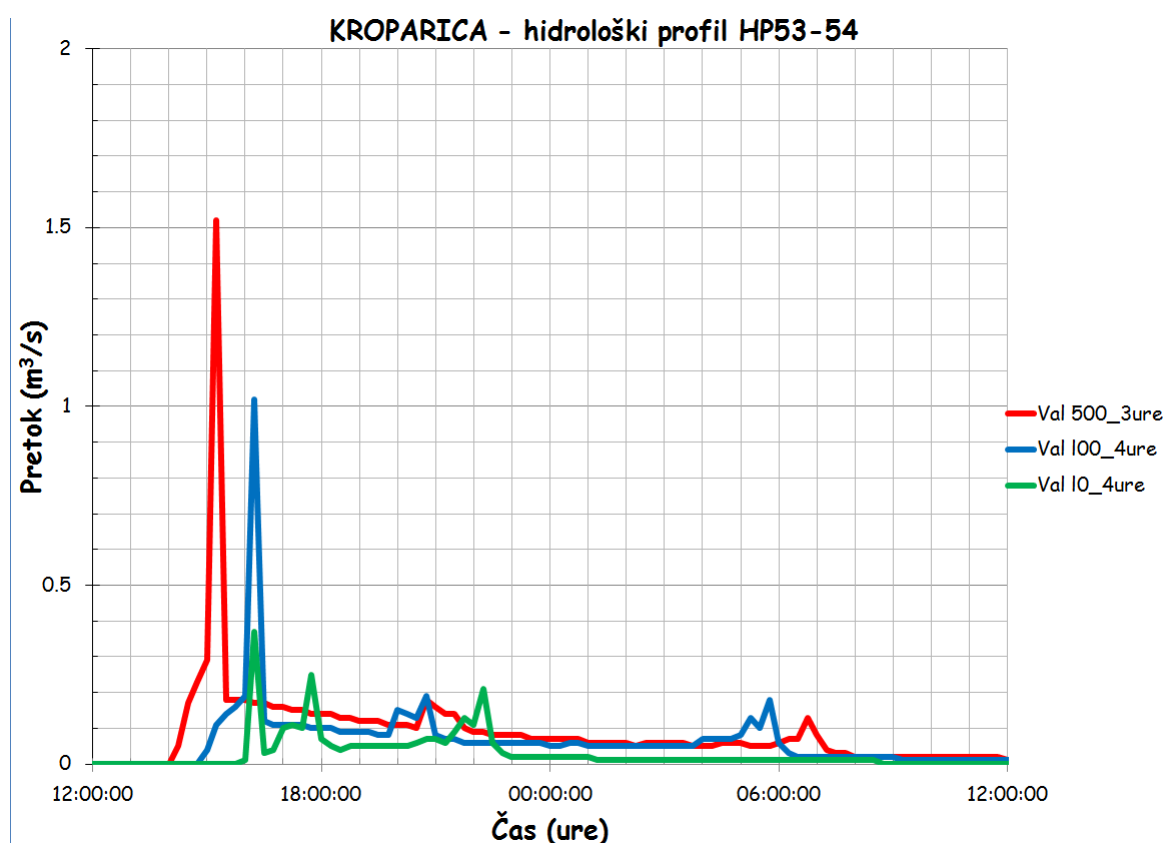
Slika 15: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP48



Slika 16: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP49-50



Slika 17: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP46



Slika 18: uporabljeni hidrogrami različnih povratnih dob za HP49-50



3.0 GEODETSKE PODLAGE

Za izdelavo 1D modela smo uporabili podatke geodetskega terestičnega snemanja prečnih prereзов vodotoka Kroparice. Izmerjeni so bili vsi pragovi in premostitve.

Za 2D model so bili uporabljeni LIDAR podatki, ki so bili posneti aprila 2013 za širše območje ob Lipnici in Kroparici oz. njenih pritokih. Gostota točk je znašala 10 točk/m² z višinsko natančnostjo snemanja 7.5 cm.

Za obravnavano območje so bile izbrane tudi 3 kontrolne točke, ki so ročno preverjene oziroma so bila določena odstopanja. V x in y smeri je odstopanje 3 cm, višinsko odstopanje pa je v povprečju treh kontrolnih točk 6 cm.

Pri modeliranju smo zaradi razlivanja vode med izmerjenimi prečnimi profili le-te interpolirali na nekaterih odsekih oz. nekatere prečne profile dodali. Za levi in desni prelivni rob struge smo v tem primeru privzeli višino pridobljeno s pomočjo LIDAR tehnologije. Spodnja slika 19 prikazuje način zajema podatkov za uporabljene interpolirane profile na mestih prelivanja.



Slika 19: Primer prikaza LIDAR podatkov (vir: Arc-Map)

Pri modeliranju smo večkrat ugotovili, da prelivne vode ne gredo v "pravo" smer, to je v smer zabeleženo v predhodnih poplavah. Na nekaterih mestih je bilo zato treba ročno popraviti vrednost (višino) izbranih celic 2D modela na realne vrednosti, to je tiste vrednosti, ki predstavljajo najšibkejši člen mreže celic. Izbrana velikost celic (2x2 m) je ponekod "preveč povprečila" višine. LIDAR podatki so nam bili pri modeliranju v veliko pomoč.

Pri 2D modeliranju smo uporabili tudi državni kataster z vrisanimi objekti. Upoštevali smo vse prepreke in ovire, zato smo v topografijo vključili tudi stavbe. S pomočjo Arc-Gis okolja smo izbrali celice 2x2 m kjer se nahaja objekt in jim priredili višino "land value", s čimer smo take celice izločili iz računa. Podobno smo storili tudi z objekti, ki niso vrisani v kataster, le da smo to storili ročno.



4.0 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

4.1 Kroparica

Kroparica je potok, ki teče skozi naselje Kropa. Je povirni pritok potoka Lipnica, ki je prvi desni pritok reke Save po sotočju Save Bohinjke in Save Dolinke. Kroparica svoje vode nabira na severovzhodnih pobočjih planote Jelovica in je večkrat tudi hudourniškega značaja. Njen stalni pritok je Črni potok. Zaradi kraške geologije in reliefa Jelovice ima zaledje Kroparice vedno dovolj vode, zato je tudi ob suši ne zmanjka. (vir: Wikipedia)



Slika 20: Fotografije Kroparice: 1, 2, 3, 4, 5 in 6



Slika 21: Fotografije Kroparice: 7, 8, 9 in 10



Slika 22: Fotografije Kroparice: 11, 12, 13 in 14



4.2 Pritoki Kroparice

V modelu je upoštevanih šest (6) pritokov Kroparice, vsak predstavlja svoj hidrološki profil (HP).

- 1) **Hudournik iz Meva** je njen prvi uporabljeni pritok, na levi strani, na HP39. Kroparici se priključi v stacionaži 2391.95. Jarek iz pobočne grape se najprej priključi na obnovljen betonski prepust $\varnothing$ 100 cm pri domačiji in gre nato pod cesto v Kroparico. Prevodnost prepusta je računana s programom Culvert Master. Z upoštevanjem izgub na vtoku in linijskih izgub na dolžini $L=23$ m ter geometrijskih karakteristik, je pri hrapavosti po Manningu $N_g=0.02$ njegova prevodnost izračunana na vsaj **$Q=1300$ l/s**, brez upoštevanja morebitne zatrpanosti.



Slika 23: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 100 cm na HP39: 1 in 2

- 2) **Smukarjev graben** je njen drugi uporabljeni pritok, na levi strani, na HP41. Kroparici se priključi v stacionaži 2205.7. Jarek iz pobočne grape se najprej priključi na kanaletu iz kamna v betonu, ki gre v betonski prepust $\varnothing$ 50 cm med hišama in nato pod cesto v Kroparico. Prevodnost prepusta je računana s programom Culvert Master. Z upoštevanjem izgub na vtoku in linijskih izgub na dolžini $L=46$ m ter geometrijskih karakteristik, je pri hrapavosti po Manningu $N_g=0.02$ njegova prevodnost izračunana na vsaj **$Q=400$ l/s**, brez upoštevanja morebitne zatrpanosti.



Slika 24: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing$ 50 cm na HP41: 1 in 2



- 3) **Drolovec** je njen tretji uporabljeni pritok, na desni strani, na HP42. Kroparici se priključi v stacionaži 1950.25. Jarek iz pobočne grape se najprej priključi na kanaletu med hišami, ki gre v betonsko prekrito kanaletu 70 x 70 cm med hišami in nato pod cesto v Kroparico. Prevodnost škatlastega prepusta je računana s programom Culvert Master. Z upoštevanjem izgub na vtoku in linijskih izgub na dolžini $L=51$ m ter geometrijskih karakteristik, je pri hrapavosti po Manningu $N_g=0.02$ njegova prevodnost izračunana na vsaj **$Q=500$ l/s**, brez upoštevanja morebitne zatranosti.



Slika 25: Fotografiji jarka in pokrite kanalete 70x70 cm na HP42: 1 in 2

- 4) **Lodnov graben** je njen četrti uporabljeni pritok, na desni strani, na HP46. Kroparici se priključi v stacionaži 1832.87. Jarek iz pobočne grape se priključi na betonski prepust $\varnothing 60$ cm, ki gre nato pod potjo proti Kroparici. Prevodnost prepusta je računana s programom Culvert Master. Z upoštevanjem izgub na vtoku in linijskih izgub na dolžini $L=50$ m ter geometrijskih karakteristik, je pri hrapavosti po Manningu $N_g=0.02$ njegova prevodnost izračunana na vsaj **$Q=620$ l/s**, brez upoštevanja morebitne zatranosti.



Slika 26: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing 60$ cm na HP46: 1 in 2



- 5) **Pritok poimenovan "levi pritok do Kroparice na HP48"** je njen peti uporabljeni pritok, na levi, na HP48. To je edini pritok, ki je vključen neposredno v 2D model (kot del skupnega 1D-2D modela), Kroparici se priključi kot dotok iz 2D modela med njenima profiloma P31 in P30, nekako v stacionaži med 1080 in 1050. Jarek za ta HP48 se iz pobočne grape najprej priključi na betonski prepust $\varnothing 60$ cm pod lokalno cesto in se nato izlije pod kmetijo v spodnjo strmo grapo, ki pada proti Kroparici. Prevodnost tega prepusta je računana s programom Culvert Master. Z upoštevanjem izgub na vtoku in linijskih izgub na dolžini $L=28$ m ter geometrijskih karakteristik, je pri hrapavosti po Manningu $N_g=0.02$ njegova prevodnost izračunana na vsaj **$Q=713$ l/s**, brez upoštevanja morebitne zatrpanosti.



