



IPA 2010 Twinning Projekt

Hrvatska – Nizozemska – Austrija – Francuska

**“RAZVOJ KARATA OPASNOSTI OD POPLAVA
I KARATA RIZIKA OD POPLAVA”**

Izrada modela opasnosti od poplava za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve (Hrvatska)

Izveštaj o Komponenti 2;

**Razvoj, kalibriranje i validacija
hidrodinamičkih modela za odabrana pilot područja**

KRATKI PREGLED

Cilj Twinning projekta 'Razvoj karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava' je provedba zahtjeva Europske Direktive o poplavama u svrhu pripreme karata opasnosti i rizika od poplava na teritoriju Republike Hrvatske. Navedeno uključuje pripremu karata opasnosti i rizika od poplava u nekoliko pilot područja, točnije, za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve. Ove se karte pripremaju i zasnivaju na rezultatima hidrodinamičkih modela za potrebe simuliranja poplava.

Hidrodinamičke modele pilot područja razvijaju hrvatski stručnjaci te kratkoročni stručnjaci zemalja članica EU putem iznimno interaktivnog procesa. Međutim, dostupnost odgovarajućih (i pouzdanih) podataka od iznimnog je značenja za kakvoću i korisnost rezultata komponente izrade modela i točnost komponente izrade karata.

Zasada nisu dostupni generički planovi izrade hidrodinamičkih modela (poplave). Svako korito i svaka pojedinačna rijeka ima vlastite specifične značajke i (podatkovna) ograničenja koji zahtijevaju otklone u odnosu na opći pristup izrade modela. Trajni naponi koji se ulažu u izradu hidrodinamičkih modela (poplava), modeliranje i analizu podataka mogli bi, na kraju, rezultirati prihvaćenim pristupima za različite vrste rijeka i poplava u Republici Hrvatskoj.

Točnost rezultata hidrodinamičke simulacije za dva odabrane pilot područja u osnovi je zadovoljavajuća u svrhu dobivanja općeg uvida u opasnosti od poplava za različita povratna razdoblja. Pouzdanost primijenjenog topografskog digitalnog modela reljefa, međutim, nije dovoljna za ishođenje detaljnih i lokalnih podataka u vezi s razmjerom poplava, dubinom ili razinom vode i brzinama protoka. Točnost hidroloških podataka koji se primjenjuju u svrhu provođenja hidroloških analiza, standardnog hidrografskog razvoja poplava, kalibriranje i validacija ponekada su upitni. Ovo se odražava na značajke simulacija poplava (jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina), kao i na hidraulički jednodimenzionalni (1D) model koji simulira protok rijeke i dvodimenzionalni (2D) model koji simulira poplavu.

Sudionici iz središnjice i regionalnih vodnogospodarskih odjela Hrvatskih voda stekli su bolji uvid u osjetljivosti primjene hidrodinamičkih modela u svrhu izrade karata opasnosti od poplava. Prošli su kroz osnovne korake kompletnog procesa prikupljanja podataka, pripreme i analize u svrhu razvoja hidrodinamičkog modela, kalibriranja, validacije i simulacije. Modelirajuća komponenta Twinning projekta doprinijela je sposobnosti osoblja Hrvatskih voda u pogledu učinkovitog i djelotvornog upravljanja procesom upotrebe vanjskih resursa u svrhu poboljšanja produktivnosti u vezi razvoja hidrodinamičkog modela za izradu karata opasnosti od poplava.

Dostupnost podataka za modeliranje opasnosti od poplava trebalo bi poboljšati razvojem metodologije za strukturiranje i organiziranje procesa prikupljanja podataka. Također, primjena strukturiranih sustava za upravljanje podacima i bazama podataka, koji su u skladu s direktivama EU, može poboljšati dostupnost podataka.

Ulagati u točnost topografskih podataka. Naime, točnost topografskih podataka nije korisna samo za modeliranje opasnosti od poplava i izradu karata, već i za mnoštvo drugih dnevnih analiza i aktivnosti na projektima u kojima sudjeluju Hrvatske vode.

Implementirati i institucionalno osigurati radnu skupinu unutar Hrvatskih voda koja bi očuvala kritičnu masu (ljudskih potencijala) za upravljanje i održavanje postojećih modela (opasnosti od poplava) i vodila razvoj novih modela instrumenata za izradu karata opasnosti (i rizika) od poplava. Ove je alate za izradu modela, također, moguće primijeniti za simuliranje (relativnih) utjecaja strukturalnih mjera obrane od poplava i izgradnje nasipa. Osim toga, ovi bi se modeli mogli primijeniti (nakon manjih strukturalnih prilagodbi) za simuliranje prijevremenih upozorenja.

Poboljšati (i, po potrebi, institucionalizirati) suradnju između Hrvatskih voda i Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske, u svrhu dostave podataka, razvoja modela, strateškog (političkog) istraživanja i predviđanja potencijala.

SADRŽAJ

Kratki pregled	3
1 Uvod.....	9
1.1 Twinning projekt 'Razvoj karata opasnosti od poplava i rizika od poplava':.....	9
1.2 Radna metoda komponente razvoja hidrodinamičkih modela	9
1.3 Pregled izvješća	11
1.4 Odricanje od odgovornosti	12
2 Definicija problema i ciljevi izrade modela	13
2.1 Definicija problema.....	13
2.2 Ciljevi izrade modela	14
3 Prikupljanje i analiza podataka	16
3.1 Zahtjevi za podacima kod izrade karata opasnosti od poplava	16
3.2 Prikupljanje podataka za odabrana pilot područja	17
3.3 Izrada digitalnih modela reljefa, batimetrijska mjerenja i priprema podataka o presjecima vodotoka	20
3.4 Hidrološke analize	22
3.4.1 Analiza učestalosti poplava.....	23
3.4.2 Procjena i tumačenje krivulja stanja	26
3.4.3 Standardni hidrogrami poplava.....	28
3.4.4 Sobek simulacije i ulazne datoteke.....	31
4 Konceptualni modeli	34
4.1 Razvoj konceptualnih modela.....	34
4.2 Konceptualni modeli za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve.....	34
5 Razvoj hidrodinamičkih modela za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve	36
5.1 Uvod	36
5.2 Razvoj, kalibriranje i validacija jednodimenzionalnih (1D) mreža riječnog toka	36
5.3 Razvoj, kalibriranje i validacija dvodimenzionalnih (2D) modela kopnenog toka	44
6 Simulacije modela za izradu karata opasnosti od poplava	50
6.1 Uvod	50
6.2 Simulacije karata opasnosti od poplava.....	51
6.3 Simulacija proloma nasipa (rijeka Korana)	56
7 Rasprava, zaključci i preporuke.....	58
7.1 Rasprava.....	58
7.2 Zaključci	61
7.3 Preporuke	62
8 Popis literature	64
Dodaci.....	66

Popis slika, tablica i dodataka

- Slika 1.1 Sedam koraka procesa izrade modela prema priručniku Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: *Praksa dobrog modeliranja*
- Slika 2.1 Korito rijeke Kupe
- Slika 2.2 Ušće rijeke Neretve
- Slika 2.3 Ušće rijeke Neretve okruženo krškim masivom
- Slika 3.1 Ušće rijeke Neretve (pogled iz Pižinovca)
- Slika 3.2 Rijeka Kupa u Karlovcu
- Slika 3.3 Sliv rijeka, statistika s višestrukim promjenjivim varijablama
- Slika 3.4 Korelacijski odnos između zbrojenih 100-godišnjih protoka rijeka Kupe i Dobre (1. tromjesečje), odnosno, Mrežnice i Korane (2. tromjesečje) (Weibull distribucija)
- Slika 3.5 Vremenske serije (2005.) za mjerne postaje na rijeci Kupi – Jamnička kiselica, Kamanje, Donje stative, Mrzlo Polje i Velemerić
- Slika 3.6 Krivulje učestalosti za nizvodnu mjernu postaju Jamnička kiselica
- Slika 3.7 Validacija krivulje stanja za vodomjernu postaju Jamnička kiselica
- Slika 3.8 Kompozitna (transponirana) krivulja stanja za vodomjernu postaju Metković
- Slika 3.9 Standardni hidrogrami poplava za mjerne postaje na rijeci Kupi i njenim pritokama
- Slika 3.10 Standardna normalna distribucija dnevnih oborina (Opuzen)
- Slika 3.11 Standardni hidrogram poplava, izvorne vremenske serije i serije s mjerilima na mjernoj postaji Metković
- Slika 3.12 Granični uvjet s mjerilom nizvodno na ustavi ušća nizvodno (razina mora)
- Slika 3.13 Standardni hidrogrami poplava za mjernu postaju Prud
- Slika 5.1 Jednodimenzionalni (1D) modeli mreža kanala za ušće rije Neretve i rijeku Kupu
- Slika 5.2 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Brodarci
- Slika 5.4 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Karlovac
- Slika 5.4 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Reciča II
- Slika 5.5 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Brodarci
- Slika 5.6 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Karlovac
- Slika 5.7 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Reciča II
- Slika 5.8 Validacija jednodimenzionalnog (1D) modela 2005.; rijeka Kupa - Brodarci i Reciča II
- Slika 5.9 Potvrda jednodimenzionalnog (1D) modela 2005.; rijeka Kupa - Karlovac
- Slika 5.10 Bočni preljevi za rijeku Kupu u razdoblju od ožujka do travnja 2009.
- Slika 5.11 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; kanal Kupa-Kupa - Mahično
- Slika 5.12 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; kanal Kupa-Kupa – Rečica i Kupa River – Karlovac
- Slika 5.13 Drugo kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; rijeka Kupa - Brodarci
- Slika 5.14 Drugo kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; rijeka Kupa - Reciča II
- Figure 5.15 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Neretva - Opuzen i rijeka Mislina - Mislina
- Slika 5.16 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Mala Neretva - vodomjerna postaja na zapornici Opuzen nizvodno i ustava na ušću uzvodno
- Slika 5.17 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Norin - Kalebovac i Kula Norinska
- Slika 5.18 Shematski pregled postavki nasipa u Sobek softveru
- Figure 5.19 Simulirani i zabilježeni razmjer poplava za rijeku Kupu, prosinac 2010.

Slika 5.20	Izmjereni i simulirani vodostaji i protoci na vodomjernoj postaji Mahično za različita uzvišenja praga
Slika 5.21	Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Neretva - Opuzen
Slika 5.22	Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Norin - Kalebovac i Kula Norinska
Slika 5.23	Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Mala Neretva - vodomjerna postaja na zapornici Opuzen nizvodno i ustava na ušću uzvodno
Slika 6.1	Razmjer plavljenja rijeke Kupe jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja
Slika 6.2	Razmjer plavljenja u blizini Karlovca jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja
Slika 6.3	Razmjer plavljenja ušća rijeke Neretve jednom u 25, 50, 100 i 50 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja
Slika 6.4	Razmjer plavljenja ušća rijeke Neretve jednom u 100, 1000, 100 i 50 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja
Slika 6.5	Plavljenje ušća rijeke Neretve, 3. prosinca 2010.
Slika 6.6	Područje plavljenja s i bez proloma nasipa za rijeku Koranu
Slika 7.1	Karta poplava s područjima neizvjesnosti i shematskim presjekom vodotoka i pogledom iz zraka koji ukazuje na pogrešne procjene
Slika A.3.1	Vodno područje i ušće rijeke Neretve
Slika A.3.2	Vodno područje rijeke Kupe
Slika A.3.3	Poplave zabilježene u blizini Karlovca
Tablica 1.1	Aktivnosti komponente izrade modela
Tablica 3.1	Prikupljeni podaci (za izradu modela) za pilot područja
Tablica 3.2	Odabir vremenskih serija za izradu standardnih hidrograma poplava
Tablica 3.3	Kombinacije vršnih protoka na granicama modela za simulacije opasnosti od poplava za rijeku Kupu
Tablica 3.4	Vršni vodostaji i padaline na granicama modela za simulacije opasnosti od poplava za ušće rijeke Neretve
Tablica 4.1	Granice modela koje definiraju vodomjerne postaje (obvezne) i koje se koriste u svrhu kalibriranja i/ili validacije (kontrolne vodomjerne postaje)
Tablica 7.1	Izvori i tipovi nesigurnosti
Tablica A.5.1	Odstupanja i/ili uklonjeni presjeci vodotoka rijeke Kupe
Tablica A.13.1	Klasifikacija modela plavljenja
Dodatak 1.	Definicije i skraćenice
Dodatak 2.	Hrvatski stručnjaci i kratkoročni stručnjaci uključeni u razvoj modela
Dodatak 3.	Opća karakterizacija rijeke Neretve i njenog ušća te rijeke Kupe
Dodatak 4.	Hidrološke vremenske serije prikupljene na mjernim postajama ušća rijeke Neretve i rijeke Kupe
Dodatak 5.	Odstupanja i/ili uklonjeni presjeci vodotoka rijeke Kupe
Dodatak 6.	Godišnje maksimalne vrijednosti (vodostaji, protoci i padaline) za mjerne postaje na ušću rijeke Neretve i rijeci Kupi
Dodatak 7.	Rezultati analize učestalosti poplava (godišnje maksimalne vrijednosti) za pilot područja, za rijeke Kupu i Neretvu
Dodatak 8.	Krivulje učestalosti poplava za mjerne stanice na ušću rijeke Neretve i rijeci Kupi
Dodatak 9.	Konceptualni modeli za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve
Dodatak 10.	Pregled Sobek simulacija
Dodatak 11.	Izrada jednodimenzionalnih hidrodinamičkih modela riječnih ogranaka primjenom Sobek softvera
Dodatak 12.	Izrada hidrodinamičkih riječnih modela i primjena modela
Dodatak 13.	Pregled (2D) hidrodinamičkih paketa za izradu modela plavljenja
Dodatak 14.	Zamke i osjetljive točke u izradi hidrodinamičkog modela

1 Uvod

1.1 Twinning projekt 'Razvoj karata opasnosti od poplava i rizika od poplava':

Europska Direktiva o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (EU, 2007) ima za cilj smanjenje štetnih posljedica na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarske djelatnosti povezane s poplavama u Zajednici. Europska direktiva o poplavama (EFD, skraćeno od European Flood Directive) državama članicama nalaže razvoj tri vrste proizvoda:

- Preliminarna procjena poplavnih rizika: procijeniti razinu rizika od poplava u svakom vodnom području ili jedinici upravljanja i odabrati područja za koje će se izrađivati karte poplava i planovi upravljanja poplavnim rizicima.
- Izrada karata poplava koja obuhvaća izradu karata opasnosti od poplava i izradu karata rizika od poplava. Karte opasnosti od poplava trebale bi pokriti zemljopisna područja koja bi mogla biti poplavljena prema različitim scenarijima. Karte rizika od poplava pokazuju moguće štetne posljedice povezane s poplavama u okviru tih scenarija.
- Planovi upravljanja poplavnim rizicima: ukazuju na ciljeve upravljanja rizikom od poplava u dotičnim područjima i mjere kojima bi se ostvarili željeni ciljevi.

Sukladno Statusu Hrvatskih voda, Hrvatske vode je ovlašteno vladino tijelo koje je dužno poduzeti preliminarnu procjenu rizika od poplava, pripremiti karte opasnosti i rizika od poplava i pripremiti planove upravljanja poplavnim rizicima (SAFU, 2010.). Nacionalno zakonodavstvo je već usklađeno s propisima sadržanima u EU direktivama koje se odnose na vode, uključujući i Europsku Direktivu o poplavama.

Cilj Twinning projekta 'Razvoj karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava' je provedba zahtjeva Europske Direktive o poplavama u svrhu pripreme karata opasnosti i rizika od poplava na teritoriju Republike Hrvatske. U Republici Hrvatskoj su provedene preliminarnu procjene poplavnih rizika. Jedan od glavnih zadataka Twinning projekta je priprema karata opasnosti i rizika od poplava u nekoliko pilot područja. Ove će se karte pripremati i zasnovati na rezultatima hidrodinamičkih modela za potrebe simuliranja poplava.

Twining projekt je podijeljen na pet komponenti:

1. Odabir pilot područja i izrada plana i metodologije provedbe pilot projekta (komponenta odabira);
2. Razvoj, kalibriranje i validacija hidrodinamičkih modela za odabrana pilot područja (komponenta modeliranja);
3. Priprema karata opasnosti od poplava i rizika od poplava za odabrana pilot područja (komponenta izrade karata);
4. Priprema vodiča o poplavama (komponenta izrade vodiča);
5. Jačanje kapaciteta relevantnih institucija kako bi se unaprijedila provedba odredbi Direktive o poplavama (komponenta jačanja kapaciteta).

Predmetni izvještaj opisuje proces modeliranja i rezultate simulacija za pilot područja (komponenta izrade modela) i osigurava ulazne informacije potrebne za sastavljanje različitih vodiča. Vodiči bi trebali biti od značajne pomoći hrvatskim stručnjacima pri uspješnoj provedbi Europske Direktive o poplavama (u daljnjem tekstu: EFD) u Republici Hrvatskoj.

1.2 Radna metoda komponente razvoja hidrodinamičkih modela

Svrha izrade karata opasnosti i rizika od poplava je zemljopisno utvrđivanje i ilustracija pod-

ručja koja imaju različite razine rizika od poplava (Martini & Loat, 2007.). Karte poplava potrebno je izraditi na način koji će zadovoljiti potrebe i ispuniti očekivanja krajnjeg korisnika. Ovo je od iznimnog značaja u svrhu prenošenja složenih poruka o poplavama i poplavnom riziku.

Općenito govoreći, svrha izrade karata opasnosti od poplava je prikazati:

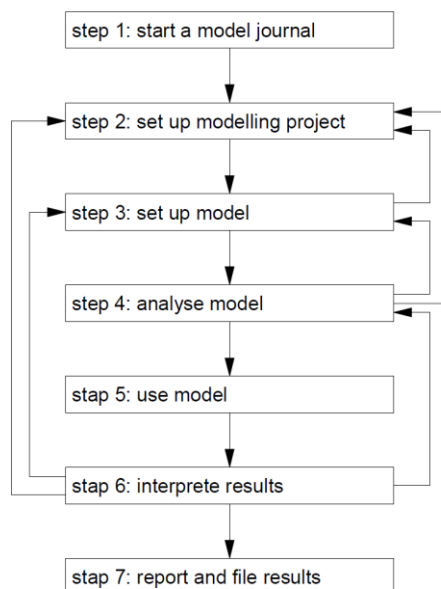
- Učestalost (vjerojatnost pojave) događaja u određenom vremenskom razdoblju;
- Razmjer, zemljopisno područje utjecaja;
- Ozbiljnost (intenzitet) na temelju podataka o razini i dubini vode; i
- Brzinu protoka i/ili smjer toka.

Karte opasnosti i rizika od poplava moguće je izraditi na nekoliko načina. Najosnovniji pristup je primjena terenskog pregleda, (lokalnog) znanja i/ili priča u svrhu izrade karte plavljenja za određeni događaj ili niz događaja. Očito, ovakve karte sadrže visok stupanj nesigurnosti, a pokrivaju samo razmjer poplava. Sofisticiraniji pristup predstavlja primjena rezultata daljinskog istraživanja. Na karti se, u ovom slučaju, ucrtava razmjer poplave za određeni događaj, ne nužno u vrijeme maksimalnog plavljenja. Ova metodologija je mnogo preciznija i u nekim slučajevima može, također, pružiti informacije o dubini poplave, ako se kombinira s digitalnim modelom terena (DTM).

Danas je uobičajena izrada karata opasnosti (i rizika) od poplava primjenom hidrodinamičkih modela. Primjena modela posjeduje neke velike prednosti u vezi detalja i točnosti, razvoja scenarija poplava i vjerojatnosti, informacija o širenju poplava i tako dalje. Temeljna načela izrade i primjene hidrodinamičkih riječnih modela opisana su u Dodatku 12.

Karte opasnosti i rizika od poplava za dva pilot područja u okviru Twinning projekta temelje se, također, na rezultatima hidrodinamičkih modela koji se prvenstveno bave riječnim poplavama.

Procedure i metode izrade modela u Twinning projektu temelje se na priručniku Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: Praksa dobrog modeliranja (STOWA/RIZA, 1999.). Ovaj međunarodno priznati priručnik potiče na pravilnu primjenu modela, sadrži kontrolni popis izrade modela i poboljšava ponovljivost i prenosivost studija o modelima. GMP razlikuje sedam različitih koraka postupka izrade modela (slika 1.1).



Slika 1.1 Sedam koraka procesa izrade modela prema priručniku Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: Praksa dobrog modeliranja

Različiti koraci za razvijanje hidrodinamičkih (poplava) modela ugrubo se odražavaju u strukturi aktivnosti komponenti modeliranja i zadataka Twinning projekta (tablica 1.1):

- Prikupljanje podataka (aktivnost 2.1);
- Izrada digitalnih modela reljefa, batimetrijska mjerenja i priprema podataka o presjecima vodotoka (aktivnosti 2.2 i 2.3)
- Prikupljanje i priprema podataka za hidrološke analize (aktivnost 2.4);
- Razvoj, kalibriranje i validacija modela (aktivnost 2.5);
- Simuliranje poplava (aktivnost 3.1-2);
- Izrada izvješća (aktivnost 2.7);

Projektne aktivnosti za komponentu izrade modela (tablica 1.1) integrirane su u različitim koracima u procesu izrade modela, što rezultiralo materijalnim isporučevinama (podaci o razmjeru poplave, dubini plavljenja, brzinama protoka i tako dalje), koje će se koristiti kao ulazni podaci za aktivnosti izrade karata opasnosti i rizika od poplava u okviru komponente izrade karata. Jedna od prvih aktivnosti u okviru komponente izrade karata sastoji se od dnevnika modela koji se postupno ispunjavaju u svrhu ubrzanja i dokumentiranja stvarnog procesa izrade karata.

Aktivnost	Benchmark
<u>Aktivnost 2.1</u> <ul style="list-style-type: none"> • Prikupljanje podataka za odabrana pilot područja • Rasprava o metodi rada i preliminarni odabir metoda matematičkog modeliranja 	Prikupljeni podaci za odabrana pilot područja
<u>Aktivnost 2.2</u> <ul style="list-style-type: none"> • Izrada digitalnih modela reljefa (DMR) • Analiza pogodnosti izrađenih DMR-a za hidrauličke analize i njihova dorada kako bi se postigla potrebna točnost u metodologiji 	Izrađeni digitalni modeli reljefa (DMR)
<u>Aktivnost 2.3</u> <ul style="list-style-type: none"> • Priprema podataka o uzdužnim i poprečnim presjecima vodotoka 	Pripremljeni podaci o uzdužnim i poprečnim presjecima vodotoka
<u>Aktivnost 2.4</u> <ul style="list-style-type: none"> • Priprema podataka za hidrološke analize • Definiranje ulaznih hidroloških podataka za kalibriranje i validaciju modela i simuliranje poplavnih scenarija 	Pripremljeni hidrološki podaci
<u>Aktivnost 2.5*</u> <ul style="list-style-type: none"> • Razvoj, kalibriranje i validacija hidrodinamičkih modela • (Simuliranje poplava*) 	Razvijeni, kalibrirani i potvrđeni hidrodinamički modeli
<u>Aktivnost 2.7*</u> <ul style="list-style-type: none"> • Izrada izvješća 	Pripremljeno izvješće

* Komponenta izrade modela izvorno je podijeljena na sedam aktivnosti. Međutim, aktivnost 2.6 'Analiza i validacija informacija o korištenju zemljišta' provedena je od strane kratkoročnih stručnjaka na projektu koji rade na komponenti izrade karata, što je i logičnije, ako se u obzir uzmu specifični ciljevi obje komponente. Simuliranje poplava, izvorno planirano unutar komponente izrade karata (aktivnost 3.1-2) provedeno od strane kratkoročnih stručnjaka na projektu koji rade na komponenti izrade modela.

Tablica 1.1 Aktivnosti komponente izrade modela

Hidrodinamičke modele pilot područja razvijaju hrvatski stručnjaci te kratkoročni stručnjaci (STE, od Short Term Experts) zemalja članica EU (vidi Dodatak 2) putem iznimno interaktivnog procesa. Međutim, dostupnost odgovarajućih (i pouzdanih) podataka od iznimnog je značenja za kakvoću i korisnost rezultata komponente izrade modela i točnost komponente izrade karata.

1.3 Pregled izvješća

Predmetno izvješće opisuje proces razvoja i rezultate simulacije hidrodinamičkih modela za

izradu karata opasnosti od poplava u dva pilot-područja, a prvenstveno se fokusira na riječne poplave. Ono, također, pruža neke (ključne) pozadinske informacije o (opasnost od poplava) izradi modela općenito.

Iskustva stečena tijekom Twinning projekta i popratne informacije hrvatski stručnjaci mogu primjenjivati za upravljanje budućim razvojem modela poplava u njihovoj zemlji i kritičko tumačenje rezultata modela.

Poglavlje 2 opisuje definiciju problema i ciljeve izrade modela poplava u odabranim pilot područjima.

Aktivnosti prikupljanja, pripreme i analize podataka za razvoj shematskih prikaza modela, kao i aktivnosti u vezi različitih simuliranja poplava opisane su u poglavlju 3.

Konceptualni modeli pilot područja prikazani su u poglavlju 4, nakon kojeg slijedi opis razvoja, kalibriranja i validacije alata za izradu hidrodinamičkih modela u poglavlju 5.

Poglavlje 6 ukratko opisuje rezultate izrade modela za kartiranje opasnosti, dok poglavlje 7 zaključuje izvješće s raspravom o rezultatima, zaključcima i preporukama.

Predmetno izvješće sadrži velik broj Dodataka, opisujući i prikazujući mnoštvo (općih) informacija. Ove informacije obuhvaćaju raspon od karakterizacije istraživanih pilot područja, tablica i grafova s rezultatima praćenja podataka i analiza, obrisa konceptualnih modela te pregleda SOBEK simulacija pa sve do općeg opisa izrade hidrodinamičkih riječnih modela, pregleda (2D) paketa za izradu hidrodinamičkih modela plavljenja i najvažnijih zamke i osjetljivih točki u procesu izrade hidrodinamičkih modela.

1.4 Odricanje od odgovornosti

Predmetno izvješće nije službeno odobreno od strane Vlade Republike Hrvatske, ali je zaseban rezultat Twinning projekta pod nazivom 'Razvoj karata opasnosti i rizika od poplava/. Iako su, kao što je i opisano u ovom izvješću, brojni stručnjaci Hrvatskih voda već bili uključeni u razvoj hidrodinamičkih modela, ovaj projekt se službeno smatra prvim pristup za izradu modela poplava za rijeke i potoke u Republici Hrvatskoj.