Slika 27: Fotografiji jarka in prepusta $\varnothing 60$ cm na HP48: 1 in 2

- 6) **Črni potok** je njen zadnji, šesti uporabljeni pritok, na levi strani, na HP51. Kroparici se priključi v stacionaži 324.6. Ta pritok je v modelu nastavljen kot neposredni, točkovni vtok.



Slika 28: Fotografiji Črnega potoka na HP51: 1 in 2



5.0 MATEMATIČNI MODEL

5.1 Opis izdelave modela

Za določevanje in računanje toka vode po strugi Kroparice ter toka poplavnih vod po poplavnem območju smo uporabili program MIKE FLOOD (Danish Hydraulic Institute, www.dhigroup.com). Program omogoča združeno 2D modeliranje vodnega toka poplavnih območij (MIKE21) v kombinaciji z 1D modelom rečnega toka (MIKE11). Za določitev geometrije območja (batimetrijo) potrebujemo posnetek terena (koordinate točk X, Y in Z). Na podlagi LIDAR posnetka terena (klasificirani podatki oblaka točk) je bila izdelana računska mreža z ločljivostjo 1 m. Kasneje se je izvedla še pretvorba z interpolacijo velikega števila posnetih točk ločljivosti 1 m v manjše število točk z manjšo ločljivostjo. Za računanje vodnega toka po poplavnem območju so bile v našem modelu uporabljene računske celice ločljivosti, torej velikosti, 2x2 m. Območja, ki ne sodelujejo v računu poplavnih vod (objekti), so bila izločena v sami batimetriji. Samo računsko območje modela je veliko 2.500 m x 2.500 m, s spodnjim levim kotom na Gauss-Kruegerjevih koordinatah Y=438.000 in X=127.000. Za potrebe računa je območje razdeljeno na 1250 x 1250 celic (kvadratov) velikosti 2 m.

Za računanje 1D toka po strugi Kroparice so bili uporabljeni njeni prečni prerezi, skupaj 179. Uporabljeni so bili najnovejši podatki (snemanje v letu 2013). V tako imenovani ***.xns11** datoteki smo podali tudi vse pragove in stopnje. Prečnim profilom smo ročno določili točke levega in desnega prelivanja. Te točke so pomembne prav pri določitvi preliva med 1D in 2D modelom. Modela sta tako povezana preko bočnih prelivov, na koncu 1D modela pa je le-ta lahko povezan s preostalim 2D modelom preko standardnega preliva.

V ***.nwk11** datoteki smo podali vse premostitve (8).

5.2 Določitev robnih pogojev

V datoteki ***.bnd11** smo podali vse robne pogoje in vhodne vodne količine. Zgornji robni pogoj hidravličnega modela Kroparice predstavlja časovna serija pretoka $Q(t)$. Ta v našem modelu predstavlja izbrani val 48-urnega trajanja in različnih (3) povratnih dob. Omenjeni val doseže konico po 4 urah (za 10 in 100-letno povratno dobo), oziroma po 3 urah za 500-letno povratno dobo in predstavlja najneugodnejši val z najvišjim pretokom. Za naš model je pomembna najvišja konica pretoka in ne volumen izbranega vala.

Vhodni podatki tako za 1D kot 2D model so bili torej hidrogrami odtoka Kroparice v njenem HP37 ter na njenih pritokih (6). Odtok iz vmesnih prispevnih površin, ki prihajajo direktno v strugo (ne kot pritok), so bili v modelu vnešeni kot linijsko porazdeljen pretok (pretok po izbranem odseku zvezno narašča). V modelu uporabljeni hidrogrami so razvidni v slikah št. 7–18 na straneh 8–13.

S predhodnimi računi v modelu je bilo ugotovljeno, da zadošča nastavitev intervala računa $dt=0.2$ oz 0.3 sek. Ob omenjenem pogoju "dt" in obsežnosti območja račun poteka nekaj ur (6) - s hitrim procesorjem računalnika z dovolj spomina.

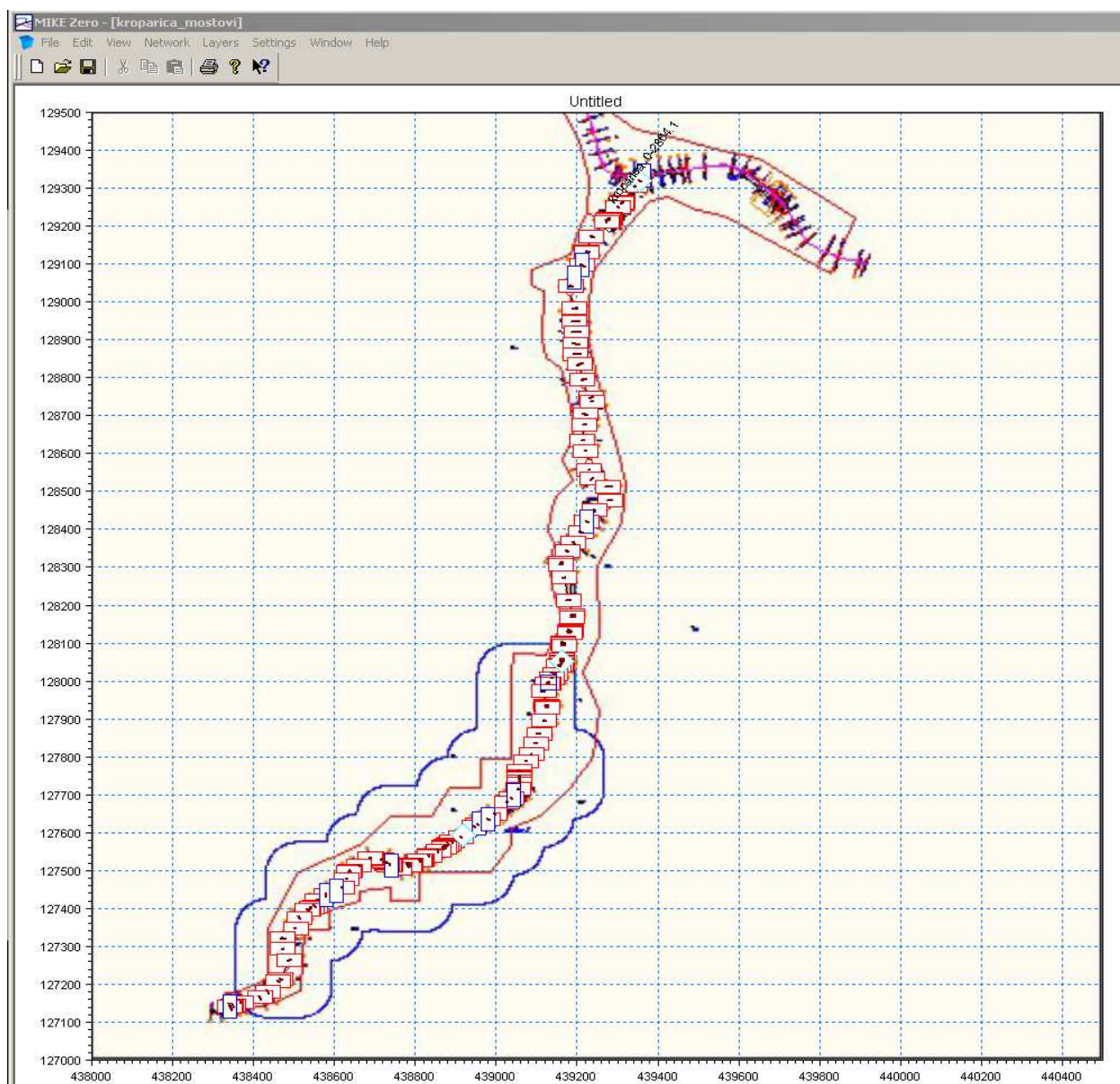
Osnova za določitev spodnjih robnih pogojev $Q(h)$ oz. H je na spodnji strani modela ocenjena višina poplavne vode ali pa pretočna krivulja obravnavanega prečnega prereza. Višina spodnje vode za začetek računa je lahko tudi rezultat predhodnih študij, meritev



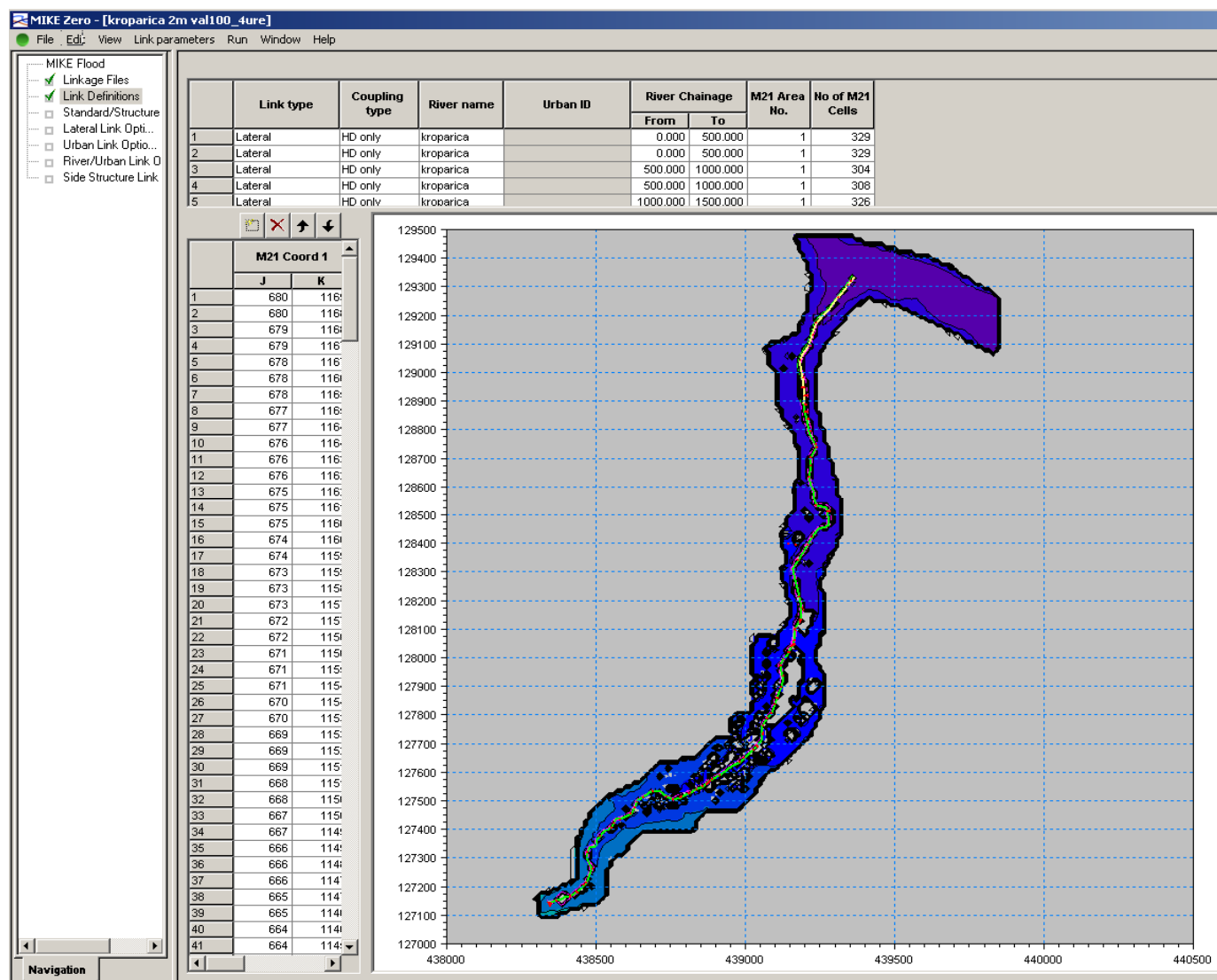
višin poplavnih vod na terenu ali pa zgolj kot ocena, ki se popravlja po potrebi glede na rezultat izračuna. V našem modelu je spodnji rob dovolj oddaljen od območja, ki nas je zanimalo, da morebitna nerealna globina ni predstavljala motnje v samem hidravličnem računu. Model v območju, ki nas je zanimalo, namreč takrat ne pokaže nobene razlike globine vode, četudi je globina v spodnjem prerezu previsoka za trenutni računani pretok (zajezeitev) ali prenizka (depresija).

Za strugo obravnavane Kroparice je bil upoštevan Manningov koeficient hrapavosti $n_g=0.038$ (P1-P45), $n_g=0.04$ (P45-P69), oz. $n_g=0.05$ na preostalem delu. Zaradi velikega vzdolžnega padca in posledično velikih hitrosti smo namerno povečali koeficient hrapavosti, saj smo s tem zmanjšali hitrost in omogočili stabilnejši izračun modela. Zaradi hudourniških nanosov in večjih količin plavin je povečanje koeficienta hrapavosti tudi smiselno, saj povečanje pomeni bolj neugodno situacijo pri simulaciji dejanskih poplav.

Za poplavno območje izven struge je bila pri računanju gladin poplavnih vod uporabljena enotna hrapavost $n_g=0.07$ ($M=14$).



Slika 29: Program MIKE *.nwk11 datoteka



Slika 30: Program MIKE *.couple datoteka

Slika 30 prikazuje batimetrijo z izločeno strugo in z objekti. Vidno je tudi padanje terena. Po celotnem poplavnem odseku smo podali koeficient hrapovosti 0.07 po Manningu. Za viskoznost smo izbrali nastavitev v MIKE, ki uporablja formulo po "Smagorinsky" in sicer vrednost konstante 0.5. Model je nastavljen bolj občutljivo, saj je najmanjša globina vode v posamezni celici, predno začne prelivati v sosednjo, nastavljena na 3 cm.



6.0 HIDRAVLICNI IZRAČUNI

Pred končnim računom modela so bili predhodno narejeni mnogi preračuni z različnimi vhodnimi podatki (hidrogrami), različnimi nastavitvami hrapavosti, z različnimi vmesnimi popravki. Končni hidravlični izračuni so bili pri nastavljenih vrednostih geometrije modela izvedeni za vse tri povratne dobe (10, 100 in 500 let). Prav na koncu se je izvedel še račun za 500 letne vode s takoimenovanim "scenarijem", ki je predstavljal ponekod zatrpano strugo, zatrpane prepuste na vseh pritokih in zatrpan most v P72. Dosegi vode pri tem zadnjem računu so bili v pomoč pri določitvi območja razreda preostale poplavne nevarnosti (vPp).

6.1 Visoke vode s povratno dobo 10 let

Pri prej navedenih vhodnih podatkih smo modelirali poplave s povratno dobo 10 let. Kot hidrograme smo vzeli vrednosti 4 urnih padavin, kjer je maksimalni pretok (glej slike 7-18). V nadaljevanju je podan opis prelivanja in dogajanja pri teh pretokih. Obrisi poplav na priloženih slikah predstavljajo največje dosege vode v izbranem računskem intervalu 10 ur in z globino vsaj 2 -3 cm.

Kroparica:

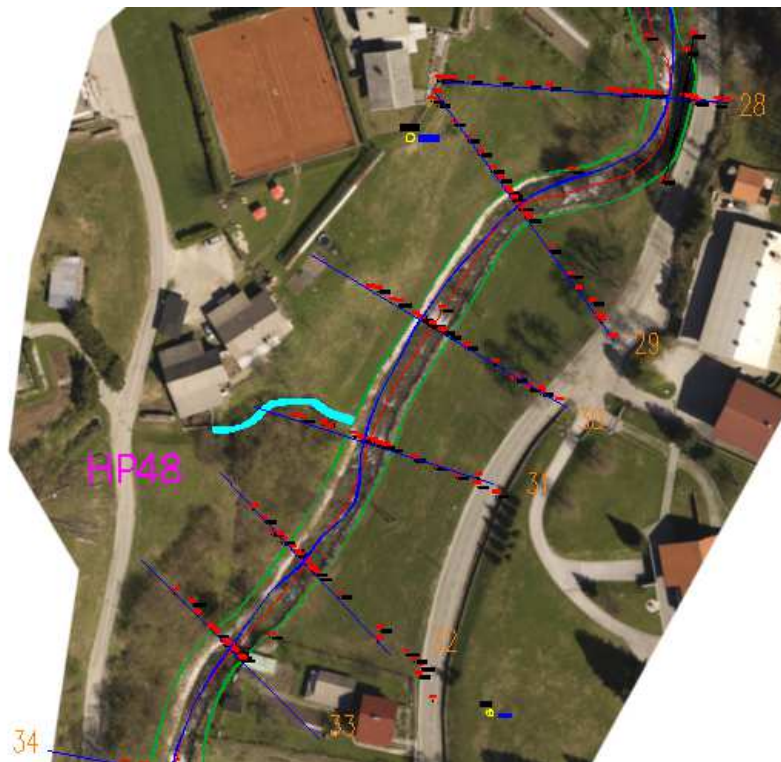
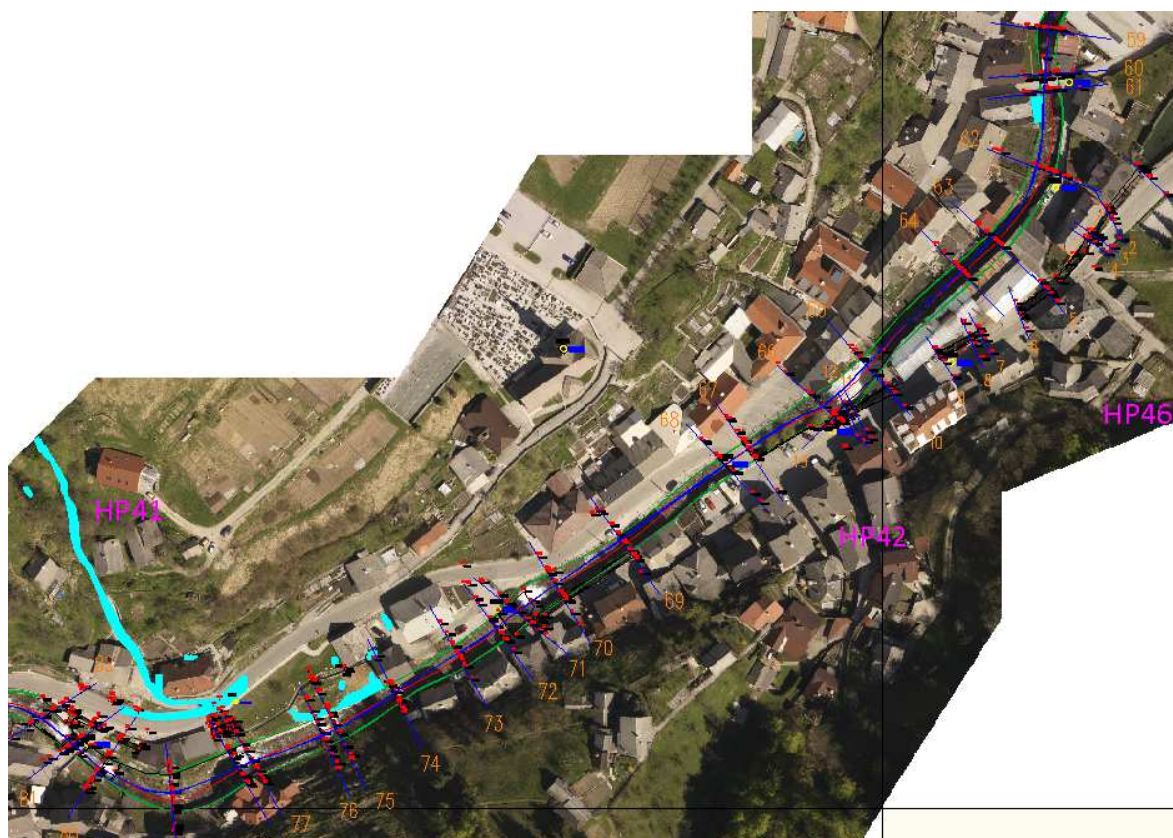
- o Kroparica nikjer ne prestopi bregov razen levi breg v razdalji ca 10 m nad P61, kjer je brežina izrazito nižana. Tam poplavi vrt in vrtni vhod hiše Kropa 82, največja globina je več kot 0.5 m in manj kot 1.5 m (slika 31/1).