Osim toga, zasada nisu dostupni generički planovi izrade hidrodinamičkih modela (poplave). Svako korito i svaka pojedinačna rijeka ima vlastite specifične značajke i (podatkovna) ograničenja koji zahtijevaju otklone u odnosu na opći pristup izrade modela. Trajni naponi koji se ulažu u izradu hidrodinamičkih modela (poplava), modeliranje i analizu podataka mogli bi, na kraju, rezultirati prihvaćenim pristupima za različite vrste rijeka i poplava u Republici Hrvatskoj.

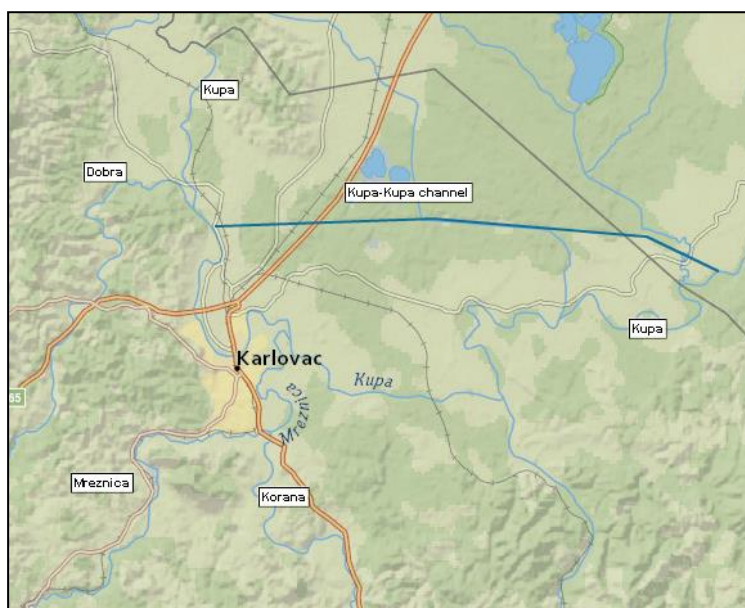
Metodologija izrade modela opisana za pilot područja u ovom izvješću je ograničena na rijeke, s naglaskom na poplave kao rezultat padalina – kiše i snijega. Bujične poplave ili poplave u prijelaznim i priobalnim vodama nisu tema ovog izvješća.

2 DEFINICIJA PROBLEMA I CILJEVI IZRADE MODELA

2.1 Definicija problema

Primjena hidrodinamičkih modela može uvelike doprinijeti boljem i bržem uvidu i razumijevanju opasnosti i rizika od poplava. Karte opasnosti od poplava i rizika pripremit će se za dva pilot područja u okviru Twinning projekta:

- Ušće (teritorij Republike Hrvatske) Rijeke Neretve u jadranskoj regiji;
- Rijeka Kupa, s posebnim naglaskom na grad Karlovac u kontinentalnoj regiji.



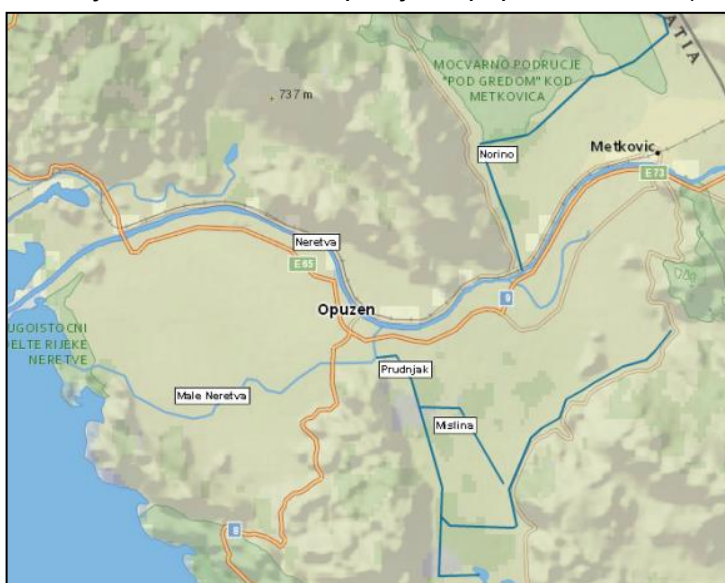
Poplave uz rijeku Kupu (slika 2.1) su vrlo česta pojava. U razdoblju od listopada 2012. i travnja 2013. godine, zabilježeno je 12 - međusobno neovisnih - visokih vodostaja. Grad Karlovac i njegova okolica su posebno skloni poplavama i popratnim štetama.

Postojeći sustav obrane od poplave u blizini Karlovac je projektiran kako bi mogao odolijevati poplavama u 100-godišnjem razdoblju, ali još uvijek nije završen. Važan element ovog sustava (kanal Kupa-Kupa) još je uvijek potrebno optimizirati (trenutno funkcionira na samo 20% maksimalnog kapaciteta).

Slika 2.1 Vodno područje rijeke Kupe

Poplave u dolini rijeke Neretve (slika 2.2) česta su i redovita pojava te, stoga, predstavljaju prijetnju poljoprivrednim zemljištima i naseljima. Preliminarna procjena poplavnih rizika (EU Direktiva o poplavama) predstavila je dva specifična poplavna područja (za 50-godišnje i 100-godišnje povratno razdoblje): (i) područje sliva rijeke Norin (jugozapadno od Metkovića) i (ii) područje sliva rijeke Prunjak (istočno-jugoistočno od Opuzena). Plavljenje u ovim područjima uglavnom je uzrokovano efektima rukavaca i otežanim isušivanjem kao rezultat međudjelovanja vršnih razina toka u rijeci Neretvi i njenim pritokama.

Opća karakterizacija rijeke i ušća rijeke Neretve te rijeke Kupe opisana je u Dodatku 3.



Slika 2.2 Ušće rijeke Neretve

2.2 Ciljevi izrade modela

Rezultati simuliranja hidrodinamičkih modela koristit će se za razvoj karata opasnosti od poplava, koje trebaju biti u skladu s propisima sadržanima unutar EFD-a. Ovaj cilj izrade modela, određuje, u velikoj mjeri, pojedinosti vezane uz relevantne pretpostavke i polazišta za odabir shematizacijske metodologije izrade modela i pripadajuće potrebe za podacima. Točno utvrđivanje pretpostavki i polazišta je od iznimne važnosti obzirom na primjenu i odabir, primjerice, npr. modeliranja i shematizacije procesa padaline-otjecanje, rubnih uvjeta, postupaka kalibriranja i validacije, stabilnosti terena, metode kopnenog toka (1D/2D) i tako dalje, kao i obzirom na potrebu za podacima i njihovu traženu točnost.

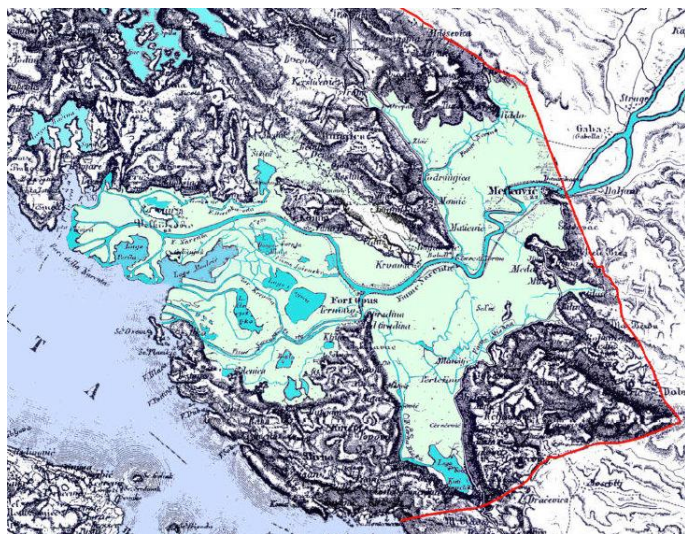
Budući da proces izrade modela u okviru Twinning projekta imao izrazito interaktivni i istraživački karakter, utvrđivanje ciljeva izrade modela i prikupljanje podataka nisu provedeni naknadno, već su predstavljali stalnu temu rasprava.

O domeni i mjerilima područja modeliranja za oba pilot područja intenzivno se raspravljalo tijekom terenskih posjeta (vidi dio 3.2). Za potrebe Twinning projekta razvijaju se modeli analize (podsliv) u svrhu pripreme karata opasnosti od poplava.

Za rijeku Neretvu, potrebno je izraditi model vodnog područja za hrvatski teritorij. Shematizacija modela je, s fizičkog aspekta, predstavljena Krškim masivom koji okružuje područje Dete (vidi sliku 2.3). Za pilot područje rijeke Kupe, postoji jasna razlika između područja modeliranja i takozvanog područja interesa. Što se potonjeg tiče, u Hornich et al. (2013), Douben & Beckers (2013) i Vincze et al. (2013) naglašena je činjenica da se blizina Karlovca smatra žarišnim područjem. Područje modeliranja predstavljeno je, u prvom redu, mjernim postajama na rijekama Kupa, Dobra, Korana i Mrežnica.

Tijekom projekta zabilježeni su prvi pokušaji razvoja dvodimenzionalnih (2D) modela kopnenog toka i izrade karata opasnosti na temelju rezultata ovog modela. Međutim, karte opasnosti od poplava moguće je razviti i na temelju rezultata jednodimenzionalnih (1D) modela. U ovom je slučaju potrebno ukazati na razmjer poplava i dubinu nametanjem rezultata jednodimenzionalnog (1D) modela toka na vrh digitalnog modela reljefa (DMR).

Točnost karata opasnosti od poplava općenito je veća, ako se karte razvijaju na temelju dvodimenzionalnih (2D) modela kopnenog toka. Korištenje rezultata jednodimenzionalnog (1D) modela zahtijeva prostornu ekstrapolaciju vodostaja, što uzrokuje pogreške u razmjeru poplava i dubinama plavljenja. Potonja metoda ne daje informacije o brzinama i smjerovima toka, kao ni o trajanjima poplava.



Slika 2.3 Ušće rijeke Neretve okruženo krškim masivom (Vranješ i suradnici, 2013.)

Na početku procesa izrade modela u okviru Twinning projekta, nije moguće jamčiti apsolutnu točnost rezultata modela. Stoga, iznimno je teško procijeniti uspjeh razvoja 2D modela, uzimajući u obzir relativnu ograničenu bazu znanja stručnjaka zemalja korisnica i vremenska ograničenja unutar projekta.

Veličina ćelije (polja) mreže digitalnog modela reljefa (DMR) koja se primjenjuje za izradu 1D2D modela kopnenog toka smanjena je kako bi se optimizirala razina detalja na kartama opasnosti od poplava. Međutim, sa stajališta vremenske učinkovitosti, minimalne veličine rasterskih polja ne

bi smjele biti manje od 25 m.

Raspravljalo se o ciljevima aktivnosti unutar komponente izrade modela sa specifičnim zahtjevima po pitanju izrade karata poplava u sklopu Twinning projekta. U okviru zadatka 7 (aktivnost 2.4 (Douben & Beckers, 2013) i 3.1-1 (Vincze et al., 2013)) zaključeno je da bi rezultati dvodimenzionalnog (2D) modela trebali ispunjavati zahtjeve komponente izrade karata u pilot područjima, i to minimalno:

- Razmjer poplave (područje);
- Dubina poplave (m); i, po mogućnosti,
- Maksimalne brzine protoka (m/s).

Ako je to moguće, izlazni rezultati modela trebali bi, također, olakšati prikupljanje i/ili izračun podataka koji se odnose na visinu plavljenja, smjer protoka i trajanje poplave.

U okviru zadatka 7, dogovorena je simulacija poplava u povratnim razdobljima 1:25, 50, 100 i 1000. Ukoliko to vrijeme dozvoli, provest će se simulacije scenarija za dodatne prolome nasipa i različitih pravila rada za hidrauličke strukture kako bi se dobio uvid u potencijalne rizike od plavljenja u zaštićenim područjima te kako bi se obogatilo znanje o sustavu voda tijekom velikih voda i poplava.

Sa stručnjacima zemalja korisnica projekta postignut je dogovor o primjeni hidrodinamičkog programskog alata Sobek (Deltares, 2013.) za simuliranje poplava u pilot područjima.

3 PRIKUPLJANJE I ANALIZA PODATAKA

3.1 Zahtjevi za podacima kod izrade karata opasnosti od poplava

Dostupnost podataka u velikoj mjeri određuje odabir metodologije izrade modela opasnosti od poplava. Dostupnost podataka, također, utvrđuje parametre poplave koje je potrebno uključiti u model kako bi se pripremile specifične karte opasnosti od poplava.

Minimalni zahtjevi koji se odnose na osnovne parametre modela poplave, poput razmjera i dubine, uključuju (Martini & Loat, 2007.):

- Topografske podatke, koji opisuju topografiju istraživanog područja;
- Pokrivenost zemljišta (korištenje zemljišta) kako bi se za poplavljena područja izračunali koeficijenti hrapavosti;
- Povijesno – hidrološke podatke koji će se primjenjivati kao ulazni podaci za model i u svrhu kalibriranja i validacije modela poplave.

Topografski podaci

Topografski podaci su neophodni za opis rijeke i područja koje ju okružuje (vegetacije). Digitalni modeli reljefa (DMR) su izvori podataka koji se najčešće primjenjuju, kada su u pitanju topografski podaci. Martini & Loat (2007.) preporučaju vertikalnu razlučivost od 0,5 m i horizontalnu razlučivost 10*10 m (možda čak i 5*5 m) kao minimalne zahtjeve za digitalni model reljefa/elevacije (DMR). Kada se za izradu digitalnog modela terena/elevacija primjenjuju izolije, izolije bi trebale barem biti na minimalnoj vertikalnoj udaljenosti od 1 m.

Digitalni modeli terena/elevacija niske razlučivosti (> 10 m) nedovoljni su za izradu hidrauličkih modela riječnih kanala, jer ne mogu prikazati oštre topografske promjene terena. Međutim, ove je razlučivosti moguće koristiti za izradu modela poplavnih područja.

Ne postoji standardizirana primjena pojmova DEM i DTM u znanstvenoj literaturi. U većini slučajeva, pojam DEM predstavlja površinu zemljine i obuhvaća sve predmete na njoj. Za razliku od DEM-a, DTM predstavlja površinu gole zemlje bez ikakvih objekata poput stabala i zgrada.

Podaci o pokrivenosti/korištenju zemljišta

Podaci o korištenju zemljišta odnose se na ljudske aktivnosti (npr. poljoprivredu, pašnjake, održavanje i tako dalje) povezane s određenom zemljišnom jedinicom. Pokrivenost zemljišta odnosi se na sve prirodne značajke (npr. vegetaciju (prirodnu ili posađenu), vodu, led, stijene i tako dalje) i značajke izrađene ljudskom rukom (npr. zgrade, ceste) na površini zemlje. Podaci o pokrivenosti zemljišta nužni su za dodjelu koeficijenata hidraulične hrapavosti različitim područjima (dvodimenzionalna (2D) mreža) i parcelama (jednodimenzionalna (1D) mreža kanala) u okviru hidrauličkog modela.

Povijesni podaci

Povijesni podaci se sastoje od hidroloških podataka i vremenskih serija (vodostaji, protoci i brzine protoka) koji se koriste kao ulazni podaci za model i u svrhu kalibriranja i validacije modela plavljenja. Osim toga, datirane karte poplava, oznake poplava, fotografije, slike i crteži, novinski članci s fotografijama, povijesni izvještaji ili knjige o poplavama, te snimke iz zraka i satelitske fotografije mogu pružati korisne dodatne informacije za razvoj modela.

Hrvatske vode (HV) i Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske (DHMZ) su najvažnije vladine organizacije odgovorne za praćenje, bilježenje, procjenu i distribuciju informacija o vodnim resursima u Republici Hrvatskoj. Ovo uključuje hidrološke (vodostaje, protoke), meteorološke (padaline) podatke, podatke o kakvoći vode, podzemnim vodama te licence za korište-

nje vode, kao i ostale informacije i podatke o korištenju vode.

3.2 Prikupljanje podataka za odabrana pilot područja

Podaci su prikupljeni za dva pilot područja u svrhu razvoja hidrodinamičkih modela za pripremu karata opasnosti od poplava. Podatke je prikupljalo osoblje Hrvatskih voda iz ureda u Splitu i Karlovcu te iz središnjice i Zagrebu.

Područja ušća rijeke Neretve (slika 3.1) i rijeke Kupe (Karlovac; slika 3.2) posjećena su tijekom terenskog putovanja u travnju 2013. (vidi Douben, 2013. za detaljan opis). Tijekom ovog terenskog posjeta, raspravljalo se o točnosti podataka, utvrđeni su lokalni problemi s poplavama i problemi su identificirani u više detalja te se raspravljalo o potencijalnim mjerama ublažavanja i rješavanja problema, kao i specifičnim ciljevima izrade modela i polazišnim točkama. U raspravama su sudjelovali stručnjaci zemalja korisnica projekta, lokalni stručnjaci i kratkoročni stručnjaci na projektu.



Slika 3.1 Ušće rijeke Neretve (pogled iz Pižinovca)

Općenito govoreći, podaci koje je potrebno prikupiti prvenstveno ovise o ciljevima izrade modela i zahtjevima odabranog instrumenta za izradu hidrodinamičkih modela po pitanju podataka. Međutim, ovi ciljevi prikupljanja podataka nisu bili u potpunosti jasni na početku Twinning projekta, kao ni je prije početka aktivnosti prikupljanja podataka (zadatak 3; Douben, 2013.). Stoga, odlučeno je da se prikupi što je moguće više podataka. Osim toga, trebalo je prikupiti podatke na temelju kojih bi se potvrdili i pripremili DMR-ovi (digitalni modeli reljefa; vidi također dio 3.2).

Tablica 3.1 pruža pregled podataka (za izradu modela) prikupljenih za oba pilot područja. Sljedeći izvori podataka nisu bili dostupni:

- Rezultati daljinskog istraživanja i/ili snimke poplava iz zraka;
- Postojeće i planirane regulacijske sheme hidrauličkih struktura i početni parametri;
- Geološka karta;
- Pregled prošlih, postojećih i planiranih aktivnosti jaružanja;
- Podaci o ishlapljivanju.

Značajke prikupljenih hidroloških vremenskih serija za mjerne postaje u pilot područjima zor-

no su prikazane u Dodatku 4.

Tablica s pregledom podataka (čija je proširena inačica uključena u Douben, 2013.) je alat za učinkovito prikupljanje koji omogućava dobiti uvid u točnost integriranih podataka. Dodjela prioriteta u prikupljanju podataka daje pregled potrebne vrste podataka je i kada su ti podaci potrebni, koje područje i vremenska razdoblja bi trebali pokrivati, ime izvora podataka, gdje su pohranjeni i tako dalje. (vidi i Vodič o tehničkim aspektima izrade karata opasnosti od poplava). Ovo pomaže kako bi se istakla vrsta podataka koja je točno potrebna, a time se smanjuje broj ponavljanja potrebnih za prikupljanje podataka.

Tema	Razlučivost	Mjerilo	Koordinatni sustav	Podatkovni format (raster, vektor, doc, xls, model)	Vrsta podataka (poligon, točka, linija, RASTER, CSV)	Atributi	Zemljopisna pokrivenost
Topografske karte	izolinije svakih 5 m (1:5,000) i 10 m (1:25,000)	1:5,000, 1:10,000, 1:25,000, 1:50,000	HTRS96	raster	različite vrste podataka	visine terena, reljef, objekti, tokovi vode, vegetacija	pilot područja
Karte elevacije (DMR)	25-250 m	1:25,000	HTRS96	vektor	točke	visina	pilot područja
Razine podzemne vode/stolne karte	1:25,000	-	-	-	-	-	-
Karte pokrivenosti i korištenja zemljišta	1:25,000	1:100,000	HTRS96	vektor	poligon	ID, CLC (Corine baza podataka) kod, CLC (Corine baza podataka) razred, FRR_CL	Hrvatska
Karte poplava kroz povijest	-	1:25,000	HTRS96	vektor	poligon	datum, trajanje, izvor, razmjer poplave, uzrok	Hrvatska
Hidrauličke strukture	-	1:25,000	HTRS96	vektor	točka	ime, dimenzije, tip	pilot područja
Tlo/podloga	1:300.000	-	-	-	-	-	Hrvatska
Željezničke pruge	-	1:25,000	HTRS96	vektor	linija	visina	pilot područja
Ceste	-	1:25,000	HTRS96	vektor	linija	visina	pilot područja
Administrativne granice	-	1:25,000	HTRS96	vektor	poligon	N/A	Hrvatska
Granice pilot područja	-	1:25,000	HTRS96	vektor	poligon	N/A	pilot područja
Linije prekida (brane, nasipi, ustave, mostovi i tako dalje)	-	1:25,000	HTRS96	vektor	linija	visina	pilot područja
Batimetrijska mjerenja i presjeci vodotoka	-	1:25,000	HTRS96	vektor	točka, linija, CSV	dubina, visina	pilot područja
Hidrološka mreža	-	1:25,000	HTRS96	vektor	linija	Nazivi vodenih tokova	Hrvatska
Porječje	-	-	-	vektor	poligon	nazivi porječja	Hrvatska
Nadzorne postaje (točke geografske)	-	1:25,000	HTRS96	vektor, xls	točke	ID, datum, čet-	mjerne postaje

kog informacijskog sustava + vodostaj, tok i protok)						ka/završetka, parametri, učestalost praćenja	
Preliminarne procjene poplavnog rizika	-	-	-	doc	-	-	vodno područje
Studije i procjene poplava	-	-	-	doc	-	-	vodno područje
Hidrološke i meteorološke analize	-	-	-	doc	-	-	vodno područje/mjerne postaje
Skupine hidroloških podataka (vidi i Dodatak 4)	-	-	-	vremenske serije na satnoj/dnevnoj osnovi	CSV	vodostaj, protok, brzina, padalina	mjerne postaje

Tablica 3.1 Prikupljeni podaci (za izradu modela) za pilot područja (*crveno*: Ušće rijeke Neretve, *plavo*: Rijeka Kupa)

Prikupljeni zemljopisni podaci, relevantni za izradu modela, ocjenjuju se i vrednuju na sljedeći način (Douben, 2013.):

- **Koordinatni sustav:** u uporabi su dva stara sustava (zona 5 i 6, od kojih svaka pokriva dio Hrvatske), jedan noviji sustav koji obuhvaća i dva navedena i najnoviji (Hrvatski terestrički referentni sustav na temelju Europskog terestričkog referentnog sustava). ArcMap ispravlja projekcije i transformacije između dva novija sustava tijekom rada. Za primjenu starijih sustava potrebne su i druge transformacije.
- **Presjeci vodotoka:** presjeci vodotoka su dostupni za Kupa pilot područje rijeke Kupe i uključeni su u raster digitalnog modela reljefa. Presjeci vodotoka su dostupni i za pilot područje rijeke Neretve, ali kao grafovi unutar Autocad datoteka. Naknadno su prikupljene dodatne datoteke koje sadrže xyz točke.
- **Uzdužni presjeci:** dostupni su u dxf-formatu; prikupljaju se xyz točke.
- **Podaci o uzvišenjima:** shape file-ovi s 3D točkama i 3D linijama prekida dostupni su za oba pilot područja. Osim toga, podaci o uzvišenjima su uključeni u podatke o presjecima vodotoka.
- **Brane:** dostupni su vektorski podaci (polilinije), ali s vrlo malo opisnih informacija. Nisu uključeni podaci o visini, stanju i datumima radova na održavanju.
- **Topografija:** topografska karta je dostupna u obliku rastera.

Prostorna pokrivenost hidroloških mjernih postaja i trajanje (većine) vremenskih serija dostupni su u oba pilot područja (Prilog 4). Nažalost, nema dostupnih mjerenja protoka za rijeku Neretvu. Ovo je moguće objasniti relativno velikim prodorom plimnog poplavnog vala koji se proteže sve do Metkovića, čak i za vrijeme prosječnih uvjeta tečenja.



Slika 3.2 Rijeka Kupa u Karlovcu

Tijekom terenskom posjeta intenzivno se raspravljalo o odnosima između ciljeva (izrada modela i izrade karata), potrebi za podacima i dostupnosti istih. Analiza ovih odnosa utječe na poboljšanje znanja i jačanje svjesnosti u vezi s poveznicama između točnosti podataka i izlaznih podataka modela, a sve to doprinosi finom podešavanju procesa izrade modela.

3.3 Izrada digitalnih modela reljefa, batimetrijska mjerenja i priprema podataka o presjecima vodotoka

Izrada digitalnog modela reljefa (DMR), batimetrijski podaci i presjeci vodotoka ovise, između ostalog, o ciljevima izrade modela (razina detalja), alatu za izradu modela i korištenoj metodologiji (softver), kao i pristupu izradi modela poplava (1D2D model kopnenog toka).

Digitalni modeli reljefa (DMR) moraju imati određenu razlučivost koja je, također, povezana sa zahtjevima koji se odnose na povezivanje jednodimenzionalnih (1D) modela riječnog i 1D2D modela kopnenog toka. Preporuča se da je veličina 2D mreže, to jest, razlučivost digitalnog modela reljefa (DMR) jednaka maksimalnoj širini presjeka vodotoka jednodimenzionalnog (1D) kanala.

Digitalni modeli reljefa

Dostupnost prikladnih podataka digitalnog modela reljefa preduvjet je za razvoj pouzdanih hidrodinamičkih modela koji se primjenjuju u svrhu izrade karata opasnosti od poplava. U ovom je slučaju važno raspraviti i procijeniti mjerilo, točnost i razlučivost dostupnih podataka o uzvišenjima i usporediti ova obilježja sa zahtjevima prema definiciji ciljeva izrade modela.

Kako bi se pripremili digitalni modeli reljefa (DMR) potrebni u svrhu modeliranja plavljenja u poplavnim područjima, potrebno je imati uvid u dostupnost podataka o rijeci (presjeci vodotoka i hidrauličke strukture, podaci o branama, nasipima, ustavama, cestama, željeznicama,

karakteristike poplavnog područja i druge prepreke) i njihovu točnost (vidi tablicu 3.1).

Proces pripreme digitalnih modela reljefa za ušće rijeke Neretve i rijeku Kupu detaljno je opisano u Douben et al. (2013a & b). U osnovi, razvoj digitalnih modela reljefa s ArcGIS-om ostvaruje se uz pomoć nekoliko uzastopnih koraka:

- Analizirati dostupne (digitalni model reljefa/uzvišenja i topografske) podatke u svrhu provjere prostornog rasporeda visinskih točaka i linija prekida;
- Kreirati Triangulirana nepravilna mreža (TIN) i konvertirati je u rasterski digitalni model reljefa (DMR) za poplavno područje;
- Potražiti rješenja za podatke koji nedostaju, poput ustava, nasipa, presjeka vodotoka i tako dalje.