Smukarjev graben – HP41:

- o Prepust $\varnothing$ 50 cm na Smukarjevem grabnu ne zmore prevajati 10-letnih vod, zato se viški nad $Q=400$ l/s prelivajo na pot med hišama pod prepustom in tečejo navzdol do ceste in po njej. Del teh pobočnih vod se nabere tudi na levem bregu Kroparice ob hiši med P76 in P74. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 31/1).

Levi pritok – HP48:

- o Prepust $\varnothing$ 60 cm na tem pritoku prevaja vse računske vode, na kartah je narisano samo potek 10-letnih vod pod iztokom prepusta v grapo proti Kroparici. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 31/2).



Slika 31: Obseg poplav pri Q10: 1 in 2 (vir: MIKE)



6.2 Visoke vode s povratno dobo 100 let

Pri prej navedenih vhodnih podatkih smo modelirali poplave s povratno dobo 100 let. Kot hidrograme smo vzeli vrednosti 4 urnih padavin, kjer je maksimalni pretok (glej slike 7-18). V nadaljevanju je podan opis prelivanja in dogajanja pri teh pretokih. Obrisi poplav na priloženih slikah predstavljajo največje dosege vode v izbranem računskem intervalu 10 ur in z globino vsaj 2 -3 cm.

Kroparica:

- o Kroparica najprej prestopi levi breg na istem mestu kot 10-letna voda, to je v razdalji ca 10 m nad P61, kjer je brežina izrazito znižana. Tam poplavi vrt in vrtni vhod hiše Kropa 82, največja globina je več kot 0.5 m in manj kot 1.5 m (slika 32).
- o Na nasprotni strani prestopi desni breg ca 11 m nad P61 (mostom). Prelita voda teče nato ob industrijski hali (Plamen) in se združi s prelito vodo iz ribnika, nato skupaj tečeta po cesti in ob industrijski hali (Plamen) naprej do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije. Račun pokaže, da zalije tudi del proizvodne hale (Plamen), ki meji na to parkirišče, prav na koncu tega OPVP. Globina je povsod manjša kot 0.5 m, razen lokalno v območju poglobitve za nakladalno rampo podjetja Plamen (slika 32).
- o Kroparica prelije tudi levo brežino na koncu modela, že izven obravnavanega OPVP, takoj pod vtokom Črnega grabna (HP51). Q100 začne prelivati po računu ca 10 m pod P10, prelita voda teče po cesti proti Kamni Gorici in se prelije v Lipnico ca 100 m nad sotočjem – nasproti osnovne šole. Del te vode za zadnjim mostom na Kroparici (P7) zavije nazaj k osnovni strugi in se vrne v Kroparico na levem bregu med profiloma P5 in P4. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 33).
- o Kroparica se prelije na levem bregu še med profiloma P3 in P2 ter na desnem bregu okoli profila P2. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 33).

Smukarjev graben – HP41:

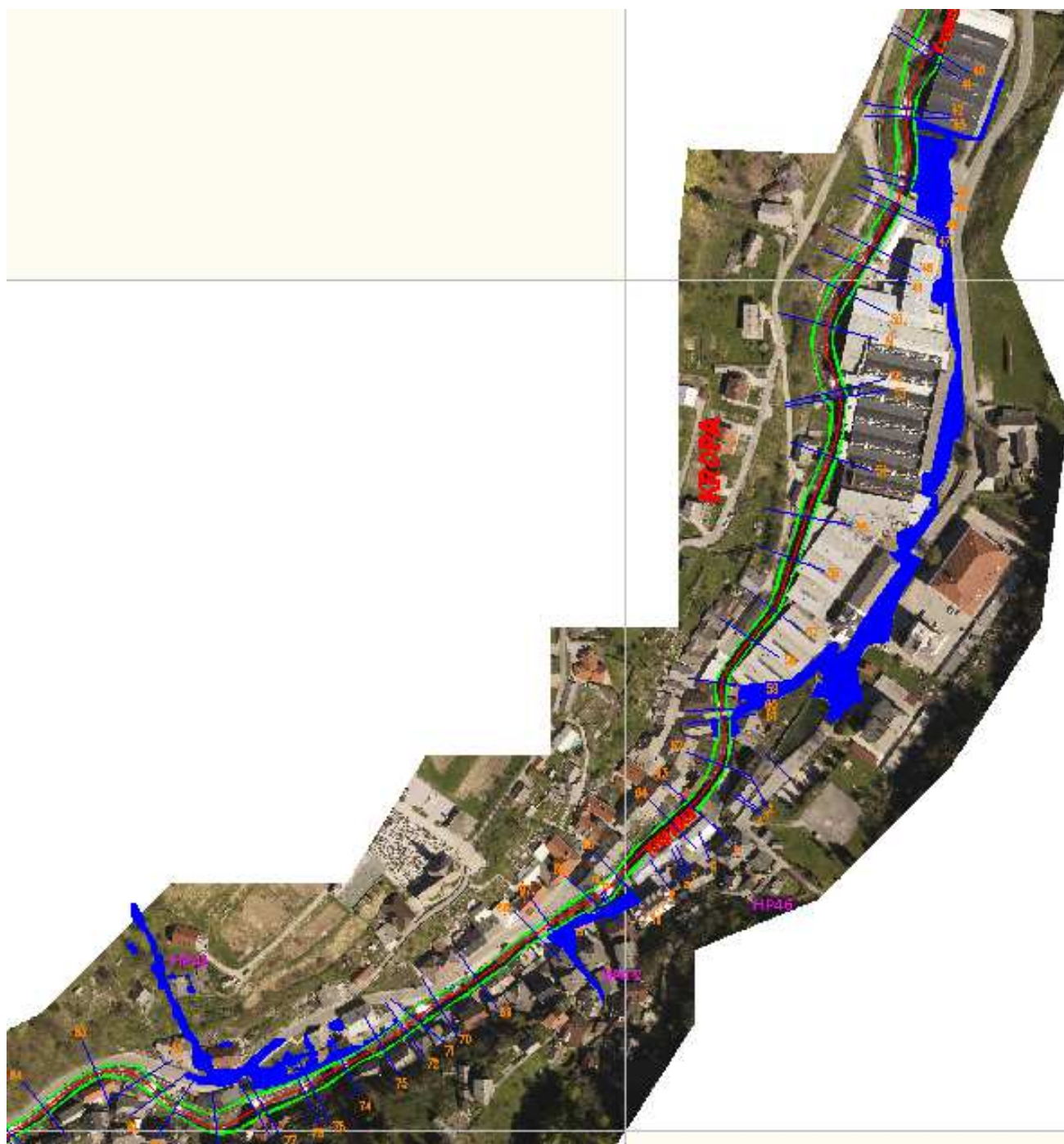
- o Prepust $\varnothing$ 50 cm na Smukarjevem grabnu ne zmore prevajati 100-letnih vod, zato se viški nad $Q=400$ l/s prelivajo na pot med hišama pod prepustom in tečejo navzdol do ceste in po njej. Del teh pobočnih vod se nabere tudi na levem bregu Kroparice na travniku in ob hiši med P77 in P74 ter na drugi strani te hiše ob levem bregu do mosta v P72 (obnovljen Koruzni most). Globina je manjša kot 0.5 m (slika 32).

Drolovec – HP42:

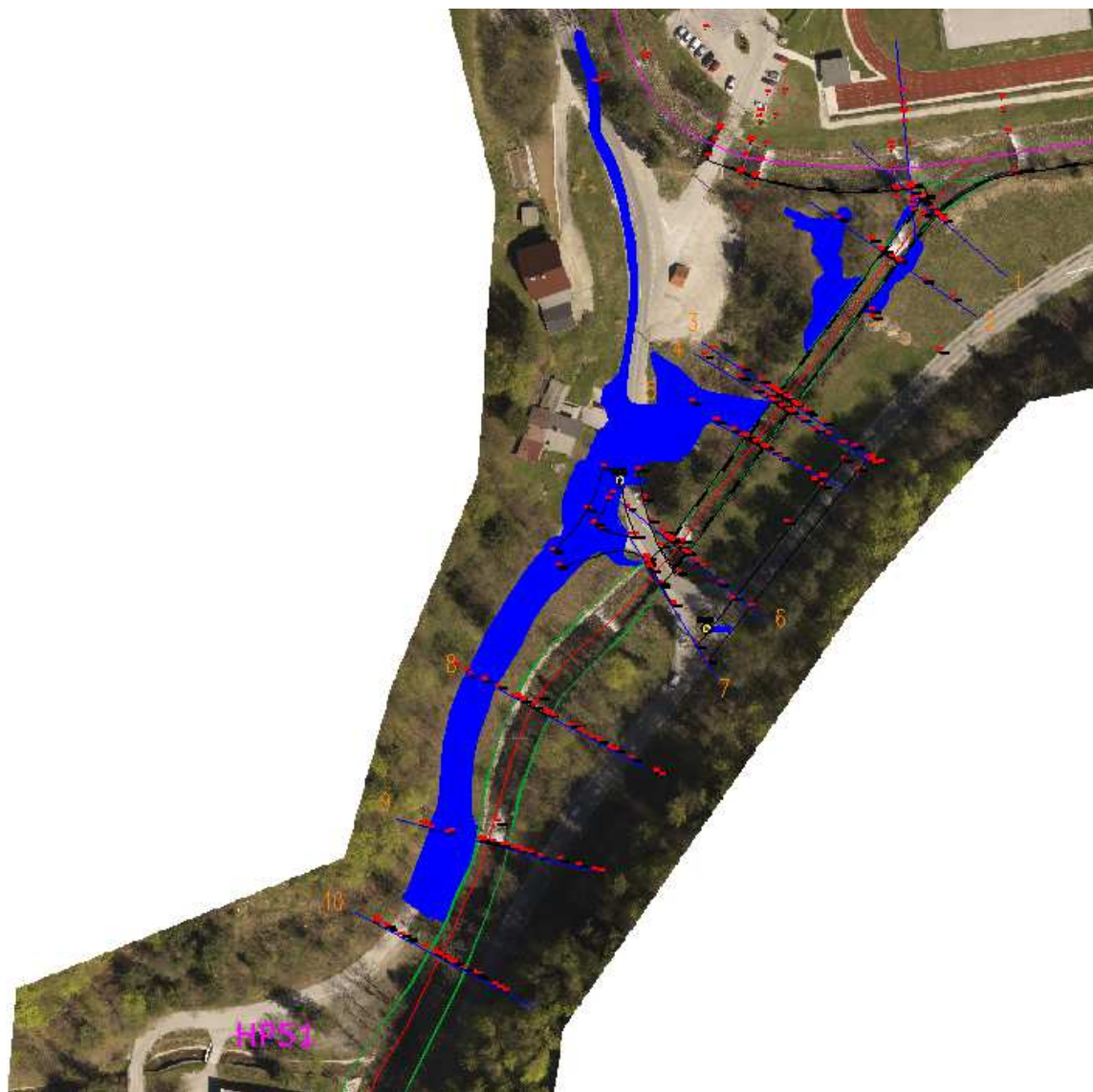
- o Pokriti škatlasti prepust 70x70 cm na Drolovcu ne zmore prevajati 100-letnih vod, zato se viški nad $Q=500$ l/s prelivajo na pot med hišami pod tem prepustom in tečejo navzdol do ceste in po njej. Te vode se nato prelijejo na levo v mlinščico ob podjetju UKO in po njej naprej do ribnika. Tega napolnijo in prelijejo na spodnjem, znižanem koncu in se nato združijo s prelitimi vodami iz Kroparice ter tečejo skupaj navzdol po cesti ob industrijski hali (Plamen) do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije. Globina je povsod manjša kot 0.5 m, razen lokalno v območju poglobitve za nakladalno rampo podjetja Plamen (slika 32).

Levi pritok – HP48:

- o Prepust $\varnothing$ 60 cm na tem pritoku prevaja vse računske vode, na kartah je narisano samo potek 100-letnih vod pod iztokom prepusta v grapo proti Kroparici (identično Q10 – glej sliko 31/2). Globina je manjša kot 0.5 m.



Slika 32: Obseg poplav pri Q100 (vir: MIKE)



Slika 33: Obseg poplav pri Q100 (vir: MIKE)

6.3 Visoke vode s povratno dobo 500 let

Pri prej navedenih vhodnih podatkih smo modelirali poplave s povratno dobo 500 let. Kot hidrograme smo vzeli vrednosti 3 urnih padavin, kjer je maksimalni pretok (glej slike 7-18). V nadaljevanju je podan opis prelivanja in dogajanja pri teh pretokih. Obrisi poplav na priloženih slikah predstavljajo največje dosege vode v izbranem računskem intervalu 10 ur in z globino vsaj 2 -3 cm.

Kroparica:

- o Kroparica najprej prestopi levi breg na istem mestu kot 100-letna voda, to je v razdalji ca 10 m nad P61, kjer je brežina izrazito znižana. Tam poplavi vrt in vrtni vhod hiše Kropa 82, največja globina je več kot 1.5 m (slika 36).
- o Na nasprotni strani prestopi desni breg malo nad P62. Prelita voda teče nato ob industrijski hali (Plamen) in se združi s prelito vodo iz ribnika, nato skupaj tečeta po cesti in ob industrijski hali (Plamen) naprej do parkirišča za mostom v P46, ki ga



zalijske. Račun pokaže, da zalije tudi del proizvodne hale (Plamen), ki meji na to parkirišče, prav na koncu tega OPVP. Globina doseže velikosti več kot 0.5 m in manj kot 1.5 m na začetku prelivanja od ca 13 m nad mostom (P61) in ob hiši na tem mestu. Podobna globina je lokalno ob hali podjetja Plamen pod ribnikom in v območju poglobitve za nakladalno rampo tega podjetja. Drugje je globina manjša kot 0.5 m (slika 36).

- o Kroparica prelije tudi desno brežino že izven obravnavanega OPVP. Q500 začne prelivati po računu ca 14 m nad P29 do ca 17 m pod P29. Globina vode je manjša kot 0.5 m (slika 35).
- o Kroparica prelije tudi levo brežino na koncu modela, že izven obravnavanega OPVP, takoj pod vtokom Črnega grabna (HP51). Q500 začne prelivati po računu takoj pod P10, prelita voda teče po travniku ob levem bregu ter po cesti proti Kamni Gorici in se prelije v Lipnico ca 100 m nad sotočjem – nasproti osnovne šole. Del te vode takoj za zadnjim mostom na Kroparici (P7) zavije nazaj k osnovni strugi in se vrne vanjo na levem bregu do profila P4. Globina je manjša kot 0.5 m, razen na treh lokalnih poglobitvah, kjer pa je manjša od 1.5 m (slika 37).
- o Kroparica se prelije na levem bregu še med profiloma P3 in P2 ter nad P1, na desnem bregu pa med profiloma P4 in P2. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 37).

Hudournik iz Meva – HP39:

- o Prepust $\varnothing$ 100 cm na tem hudourniku ne zmore prevajati 500-letnih vod, zato se viški nad $Q=1300$ l/s prelivajo na parkirišče ter na pot ob hiši in tečejo navzdol do lokalne ceste in po njej do profila P87, kjer se prelijejo v Kroparico na njenem levem bregu. Globina je manjša kot 0.5 m (slika 34).

Smukarjev graben – HP41:

- o Prepust $\varnothing$ 50 cm na Smukarjevem grabnu ne zmore prevajati 500-letnih vod, zato se viški nad $Q=400$ l/s prelivajo na pot med hišama pod prepustom in tečejo navzdol do ceste in po njej. Del teh pobočnih vod se nabere tudi na levem bregu Kroparice na travniku in ob hiši med P77 in P74 ter na drugi strani te hiše ob levem bregu do mosta v P72 (obnovljen Koruzni most). Globina je manjša kot 0.5 m (slika 34).

Drolovec – HP42:

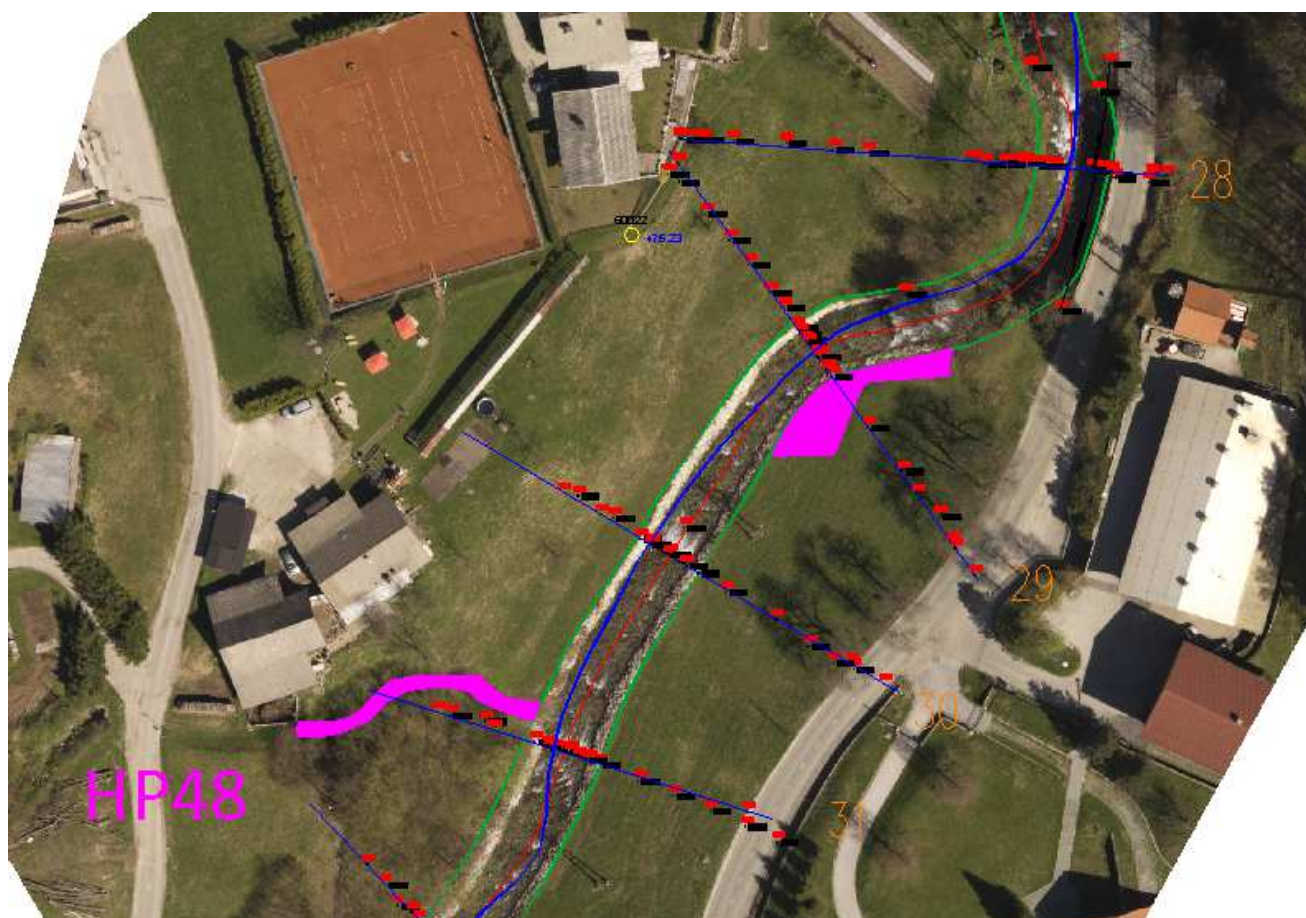
- o Pokriti škatlasti prepust 70x70 cm na Drolovcu ne zmore prevajati 500-letnih vod, zato se viški nad $Q=500$ l/s prelivajo na pot med hišami pod tem prepustom in tečejo navzdol do ceste in po njej. Te vode se nato prelijejo na levo v mlinščico ob podjetju UKO in po njej naprej do ribnika. Tega napolnijo in prelijejo na spodnjem, znižanem koncu in se nato združijo s prelitimi vodami iz Kroparice ter tečejo skupaj navzdol po cesti ob industrijski hali (Plamen) do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije. Globina je povsod manjša kot 0.5 m, razen lokalno v območju poglobitve za nakladalno rampo podjetja Plamen in lokalno ob hali podjetja Plamen pod ribnikom (slika 34).