Rijeka Kupa

U slučaju pilot područja rijeke Kupe, početni digitalni model reljefa (DMR) je razvijen pomoću točkastih podataka i linija prekida. Međutim, točkasti podaci nisu ravnomjerno raspoređeni preko čitavog pilot područja. Izgleda da su različite skupine 3D točaka iz različitih studija s različitom referencom nepravilno kombinirane u jednu datoteku. Zbog manjka meta-podataka, nije bilo moguće utvrditi točan uzrok navedenoga te je problem ostao neriješen.

Stoga, u svrhu izrade digitalnih modela reljefa koristile su se samo linije prekida. Usporedba linija prekida, presjeka vodotoka i referentnih točki na topografskoj karti ukazala je na velike razlike. Zbog razlika u broju izvora podataka i manja meta-podataka nije bilo moguće provesti analizu odstupanja. Budući da se smatra da se presjeci vodotoka mjere na najprecizniji način, isti su se i koristili u svrhu izrade novog digitalnog modela reljefa (DMR). Ovaj digitalni model reljefa (DMR) koji pokriva gotovo čitavi razmjer poplave iz 2013., izrađen je iz mreže od 25 m do 100 m, na temelju pronađene maksimalne vrijednosti i činio se dostatnim u svrhu izrade modela.

Ipak, korištenje presjeka vodotoka u svrhu izrade digitalnih modela reljefa (DMR) je problematično. Prostorna točnost digitalnih modela reljefa (DMR) značajno se razlikuje između pojedinih presjeka vodotoka, budući da u ovim područjima nema dostupnih mjerenja.

Ušće rijeke Neretve

Izgleda da je i pilot područje rijeke Neretve prostorna podjela točki uzvišenja ukazivala na pogreške. Područja s greškama označena su poligonima. Razvijeni su i analizirani brojni digitalni modeli reljefa (DMR), primjenom točaka i linija prekida. Razmjer poplave iz 2010. (temeljen na opažanjima i stručnom znanju) ugrubo je odgovarao digitalnom modelu reljefa (DMR). Daljnja provjera kvalitete napravljena je u suradnji sa stručnjacima iz zemalja korisnika projekta. Poznate ceste s uzvišenjima, brane, željeznice i relevantne (hidrauličke) strukture uspoređene su s digitalnim modelom reljefa (DMR). Kvaliteta digitalnog modela reljefa (DMR) smatrala se dostatnom za svrhe izrade modela unutar Twinnig projekta.

Digitalni model reljefa prikazan je u rasteru od 25 m do 100 m. Mreža maksimalne vrijednosti pokazuje glavne strukture u digitalnom modelu reljefa (DMR).

Batimetrijski podaci i presjeci vodotoka

Batimetrijski podaci i presjeci vodotoka neophodni su za shematizaciju jednodimenzionalnih (1D) modela kanala u hidrodinamičke modele. Dostupne podatke potrebno je procijeniti s aspekta prostorne razlučivosti i točnosti. U okviru ove procjene, u obzir je potrebno uzeti broj i oblik hidrauličkih struktura unutar riječnog kanala. Potrebno je procijeniti veze između digitalnog modela reljefa (DMR) i podataka o presjecima vodotoka kako bi se unutar hidrodinamičkog modela povezali jednodimenzionalni (1D) moduli toka kanala s 1D2D modulima kopnenog toka.

Proces pripreme presjeka vodotoka za oba pilot područja detaljno je opisan u Douben et al. (2013a & b).

Rijeka Kupa

I za rijeku Kupu je provedena analiza presjeka vodotoka razvojem longitudinalnih profila s

najdublji i najvišim točkama uzvišenja na lijevoj i desnoj obali rijeke. Provedena je analiza batimetrijskih podataka po pitanju pritoka, hidrauličkih struktura i kanala Kupa-Kupa. Uklo-njena su i/ili zabilježena odstupanja kao rezultat pogreški istraživanja i pogrešnih prostornih tumačenja (vidi Dodatak 5).

Uređena je struktura tablice s obilježjima te su ponovno izračunate x i y vrijednosti kako bi bile u skladu s novim koordinatnim sustavom. Niske točke su povezane kako bi kreirale liniju sljedeće najniže točke (thalweg) (uzdužni presjek kroz sve najniže točke u presjecima vodotoka).

Podaci o presjecima vodotoka za rijeku Koranu su izvedeni iz modela 2 Hidrološkog inženjerskog centra (HEC, od Hydrologic Engineering Centre) za rijeku Kupu (VPB, 2004.). Podaci nemaju zemljopisne reference, ali pružaju dobar uvid u presjeke vodotoka i nagib rijeke. Podaci o presjecima vodotoka za rijeke Dobru i Mrežnicu izvedeni su iz studije za izradu modela poplave za grad Karlovac (VPB, 2004.). Ostali mali tokovi su shematizirani kao sporedni utoci i/ili izljevi te, stoga ne spadaju u jednodimenzionalnu (1D) mrežu.

Ušće rijeke Neretve

Različiti tipovi podataka o presjeku vodotoka su dostupni za rijeku Neretvu. DWG datoteke s uzvišenjima, početak i kraj presjeka vodotoka uzduž čitavog toka rijeke Neretve te slične datoteke s uzvišenjima nasipa duž oštećenog dijela (erozija obale) rijeke Neretve. Ovi su podaci dostavljeni u tekstualnim datotekama, a potom su konvertirani, prebačeni i obrađeni sa zemljopisnog aspekta za primjenu u ArcGIS-u. Osim toga, identifikacijske oznake presjeka vodotoka unesene su ručno.

Presjeci vodotoka su analizirani razvojem uzdužnih profila na temelju najdublji točki u glavnom kanalu i najviših točki uzvišenja na (lijevoj i desnoj) obali rijeke. Nekoliko presjeka vodotoka je izbrisano zbog neobjašnjivih odstupanja i razlika između uzvodnih i nizvodnih presjeka vodotoka. Za presjeke vodotoka izračunate su nove x i y koordinate, budući da su se postojeće (koordinate) temeljile na starom koordinatnom sustavu.

Nakon svih pripremnih radova, i dalje je postojala nedosljednost između digitalnog modela reljefa (DMR) i presjeka vodotoka. (Prosječna) razlika između podataka o presjecima vodotoka i (5 - 250 m) mreže manja je od 0,5 m. Unutar Twinning projekta se sugerira na primjenu ovih podataka za razvoj modela i naknadnu provjeru istih (tijekom kalibriranja i validacije), ako ove nedosljednosti uzrokuju probleme.

Presjeci vodotoka pritoke Norin razvijeni su primjenom topografske karte u svrhu procjene širine kanala. Podaci mjernih postaja pritoke Norin koristili su se u svrhu procjene prosječnog vodostaja koji se, u kombinaciji s pretpostavljenom dubinom vode od 2 m koristi za utvrđivanje razine korita. Jednostavan trapez profil s nagibom 1:1,5 predstavlja presjeke vodotoka ove pritoke. Dimenzije presjeka vodotoka za druge pritoke procijenjene su na temelju topografskih karata i digitalnih ortofotokarata (DOF, od Digital Orthophoto) u mjerilu 1:5,000 koje je omogućila Državna geodetska uprava (DGU).

Presjeci vodotoka za južni dio modela (blizu rijeke Mala Neretva) izrađeni su primjenom istog postupka kao i za pritoku Norin. Provedena je shematizacija južnog dijela rijeke mala Neretva provedbom mjerenja presjeka vodotoka. Koristili su se originalni crteži u svrhu shematizacije brane na ušću rijeke Mala Neretva (modelirane kao čvor na ušću).

3.4 Hidrološke analize

Prikupljanje i priprema podataka za provedbu hidroloških analiza fokusira se na odabiru hidroloških ulaznih podataka za razvoj hidrodinamičkih modela (kalibriranje i validaciju), procjenu vjerojatnosti poplava i pripremu graničnih uvjeta za simuliranje poplava i scenarije poplava.

Korištene dugoročne hidrološke vremenske serije uključuju podatke o protocima, vodostajima i padalinama na različitim lokacijama. Potrebno je provesti analizu vremenskih serija u odabranim pilot područjima u svrhu:

- Provođenja analize riječnog sustava u svrhu boljeg razumijevanja ponašanja sustava tijekom vršnih protoka;
- Provođenja statističke analize vremenskih serija;
- Odabira podnizova u svrhu kalibriranja i validacije modela. Ovi nizovi, u prvom redu, uključuju, kako vršne protoke, tako i razdoblja osnovnog protoka.
- Definiranja hidrograma za različite granične uvjete i scenarije.

U okviru Twinning projekta primijenjen je fazni pristup za analizu hidroloških i hidrauličkih podataka:

1. Analiza učestalosti poplava na temelju jedne promjenjive varijable. Poželjno je da ova varijabla bude protok ili količina padalina na određenoj mjernoj postaji koja je od značenja za ovaj projekt. Ukoliko nisu dostupne vremenske serije protoka, mogu se koristiti vremenske serije vodostaja.
2. Procjena krivulje stanja za presjeke vodotoka. U nekim je slučajevima vremenske serije protoka moguće izvesti na temelju vremenskih serija vodostaja i krivulje stanja. Ovo bi mogao biti slučaj za uzvodnu granicu modela rijeke Neretve (postaja Metković). Osim toga, procjenu krivulja stanja za presjeke vodotoka moguće je koristiti i za provjeru i validaciju izmjerenih krivulja stanja u vodnom području sliva rijeke Kupe.
3. Analiza učestalosti poplava za višestruke promjenjive varijable. Ovo je potrebno u slučaju, kada su protoci i vodostaji na određenim lokacijama najvjerojatnije rezultat interakcije uzvodnih i nizvodnih graničnih uvjeta (npr. za vodomjernu postaju Metković i more u ušću Neretve) ili kada se rijeke slijevaju jedna u drugu, kao što je to slučaj u vodnom području sliva rijeke Kupe.
4. Utvrđivanje oblika standardnog poplavnog vala koji se koristi kao ulazna varijabla za granice modela;
5. Odabir vremenskih serija za kalibriranje i validaciju hidrodinamičkih modela.

Na temelju graničnih uvjeta i postaja konceptualnih modela za oba pilot područja (vidi poglavlje 4), prikupljeni su vremenske serije za vodostaje (H), protoke (Q) i padaline (P) na različitim mjernim postajama. U Dodatku 4 zorno su prikazane vremenske serije koje se primjenjuju za daljnju analizu.

Dodatak za Excel (HydroTools sa Sveučilišta Dartmouth; <http://www.dartmouth.edu/~renshaw/hydrotoolbox/>) korišten je u svrhu provođenja analize učestalosti poplava i izvođenja krivulja stanja.

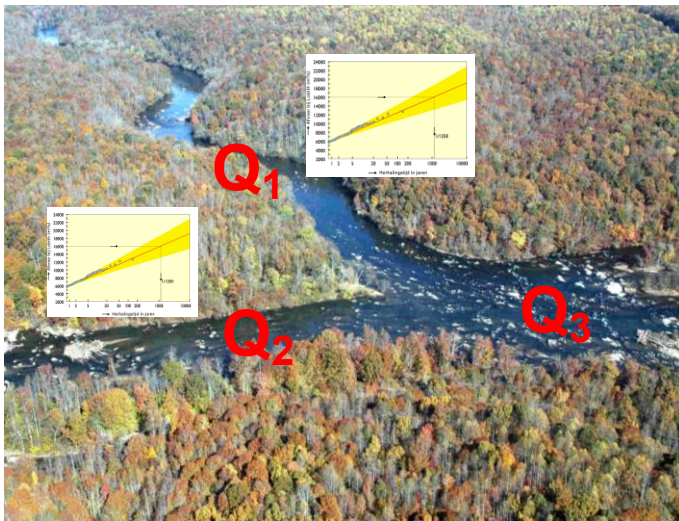
3.4.1 Analiza učestalosti poplava

Hidrološke analize se fokusiraju na prikupljanje podataka o vršnim protocima s povratnim razdobljem od jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina za svako pojedinačno pilot područje. Ove je analize potrebno provesti za vremenske serije protoka i padalina. Ukoliko vremenske serije protoka nisu dostupne, u analizu će biti uključene vremenske serije vodostaja. Ovo je, međutim, veliki nedostatak, jer se obilježja vodostaja mogu mijenjati tijekom vremena kao rezultat antropogene izgradnje i/ili regulacijskih aktivnosti. Stoga se vremenskim serijama protoka daje prednost za izvođenje točnih (planskih) povratnih razdoblja i pratećih protoka.

Pristup s ekstremnim vrijednostima vremenskih serija koristi se kao metoda hidrološke analize u okviru ovog projekta. Ne preporuča se primjena stohastičkih pristupa ili složenih hidrograma zbog dostupnosti podataka, baze znanja stručnjaka iz zemalja korisnica projekta i vremenskih ograničenja za provedbe analiza. Analize ekstremnih vrijednosti se temelji na godišnjim maksimalnim vrijednostima sa Gumbel, Weibull i Log Pearson distribucijama vjerojatnosti.

Serije godišnjih maksimalnih vrijednosti za različite mjerne postaje prikazane su u Dodatku 6.

Rijeka Kupa



Analiza učestalosti poplava za vodomjerne postaje u Delti Neretve relativno je jednostavna. Sustav rijeke Kupe je složeniji, s nekoliko pritoka koji se ulijevaju u rijeku Kupu u području grada Karlovca. Stoga je potrebno provesti analize učestalosti poplava kako bi se izvela točna kombinacija protoka pritoka koja će predstavljati događaj unutar zadanog povratnog razdoblja (npr. 100-godišnje povratno razdoblje). Ako su protoci obiju pritoka Q_1 i Q_2 (svidi sliku 3.3) nezavisni, vjerojatnost Q_1 (npr. $T=100$) i Q_2 (npr. $T=100$) u kombinaciji (= Q_3) teoretski je jednaka $0.01 \cdot 0.01 = 0.0001$.

Međutim, u stvarnosti je vjerojatnost Q_3 određenom mnoštvom kombinacija Q_1 i Q_2 .

Unutar Twinning projekta polazi se od pretpostavke da pri slivu dolazi do prigušenja ili odgode poplavnog vala te da je analizu učestalosti poplave za Q_3 moguće provesti Q_1 i Q_2 . Ovu je pretpostavku potrebno validacijiti izračunom i analizom bilance vode između uzvodnih i nizvodnih vodomjernih postaja.

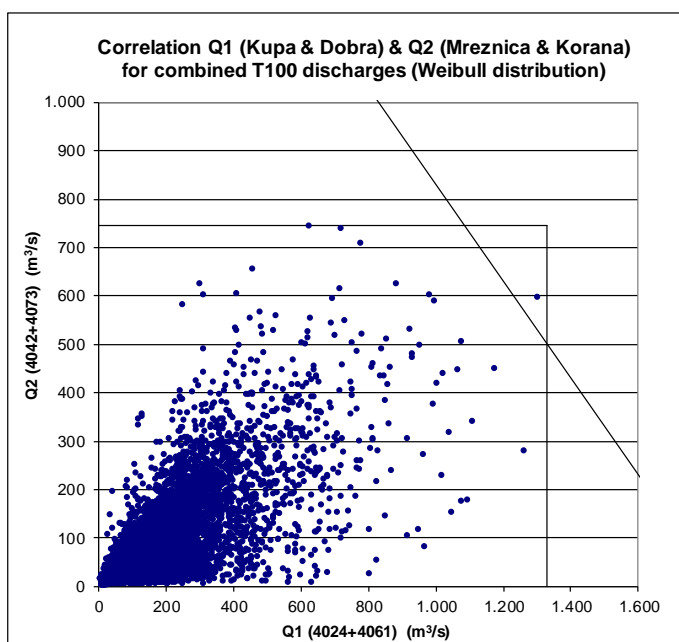
Poplavni val na nizvodnoj mjernoj postaji rijeke Kupe - Jamnička Kiselica (4107) - može biti rezultat dvije različite situacije (vidi također konceptualni model u Dodatku 9):

1. Velike vode rijeka Kupe (Kamanje 4024) i Dobre (Donje stative 4061), u kombinaciji s nižim tokom rijeka Mrežnice (Mrzlo Polje 4042) i Korane (Velemerić 4073); ili
2. Velike vode rijeka Mrežnice i Korane, u kombinaciji s nižim tokom rijeka Kupe i Dobre.

Gore navedene kombinacije su se koristile u svrhu provođenja analiza učestalosti poplava s *Slika 3.3 Sliv rijeka, statistika s višestrukim promjenjivim varijablama* višestrukim promjenjivim varijablama. Korelacijski odnos obiju kombinacija za 100-godišnje protoke zorno je prikazan na slici 3.4. U načelu, poplava sa 100-godišnjim povratnim razdobljem određuje se na temelju dvije simulacije:

1. Q_1 (4024 + 4061) = 1.328 m³/s u kombinaciji sa Q_2 (4042 + 4073) = 504 m³/s;

2. Q_2 (4042 + 4073) = 747 m³/s u kombinaciji sa Q_1 (4024 + 4061) = 1.085 m³/s.



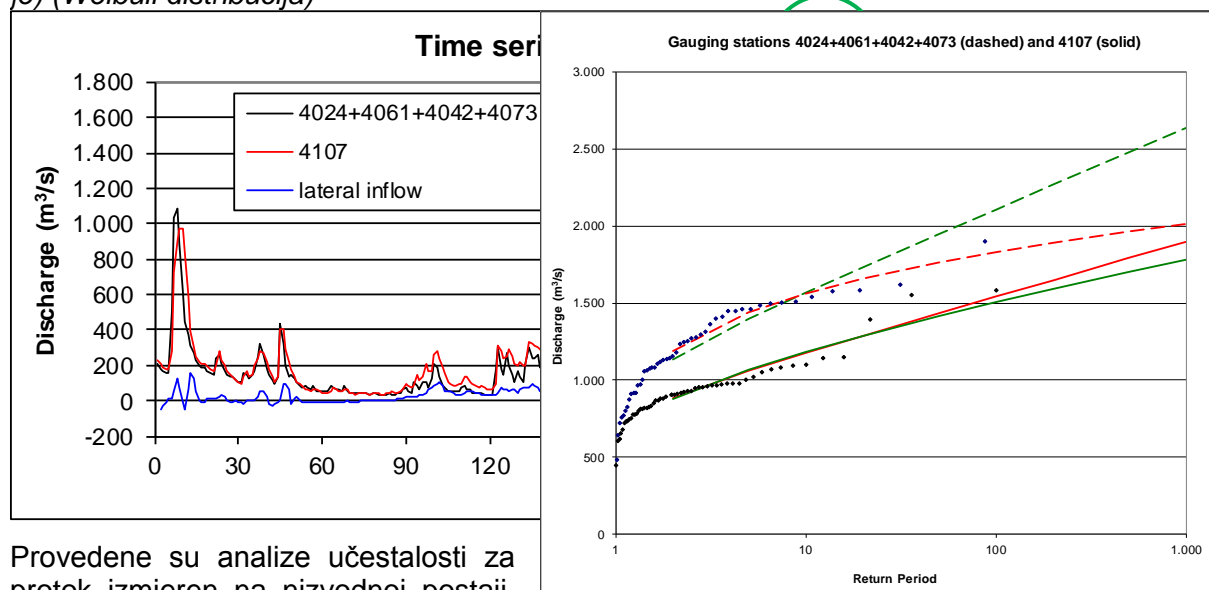
Analize učestalosti s višestrukim promjenjivim varijablama potrebno je provjeriti s bilancama vode. Stoga je protok na nizvodnoj postaji rijeke Kupe (jamnička Kiselica 4107) uspoređen sa zbrojem protoka na četiri uzvodne postaje (Kamanje 4024, Donje stative 4061, Mrzlo Polje 4042 i Velemerić 4073). Slika 3.5 prikazuje vremenske serije za ovu postaju unutar jedne hidrološke godine (2005.). Zbroj protoka četiri uzvodne postaje prikazan je crnom linijom. Kao što je i očekivano, može se primijetiti da su vršne vrijednosti protoka nizvodne vodomjerne postaje (crvena linija) u

svojevrsnom zaostatku, u usporedbi sa zbrojem uzvodnih vodomjernih postaja (crna linija). Plava linija predstavlja razliku između crnih i crvenih vremenskih serija. Ova razlika u prosjeku iznosi $23 \text{ m}^3/\text{s}$, što se pripisuje dodatnom neto utoku manjih pritoka (npr. rijeke Kupčine). Tijekom najvećih protoka, neto utok iznosi $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Ovaj bi utok trebalo modelirati u Sobek-u, npr. na temelju konstantnog bočnog utoka.

Slika također pokazuje da je većina vršnih vrijednosti na nizvodnoj postaji niža od zbroja vršnih vrijednosti za uzvodne postaje. Ovo je moguće objasniti slabljenjem vala i privremenim skladištenjem vode u poplavnim područjima. Tijekom najvećih vršnih vrijednosti (zaokruženo), plava vremenska serija poprima negativan predznak koji poslije prelazi u pozitivni predznak. Ovo znači da na početku imamo neto odljev iz glavnog kanala (plavljenje poplavnih područja), a nakon toga povećani utok u glavnom kanalu (isušivanje poplavnih područja). Ovo očito utječe na visinu vršnih vrijednosti, što je također moguće promatrati na krivuljama učestalosti poplava.

Slika 3.5 Vremenske serije (2005.) za mjerne postaje na rijeci Kupi – Jamnička kiselica (4107), Kamanje (4024), Donje stative (4061), Mrzlo Polje (4042) i Velemerić (4073)

Slika 3.4 Korelacijski odnos između zbrojenih 100-godišnjih protoka rijeka Kupe i Dobre (1. tromjesečje), odnosno, Mrežnice i Korane (2. tromjesečje) (Weibull distribucija)



Provedene su analize učestalosti za protok izmjeren na nizvodnoj postaji (Jamnička Kiselica) i za zbroj protoka na četiri uzvodne postaje. Slika 3.6 prikazuje usporedbu dvije krivulje učestalosti. Za povratna razdoblja koja su relevantna za Twinning projekt (10 – 1000 godina) razlika između dvije krivulje je $400 \text{ m}^3/\text{s}$, što je usporedivo s razlikom između najvećih vršnih vrijednosti unutar grafikona za vremensku seriju 2005. (vidi dan 240, slika 3.5).

Slika 3.6 Krivulje učestalosti za nizvodnu mjernu postaju Jamnička kiselica (4107; pune linije) i zbroj uzvodnih postaja (isprekidane linije)

U Dodatku 8 zorno su prikazane krivulje učestalosti poplava na mjernim postajama rijeke Kupe.

Ušće rijeke Neretve

Analiza učestalosti poplava za različite mjerne postaje u pilot području ušća rijeke Neretve

provedena je s godišnjim maksimalnim vrijednostima za hidrološke godine (travanj-ožujak). Ukoliko je moguće, koriste se satni podaci za maksimalno razdoblje u trajanju 30 godina. U svim drugim slučajevima (Bijeli Vir Q_d , Prud H_d i ustava ušća nizvodno H_{hr}), koristili su se dnevni ili satni podaci s maksimalnim brojem godina.

Serije godišnjih maksimalnih vrijednosti za različite mjerne postaje zorno su prikazane u Dodatku 6.

Primjena satnih podataka je posebno važna za postaju Metković (granični uvjet uzvodno). Čak i kod srednje visokih vodostaja (do oko 3 m + MSL), ova vodomjerna postaja je još uvijek pod utjecajem plime i oseke. Korištenje prosječnih vodostaja ma dnevnoj osnovi će, najvjerojatnije, podcjenjivati stvarne maksimalne vodostaje mjerene na satnoj osnovi u okviru analize učestalosti poplava.

Na temelju rezultata jedne radne analize učestalosti poplava za vodomjernu postaju Metković, odlučeno je da se za ovu postaju i razinu mora ne provode višestruke analize učestalosti poplava. Korelacijski odnos između dvije vodomjerne postaje vrlo je slab, kada je vodostaj u Metkoviću ispod 3m + MSL. Ova razina odgovara povratnom razdoblju od jednom u 10 godina (vidi Dodatak 8).

Slijed godišnjih maksimalnih razina testiran je na linearnim kretanjima. Osim godišnjeg maksimuma morske razine vode (ustava na ušću nizvodno 7499), ne postoje linearna kretanja s koeficijentom determinacije (R^2) > 0.2. Godišnja maksimalna razina morske vode pokazuje umjereno korelirano uzvodno kretanje ($R^2 = 0,27$). Godišnja maksimalna razina mora ispravljena je referencom na prošlu godinu vremenskih serija (2011.), putem jednadžbe: $H_{corr} = H + [(n-n_i) * \text{nagib}]$. Ipak, ispravljene i neispravljene vodostaje za različita povratna razdoblja ukazuju na neznatne razlike (0.01-0.05 m) (vidi Dodatak 7).

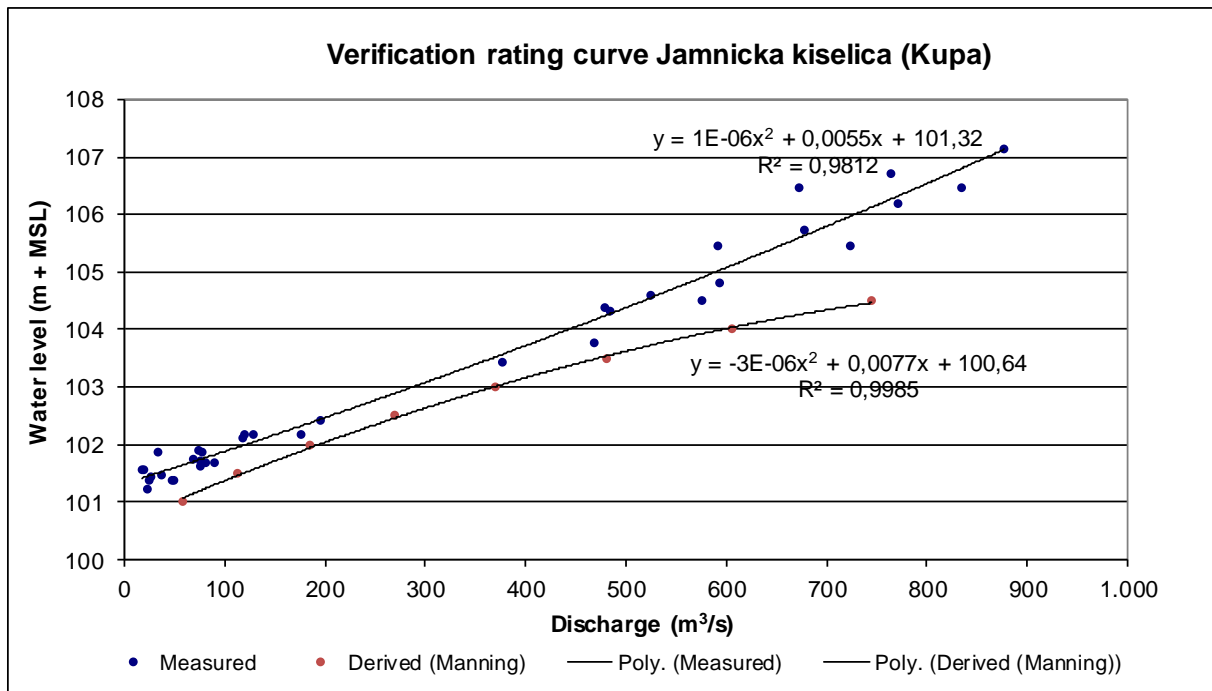
Gumbel, Log-Pearson i Weibull funkcije gustoće vrijednosti korištene su za usklađivanje godišnjih maksimalnih vrijednosti. Rezultati uklapanja korišteni su za dobivanje T25, 50, 100 i 1000 godina razdoblja povrata različitih varijabli (vidi Prilog 7).