Levi pritok – HP48:

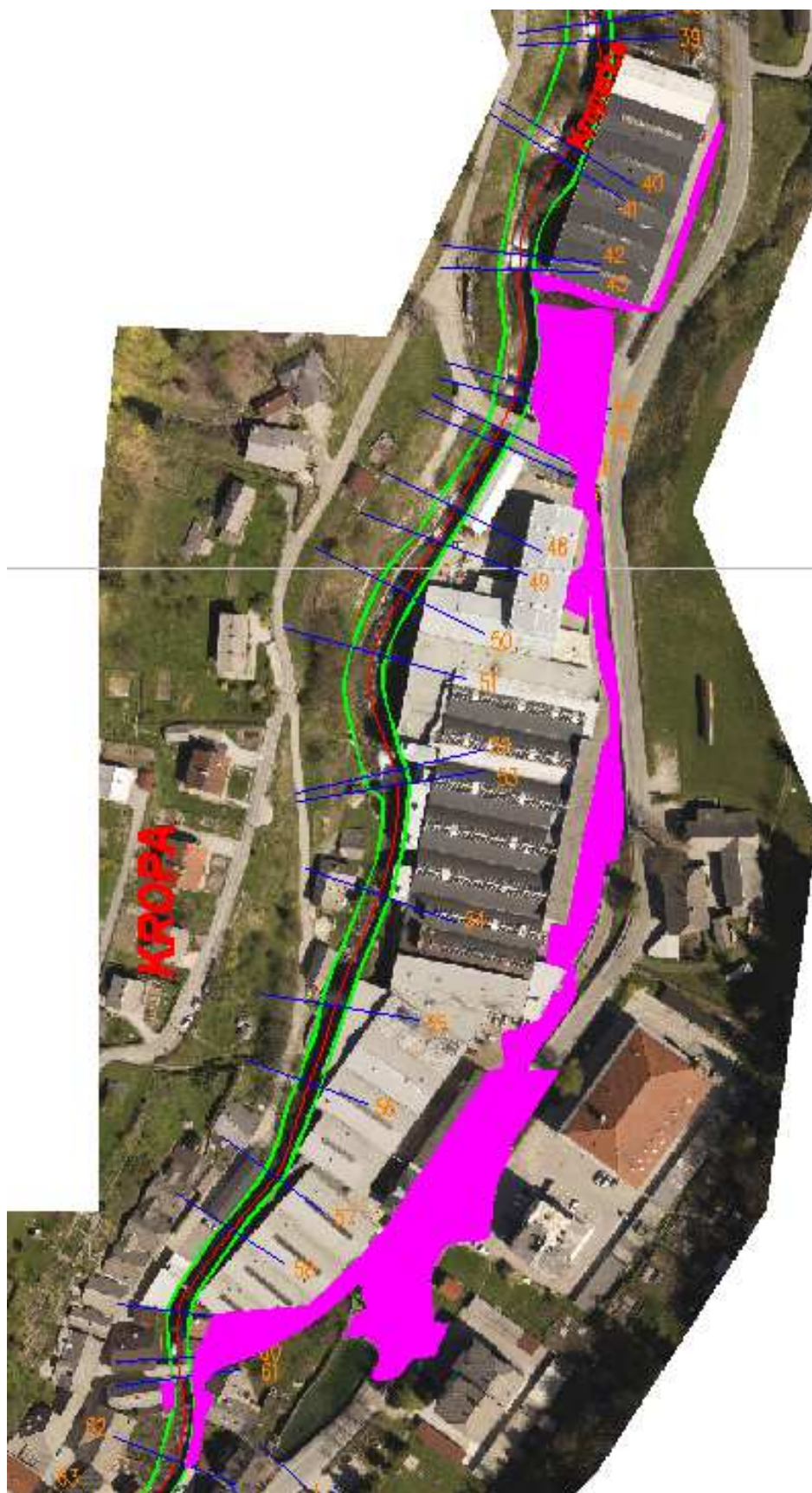
- o Prepust $\varnothing$ 60 cm na tem pritoku prevaja vse računske vode, na kartah je narisano samo potek 500-letnih vod pod iztokom prepusta v grapo proti Kroparici (identično Q10 in Q100). Globina je manjša kot 0.5 m (slika 35).



Slika 34: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)



Slika 35: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)



Slika 36: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)

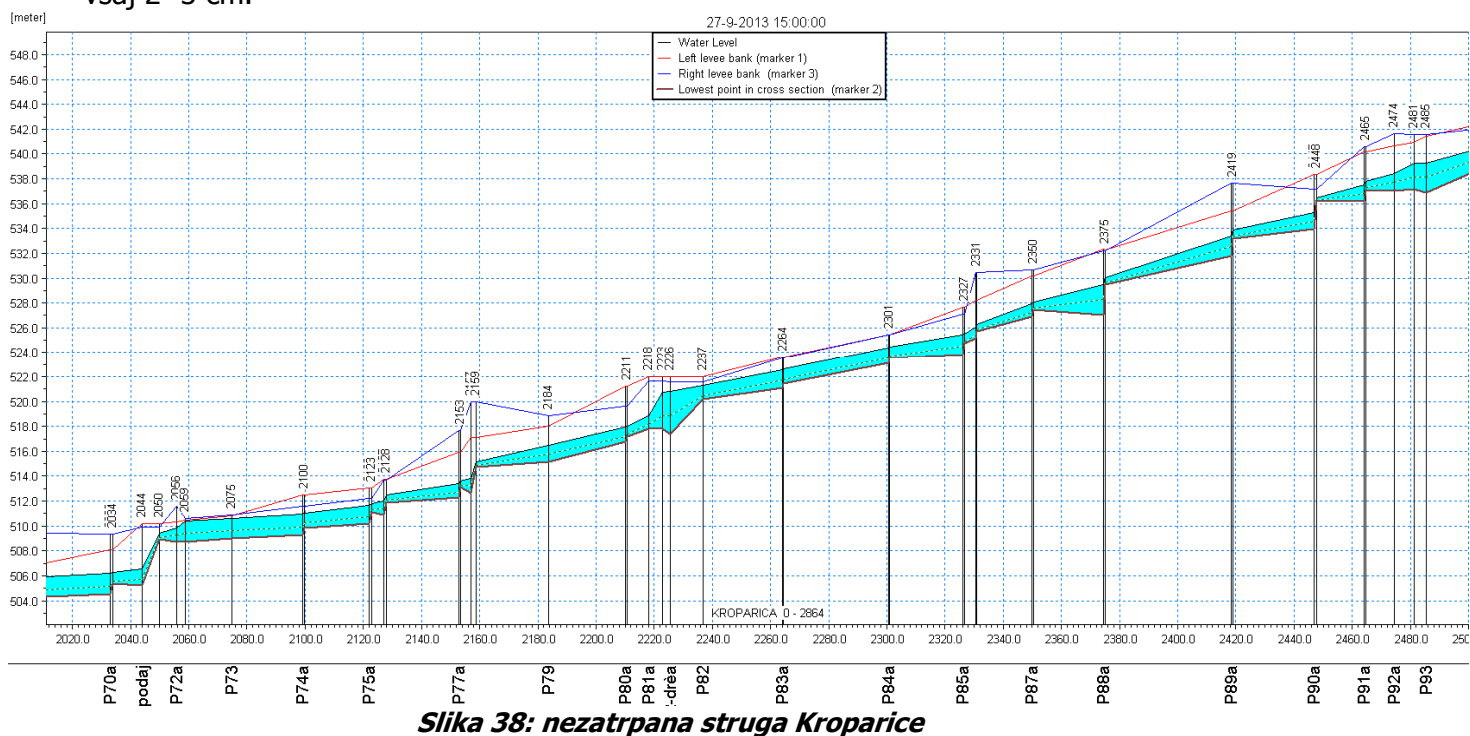


Slika 37: Obseg poplav pri Q500 (vir: MIKE)