U Dodatku 8 zorno su prikazane krivulje učestalosti poplava na mjernim postajama ušća rijeke Neretve. Općenito govoreći, godišnje maksimalne vrijednosti protoka rijeka najbolje se usklađuju pomoću Weibull funkcije gustoće vrijednosti, jer je ova funkcija gustoće vrijednosti sa zakrivljenim oblikom koji najbolje predstavlja plavljenje površine (smanjeni vršni protoci) u većim povratnim razdobljima. U pilot području ušća rije Neretve, samo je jedna mjerna postaja pogodna za ovu vrstu fizičkog procesa; Metković. Krivulje frekvencija poplava Metkovića uklapaju se u Weibullovu PDF prilično dobro u slučajevima manjih poplava (<T10), ali slijede Gumbelov i Log-Pearsonov PDF-u slučajevima većih povratnih razdoblja. Ostale vodomjerne stanice nisu riječne (Krški bunari, padaline i morske razine). Ustava na ušću nizvodno (razina mora), Prud (H_d) i Kuti uklapaju se u Log-Pearson najbolje; Bijeli Vir (H_d) i Opuzen uklapaju se u Weibull najbolje.

3.4.2 Procjena i tumačenje krivulja stanja

Rijeka Kupa

Krivulja stanja na vodomjernoj postaji Jamnička Kiselica (nizvodna granica modela rijeke Kupe) potvrđena je uz pomoć dodatka HydroTools. Mijenjanjem Manningove vrijednost hrpavosti (n) i nagiba rijeke, moguće je prilagoditi izmjerenu krivulju stanja (vidi sliku 3.7).



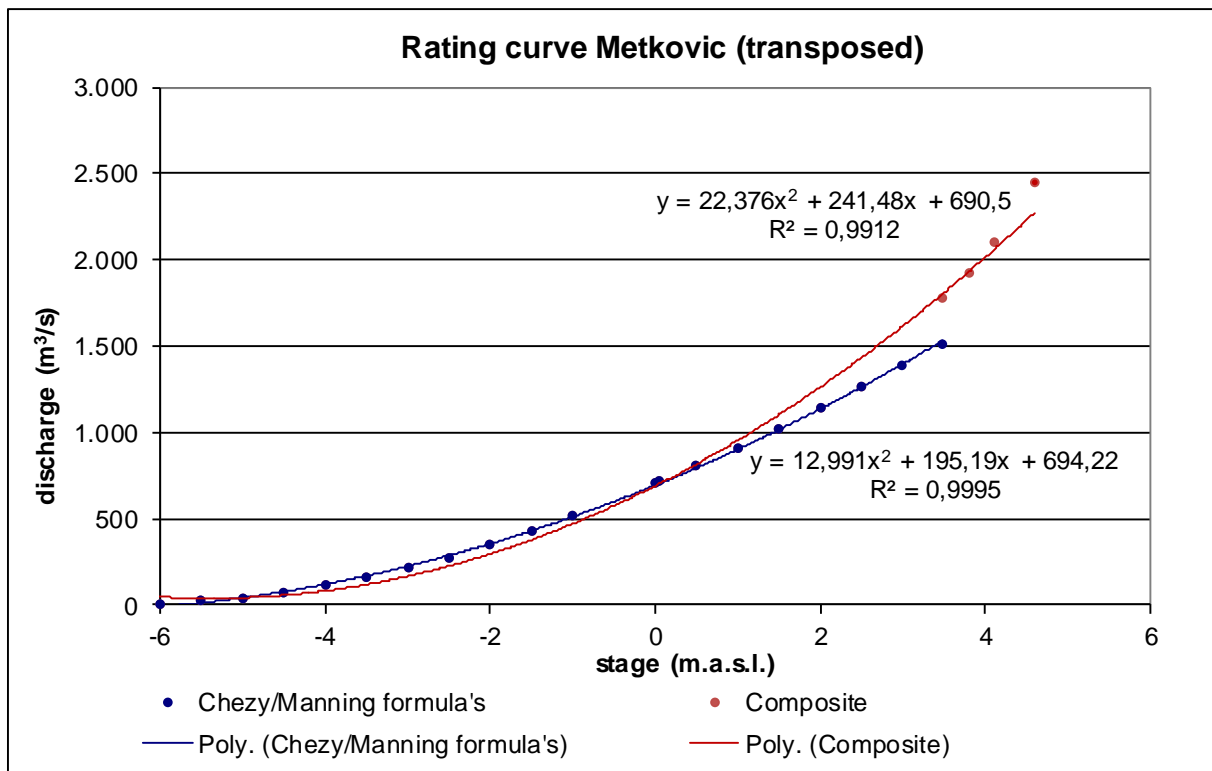
Slika 3.7 Validacija krivulje stanja za vodomjernu postaju Jamnička kiselica (Manning $n = 0.04$ & $i = 0.08\%$)

Ušće rijeke Neretve

Nisu dostupne vremenske serije protoka za uzvodnu granicu modela rijeke Neretve (postaja Metković). Međutim, moguće je razviti hidrodinamički model samo s graničnim uvjetima vodostaja. U Twinning projektu se primjenjuju oba pristupa (granice vodostaja i protoka). Primjenom Chézy-Manning formula, krivulje stanja moguće je procijeniti na temelju presjeka vodotoka, nagiba vodostaja i hidrauličke hrapavosti (Manningov n). Ova metodologija je korištena za izradu krivulju ocjenjivanja za stanicu Metković sve do razine vode do ruba. Osim toga, mjerni podaci su korišteni iz studije koje je provelo Sveučilište u Splitu (1996), u svrhu sastavljanja vrijednosti krivulje stanja za više vodostaje. Kompozitna (transponirana) krivulja stanja za vodomjernu postaju Metković može se opisati dolje navedenom jednadžbom (vidi sliku 3.8):

$$Q_{\text{Metković}} = (22.376 * H_{\text{Metković}}^2) + (241.48 * H_{\text{Metković}}) + 690.5$$

Učestalosti poplave za vršne protoke na vodomjernoj postaji Metković (Dodatak 7) su izvedene na temelju kompozitne (transponirane) krivulje stanja.



Slika 3.8 Kompozitna (transponirana) krivulja stanja za vodomjernu postaju Metković

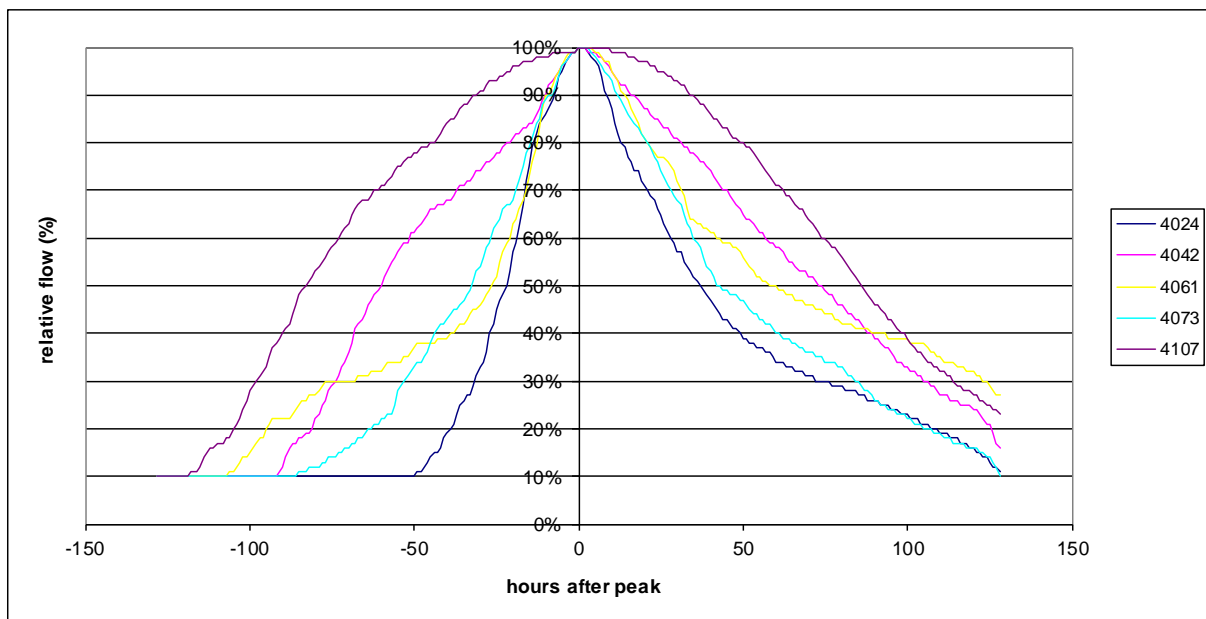
3.4.3 Standardni hidrogrami poplava

Simulacije modela za izradu karata opasnosti od poplave imaju nestalni karakter. Stoga je potrebno definirati (standardni) hidrogram poplava na svakoj granici modela kako bi se simulirali poplavni valovi za različita povratna razdoblja.

Simulacije nestacionarnog tečenja ne može se primijeniti ukoliko je poplavni val relativno kratak, ukoliko poplavna područja uzrokuju prigušenje poplavnog vala te ukoliko je nagib relativno strm ($> 1:10$). U slučaju Delte Neretve i rijeke Kupe, poplavna područja rezultiraju značajnim slabljenjem poplavnog vala. Ovaj je fenomen opisan u poglavlju 5.2, gdje se raspravlja o simulacijama protoka kanala 1D bez uporabe 2D kopnene mreže protoka.

Rijeka Kupa

Za vodomjerne postaje na rijeci Kupi, prosječni poplavni val je izračunat s 10 najvećih vršnih protoka na svakoj vodomjernoj postaji iz proteklih 10 godina. Usrednjavanje se temelji na trajanju (horizontalno usrednjavanje). Oblici za uzvodne granične postaje su lagano asimetrični, brzo se uzdižu i sporije padaju. Oblik za nizvodnu postaju (Jamnička Kiselica 4107) je znatno širi i znatno simetričniji. Rijeka kupa ima najoštriji vrh na vodomjernoj postaji Kamanje (4024). Vršci poplava pritoka su nešto širi (vidi sliku 3.9).



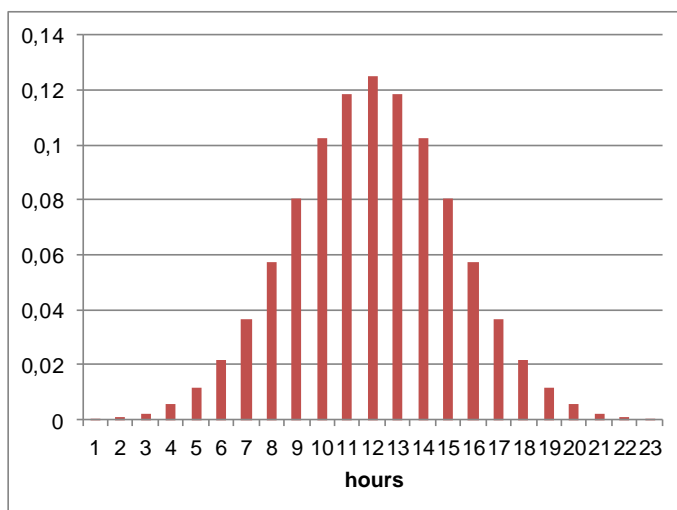
Slika 3.9 Standardni hidrogrami poplava za mjerne postaje na rijeci Kupi i njenim pritokama

Ušće rijeke Neretve

Kako bi se razvili standardni hidrogrami poplava, prvo je na svakoj vodomjernoj postaji potrebno izračunati prosječne poplavne valove. Ovi prosječni valovi temelje se na vremenskim serijama s (po mogućnosti) 10 vršnih vrijednosti za vodostaj, protok i/ili padaline. Ukupno trajanje poplavnih valova iznosi 11 dana (5 dana prije, jedan dan za vrijeme i pet dana nakon vršne vrijednosti).

Za razliku od vremenskih serija protoka, vremenske serije vodostaja su osjetljive na (antropogene) promjene riječnog sustava. Stoga, i najviši poplavni valovi tijekom posljednjih 10 godina odabrani su za izračun prosječnih poplavnih valova.

Za vodomjerne postaje s dnevnim podacima (Bijeli Vir, Kuti i Prud), pretpostavlja se da vrijednosti parametara (vodostaji i protoci) ostanu konstantnima tijekom svakog dana unutar 11-dnevnog razdoblja. Za (kumulativne) podatke o padalinama na vodomjernoj postaji Opuzen, pretpostavlja se da će ukupna količina oborina u jednom danu pasti oko podneva prema standardnoj normalnoj distribuciji unutar približno 6-7 sati (vidi sliku 3.10). Potrebno je distribuirati kumulativne dnevne padaline; inače će ulazni podaci modela za padaline biti precijenjeni.

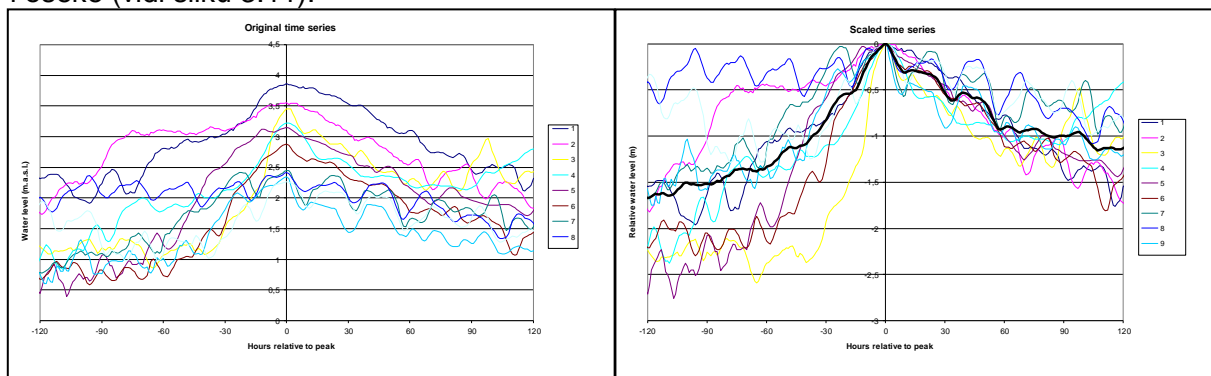


Slika 3.10 Standardna normalna distribucija dnevnih oborina (Opuzen)

Usrednjavanje je provedeno na temelju trajanja (horizontalno usrednjavanje na dnevnoj osnovi) za Prud (H), Bijeli Vir (H i Q), Kuti (H) i Opuzen (P) i na satnoj osnovi za Prud (H).

Vertikalno usrednjavanje na satnoj osnovi provedeno je za Metković (H i Q) i ustavu ušća nizvodno (razina mora; H). Vertikalno usrednjavanje na vodomjernoj postaji Metković o na us-

tavi ušća nizvodno (razina mora) potrebno je utvrđivanje dinamike plime i oseke za rijeku Neretvu. Rezultat uistinu pokazuje sekundarne vršne vrijednosti koje odražavaju dinamiku plime i oseke (vidi sliku 3.11).



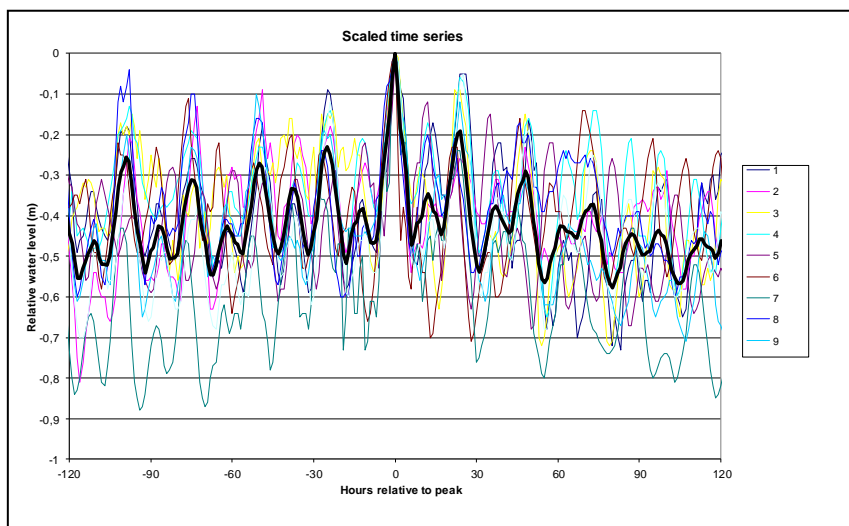
Slika 3.11 Standardni hidrogram poplava, izvorne vremenske serije i serije s mjerilima na mjernoj postaji Metković

Razlike između usrednjavanja prosječnih poplavnih valova s 10 najviših vršnih vrijednosti i unutar 10 posljednjih godina posebno su važne za branu na ušću nizvodno (razina mora) i vodomjernu postaju Metković (vidi tablicu 3.2). Volumen poplavnog vala u Metkoviću bio bi za 20% manji, ako bi se hidrogram standardnih poplava izrađivao na temelju posljednjih 10 godina. Osim toga, 4 od 10 najviših vršnih vrijednosti zabilježene su u posljednjih 10 godina. Stoga, razumno je izraditi standardni hidrogram poplava postaje Metković s 10 najvećih vršnih protoka.

Mjerna postaja	Omjer volumena (%)	10 vršnih protoka u posljednjih deset godina	Odabir standardnog hidrograma poplave
Kuti H_d	83	1 (2010.)	Posljednjih 10 godina
Prud H_d	90	2 (2009. i 2010.)	Posljednjih 10 godina
Bijeli Vir H_d	87	3 (2002., 2003. i 2004.)	Posljednjih 10 godina
Metković H_hr	81	4 (2005., 2008., 2009. i 2010.)	10 najvećih vršnih vrijednosti
Ustava ušća nizvodno 7499 (razina mora; H_hr)	68	6 (2002., 2004., 2005., 2008., 2009. i 2010.)	10 najvećih vršnih vrijednosti

Tablica 3.2 Odabir vremenskih serija za izradu standardnih hidrograma poplava

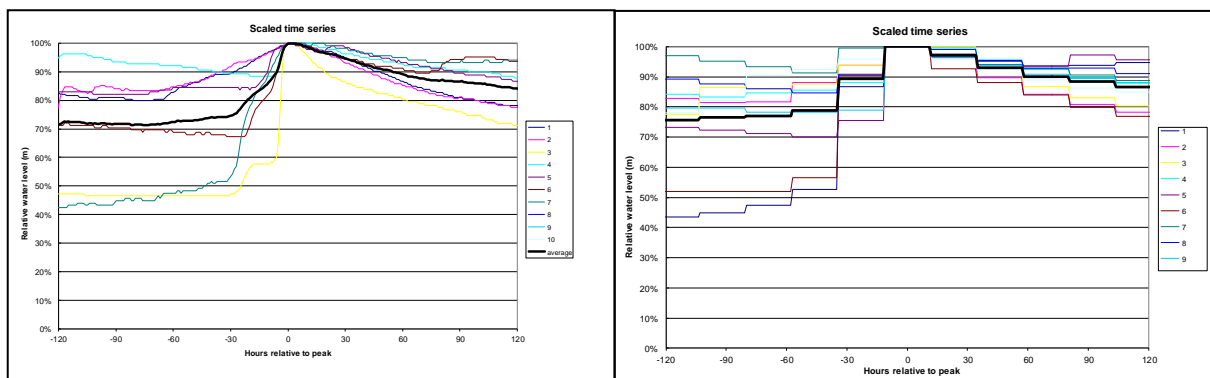
Udio volumena za vodomjerne postaje Kuti, Prud i Bijeli Vir je manji (kreće se u rasponu između 83 i 90%). Samo su se neki od najviših izmjerenih vršnih događaja dogodili u posljednjih 10 godina te su standardni hidrogrami poplava izrađeni s poplavnim valovima tijekom posljednjih 10 godina.



Slika 3.12 Mjerilo nizvodnog graničnog uvjeta na ustavi ušća nizvodno (razina mora)

Oblik 'standardnog hidrograma poplave' - to je, u stvari granični uvjet nizvodno - za branu na ušću nizvodno (razina mora) se jasno razlikuje od uobičajenog poplavnog vala. Dinamika plime i oseke prije i nakon vršnih protoka rijeke Neretve više-manje je konstantna, s jasnom vršnom plimom za vrijeme vršnih poplava (slika 3.12).

U slučaju mjerne postaje Prud, dostupni su, kako satni, tako i dnevni podaci (vidi Dodatak 4). Međutim, standardni hidrogrami poplava su dosta slični (vidi sliku 3.12) a maksimalni vršni vodostaj se razlikuje samo za 0,02 m.



Slika 3.13 Standardni hidrogrami poplava za mjernu postaju Prud (lijevo za satne podatke, desno za dnevne podatke)

Oblik standardnih hidrograma poplava za Bijeli Vir, Kuti i Opuzen (P) sličan je obliku standardnog hidrograma poplave za mjernu postaju Prud.

3.4.4 Sobek simulacije i ulazne datoteke

Unutar Twinning projekta vrše se dvije različite vrste simulacija; (i) vremenske serije za kalibriranje i validaciju i (ii) simulacije za izradu karata opasnosti od poplava s različitim povratnim razdobljima. Potonje se temelje na standardnim hidrogramima poplava, kao što je to i opisano u dijelu 3.4.3. Potrebno je odabrati vremenske serije za validaciju i kalibriranje na osnovu podataka i karata dostupnih za provjeru rezultata određenih modela.

Rijeka Kupa

Odabrani su sljedeći događaji i vremenske serije za validaciju i kalibriranje modela rijeke Kupe:

- Kalibriranje:
 - 9. – 29. prosinca 2008.;
 - 1. studenog – 31. prosinca 2010.;
- Validacija:
 - 1. ožujka – 30. travnja 2009.;
 - 1. listopada – 31. prosinca 2005.;

Za rijeku Kupu potrebno je provesti dvije simulacije za svako pojedino povratno razdoblje (vidi dio 3.4.1), budući da poplavni valovi mogu biti rezultat dvije različite situacije; velike vode rijeka Kupe i Dobre ili velike vode rijeka Mrežnice i Korane.

Vršne vrijednosti za simulacije su izvedene iz Weibull distribucije, koja je u konačnici prikladnija od Gumbel i Log-Pearson distribucije (vidi Prilog 8). Vršni protoci za različite kombinacije zorno su prikazani u tablici 3.3. Ove se vršne vrijednosti koriste kako bi se izveli standardni hidrogrami poplava za svako granično stanje.

	Q1		Q2	
	Rijeka Ku- pa, Kama- nje 4024	Rijeka Dobra Donje stative 4061	Rijeka Mrežnica Mrzlo Polje 4042	Rijeka Korana Velemerić 4073
T25				
Simulacija 1 – Q1 velike vo- de::Q2 male vode	986	269	229	263
Simulacija 2 – Q1 male vo- de::Q2 velike vode	899	253	293	411
T50				
Simulacija 1 – Q1 velike vo- de::Q2 male vode	1,040	278	236	276
Simulacija 2 – Q1 male vo- de::Q2 velike vode	834	241	302	435
T100				
Simulacija 1 – Q1 velike vo- de::Q2 male vode	1,089	286	241	287
Simulacija 2 – Q1 male vo- de::Q2 velike vode	868	247	309	457
T1.000				
Simulacija 1 – Q1 velike vo- de::Q2 male vode	1,222	306	254	315
Simulacija 2 – Q1 male vo- de::Q2 velike vode	1,121	291	327	515

Tablica 3.3 Kombinacije vršnih protoka (m^3/s) na granicama modela za simulacije opasnosti od poplava za rijeku Kupu

Ušće rijeke Neretve

Odabrani su sljedeći događaji i vremenske serije za validaciju i kalibriranje modela za ušće rijeke Neretve:

- Kalibriranje:
 - 1. srpnja – 30. rujna 2010.;
 - 22. studenog – 12. prosinca 2010.;
- Validacija:
 - 31. prosinca 2009. – 20. siječnja 2010.;
 - 10. prosinca – 23. prosinca 2011.

Simulacije za izradu karata opasnosti od poplava za Deltu Neretve temelje se na pojedinač-

nom modelu za svako povratno razdoblje. Utjecaj plime proteže se do Metkovića do događaja s povratnim razdobljem od jednom u 10 godina. Korelacijski odnos između Jadranskog mora i vodomjerne postaje Metković je vrlo slab, s manje učestalim poplavama (vidi dio 3.4.1).

Vršne vrijednosti za simulacije izvode se iz Weibull distribucije, osim za nizvodnu granicu (Jadransko more), za koju su prikladniji Log-Pearson PDF rezultati. Vršni protoci na različitim granicama zorno su prikazani u tablici 3.4. Ove se vršne vrijednosti koriste kako bi se izveli standardni hidrogrami poplava za svako granično stanje.

	T25	T50	T100	T1.000
Rijeka Neretva - Metković (H_7052)	3,69	4,07	4,43	5,53
Jadransko more - ustava ušća nizvodno (H_7499)	1,23	1,26	1,29	1,36
Rijeka Norin - Prud (H_7179)	3,00	3,05	3,09	3,22
Rijeka Mislina - Bijeli Vir (H_7124)	2,65	2,72	2,79	2,96
Rijeka Prunjak - Kuti (H_7178)	1,38	1,43	1,47	1,58
Opuzen (P)	135	142	148	163

Tablica 3.4 Vršni vodostaji (m a.s.l.) i padaline (mm) na granicama modela za simulacije opasnosti od poplava za ušće rijeke Neretve

4 KONCEPTUALNI MODELI

4.1 Razvoj konceptualnih modela

Prvi pravi korak u procesu izrade modela je razvoj konceptualnog modela (ili koncepta modela). Konceptualni model opisuje funkcionalne odnose između najvažnijih komponenti riječnog sustava u obliku teksta, matematičkih jednažbi, grafikona, dijagrama i/ili crteža. Rezultat je 'model' u kojem nije sve eksplicitno opisano matematičkim izrazima.

Konceptualni model je važan alat na temelju kojeg je moguće raspravljati o idejama i dijeliti percepcije o izradi modela za dotični riječni sustav, u ovom slučaju za rijeku Kupa i Deltu Neretve (vidi Dodatak 9).

Utvrđivanje (fizičkih) granica modela je važan korak u razvoju konceptualnog modela: što je potrebno uključiti, a što ne, koje bi područje koje okružuje područje interesa trebalo uključiti, koji se procesi odvijaju na rubovima, kakva je interakcija s područjem koje okružuje granice modela i tako dalje.

Također je važno napraviti početni odabir po pitanju razine detalja (npr. koje je procese potrebno uključiti u model) te vremenskog razdoblja i prostornog opsega (kalkulacijski koraci). Detalje koji se odnose na komponente i procese (agregacijska razina modela) potrebno je odabrati u vrijeme izrade konceptualnog modela.

4.2 Konceptualni modeli za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve

Struktura i tip modela

Struktura modela bi, u svakom slučaju, trebala biti zabilježena unutar konceptualnog modela. potrebno je opisati mrežu komponenti od kojih će se model sastojati, ali i odnose među komponentama (obično su to 'proces'). Ovo se, u najmanju ruku, odnosi na sljedeće komponente:

- Ulazne varijable;
- Varijable stanja;
- Druge varijable.

Konceptualni model sustava rijeke Kupe uključuje rijeke Kupu, Dobru, Koranu i Mrežnicu i kanal Kupa-Kupa. Što se tiče ušća rijeke Neretve, uključene su rijeke Neretva i Mala Neretva, kao i rijeke Norin, Prunjak i Mislina (vidi Dodatak 9).

Vodomjerne postaje koje je potrebno uključiti kao obvezne i kontrolne vodomjerne postaje navedene su u tablici 4.1. Obvezne vodomjerne postaje definiraju granične uvjete modela. Kontrolne postaje mogu služiti u svrhe kalibriranja i/ili validacije.

Tip softvera za izradu modela već je prethodno odabran tijekom pripreme faze Twinning projekta. Sa stručnjacima zemalja korisnica projekta postignut je dogovor o primjeni hidrodinamičkog programskog alata Sobek (<http://www.deltaressystems.com/hydro/product/>) za simuliranje poplava u pilot područjima.

Ipak, nezavisne varijable potrebno je odabrati i u procesu razvoja konceptualnog modela. U dinamičkim modelima, poput onih koji se koriste u pilot područjima, nezavisne varijable uključuju vrijeme i prostorne dimenzije. Za modele za rijeku Kupu i Neretvu vremenski interval iznosi jedan sat, dok prostorni korak iznosi 100 m.

Budući da su vrijeme i prostor nezavisne varijable, ovaj model može biti jednodimenzionalan (1D), dvodimenzionalan (2D) ili čak i trodimenzionalan (3D). Tijekom projekta zabilježeni su prvi pokušaji razvoja 1D2D modela i izrade karata opasnosti na temelju rezultata ovog modela (vidi dio 2.2).

Obvezne vodomjerne postaje	Kontrolne mjerne postaje
Rijeka Kupa	
Kamanje (postaja 4024), rijeka Kupa – uzvodno	Brodarci (vodomjerna postaja 4003), Kupa River – nizvodno od račvanja s kanalom Kupa-Kupa
Donje stative (postaja 4061), rijeka River – uzvodno	Karlovac (postaja 4111), rijeka Kupa
Mrzlo Polje (postaja 4042), Mrežnica River – uzvodno	Velemerić (postaja 4056), rijeka Kupa
Velemerić (postaja 4073), rijeka Korana	Reciča (postaja 2552), kanal Kupa-Kupa
Jamnička kiselica (postaja 4107), rijeka Kupa – nizvodno	Mahično (postaja 2553), kanal Kupa-Kupa
Ušće rijeke Neretve	
Metković (postaja 7052), rijeka Neretva – uzvodno	Opuzen (postaja 7062), rijeka Neretva
Zapornica Opuzen nizvodno (vodomjerna postaja 7501), Mala Neretva – nizvodno	Zapornica Opuzen nizvodno (vodomjerna postaja 7507), rijeka Neretva
Prud (postaja 7179), rijeka Norin – uzvodno	Kalebovac (postaja 7260), rijeka Norin
Kuti (postaja 7178), rijeka Prunjak – uzvodno	Zapornica Opuzen nizvodno (vodomjerna postaja 7506), Mala Neretva
Bijeli Vir (postaje 7124 i 7509), rijeka Mislina – uzvodno	Kula Norinska (postaja 7258), rijeka Norin – nizvodno prije slijevanja u rijeku Neretva
Zapornica Opuzen nizvodno (vodomjerna postaja 7499), Mala Neretva (razina mora)	Prunjak (postaja 7505), rijeka Prunjak

Tablica 4.1 Granice modela koje definiraju vodomjerne postaje (obvezne) i koje se koriste u svrhu kalibriranja i/ili validacije (kontrolne vodomjerne postaje)

Utvrdjivanje pretpostavki

Svaki koncept model sadrži (veliki) broj pretpostavki. Procjena uspjeha ili neuspjeha projekta izrade modela neće biti uspješna bez mogućnosti korištenja pretpostavki i hipoteza u konceptu na temelju kojih se tumače rezultati. Stoga je potrebno napraviti popis svih pretpostavki, uključujući i obavijesti o pretpostavkama i opravdanja za njih. Ponekada su opravdane i reference na studije drugih modela (s istim pretpostavkama).

U modelima pilot područja pretpostavka glasi da prodor podzemnih voda ne igra značajnu ulogu po pitanju simulacije poplava. U Delti Neretve iznimno je važan utok krških voda i on uvelike doprinosi plavljenju područja koja okružuju pritoke rijeke Neretve. Međutim, doprinos ovog krškog utoka je manje važan kod poplava s manje učestalim povratnim razdobljima.

Validacija konceptualnog modela

Nakon finalizacije prve inačice prijedloga konceptualnog modela, potrebno je raspraviti i razmotriti je li ovaj koncept ujedno i najbolji, obzirom na problem, cilj modela i dostupne podatke i tehnike. Ovo je moguće utvrditi na razne načine, od kojih nijedan nije posebno formalan. Najbolja metoda je usporedba broja koncepata na eksperimentalni način (to jest, razvoj i analiza modela u skladu s različitim konceptima i naknadna usporedba rezultata). Metoda koja postiže uštedu na vremenu je rasprava sa stručnjacima na temu konceptualnog modela (sastanak, radionica, klijent, nadzorni odbor ili slično).

Sasvim je jasno da je potrebno uskladiti nedosljednosti (konfliktna pitanja) unutar konceptualnog modela ili je pak potrebno prilagoditi pretpostavke.

5 RAZVOJ HIDRODINAMIČKIH MODELA ZA RIJEKU KUPU I UŠĆE RIJEKE NERETVE

5.1 Uvod

Modeli za pilot područja rijeka Neretve i Kupe izrađuju se pomoću softvera Sobek. Softver za izradu modela već je prethodno odabran tijekom pripreme faze Twinning projekta.

Jasno je da, općenito gledajući, odabir programa za izradu modela mora biti u skladu sa ciljevima studije te, u skladu s tim, i ciljevima modela. Odabir djelomično ovisi o odabranom tipu modela, ovisno o dimenzijama u prostoru i vremenu (npr. 0-1-2-3D) i dostupnosti i točnosti podataka. Odabir nadalje može biti podložan pitanjima koja se temelje na projektu, poput dostupne hardverske platforme i operativnog sustava, dostupne stručnosti i raspoloživog vremena, specifičnih zahtjeva i tako dalje.

Unutar Twinning projekta maksimalno se zagovara primjena 1D2D pristupa izrade modela. Većina poplava s ozbiljnim gospodarskim i socijalnim posljedicama događa se u gotovo aluvijalnim nizinama, kao što je to područje Karlovca, koje su često iznimno urbanizirane i odlikuju se kompleksnom topografijom, kao što je to Delta Neretve. 2D modeli poplava daju dodatne informacije o karakteristikama protoka poplavnog vala, kao što su to brzina protoka i obilježja širenja poplave. Ovo je korisno za sveobuhvatniju procjenu opasnosti i rizika od poplava.

Dodatak 13 opisuje pregled najčešće korištenih (2D) paketa za izradu hidrodinamičkih modela poplava.

Procedure izrade modela u Twinning projektu temelje se na priručniku Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: Praksa dobrog modeliranja (STOWA/RIZA, 1999.). Rezultati prethodno provedenih aktivnosti (priprema digitalnih modela reljefa, batimetrijskih podataka i presjeka vodotoka, kao i provedba hidroloških analiza) koriste se kao 'sastavni elementi' za razvoj, kalibriranje i validaciju modela za simuliranje poplava.

Osnovne aktivnosti izrade modela sadrže sljedeće:

- Uspostavu shematizacije jednodimenzionalnog (1D) toka kanala (uključujući hidrauličke strukture, rubne uvjete, kontrolne postaje), provođenje početnih (stacionarnih) simulacija u svrhu testiranja materijalne bilance i vjerodostojnosti te početna kalibraciju jednodimenzionalne (1D) shematizacije kanala;
- Postavljanje shematskog prikaza 1D2D rastera kopnenog toka, uključujući i testove vjerodostojnosti
- Provedbu i analizu kalibracijskih serija;
- Provedbu i analizu serija validacija;
- Provedba analiza osjetljivosti i neizvjesnosti.

Razvoj shematizacija modela detaljno je opisan u Douben et al. (2013c, d & e). Kako bi se gore navedene aktivnosti stavile u perspektivu Dodatak 14 opisuje najčešće zamke i osjetljivosti u izradi hidrodinamičkih modela.

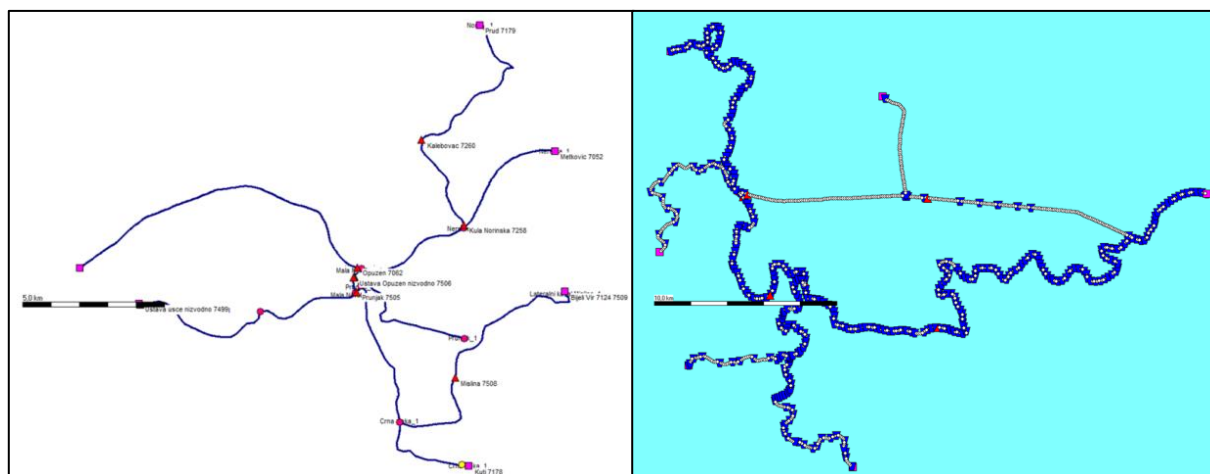
5.2 Razvoj, kalibriranje i validacija jednodimenzionalnih (1D) mreža riječnog toka

Razvoj jednodimenzionalne (1D) mreže riječnog toka (slika 5.1) predstavlja prvi korak, u okviru kojeg se model stvarno 'unositi' u računalo. Opis postavljanja jednodimenzionalnog (1D) Sobek modela dan je u Dodatku 10. Općenito gledajući, ovo je jednostavna aktivnost; međutim sadrži relativno veliku količinu posla. S druge strane, za ovu aktivnost je potrebna velika

doza opreza, budući da može doći do pogreški kojima je naknadno teško ući u trag.

Grubi redoslijed aktivnosti za razvoj shematizacije jednodimenzionalne (1D) riječne mreže za oba pilot područja obuhvaća sljedeće:

- Ubacivanje (topografske) karte pilot područja u Sobek model;
- Kreiranje jednodimenzionalne (1D) riječne mreže (središnja linija) s različitim dijelovima rijeka (između dva zavoja), spojnim čvorovima i graničnim uvjetima;
- Ubacivanje presjeka vodotoka;
- Ubacivanje hidrauličkih struktura;
- Ubacivanje lateralnih veza (npr. mali tokovi voda);
- Ubacivanje točki izračuna (svakih 100 m).

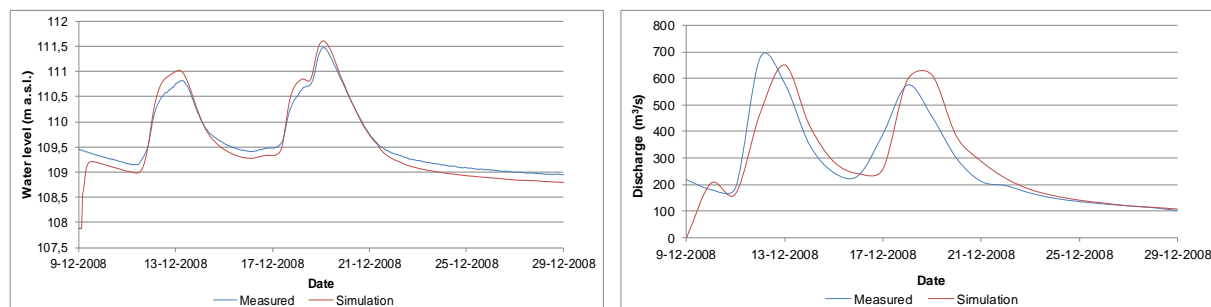


Slika 5.1 Jednodimenzionalni (1D) modeli mreža kanala za Deltu Neretve (lijevo) i rijeku Kupu (desno)

Rijeka Kupa

Početna testna simulacija (probna simulacija 1, vidi Dodatak 11) s konstantnim protokom pokrenuta je s prvom jednodimenzionalnom (1D) shematizacijom riječne mreže. Rezultati ove simulacije korišteni su za testiranje modela po pitanju vjerodostojnosti i nagibima vodostaja uzduž rijeka. Bilanca vode između uzvodnih i nizvodnih graničnih vodomjernih postaja je zatvorena (nema propusta ili dodatnih ulijevanja).

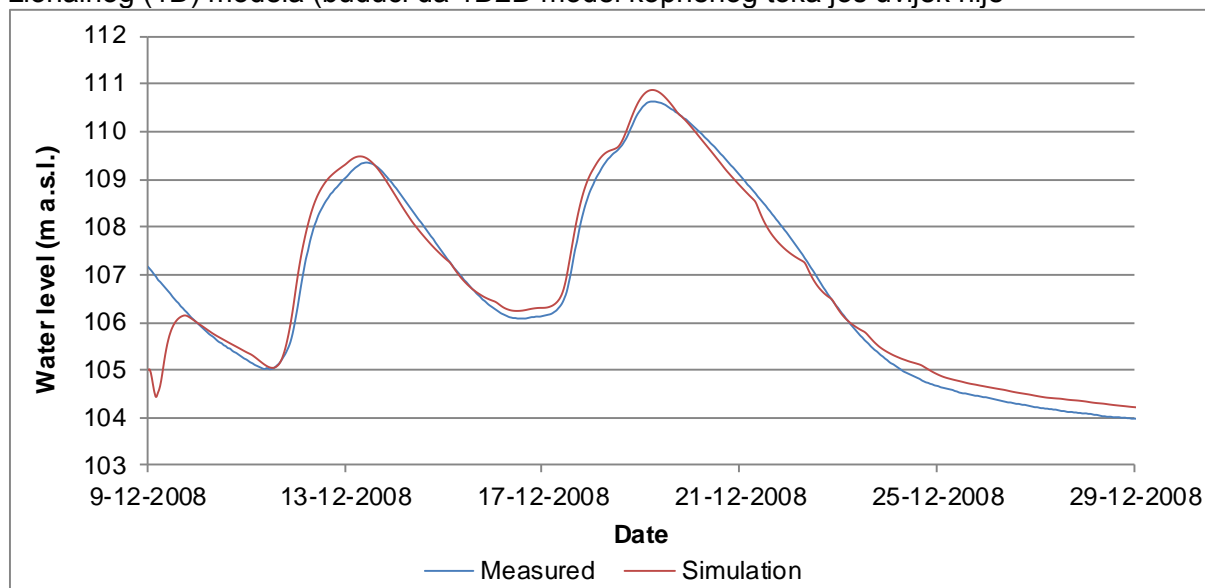
Osim toga, provedena je početna, to jest, inicijalna simulacija malog poplavnog vala (20 dana tijekom 2008.) na rijeci Kupi. Rezultati modela su proglašeni više-manje vjerodostojnima i razumnima (vidi sliku 5.2 – 5.4). Međutim, bilanca vode ukazivala je na potrebu za uključivanje nekoliko dodatnih bočnih ulijevanja manjih pritoka.



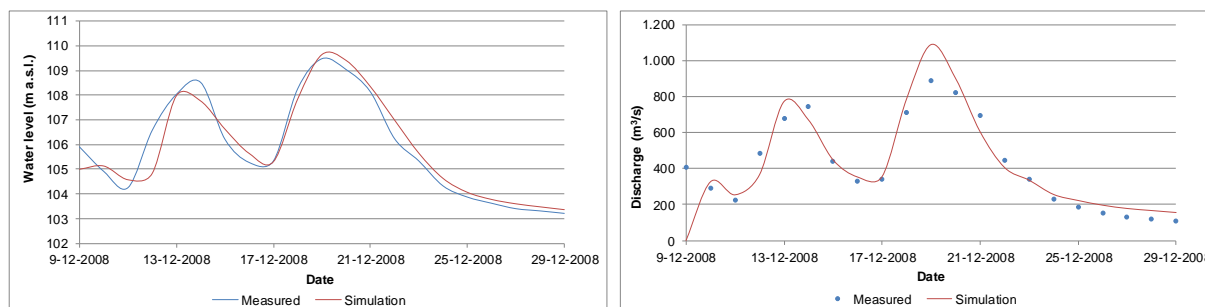
Slika 5.2 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Brodarci (4003)

Jednodimenzionalna (1D) shematizacija kalibrirana je s parametrom hidrauličke hrapavosti

(Manningov n). Poplavnih valovi u razdoblju između 9. i 29. prosinca 2008. i 1. studenog i 31. prosinca 2010. korišteni su za ove kalibracijske simulacije. Rezultati modela su testirani na vodostajima i protocima na kontrolnim postajama, ali i s visinama obala kako bi se utvrdilo postoje li uvjeti prelijevanja za vrijeme velikih voda koji nisu uzeti u obzir unutar jednodimenzionalnog (1D) modela (budući da 1D2D model kopnenog toka još uvijek nije



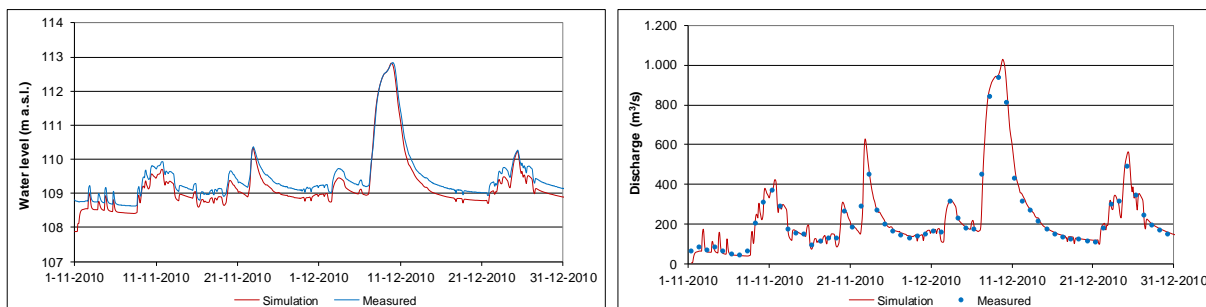
Slika 5.3 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Karlovac (4111)



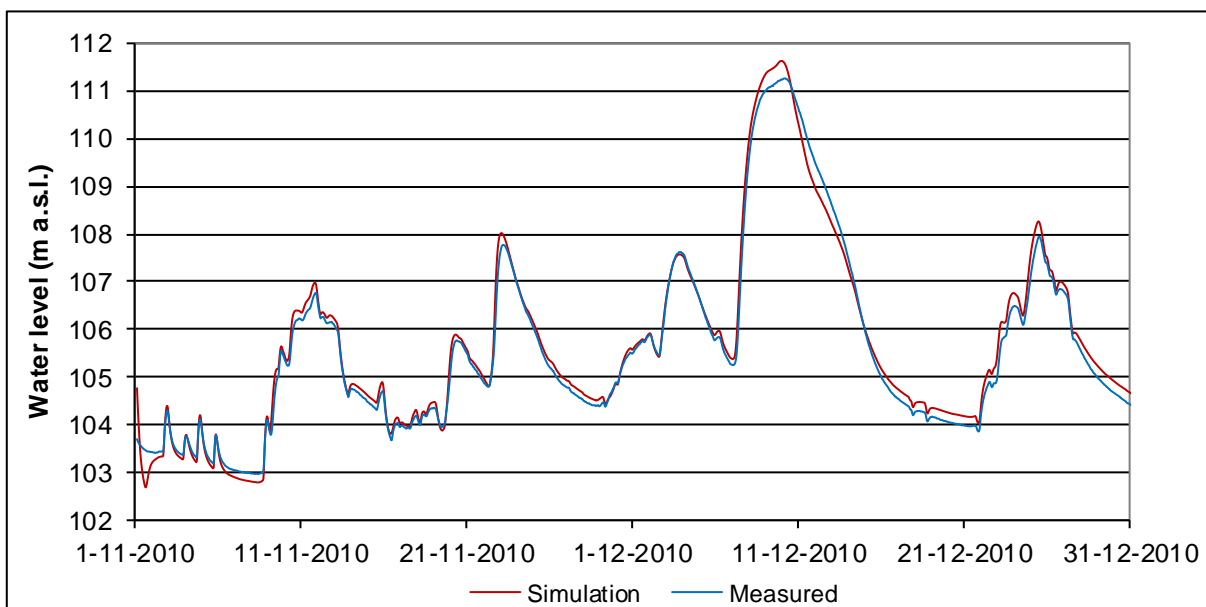
Slika 5.4 Jednodimenzionalni (1D) model inicijalne simulacije nestacionarnog tečenja 2008.; rijeka Kupa - Reciča II (4056)

integriran). U stvari, bilo je nekoliko lokacija na kojima su vodostaji duž kanala bili veći od razine nasipa, što ukazuje na precjenjivanje vodostaja, budući da ova voda ne otječe u granično poplavno područje. Ova pojava prelijevanja rješava se inkorporiranjem modula kopnenog toka (1D2D) (vidi sio 5.3).

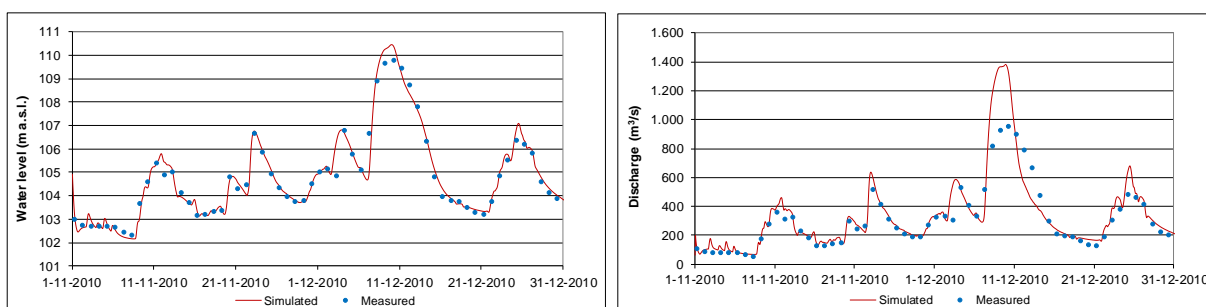
Sve u svemu, rezultati simulacije pokazali su se zadovoljavajućima na vodomjernim postajama za koje su podaci bili dostupni (vidi slike 5.5 – 5.7). Na nekoliko lokacija, koeficijent hrapavosti nije bio dobro podešen, ali njega je potrebno procijeniti i fino podesiti tijekom dodatnog kalibriranja 1D2D modela i validacije različitih uvjeta tečenja.



Slika 5.5 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Brodarci (4003)



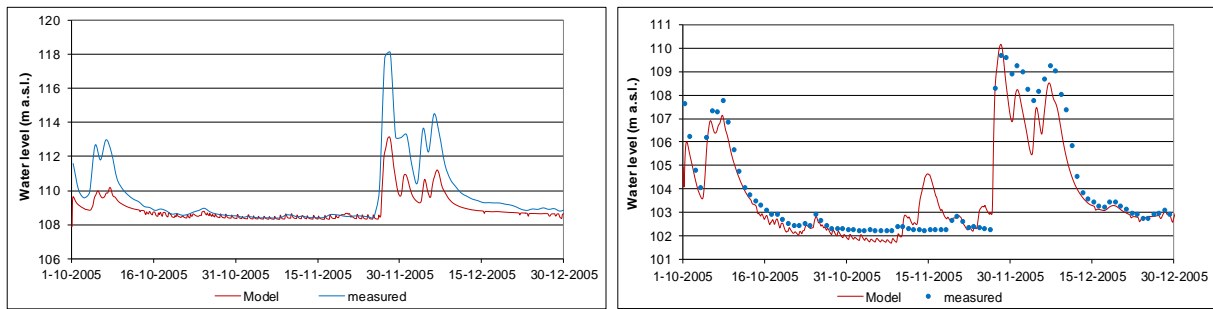
Slika 5.6 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Karlovac (4111)



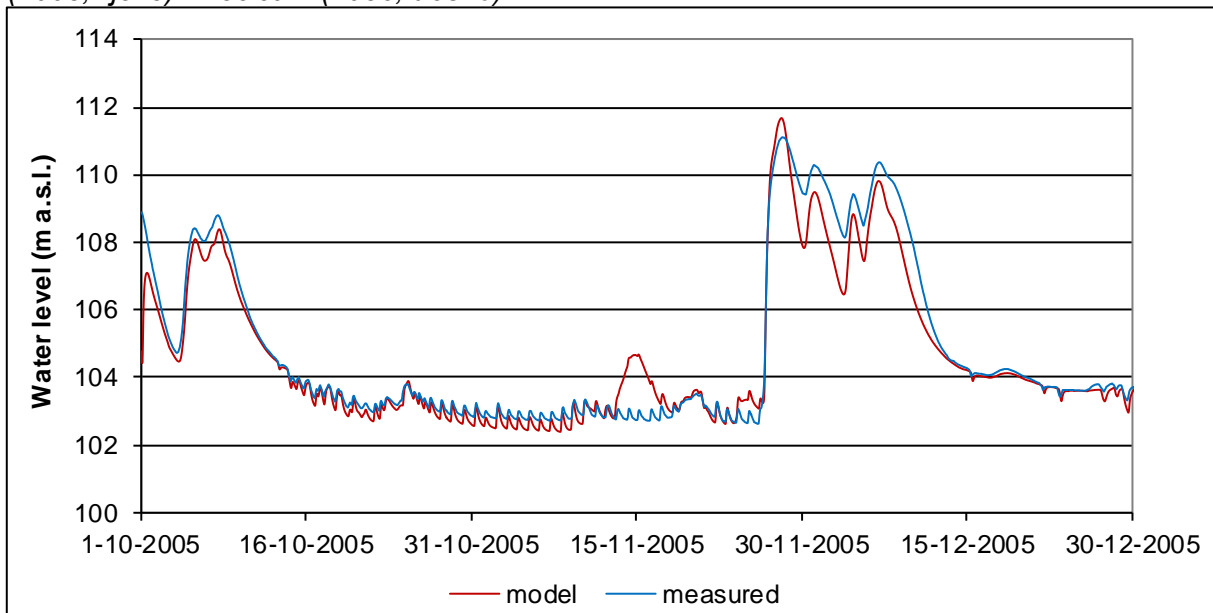
Slika 5.7 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Kupa - Reciča II (4056)

Ova shematizacija jednodimenzionalnog (1D) modela potvrđena je za razdoblje od tri mjeseca; listopad-studen-prosinac 2005. (vidi slike 5.8 i 5.9). Izvedba ovog modela nije pokazala zadovoljavajuće rezultate za sve vodomjerne postaje. Visina praga na ulazu u kanal Kupa-Kupa i distribucija protoka između rijeke Kupe i kanala uzrokuju neke razlike između rezulta-

ta modela i izmjerena vremenske serije (vidi npr. vodomjerna postaja Brodarci na slici 5.8).