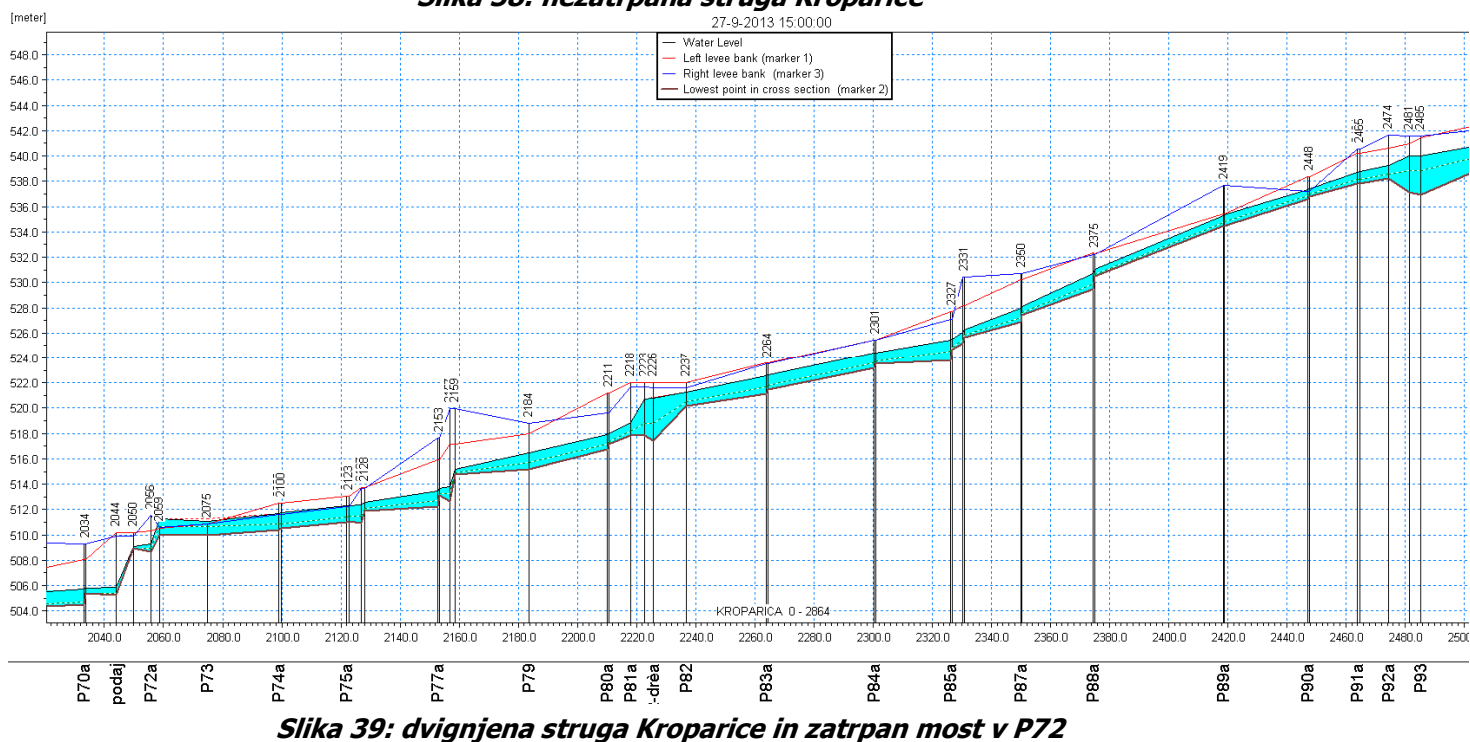


6.4 Visoke vode s povratno dobo 500 let "s scenarijem"

Račun poplavnih vod "s scenarijem" predstavlja račun s spremenjeno geometrijo struge: ponekod je dno struge dvignjeno (slika 39), zatrpani so prepusti na vseh pritokih in popolnoma je zatrpan most v profilu P72. Kot hidrograme smo vzeli vrednosti 3 urnih padavin, kjer je maksimalni pretok (glej slike 7-18). V nadaljevanju je podan opis preliivanja in dogajanja pri teh pretokih in teh pogojih. Obrisi poplav na priloženih slikah predstavljajo največje dosege vode v izbranem računskem intervalu 10 ur in z globino vsaj 2 - 3 cm.



Slika 38: nezatrpana struga Kroparice



Slika 39: dvignjena struga Kroparice in zatrpan most v P72

**Kroparica:**

- o Kroparica ima v tem "scenariju" dvignjeno dno do 1.5 m v območju med profilom P92a (pri zadnjem mostu) do P72. Na tem odseku je zaradi manjših padcev pričakovati odlaganje materiala kot se je sicer izkazalo ob zadnji ujmi leta 2007. Takrat je bil tudi popolnoma zatrpan z materialom in plavjem most v P72 (Koruzni most), ki je sedaj nov in višji. V scenariju je v hidravličnem modelu ta profil zaprt.
- o Kroparica najprej prestopi desni breg pod P75a in gre naprej med hišami do osrednjega trga kjer se združi z vodami Drolovca (HP42). Združena voda teče naprej po cesti in se zlije v mlinščico ob podjetju UKO in po njej naprej do ribnika. Tega napolni in se prelije na spodnjem, nižanjem koncu in nato združena s prelitimi vodami iz Kroparice (od mosta v P61) teče navzdol po cesti ob industrijski hali (Plamen) do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije (slika 40 in 41).
- o Na nasprotni strani Kroparica prestopi levi breg malo pod P74 (takoj za hišo) in združena z vodo Smukarjevega grabna (HP41) teče po cesti proti centru Krobe do mosta v P68. V tem scenariju je težko ponoviti stanje in razmere iz ujme 2007, ko je Kroparica tekla še naprej med hišami do naslednjega mosta. Takrat je Kroparica rušila bregove, si naredila novo strugo, spodjedla in uničila je osrednji trg, nekaj brežin in hiš, odnesla je cesto na več koncih. S pritoki vred je bil nanešen prod, skupaj z večjimi skalami, struga se je zasula in nadvišala, zasula in zatrpala je star most v P72. Glede na takratne padavine je bil verjetno tudi takratni pretok večji kot računski Q500 (slika 40).
- o Kroparica dolvodno prestopi levi breg na istem mestu kot 100 letna voda, to je v razdalji ca 10 m nad P61, kjer je brežina izrazito nižana. Tam poplavi vrt in vrtni vhod hiše Kropa 82 (slika 41).
- o Na nasprotni strani prestopi Kroparica desni breg malo nad P62. Prelita voda teče nato ob industrijski hali (Plamen) in se združi s prelito vodo iz ribnika, nato skupaj tečeta po cesti in ob industrijski hali (Plamen) naprej do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije. Račun pokaže, da zalije tudi del proizvodne hale (Plamen), ki meji na to parkirišče, prav na koncu tega OPVP. Vzdlž te hale teče naprej do ceste in po njej dokler ca 50 m za halo ne zavije levo na travnik in proti strugi, kjer se steka vanjo nekje do P29, kjer Kroparica sama prestopi desno brežino (slika 41 in 42).
- o Enako kot pri računu brez scenarija prelije Kroparica tudi levo brežino na koncu modela, že izven obravnavanega OPVP, takoj pod vtokom Črnega grabna (HP51). Q500 začne prelivati po računu takoj pod P10, prelita voda teče po travniku ob levem bregu ter po cesti proti Kamni Gorici in se prelije v Lipnico ca 100 m nad sotočjem – nasproti osnovne šole. Del te vode takoj za zadnjim mostom na Kroparici (P7) zavije nazaj k osnovni strugi in se vrne vanjo na levem bregu do profila P4 (slika 43).
- o Kroparica se prelije na levem bregu še med profiloma P3 in P2 ter nad P1, na desnem bregu pa med profiloma P4 in P2 (slika 43).

Hudournik iz Meva – HP39:

- o Po scenariju je prepust $\varnothing$ 100 cm na tem hudourniku popolnoma zatrpan, zato se vsa voda prelija na parkirišče ter na pot ob hiši in teče navzdol do lokalne ceste in po njej izpod profila P84, kjer se prelije v Kroparico na njenem levem bregu (slika 40).

Smukarjev graben – HP41:

- o Voda po tem grabnu se že nad prepustom deloma prelije na levo stran proti hiši, jo oblije in teče med hišo in gospodarskim poslopjem preko dvorišča navzdol. Prepust



Ø 50 cm na Smukarjevem grabnu je popolnoma zatrpan, zato se vsa voda prelije na pot med hišama pod prepustom in teče navzdol do ceste in po njej. Del teh pobočnih vod se nabere tudi na levem bregu Kroparice na travniku in ob hiši med P77 in P74 ter na drugi strani te hiše ob levem bregu do mosta (obnovljen Koruzni most) v P72 (slika 40).

Drolovec – HP42:

- o Pokriti škatlasti prepust 70x70 cm na Drolovcu je popolnoma zatrpan zato se vsa voda prelija na pot med hišami pod tem prepustom in teče navzdol do ceste in po njej. Te vode se nato prelijejo na levo v mlinščico ob podjetju UKO in po njej naprej do ribnika. Tega napolnijo in prelijejo na spodnjem, znižanem koncu in se nato združijo s prelitimi vodami iz Kroparice ter tečejo skupaj navzdol po cesti ob industrijski hali (Plamen) do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije (slika 40 in 41).

Lodnov graben – HP46:

- o Prepust Ø 60 cm na tem grabnu je popolnoma zatrpan, zato se vsa voda prelije na lokalno cesto in se razlije po okolici navzdol. En del vode teče po tej cesti in zalije prvo hišo na levi strani. Voda nato teče navzdol po cesti do mlinščice ob podjetju UKO in po njej naprej do ribnika. Ta se napolni še z vodami od Drolovca in nato prelije na spodnjem, znižanem koncu. Te prelite vode se nato združijo s prelitimi vodami iz Kroparice ter tečejo skupaj navzdol po cesti ob industrijski hali (Plamen) do parkirišča za mostom v P46, ki ga zalije. Drug del prelite vode zaradi zatrpanega betonskega prepusta Ø 60 cm steče desno navzdol po travniku, delno zalije športno igrišče in steče po cesti ob ribniku navzdol ter se združi s prelivajočimi vodami iz ribnika (slika 40 in 41).

Levi pritok – HP48:

- o Prepust Ø 60 cm na tem pritoku je popolnoma zatrpan, zato se vsa voda prelije na cesto in se razlije po okolici navzdol. Desni del se prelije v grapo pod kmetijo in naprej po njej v Kropo pod profilom P31. Drugi del prelivajoče se vode si najde pot na levo po lokalni cesti mimo kmetije in naprej: deloma zalije teniško igrišče, večji del pa nadaljuje pot proti Kropi, kamor se zlije nad profilom P24 (slika 42).



Slika 40: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)



Slika 41: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)



Slika 42: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)



Slika 43: Obseg poplav pri Q500 s scenarijem (vir: MIKE)



6.5 Interpretacija rezultatov

Rezultat hidravličnega modela je matrika pred samim računom poljubno izbranih hidravličnih parametrov (h , v , $h \cdot v$, ...). V našem primeru podajamo lahko rezultat kot višino vode " h " nad poplavljenim terenom. Z vmesnikom programa MIKE Zero ta rezultat prevedemo v tekstovno datoteko, ki navaja za vsako celico modela (2×2 m) višino vode " h ". To datoteko uvozimo v program ACAD – Civil 3D, kjer se jo pretvori v vektorsko obliko kot območje dosega obravnavanega "poplavnega dogodka". V programu Civil 3D je bila nastavljena taka vrednost višine " h ", da se celice z globino vode manjše od 3 cm pri formiranju poplavne linije niso upoštevale, saj je bil na tak način realnejše predstavljen doseg poplav glede na natančnost vhodnih podatkov.