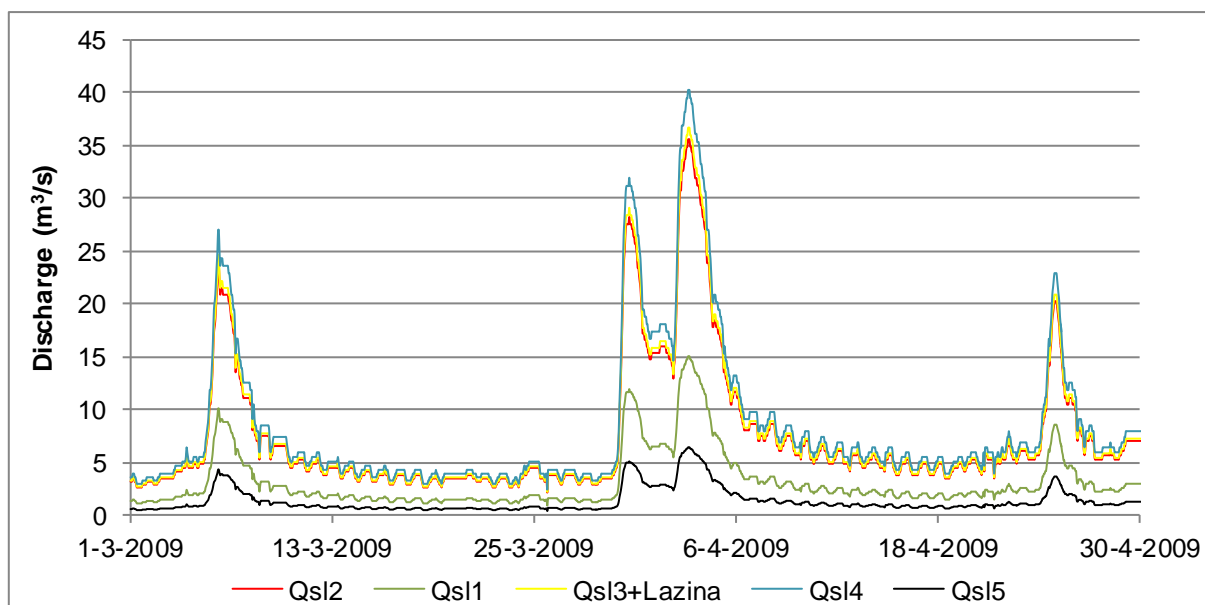


Slika 5.8 Validacija jednodimenzionalnog (1D) modela 2005.; rijeka Kupa - Brodarci (4003; lijevo) i Reciča II (4056; desno)



Slika 5.9 Validacija jednodimenzionalnog (1D) modela 2005.; rijeka Kupa - Karlovac (4111)

Podaci o bočnim preljevima duž rijeke Kupe (ožujak – travanj 2009.) prikupljeni su i integrirani u jednodimenzionalni (1D) model (vidi sliku 5.10).

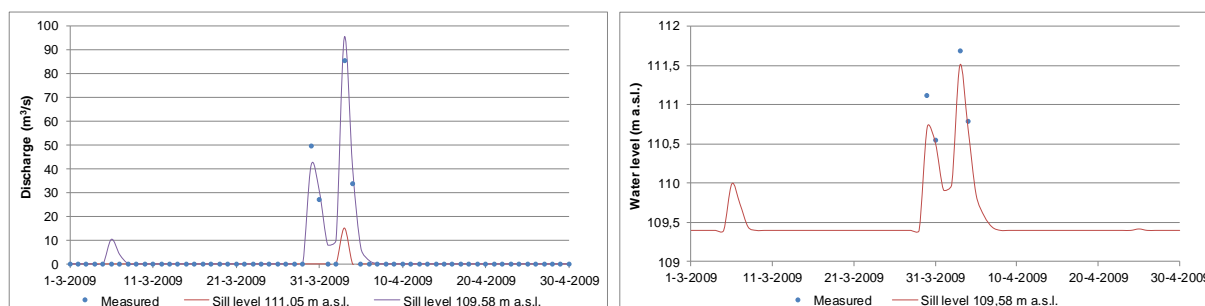


Slika 5.10 Bočni preljevi za rijeku Kupu u razdoblju od ožujka do travnja 2009.

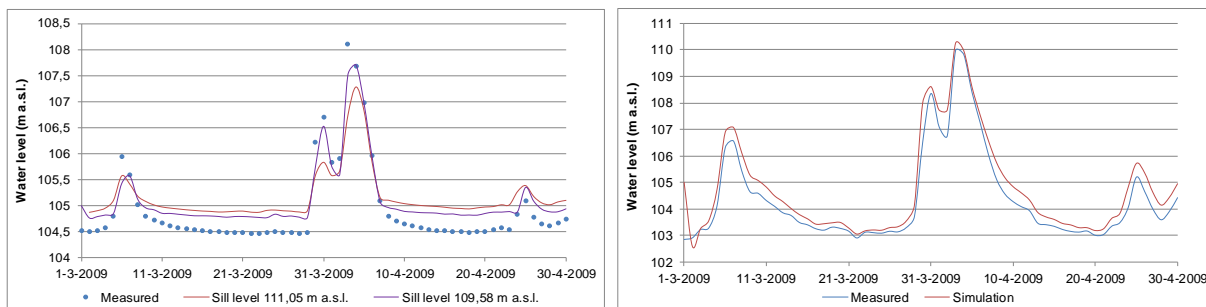
Presjeci vodotoka uključuju samo najvišu točku obje obale rijeke i ne uključuju područje iza nasipa, kao ni niža poplavna područja. Ovo će biti pokriveno dvodimenzionalnim (2D) rasterom. kako bi se poboljšala preciznost jednodimenzionalnog (1D) prijenosa, dio iza ustava uklonjen je u presjecima vodotoka.

Visina praga na ulazu u kanal Kupa-Kupa mijenjana je nekoliko puta kako bi se simulirao točan utok u kanal. Distribucija protoka diljem rijeke Kupe i kanala Kupa-Kupa za različita povratna razdoblja preuzeta je iz VPB (2004.).

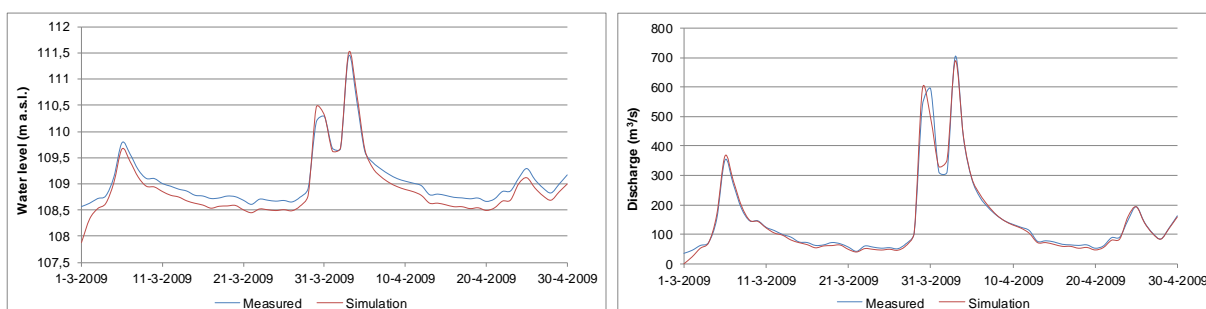
Kalibracija i validacija za jednodimenzionalni (1D) model provedeni su ponovno s navedenim ispravicima i prilagodbama (vidi slike 5.11 – 5.14). Validacija je provedena i za razdoblje od ožujka do travnja 2009., budući da opažanja za kontrolne postaje na kanalu Kupa-Kupa dostupno samo kratko vremensko razdoblje (vidi Dodatak 4).



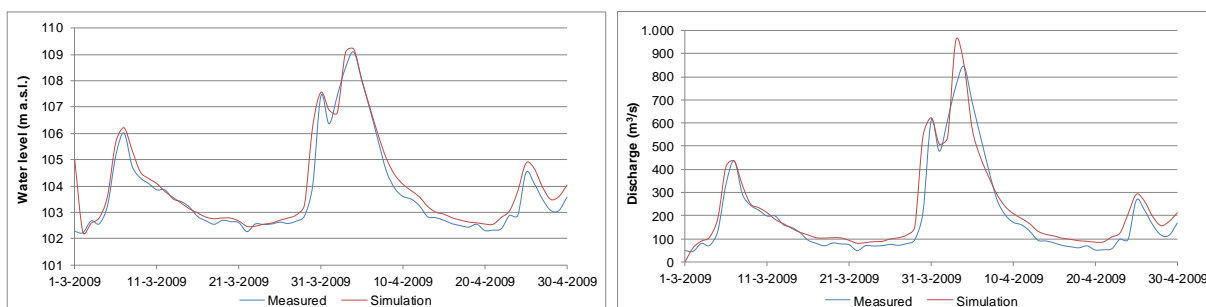
Slika 5.11 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; kanal Kupa-Kupa - Mahično (2553)



Slika 5.12 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.; kanal Kupa-Kupa - Rečica (2552; lijevo) i rijeka Kupa – Karlovac (4111; desno)



Slika 5.13 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.;. rijeka Kupa - Brodarci (4003)



Slika 5.14 2. kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2009.;. rijeka Kupa - Rečića II(4056)

Nakon ovih kalibriranja i validacija, izgledalo je da je potrebno uključiti dvodimenzionalni (2D) model kopnenog toka. Protoke u poplavnim područjima tijekom velikih voda potrebno je uključiti u model rijeke Kupe u svrhu postizanja odgovarajućeg rezultata kalibracije. Osim toga, potrebno je analizirati utjecaj retencijskih područja te je, jednako tako, potrebno donijeti odluku hoće li navedena područja biti uključena u jednodimenzionalni (1D) model riječne mreže ili pak u dvodimenzionalni (2D) model kopnenog toka.

Ušće rijeke Neretve

Jedine hidrauličke strukture u jednodimenzionalnom (1D) modelu Delte Neretve uključuju branu u Opuzenu i branu na ušću rijeke Mala Neretva. Propusti i mostovi se u početku zanemaruju, osim ako rezultati kalibriranja izričito ne zahtijevaju modeliranje ovih struktura. Ovakva odluka je donesena, jer nema dostupnih informacija o dimenzijama ovih struktura.

Presjeci vodotoka pritoke Norin razvijeni su primjenom topografske karte u svrhu procjene širine kanala. Podaci mjernih postaja pritoke Norin koristili su se u svrhu procjene prosječnog vodostaja koji se, u kombinaciji s pretpostavljenom dubinom vode od 2 m koristi za utvrđivanje razine korita. Jednostavan trapez profil s nagibom 1:1,5 predstavlja presjeka vodotoka

ove pritoke. Dimenzije ostalih presjeka vodotoka drugih pritoka procijenjene su na osnovi topografskih karata i aplikacije Google Earth.

Presjeci vodotoka za južni dio modela (blizu rijeke Mala Neretva) izrađeni su primjenom istog postupka kao i za pritoku Norin. Napravljene su pretpostavke za dimenzije brane u ušću rijeke Mala Neretva (modelirane kao čvor na ušću).

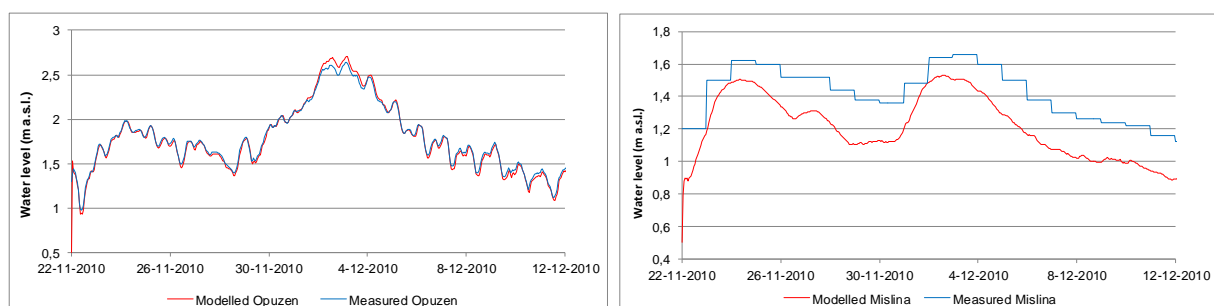
Sjeverni dio modela je odvojen od južnog dijela branom u Opuzenu, koja je uvijek zatvorena tijekom vršnih protoka. Simulacija za tromjesečno razdoblje (srpanj - rujna 2010.) s relativno niskim protocima provedena je za sjeverni dio modela (glavni kanal rijeke Neretve i pritoku Norin). Provedena je analiza simuliranih vodostaja koji su potom uspoređeni s vodostajima izmjeranima na vodomjernoj postaji Opuzen. Simulirani vodostaji između presjeka vodotoka ukazivali su na relativno veliku fluktuaciju (više od 5 cm), što je, kao posljedicu, zahtijevalo povećanje hrapavosti korita (s 0,02 na 0,1 - Manning). Ovo je smanjilo fluktuacije, ali one su i dalje bile prisutne. Ovaj fenomen je uzrokovan relativno velikim razlikama (kolebanjima razine korita od 2-3 m) između presjeka vodotoka na malom razmaku (250 m). Na nekoliko lokacija, presjeci vodotoka su ublaženi kako bi se smanjio utjecaj ovih razlika na simuliranim vodostajima.

Poplava iz prosinca 2010. (22. studenog - 12. prosinca) je odabrana za kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela. Rezultati simulacije su uspoređeni sa zapisima vodomjerne postaje Opuzen i studijom o hidrauličkom modelu za rijeku Neretvu uzvodno od Metkovića (Kvesić i Deduš, 2008.). Ispostavilo se da je model podcijenio protok (Kvesić i Deduš, 2008.), a precijenio vodostaje u Opuzenu. Stoga je hrapavost korita prilagođena prema Manningovim vrijednostima u rasponu od 0,033 do 0,035, prema studiji koju je provelo Sveučilište u Splitu (1992.).

Kalibracija modela je poboljšana dodatnim prilagodbama i korekcijama presjeka vodotoka. Dijelovi presjeka vodotoka izvan najveće razine nasipa su izbrisani, nekoliko presjeka vodotoka koji su odstupali od 'prosječnog uzdužnog nagiba' izbrisano je iz jednodimenzionalnog (1D) modela, dok su presjeci vodotoka s protupoplavnim zidovima na vrhu nasipa ispravljani ručno.

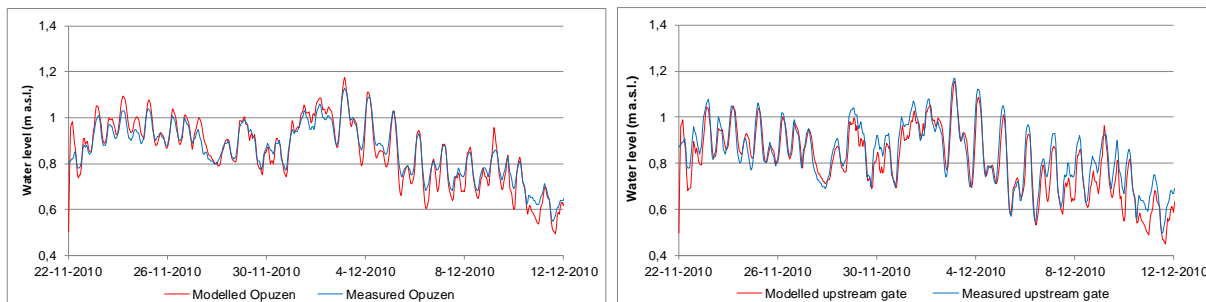
Uz južnu obalu rijeke Mala Neretva, nasip je prisutan na udaljenosti od približno 400 metara. Ovaj je nasip prisutan samo na jednoj strani rijeke i stoga se ne može uključiti u jednodimenzionalni (1D) model riječne mreže. Nasip mora biti uključen u dvodimenzionalnu (2D) mrežu kao serija povezanih ćelija s vrijednošću ćelije koja predstavlja uzvišenje nasipa. Dimenzije brane blizu ušća rijeke Mala Neretva prilagođene su prema tehničkim crtežima.

Nakon gore navedenih usklađenja, provedena je nova kalibracijska simulacija jednodimenzionalnog (1D) modela (22. studeni – 12. prosinca 2010.) (vidi slike 5.15 – 5.17). Rezultati su

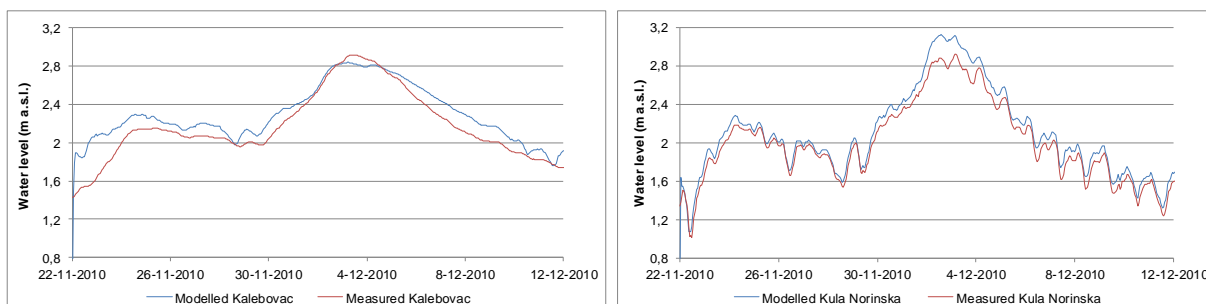


se smatrali zadovoljavajućima i moglo se nastaviti s razvojem 1D2D modela.

Slika 5.15 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Neretva - Opuzen (7062; lijevo) i rijeka Mislina - Mislina (desno)



Slika 5.16 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Mala Neretva - vodomjerna postaja na zapornici Opuzen nizvodno (7506; lijevo) i ustava na ušću uzvodno (7501; desno)



Slika 5.17 Kalibriranje jednodimenzionalnog (1D) modela 2010.; rijeka Norin – Kalebovac (7260; lijevo) i Kula Norinska II (7258; desno)

5.3 Razvoj, kalibriranje i validacija dvodimenzionalnih (2D) modela kopnenog toka

Dvodimenzionalni (2D) modeli kopnenog toka za pilot područja sadržavaju ćelije mreže s razlučivošću 100*100 m i izvedeni su iz digitalnih modela reljefa (vidi dio 3.3). Nakon spajanja jednodimenzionalnih (1D) mreža kanala i dvodimenzionalnih (2D) mreža u Sobek, provedene su početne simulacije kako bi se provjerilo opće ponašanje modela, vrijee potrebno za izračun i provode li modeli serije do kraja simulacije.

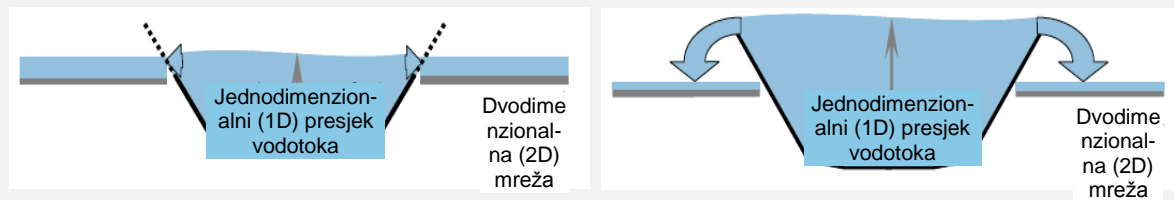
Kalibracijske i validacijske simulacije vršene su naizmjenice, mijenjanjem hrapavosti kanala i poplavnog područja (Manning). a u nekim su se slučajevima usklađivali i presjeci vodotoka u jednodimenzionalnom (1D) modelu riječne mreže.

Rijeka Kupa

Poplavni val iz 2010. (1. studenog - 31. prosinca) korišten je za kalibracijsku simulaciju 1D2D modela, budući da su podaci o razmjeru poplave bili dostupni. Potrebno je primijetiti da je jednodimenzionalni (1D) model potvrđen za duže razdoblje u 2010., uključujući i male tokove. Simulacija pokazuje razumne rezultate, osim kod precjenjivanja protoka i vodostaja tijekom vrhunca poplave.

Postavka bez nasipa u obzir uzima uzvišenje dvodimenzionalne (2D) mreže. Voda teče od jednodimenzionalnog (1D) mrežnog kanala do dvodimenzionalne (2D) mreže, kada razina vode prekorači vrijednost mreže. Ovoj se postavci prednost obično daje kada podatak o uzvišenju nasipa presjeka vodotoka nije toliko točan. Spajanje jednodimenzionalnog (1D) profila na dvodimenzionalnu (2D) mrežu je često bolje s ovom postavkom. Najviše vrijednost u presjeku vodotoka se uzima u obzir s postavkom visokog nasipa. Voda teče na dvodimenzionalnu (2D) mrežu, uzduž obje strane jednodimenzionalnog (1D) kanala, kada se prekorači ova najveća vrijednost. U ovom se slučaju plavljenje često podcjenjuje duž obale rijeke s nižom razinom. Ova postavka poželjna, kad je točnost uz-

višenja nasipa visoka. Točno uzvišenje linijskih elemenata, poput ustava i nasipa često se usrednjava u dvodimenzionalnoj (2D) mreži, što dovodi do smanjene točnosti.



Slika 5.18 Shematski prikaz postavki nasipa u Sobek-u (lijevo: bez nasipa; desno: visoki nasip)

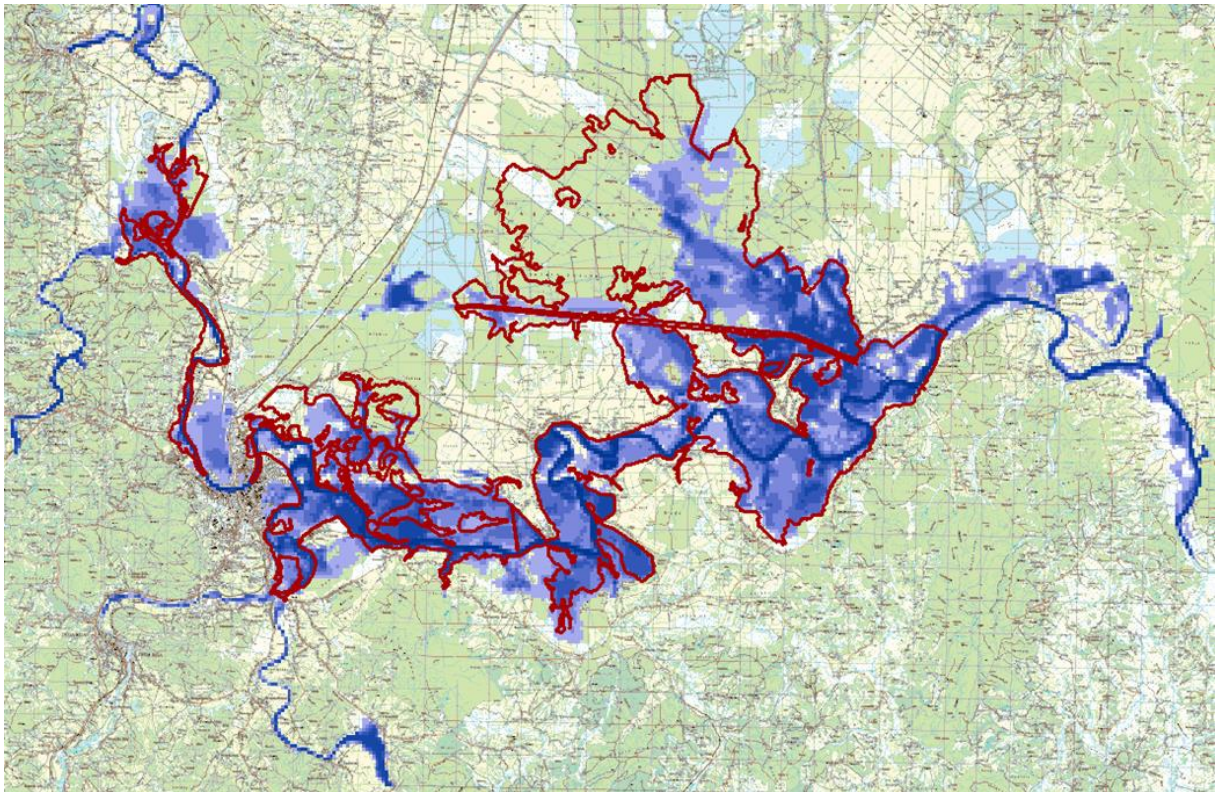
Naknadne simulacije 1D2D modela provedene su s različitim postavkama za nasipe, to jest, 'bez nasipa', 'visoki nasip' i 'niski nasip' (slika 5.18).

Simulacije s postavkom za niske nasipe rezultirale su plavljenjima u Karlovcu koja ne odgovaraju zabilježenom razmjeru poplava (vidi sliku 5.19). Simulirani razmjer poplave s postavkama visokih nasipa savršeno dobro odgovara zabilježenom razmjeru poplave. Urbano područje grada Karlovca nije poplavljeno, ali ne dolazi do zabilježenih plavljenja blizu sliva rijeka Dobre i Kupe.

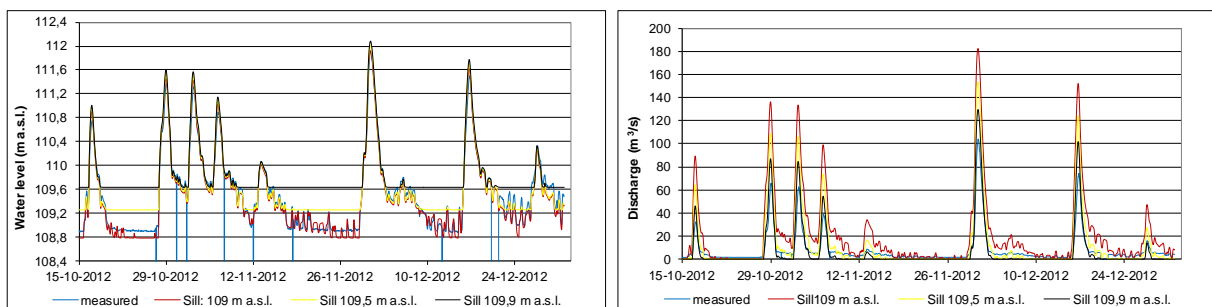
Radna skupina odlučila je poboljšati jednodimenzionalne (1D) i dvodimenzionalne (2D) shematske prikaze i optimizirati rezultate modela prvenstveno za blizinu grada Karlovca, koji predstavlja žarišno područje u ovom pilot području. Kao rezultat navedenoga, odabrana je postavka za visoki nasip. Dakle, neočekivane poplave u područjima izvan žarišnog područja morale su biti prihvaćene. Ova "razmjena" u razvoju modela je objašnjena opsežno i moralo se posegnuti za njom zbog vremenskih ograničenja.

Općenito govoreći, izgleda da model na zadovoljavajući način preslikava razmjer poplave (vidi sliku 5.19), osim za retencijsko područje južno od kanala Kupa-Kupa. U ovom slučaju karta sa zabilježenim poplavama prikazuje veći razmjer plavljenja, iako valjanost podataka na karti nije moguće utvrditi s pouzdanošću. Drugi važan aspekt je provjeriti kako je ovo retencijsko područje bilo poplavljeno tijekom poplave 2010. godine. Izgleda da se proces plavljenja širi od nizvodnog prema uzvodnom toku rijeke. Uzvišenje nekih pošumljenih površina u retencijskom području provjerena je referiranjem na aplikaciju Google Maps i topografske karte. Međutim, zaključeno je da je početno uzvišenje terena bilo točno.

Kalibracijske simulacije provedene su i za poplavne valove u razdoblju od studenog do prosinca 2012., fokusirajući se na distribuciju protoka između rijeke Kupe i kanala Kupa-Kupa. Slika 5.20 zorno prikazuje izmjerene i simulirane vodostaje i protoke na vodomjernoj postaji Mahično za različita uzvišenja praga. Uzvišenje praga u iznosu 109 m iznad razine mora čini se prikladnim za simuliranje ispravne razine vode u kanalu Kupa-Kupa, međutim precjenjuje prijenos protoka kroz kanal Kupa-Kupa. S obzirom na ciljeve izrade modela, razine vode koje će se simulirati za potrebe izrade karata opasnosti od poplava, prag na nadmorskoj visini od 109 m je shematski prikazan.



Slika 5.19 Simulirani (područja označena plavom bojom) i zabilježeni (crvene linije) razmjer poplava za rijeku Kupu, prosinac 2010.



Slika 5.20 Izmjereni i simulirani vodostaji i protoci na vodomjernoj postaji Mahično (2553) za različita uzvišenja praga

Na dosta mjesta na kojima su povezani jednodimenzionalni (1D) i dvodimenzionalni (2D) model, razina dvodimenzionalnog (2D) modela bilo je početno niža od najviše točke presjeka vodotoka. Ovo je rezultiralo netočnostima u prijenosu protoka i/ili nerealističnim plavljenjima područja za koje se izrađivao dvodimenzionalni (2D) model (pogotovo kad je odabrana postavka 'bez nasipa'). Razinu digitalnog modela reljefa potrebno je prilagoditi kako bi se ćelije dvodimenzionalne (2D) mreže preklapile s presjekom vodotoka jednodimenzionalnog (1D) modela. Na mjestima gdje je to stvaralo probleme, jednodimenzionalni (1D) presjeci su prilagođena ručno.

Dionica s nasipom uz lijevu obalu rijeke Korane početno nije uključena u jednodimenzionalne (1D) presjeka vodotoka. To je dovelo plavljenja područja u blizini Karlovca, što nije bio slučaj tijekom poplave iz 2010. (vidi sliku 5.19). Jednodimenzionalni (1D) model je podešen na temelju podataka preuzetih s aplikacije Google Earth.

Nakon posljednjih kalibracijskih i validacijskih simulacija, zaključeno je da model savršeno preslikava kartirani razmjer poplave iz 2010. godine, osim retencijskog područja Kupčine juž-

no od kanala Kupa-Kupa. za koje karta uočenih poplava prikazuje veći razmjer plavljenja. Međutim, valjanost dotične karte nije moguće utvrditi s visokim stupnjem sigurnosti.

Prostorno raznolika hrapavosti terena, koja su procijenili stručnjaci zemalja korisnica projekta, a ne (Corine) karta o korištenju zemljišta, koristila se za dvodimenzionalni (2D) model tijekom kalibracije i validacije. Još uvijek postoje neke razlike između modela i podataka dobivenih promatranjem. Međutim, nisu sva odstupanja uzrokovana problemima i parametrima koji se odnose na model, već - vjerojatno - i nekim nedosljednostima u podatke dobivene praćenjem različitih kontrolnih postaja (npr. bilanca protoka).

U konačnici, hrapavost korita može biti različita za niske i visoke tokove. U modelu se koristila jedna konstantna vrijednost hrapavosti za obje validacijske simulacije.

Nekoliko završnih opažanja u vezi simuliranih poplava na retencijskom području Kupčine nakon pregleda modela rijeke Kupom rezultiraju sljedećim:

- Najvažnije pretpostavke u Twinning projektu odnose se na točnost korištenih podataka (hidroloških vremenskih serija i digitalnih modela reljefa) koristiti i manjkave podatke koji se odnose na presjeke vodotoka. Za presjeke vodotoka u kanalu Kupa-Kupa i tri praga na ulazu, napravljene su pretpostavke na temelju Google Earth karata i lokalnog poznavanja terena.
- Dvanaest presjeka vodotoka dodano je ručno, opisujući preljeve (depresije nasipa) van kanala Kupa-Kupa u blizini ulaznog kanala retencijskih područja. Točnost navedenih pretpostavki nije potvrđena.

Ušće rijeke Neretve

Provedena je prva kalibracijska simulacija 1D2D modela (22. studenog – 12. prosinca 2010.) te je trajala približno 20 minuta za vremenski interval u trajanju od jednog sata. Rezultati za glavni kanal rijeke Neretvu (vodostaji) odgovaraju izmjerenim vodostajima na vodomjernoj postaji Opuzen, ali vodostaji i smjer toka u pritoci Norin (Kalebovac i Kula Norinska) nisu ispravno simulirani. Simulirani vodostaji na rijeci Mala Neretva kod Opuzena, Mislina i uzvodno od brane u blizini ušća nisu baš dobro odražavali izmjerene vodostaje.

Postavka za smjer tečenja na nizvodnoj brani rijeke Mala Neretva je prilagođena te je omogućeno tečenje u oba smjera. Također se pokazalo da su decimalne pogreške u nizvodnom rubnom uvjetu utjecale na uzvodne vodostaje. Širina brane na rijeci Mala Neretva smanjena je s 48 na 12 metara, jer se pretpostavlja da je tijekom kalibriranja bila otvorena samo jedna od ukupno četiri (4) brane. Rezultati kalibriranja značajno su se poboljšali, posebno u nizvodnom dijelu rijeke Mala Neretva. Shematizacija za rijeku Mala Neretva nije zahtijevala daljnje kalibriranje.

Nekoliko uzvodnih graničnih uvjeta pritoka rijeke Mala Neretva nije pravilno provedeno; vodostaji su modelirani kao protoci. Simulirani vodostaji u uzvodnim pritokama i dalje su prenisko procjenjivali izmjerene vodostaje rijeke Misline. Ovo je najvjerojatnije uzrokovano nedostatkom padalina i/ili ulijevanjem krških voda u model.

na području jezera Kutu nije bilo vidljivih plavljenja, jer su razine površina digitalnog modela reljefa blizu močvarnih područja u južnom dijelu modela bile previsoke za približno 2 m, u usporedbi s topografskom kartom. Ovaj dio digitalnog modela reljefa (DMR) ispravljen je stvaranjem shape file-a s razinama površina prema topografskoj karti (1:5,000). Simulacijska kalibracija pokazala je vjerodostojnije i pouzdanije rezultate.

Provedeno je nekoliko pokušaja poboljšanja rezultata modela za pritoku Norin. Prilagođeni su hrapavost korita i batimetrijski podaci, ali to nije poboljšalo rezultate. Oblik poplavnog vala i vrijeme dostizanja najviše točke simulirani su iznimno dobro. Međutim, vodostaji su vrlo nisko procijenili mjerenja i smjer tečenja nije simuliran na zadovoljavajući način.

Kako bi se reproducirao učinak otežane odvodnje koji je čest u ovom području, kada su vodostaji rijeke Neretve previsoki, u model su uključene i padaline. Lateralni čvor je povezan s

pritokom Norin. Pretpostavlja se da se površina od oko 1.000 hektara ispušta u pritoku između uzvodnog rubnog uvjeta u na rijeci Prud i ušću rijeke Norin. Prednost je dana podacima o dnevnim padalinama u Opuzenu tijekom razdoblja kalibracije. Pretpostavlja se da sve padaline direktno otječu u rijeku Norin. Srednji protok pritoke Norin porastao je za približno $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ali vodostaji nisu pravilno simulirani.

Nakon pozornog ispitivanja podataka o vodostaju na vodomjernoj postaji Prud, činilo se da isti sadrže strukturnu pogrešku od 1,3 m. Nulta razina nije uzeta u obzir za validaciju podataka o vodostaju. Rezultati simulacije u dalekoj većoj mjeri su odgovarali izmjerenim podacima nakon korekcije graničnog uvjeta.

Rezultati kalibriranja pritoke Norin poboljšani su daljnjom prilagodbom batimetrijskih podataka. Dodano je nekoliko presjeka vodotoka te je izmijenjeno nekoliko razina korita (podignute su) kako bi se stvorio veći nagib pritoke. Površinske razine presjeka vodotoka ispravljene su sukladno izmjerenim površinskim razinama. Nakon ove dodatne kalibracije, model je vrlo pouzdano predstavljao izmjerene vodostaje blizu Kalebovca. Simulirani vodostaji u blizini vodomjerne postaje Kula Norinska (ušće rije Norin) i dalje su previsoko procjenjivali izmjereni vodostaj s približno 0,2 m tijekom vrhunca poplavnog vala. Razlike su vjerojatno uzrokovane opstrukcijom tečenja iz rijeke Neretve zbog mostova koji se nalaze u blizini ušća rijeke Norin. Zbog vremenskih ograničenja odlučeno je da se završiti proces kalibriranja za pritoku Norin.

I na području jezera Kuti (uzvodno od Opuzena i rijeke Mala Neretva), do plavljenja dolazi uslijed otežane odvodnje. Kako bi se reproducirale padaline, dodan je bočni čvor. Površina ovog područja iznosi oko 2.500 hektara. Budući da je dodatna odvodnja mala u usporedbi s protokom rijeke Mala neretva nizvodno od Prunjaka, izračunati vodostaji nisu se značajno promijenili kao rezultat ove izmjene.

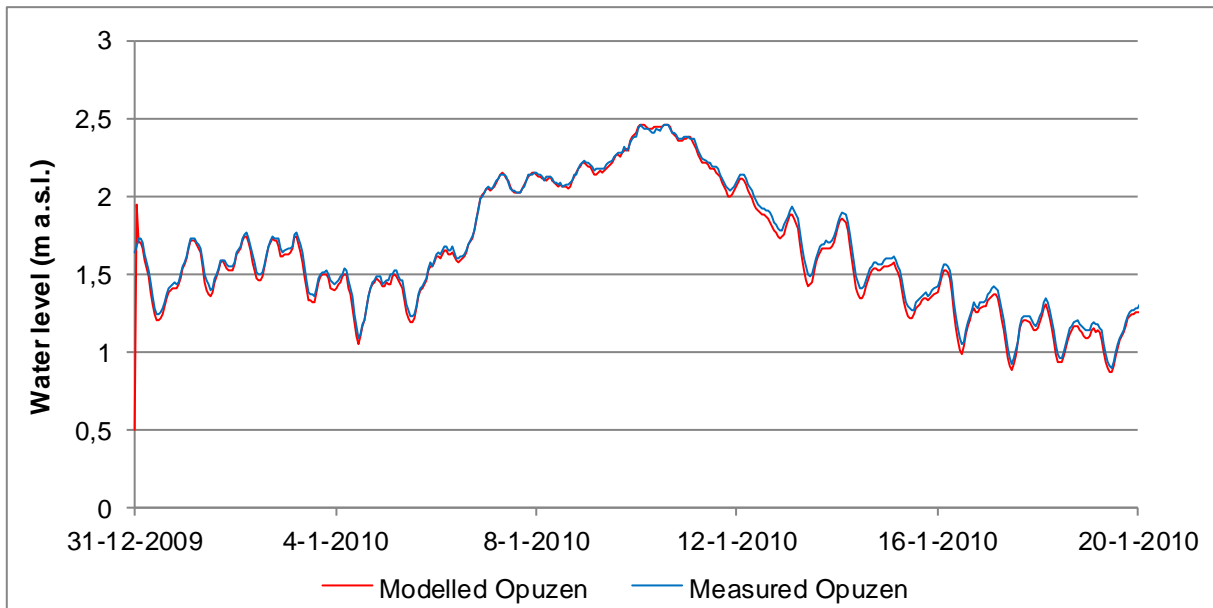
Dodatna kalibriranja provedena su za pritoke rijeke Mala Neretva. Hidraulična hrapavosti jednodimenzionalnog (1D) modela prilagođena je kako bi se povećala razina vode (vodostaj) u pritokama. Vodostaji rijeke mala Neretva smanjili su se u blizini Opuzena te se sve sveukupni rezultat nije poboljšao.

Bočni čvor je dodan za rijeku Mislinu između Bijelog Vira i Misline s konstantnim protokom od $5 \text{ m}^3/\text{s}$ kako bi predstavljao ulijevanje krških voda u ovo područje. Krški izvori u blizini Misline mogu protjecati brzinom do $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sveučilište u Splitu, 1996.). Model puno bolje predstavlja vodostaje, međutim, isti su još uvijek preniski (razlika od približno 0,1 m) u blizini Misline. Daljnje povećanje konstantnog protoka bi previše utjecalo na vodostaje nizvodno, a nije ni realistično prema literaturi.

Sveukupno gledajući, neke razlike (maks. 0,1 m) između izmjerenih i simuliranih vodostaja duž rijeke Mala Neretva i dalje su prisutne. Ovo je najvjerojatnije uzrokovano nepoznatim pravilima rada brane nizvodno na rijeci Mala Neretva, ulijevanjem nepoznatih krških voda u kanale / ili (mogućim pogrešnim) pretpostavkama o presjecima vodotoka na ovom području. Osim toga, postoje neke sumnje po pitanju točnosti izmjerenih vodostaja.

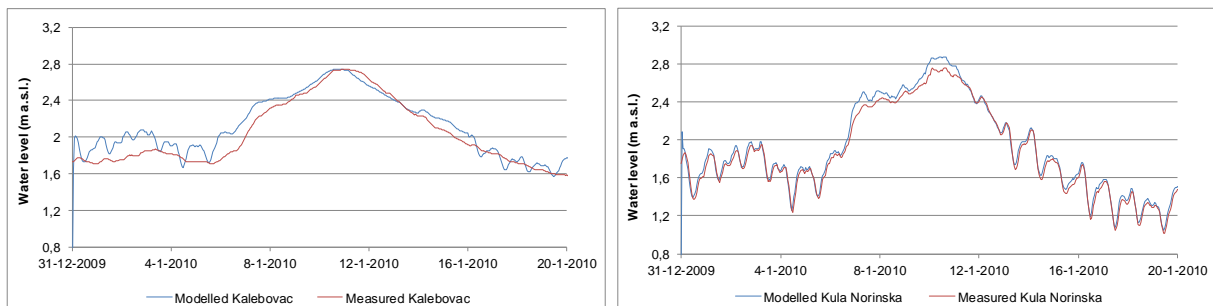
Zbog vremenskih ograničenja, nije bilo moguće provesti iscrpnu analizu gore navedenih aspekata. Kalibriranje modela je privedeno kraju, uzimajući u obzir relativno mala odstupanja.

Konačno, simulacijska validacija provedena je tijekom razdoblja u trajanju od 31. prosinca 2009. do 20. siječnja 2010. Rezultati su zadovoljavajući za rijeku Neretva na mjerne postaji Opuzen (slika 5.21) i rijeku Norin (mjerne postaje Kula Norinska i Kalebovac, vidi sliku 5.22). Rezultati za rijeku Mala Neretva blizu brane u Opuzenu (slika 5.23) vrlo je teško usporediti s izmjerenim podacima, zbog odsutnosti satnih podataka za ovo razdoblje. Rezultati na brani u blizini ušća rijeke Mala neretva poprilično su zadovoljavajući (slika 5.23).

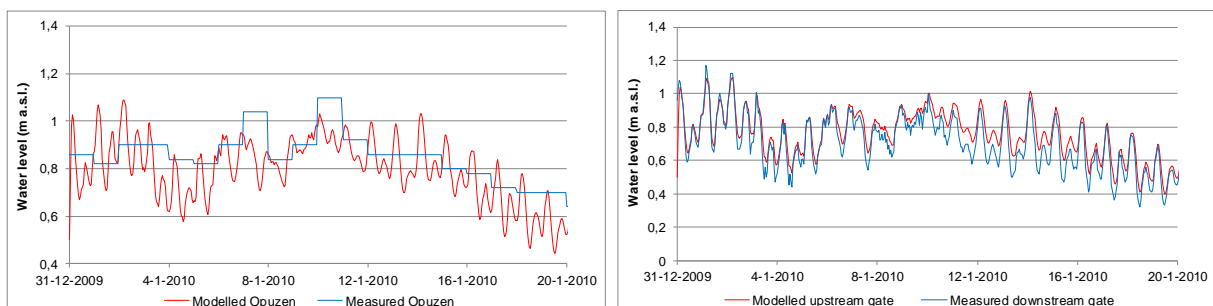


Slika 5.21 Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Neretva - Opuzen (7062)

U području pod utjecajem plime i oseke, usporedba simuliranih vodostaja s dnevnim mjerenjima nije korisna. Preporuča se odabir drugog vremenskog razdoblja za validaciju dijela modela koji se odnosi na Malu Neretvu, ali do simulacije nije došlo zbog vremenskih ograničenja.



Slika 5.22 Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Norin – Kalebovac (7260; lijevo) i Kula Norinska II (7258; desno)



Slika 5.23 Validacija 1D2D modela 2010.; rijeka Mala Neretva - vodomjerna postaja na zapornici Opuzen nizvodno (7506; lijevo) i ustava na ušću uzvodno (7501; desno)

6 SIMULACIJE MODELA ZA IZRADU KARATA OPASNOSTI OD POPLAVA

6.1 Uvod

Razvoj karata opasnosti od poplava za pilot područja (ušće rijeke Neretve i rijeku Kupu) uključen je u komponentu izrade karata (vidi poglavlje 1). Izradit će se karte za sljedeće scenarije:

- Poplave s malom vjerojatnošću, ili scenariji ekstremnih događaja;
- Poplave sa srednjom vjerojatnošću (vjerojatno povratno razdoblje ≥ 100 godina);
- Poplave s visokom vjerojatnošću, gdje je to primjenjivo.

U okviru zadatka 7 (aktivnost 2.4 (Douben & Beckers, 2013) i 3.1-1 (Vincze et al., 2013)) zaključeno je da će se provesti simulacije poplava s povratnim razdobljem od jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina. Također, provode se simulacije scenarija za dodatne prolome nasipa i različitih pravila rada za hidrauličke strukture kako bi se dobio uvid u potencijalne rizike od plavljenja u zaštićenim područjima te kako bi se obogatilo znanje o sustavu voda tijekom velikih voda i poplava (vidi dio 6.3).

Izlazni podaci i kreiranje karata s parametrima opasnosti od poplava

Sobek generira tri vrste izlaznih podataka (Alkema, 2007.):

- Dinamički izlazni podaci, koji predstavljaju širenje poplave u obliku animacijske datoteke o širenju poplave koju je moguće pregledati uz pomoć softverskog alata za video animaciju;
- Vremenski izlazni podaci, koji se sastoje od tablica i grafikona s vremenskim serijama dubine vode na prethodno definiranim lokacijama i protoka na prethodno definiranim presjecima vodotoka;
- Prostorno-vremenski izlazni podaci. U prethodno definiranim vremenskim intervalima moguće je generirati karte koje ukazuju na prostornu distribuciju dubine vode i brzine protoka. Neposredno nakon simuliranja, kreiraju se dodatne karte koje sadrže podatke o maksimalnoj dubini vode i brzini protoka unutar svake ćelije mreže.

Karte s parametrima opasnosti od poplava

Najvažnije informacija za procjenu opasnosti i rizika od poplava sadržane su unutar serija karata s dubinama vode i brzinama protoka. Transformacija izlaznih podataka modela u parametre karata opasnosti od poplava rezultira sljedećim podacima:

- Naiveća dubina vode za svaku ćeliju mreže tijekom simulacije (razmjer poplave). Područja s većim dubinama vode opasnija su za ljude i potencijalno štetnija za objekte kao što su zgrade i automobili. Ovaj parametar također služi kao moguće sredstvo za kalibriranje modela, jer je jedan od rijetkih parametara poplava koje je moguće utvrditi relativno jednostavno nakon poplave zbog mokrih oznaka u i na građevinama.
- Naiveća brzina protoka za svaku ćeliju mreže tijekom simulacije. Brzina protoka je važna komponenta poplavnih voda, jer može pomesti ljude s nogu i objekti poput automobila mogu otplutati. Ova karta pokazuje lokacije na kojima bi se putanje poplave mogle razviti do razmjera koji bi mogli rezultirati opasnim situacijama s visokim potencijalom rizika.
- Maksimalni impuls (m^2/s) za svaku ćeliju mreže tijekom simulacije. Impuls se izračunava za svaki vremenski korak množenjem dubine vode i brzine protoka. Ova vrijednost u osnovi predstavlja količinu kretanja mase vode. Brzina protjecanja nije dovoljna kako bi se utvrdila količina potencijalne štete ili opasnosti za npr. ljude i automobile. Plitka voda s velikom brzinom protoka i duboka, praktički mirna voda nemaju velike količine kinetičke energije ili gibanja. Duboka voda koja brzo teče ipak je potencijalno opasna za ljude i vozila te je potencijalno štetna za npr. zgrade i usjeve.

- Maksimalni porast razine vode, koji ukazuje na maksimalnu brzinu pri kojoj se razina vode podigla (u m/h) unutar svakog polja mreže tijekom simulacije. Parametar se izračunava uzimajući razliku između dvije uzastopne karte s dubinama vode, podijeljenih po vremenskim intervalima simuliranja. Brzi porast razine vode je potencijalno opasan za ljude koji možda neće imati dovoljno vremena za evakuaciju na uzvisine ili povišene strukture.
- Obilježja širenja poplave, koja ukazuju kako se poplavni val širi područjem interesa. Nakon svakog vremenskog koraka utvrđuje se poplavljeno područje te se isto uspoređuje sa situacijom iz prethodnog vremenskog koraka. Bilježi se vrijeme prvog plavljenja polja mreže. Karta ukazuje na vrijeme potrebno da poplavna voda dođe do određene lokacije te, u skladu s time, vrijeme koje je ljudima na raspolaganju da se pripreme. Još su opasnija područja koja brzo poplavljuju.
- Trajanje poplave, koje ukazuje na vrijeme unutar kojeg poplavna voda ostaje na određenoj lokaciji. Karta se temelji na nekoliko pretpostavki u pogledu odvodnje poplavnih voda iz poplavnog područja. Pretpostavlja se da se najniža točka poplavnog područja isušuje putem slobodnog toka te da simulacija traje dovoljno dugo da se uključe silazna putanja poplavnog vala. Trajanje poplava procjenjuje se procjenom stope promjene razine vode (dh/dt) do trenutka postizanja minimalne dubine vode (ili isušenja). Karte s trajanjem poplava pružaju prvi dojam o ukupnom trajanju plavljenja područja. Ovaj parametar slični minimalnom vremenskom razdoblju unutar kojeg je ljude potrebno premjestiti, unutar kojeg su tvrtke i industrije zatvorene, prijevoz nemoguć ili otežan te nakon kojeg mogu početi aktivnosti popravka i obnove. Ovo je jak parametar za procjenu ekonomskih i socijalnih posljedica u slučaju poplava te za procjenu poljoprivredne štete. Mnogi usjevi, poput stabala s vočkama i vinograde mogu izdržati plavljenja samo neko kratko vrijeme (nekoliko dana).

U okviru zadatka 7, zaključeno je da bi rezultati dvodimenzionalnog (2D) modela trebali ispunjavati zahtjeve komponente izrade karata u pilot područjima, i to minimalno:

- Razmjer poplave (područje);
- Dubina poplave (m); i, po mogućnosti,
- Maksimalne brzine protoka (m/s).

Utvrđuju se izlazni podaci modela koji će ispuniti potrebe izrade karata, a za to su odgovorne radne grupe u zadatku 12 koje rade na komponenti izrade modela i karata (Douben et al., 2013e). SOBEK ASCII datoteke za razmjer poplava, dubinu plavljenja i brzinu protoka će se koristiti kao ulaz za GIS mapiranje. Definicija sadržaja karata, vizualizacija, mjerila i izgled opisani su u Vodiču kroz tehničke aspekte izrade karata opasnosti od poplava.