Po izdelavi vektorskega zapisa se je za potrebe izdelave podatkovnega sloja opravila še pretvorba CAD datotek (*.dwg) v ESRI format (*.shp). Za razliko od *.dwg oblike zapisa, ki omogoča prikaz tako poligonskih, kot tudi točkovnih in linijskih objektov v enem samem podatkovnem sloju, *.shp oblika takšnega zapisa ne omogoča. Iz izvirnega *.dwg podatkovnega sloja je bilo tako treba za nadaljno obdelavo digitalne podatke o nevarnostih in razredih nevarnosti pretvoriti v linijski in poligonski podatkovni sloj v *.shp formatu za potrebe kontrole osnovnega vira. V primeru, ko se število linijskih in poligonskih objektov ni skladalo, je to pomenilo, da je v izvorni *.dwg datoteki prisotna napaka (podvojena ali nezaključena linija), ki jo je bilo seveda treba odstraniti. Na ta način so bile odstranjene nekatere topološke nepravilnosti, prav tako pa tudi odkrite vsebinske napake. Večinoma smo napake sami popravili v izvirnem *.dwg formatu. Poleg že omenjenih napak so pri pretvorbi iz *.dwg v *.shp obliko zapisa nastala tudi t.i. območja znotraj poplavnih linij, ki so bila v *.dwg formatu označena kot nepoplavljeno območje. Tako imenovani "otoki" oz. "kopno" (nepoplavljena območja znotraj območij poplavljanja) so v *.shp formatu postali poplavna območja. Vzrok napake je v CAD zapisu, kjer so območja zaključena s polilinjami in ne s poligoni kot v *.shp obliki zapisa. Na ta način je prišlo do prekrivanja sloja poplavnega območja z novim območjem, ki v bistvu predstavlja nepoplavljeno luknjo na poplavnem območju.

V *.shp datoteki, ki vsebuje več grafičnih objektov istega tipa npr.: vPm, vPs, vPv, vPp, . . . se je ti. "rezanje lukenj" oziroma izdelava kopnega območja obravnavala ločeno glede na tip objekta. Postopek je bil izveden s pomočjo "definition query" poizvedbo po opisnem podatku. Izbrana so npr. samo območja vPm in detajlno pregledana, ali se morda še kje nahaja nepoplavljeno območje znotraj poplavnega območja, ki še vedno ni izbrisano.

Končni rezultat vsega tega so georeferencirani podatki v *.dwg in *.shp obliki zapisa meje območja nevarnosti pri različnih pretokih (KPN) in meje območja razredov nevarnosti (KRPN) razvidni v dodanem podatkovnem mediju.



7.0 KARTA POPLAVNE NEVARNOSTI IN KARTA RAZREDOV POPLAVNE NEVARNOSTI

7.1 Karta poplavne nevarnosti

Cilj naloge je izdelava karte poplavne nevarnosti kot predpisuje "**Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti**". Karte poplavne nevarnosti vsebujejo prikaz dosegov posameznih povratnih dob z prikazanimi globinami poplavne vode. Prikazuje se torej mejo območja pri pretoku Q_{500} , mejo območja pri pretoku Q_{100} in mejo območja pri pretoku Q_{10} . Pri vsakem pretoku se prikazuje območje z globino, ki je večja od 1.5 m, območje z globino vode med 0.5 in 1.5 m ter območje z globino, ki je manjša od 0.5 m. Opis omenjenih dosegov in globin je razviden tudi v poglavju 6 (Hidravlični račun).

Karte z vrisanimi dosegi in globinami so v prilogah 3, 4 in 5 - situacije KPN.

7.2 Karta razredov poplavne nevarnosti

Karte razredov poplavne nevarnosti so zrisane glede na rezultate izračuna modela s povratno dobo 100 in 500 let, uporabili pa smo tudi izračun za 10-letno povratno dobo kot pomoč pri določitvi razreda srednje poplavne nevarnosti. Odločujoče je tisto merilo, ki izkazuje največji razred nevarnosti.

Obstajajo štiri razredi poplavne nevarnosti po "**Pravilniku**":

- razred velike nevarnosti **vPv**
- razred srednje nevarnosti **vPs**
- razred male nevarnosti **vPm**
- razred preostale nevarnosti **vPp**

Razred **velike poplavne nevarnosti** je tam, kjer je pri pretoku Q_{100} globina vode enaka ali večja od 1.5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od od $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$.

Razred **srednje poplavne nevarnosti** je tam, kjer je pri pretoku Q_{100} globina vode enaka ali večja od 0.5 m in manjša od 1.5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od od $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ in manjši od $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$, oziroma kjer je pri pretoku Q_{10} gladina vode večja od 0.0 m.

Razred **majhne poplavne nevarnosti** je tam, kjer je pri pretoku Q_{100} globina vode manjša od 0.5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode manjši od od $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$.

Razred **preostale poplavne nevarnosti** je običajno območje med dosegom povratne dobe 100 let in povratne dobe 500 let. Razred preostale nevarnosti je lahko tudi večji od dosega povratne dobe 500 let, če gre za znan dogodek ali izredne razmere. V primeru Kroparice smo uporabili ta kriterij.

Hitrosti poplavne vode v tem modelu ne vplivajo na razrede poplavne nevarnosti: zmožek hitrosti in globine na mestih kjer je hitrost večja od $v=1 \text{ m/s}$ nikjer ne poviša razreda, zato v kartah ne prikazujemo posebej teh vrednosti.



Karte razredov poplavne nevarnosti so razvidne v poglavju **PRILOGE** na koncu tega poročila. Vidi se, da na obravnavanem območju OPVP 45-Kropa prevladuje razred preostale poplavne nevarnosti – **vPp**, sledi mu razred majhne poplavne nevarnosti - **vPm**.

Srednji razred poplavne nevarnosti **vPs** je večinoma tam, kjer so dosegi 10-letnih poplavnih vod, kar velja za dosege Smukarjevega grabna (HP41) in za grapo na HP48. Lokalno srednji razred nastopi le še na dveh mestih: na znižanem levem bregu pred mostom v P61 in na znižanem delu ob industrijski hali.

Razreda velike poplavne nevarnosti **vPv** ni.

Pri določitvi razreda preostale poplavne nevarnosti **vPp** smo uporabili dosege poplavnih vod 500 letne povratne dobe. Te dosege smo nato povečali z rezultati računa Q500 "s scenarijem" (poglavje 6.4, stran 32). Na koncu smo območje razreda **vPp** še povečali za območje znanih dosegov poplavnih vod iz ujme leta 2007, ki ga nismo uspeli prikazati s tem matematičnim modelom.



8.0 ZAKLJUČEK

Poplavna območja so na kartah zrisana tako, da so hiše in ostali objekti znotraj dosega poplave. To ne pomeni, da so hiše popolnoma pod vodo, ampak da se na podlagi okoliškega terena predvideva, da je del hiše (klet ali pritličje oz. del etaže, ki je na koti terena) poplavljen. Za območja oz. objekte, ki mejijo na rob poplavne linije, je potrebno s podrobnejšo analizo dodatno preučiti, ali je objekt poplavno ogrožen ali ne.

Iz analize rezultatov sledi, da je prevodnost same struge Kroparice v območju OPVP 45-Kropa za vse povratne dobe v glavnem ustrezna. Izjema je le kritični del pred mostom v profilu P61, most je namreč poddimenzioniran za visoke vode. Na tem kritičnem delu je tudi izrazito nizek levi breg pred mostom v dolžini ca 10 m, zato ga prelijejo že vode z 10 letno povratno dobo (verjetno tudi manj). Na nasprotni strani je tudi desni breg nizek in se ga dotakne že gladina 10-letne vode. Hitra in poceni rešitev na tem mestu bi bilo že podaljšanje zidane ograje desnega brega za ca 25 m gorvodno, kar bi preprečilo prelivanje Q100 na cesto. Trajna rešitev pa bi bila lahko znižanje dna in povečanje profila mosta s tem, da se prestavi prag izpod mosta ca 30 m gorvodno (slika 44, tudi sliki 21/7-8). Na ostalih delih tega OPVP račun ni pokazal drugih kritičnih mest struge Kroparice.



Slika 44: Kritično mesto Kroparice pred mostom v P61

Izven (dolvodno) OPVP prestopi Kroparica pri Q500 še desno brežino na manjšem območju okoli profila P29 (slika 35).

Še nižje prestopi Kroparica pri Q100 levo brežino takoj za vtokom Črnega potoka. Prestopi tudi levi in desni breg tik pred vtokom v Lipnico (sliki 22/13-14 in sliki 33, 37).



Kritična mesta predstavlja vseh pet obravnavanih pritokov Kroparice: Hudournik iz Meva, Smukarjev graben, Drolovec, Lodnov graben in levi pritok do Kroparice na HP48 (slike 23-27). Vsi pritoki so speljani skozi prepuste pred vtokom v Kroparico, večina teh je poddimenzioniranih in povzročajo prelivanje visokih vod. Izrazito kritičen je betonski prepust $\varnothing$ 50 cm na Smukarjevem grabnu (HP41). Drug poddimenzioniran prepust je na Drolovcu (HP42), ki ga predstavlja betonska prekrita kanaleta 70 x 70 cm.

Pri modeliranju za pretoke Q_{10} , Q_{100} in Q_{500} smo upoštevali, da so vsi obravnavani mostovi, struga in prepusti nezatrpani, očiščeni plavin in naplavin. V času visokih vod se pričakovano lahko poveča tudi prenos naplavin in plavin ter s tem poveča obseg poplav, ki so prikazane v tem elaboratu. Pri povratni dobi 100 let in več lahko govorimo tudi o izrednih dogodkih, ki so lahko splet različnih neugodnih dogodkov skupaj. Tako so lahko naše izračunane vrednosti manjše kot bodo morda dejanske.

Poročilo sestavi:

Mladen Ajdič, univ.dipl.inž.grad.



PRILOGE

<i>1.0 Pregledna situacija</i>	<i>M 1:5000</i>
<i>2.0 Situacija KPN – doseg poplavnih linij Q10, Q100 in Q500</i>	<i>M 1:2500</i>
<i>3.0 Situacija KPN – globine pri Q10</i>	<i>M 1:2500</i>
<i>4.0 Situacija KPN – globine pri Q100</i>	<i>M 1:2500</i>
<i>5.0 Situacija KPN – globine pri Q500</i>	<i>M 1:2500</i>
<i>6.0 Situacija KRPN – razredi poplavne nevarnosti</i>	<i>M 1:2500</i>



PODATKOVNI MEDIJ

Naslov: Hidravlična študija visokih vod na porečju Lipnice - za OPVP 45-Kropa