6.2 Simulacije karata opasnosti od poplava

Rijeka Kupa

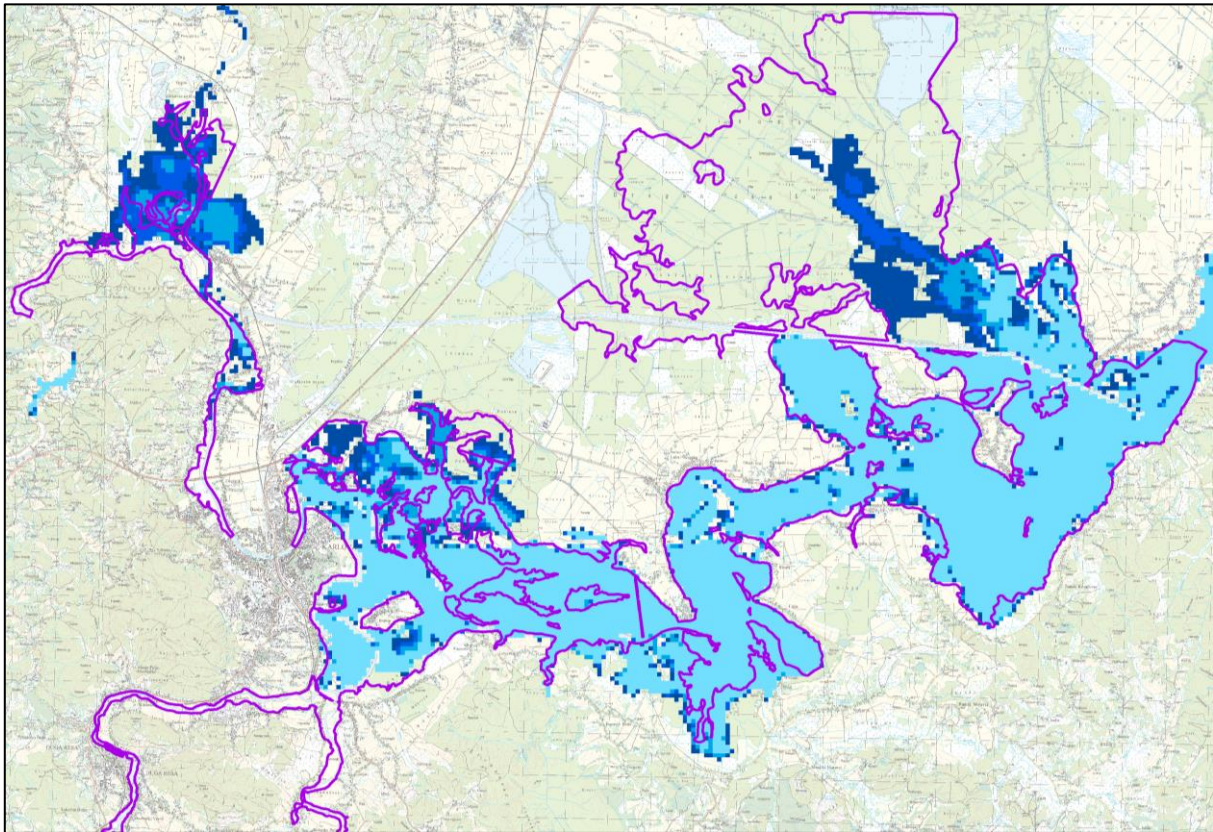
Za rijeku Kupu potrebno je provesti dvije simulacije za svako pojedino povratno razdoblje (vidi dio 3.4.1 i 3.4.4), budući da poplavni valovi mogu biti rezultat dvije različite situacije; velike vode rijeka Kupe i Dobre ili velike vode rijeka Mrežnice i Korane. Najgori mogući scenariji za svaki pojedinačni događaj odabrana kao ulazni podaci za aktivnosti izrade karata opasnosti od poplava.

Posebni granični uvjeti za simulacije su opisani u dijelu 5.3. Ukupno je provedeno 8 različitih simulacija:

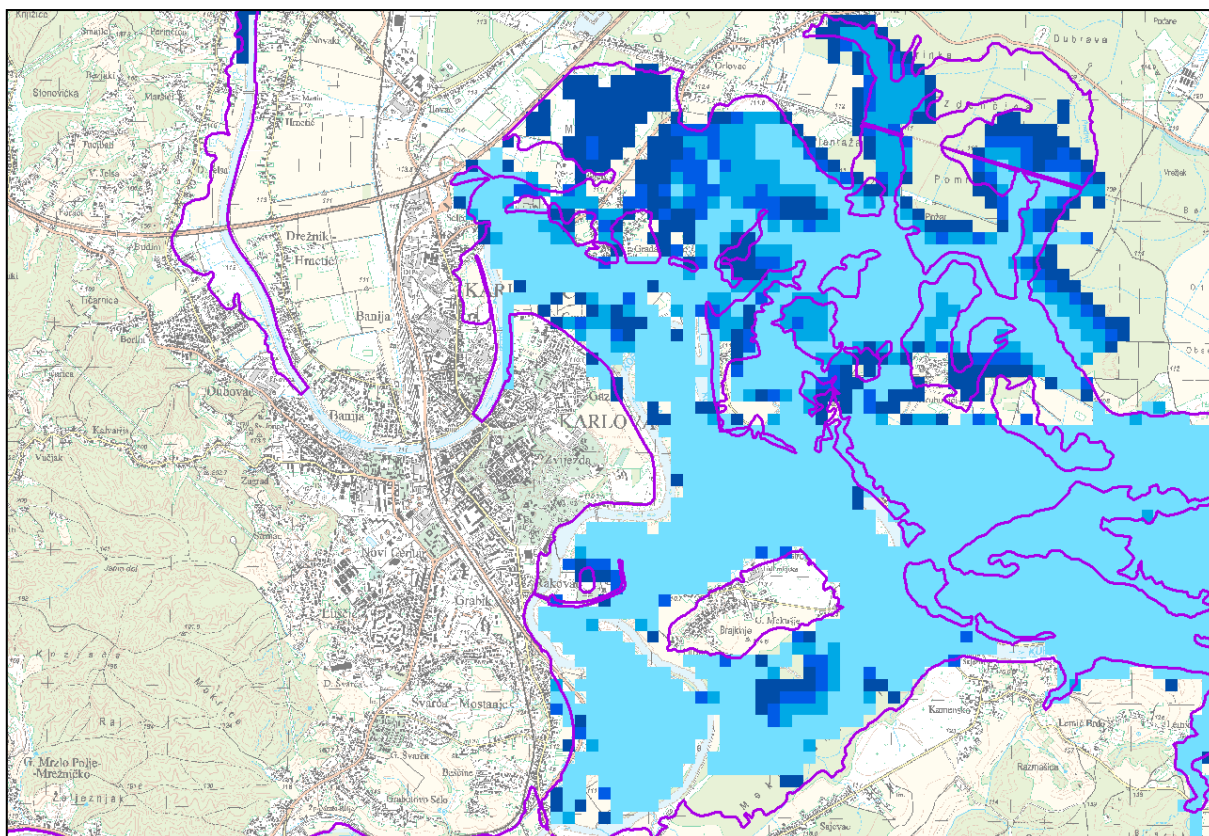
- T25, T50, T100 i T1000 granični uvjeti s velikim vodama na rijekama Kupi i Dobri te manje velikim vodama na rijekama Korani i Mrežnici;

- T25, T50, T100 i T1000 granični uvjeti s velikim vodama na rijekama Korani i Mrežnici te manje velikim vodama na rijekama Kupi i Dobri;

Rezultati simulacije (razmjer plavljenja) prikazani su na slikama 6.1 (modelirano područje) i 6.2 (područje grada Karlovca) U svim slučajevima, najgori scenarij definiran je velikim vodama na rijekama Kupi i Dobri te manje velikim vodama na rijekama Korani i Mrežnici.



Slika 6.1 Razmjer plavljenja rijeke Kupe jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja (svijetlo plava = T25; tamno plava = T1,000)



Slika 6.2 Razmjer plavljenja područja u blizini Karlovca jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja (svijetlo plava = T25; tamno plava = T1,000) Ljubičaste linije na slikama 6.1 i 6.2 predstavljaju razmjer poplave iz siječnja 2013. Razmjere ove poplave je sličan onome za poplavu iz 2010. koja se koristila u svrhu kalibriranja modela (vidi dio 5.3 i sliku 5.19).

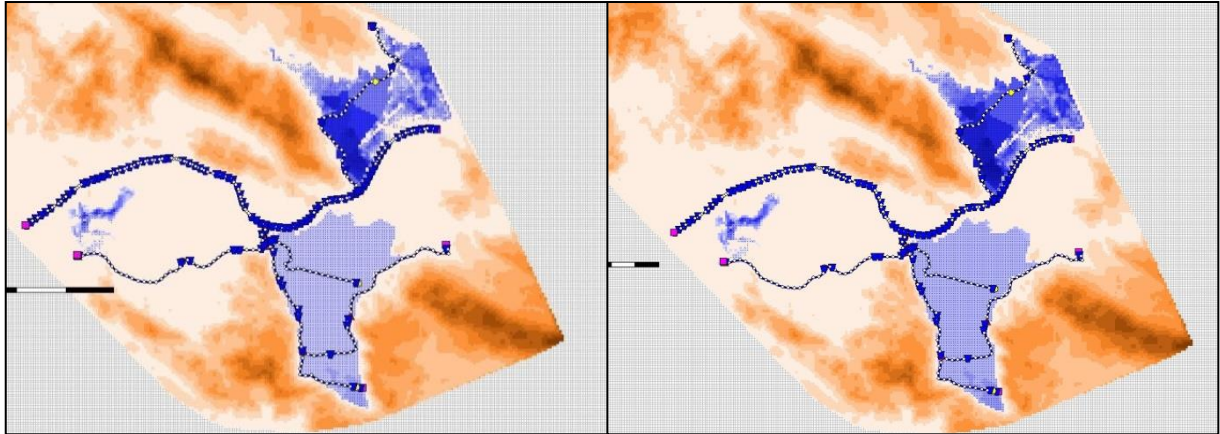
Analize učestalosti poplava za bočna ulijevanja nisu provedene te, stoga, nisu ni uključene u simulacije. Odstupanja u (vršnim) protocima mogla bi iznositi oko 10%.

Objekti koje je sagradila ljudska ruka, poput cesti i željeznica, kategoriziraju poplavno područje. Širenje poplavnog vala kroz poplavna područja djelomično slijedi ove kategorije. Vijadukti, mostovi, zgrade i drugi topografski elemente stvarno ne usmjeravaju poplavne vode kroz uske prolaze. Stoga, iznimno visoke brzine protoka ($> 2 \text{ m / s}$) i visoki impulsi nisu slučaj u poplavnim područjima.

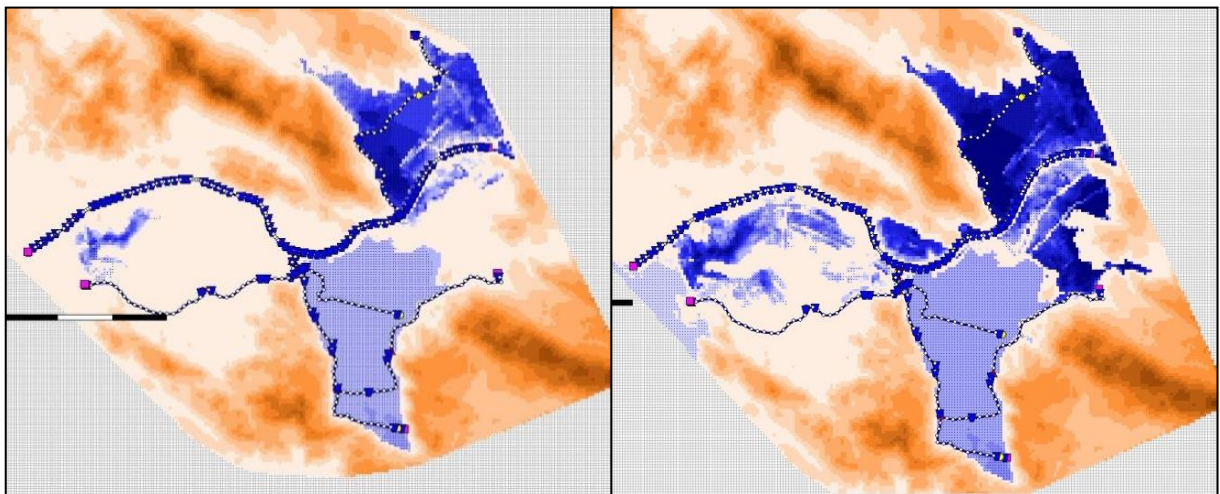
Ušće rijeke Neretve

Za simuliranje raznih poplava u dolini rijeke Neretve potrebne su samo četiri serije sa T25, T50, T100 i T1,000 rubnim uvjetima. Nizvodni utjecaj plime i oseke ne širi se do uzvodnog rubnog uvjeta u blizini Metkovića tijekom pojave velikih voda (vidi dio 3.4.1).

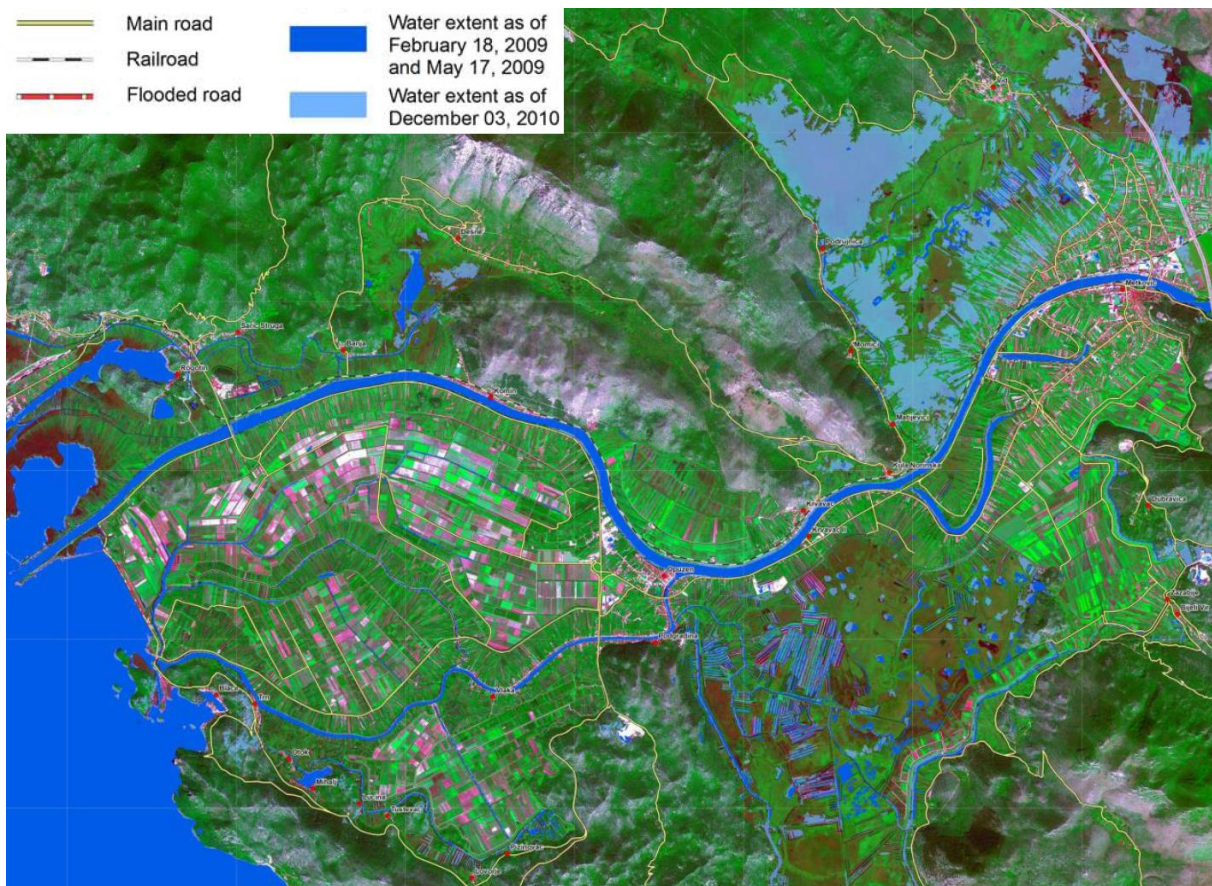
Rezultati simulacije (razmjer plavljenja) prikazani su na slikama 6.3 i 6.4



Slika 6.3 Razmjer plavljenja ušća rijeke Neretve jednom u 25 (lijevo) i 50 (desno) godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja



Slika 6.4 Razmjer plavljenja ušća rijeke Neretve jednom u 100 (lijevo) i 1000 (desno) godina uslijed (sintetičkih) poplavnih događaja



Slika 6.5 Plavljenje ušća rijeke Neretve, 3. prosinca 2010.

Pokretačke sile poplava u Delti Neretve se sastojati od plavljenja uslijed djelovanja voda, kao i uslijed otežane odvodnje oborinskih voda. Potonji je postupak iznimno teško simulirati u okviru vrste modela koji je razvijen za ovaj projekt (1D2D, bez modeliranja procesa padaline-otjecanje).

Objekti koje je sagradila ljudska ruka, poput cesti i željeznica, kategoriziraju poplavno područje. Širenje poplavnog vala kroz poplavna područja djelomično slijedi ove kategorije. Vijadukti, mostovi, zgrade i drugi topografski elemente stvarno ne usmjeravaju poplavne vode kroz uske prolaze. Stoga, iznimno visoke brzine protoka ($> 2 \text{ m / s}$) i visoki impulsi nisu slučaj u poplavnim područjima.

Simulirana plavljenja na lijevoj obali rijeke Neretve kod Metkovića smatraju se realnima. Ovo također vrijedi i za poplave na području jezera Kutina, budući da izgradnja planiranog sustava zaštite od poplava još nije završena.

Neka od područja koja su poplavljena tijekom poplave u prosincu 2010. (slika 6.5) nisu prikazana u rezultatima T25, 50 i 100 simulacija. Poplava iz prosinca 2010. ima povratno razdoblje od otprilike jednom u 50 godina (Begović & Schunk, 2011).

Područje na desnoj obali rijeke Neretve, nizvodno od Kule Norinske, je poplavljeno zbog niskih nasipa (vidi sliku 6.5). U modelu simulacije međutim, ovo plavljenje nije prisutno, vjerojatno zbog 'postavki nasipa' u Sobek-u.

Područje blizu Komina nije bilo poplavljeno 2010. godine. Međutim, očekuje se da će ga rijeka Neretva poplaviti u povratnom razdoblju od 50 do 100 godina, s obzirom na visinu poplavnih zidova na vrhu desne obale. Nedostatak plavljenja u simulacijama najvjerojatnije je uzrokovan 'postavkama nasipa'.

Močvarno područje nizvodno od Komina trebao bi biti poplavljeno, budući da postoji propust

na desnoj obali rijeke Neretve. Ovo je slična situacija kao i sa rijekom Norin. Međutim, pro-pust nije prikazan u modelu. Pokušaj modeliranja poplava na ovom području s opcijom pro-loma nasipa u 1D2D modulu Sobek-a nije uspio, zbog netočnih informacija digitalnog modela reljefa (DMR). Digitalni model reljefa iza nasipa je previsok i ne predstavlja stvarno uzvišenje terena.

Očekuje se da će simulacije poplave sa 1000-godišnjim povratnim razdobljem podcjenjuju 'stvarnost'. Nasipi uz rijeku Neretvu su osmišljeni izrađeni za događaje s povratnim razdob-ljem u trajanju od 100 godina. Preniska procjena se odnosi na točnost podataka digitalnog modela reljefa, kako za uzvišenja terena i visine nasipa, tako i za grube veličine polja mreže (100 * 100 m). Osim toga, 'postavka za nasip' u Sobek-u je uzrok lokalnih razlika.

Nasip u Jerkovcu (lijeva obala rijeke Neretve nasuprot Metkovića; Jerkovačka cesta) privre-meno je povišena i vidljivi u digitalnom modelu reljefa (DMR). Planirani nasip još nije izgra-đen, ali bi trebao zaštititi područje za događaje s povratnim razdobljem od 25 godina.

Ublaženo područje iza desnog nasipa rijeke Mala Neretva (Jasenska - Modrić - Glog) se, u simulacijama poplava, poplavljuje putem prelijevanja nasipa u blizini brane na ušću rijeke. Plavljenje na ovom području obično se javlja kao rezultat otežane odvodnje, podizanja razine podzemnih voda i kapaciteta crpne stanice Modrić. Svi ovi aspekti nisu uključeni u model shematizacije.

Izvori u području Vidrice (lijeva obala Male Neretve), također nisu uključeni u model.

Crpne postaje na području Koševo - Vrbovci također nisu uključene u model. Plavljenja u ovom poboljšanom području, koja se javljaju kao rezultat oborinskih, podzemnih voda i fun-kcioniranja sustava za navodnjavanje, nije moguće simulirati primjenom ovog modela.

6.3 Simulacija proloma nasipa (rijeka Korana)

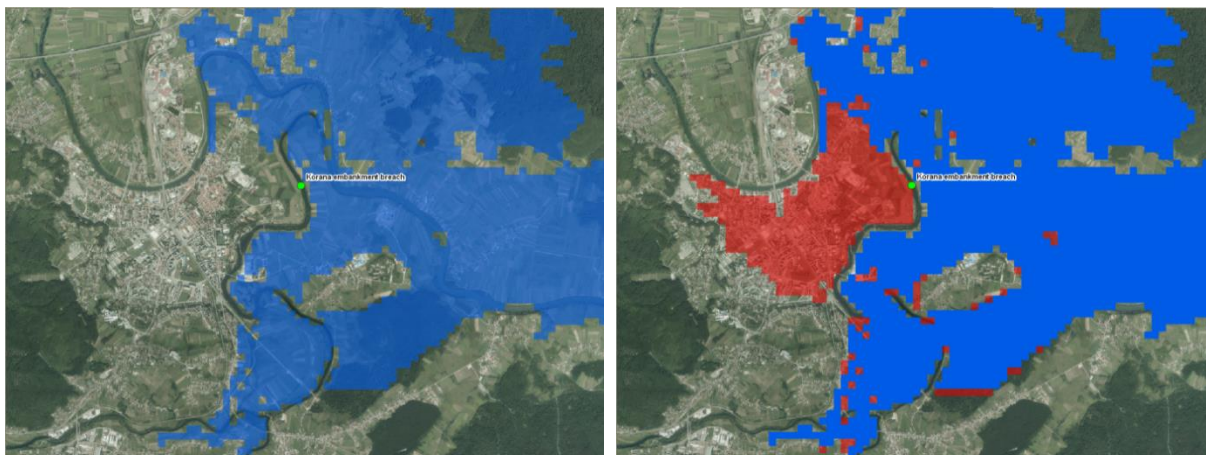
Osim simulacija za pripremu i izradu karata opasnosti od poplava, druge dvije simulacije se provode s prolomom nasipa u Karlovcu (rijeka Korana) i operativnom shemom za branu u Opuzenu (Delta Neretve).

Rijeka Kupa

Simulacija proloma nasipa duž rijeke Korane u Karlovcu provedena je kako bi se dobio pre-liminarni uvid u širenje poplavnog vala unutar zaštićenog područja.

U Sobek-u, jednodimenzionalni (1D) model se koristi kako bi se opisalo širenje proloma i njegov tok, dok se dvodimenzionalni (2D) modul koristi za predviđanje širenja poplava na poplavnom području. Modele za prolome nasipa u Sobek-u moguće je izraditi pomoću 'složene brane' s obilježjima koja ovise o vremenskom razdoblju. Širenje proloma nasipa je opisano vremenskim serijama za širinu vrha i razinu vrha. Protok proloma se izračunava primjenom jednadžbi toka brane. Osim toga, 2D modul također sadrži poveznicu 'dam break', koja može opisivati širenje proloma pomoću empirijskih jednadžbi za širenje proloma.

Područje plavljenja (razlike) sa i bez proloma nasipa zorno je prikazano na slici 6.6. Nakon proloma nasipa, centar grada Karlovca se brzo preplavljuje. Najveći razmjer poplave na pod-ručju grada postiže se nakon otprilike 12 sati. Prosječna dubina vode u tom trenutku iznosi oko 1-1,5 m.



Slika 6.6 Područje plavljenja s (desno) i bez proloma (lijevo) nasipa za rijeku Koranu

Ušće rijeke Neretve

Ustava u Opuzenu, koja dijeli rijeke Neretvu i Malu Neretvu rijeka je obično je zatvorena za vrijeme velikih voda rijeke kako bi se zaštitila područja jugozapadno od Opuzena (Prodgradina i dalje nizvodno). Ustava bi, međutim, mogla ublažiti pritisak na sustavu rijeke Neretve nizvodno od ustave. S druge strane, otvaranje ustave bi moglo uzrokovati poplave (ilegalno) izgrađenih kuća uz Malu Neretvu. Hidrauličke simulacije s otvorenom ustavom mogle bi pružiti bolji uvid u operativne mogućnosti i utjecaje na toka rijeke tijekom vršnih tečenja.

Simulacija s otvorenom ustavom izrađena je kako bi se provela analiza sposobnosti ustave po pitanju smanjenja razine vode u nizvodnoj dionici toka rijeke Neretve te razmjera u kojem bi podigla razine vode za rijeku Mala Neretva. Nažalost, zbog vremenskih ograničenja, nije bilo moguće ispravno provesti simulaciju i analizirati rezultate

Simulacija je provedena, ali nije polučila očekivane rezultate. Poplave su se očekivale na obje strane rijeke Mala Neretva. međutim, simulacija nije rezultirala bilo kakvim plavljenjem. Izostanak poplava mogao bi biti povezan s pravilima rada ustave vrata, koja nisu točno poznata. U ovom je slučaju ustava otvorena odmah nakon početka simulacije.

Izvori u području Vidrice (lijeva obala rijeke Mala Neretva) nisu uključeni u model. Očekuje se da će ovo područje biti poplavljeno nakon otvaranja ustave u Opuzenu.

7 RASPRAVA, ZAKLJUČCI I PREPORUKE

7.1 Rasprava

Dostupnost i točnost podataka

Dostupnost i točnost podataka je, kao što je to slučaj u i ovom Twinning projektu, gotovo uvijek problem u projektima izrade modela poplava. U Twinning projektu, ovo pitanje se posebno odnosi na točnost podataka o reljefu poplavnih područja i područja koja su sklona plavljenjima. Relativno velike pogreške u digitalnim modelima reljefa (na lokalnoj razini do 2 m) utječu, kako na rezultate dvodimenzionalnog (2D) modela, tako i (razmjer poplava mjeri, dubina plavljenja i brzine protoka).

LiDAR (Light Detection And Ranging) podaci dobivaju na važnosti na polju izrade topografskih karata s visokom razlučivošću. LiDAR je dokazana tehnologija skeniranja laserom nošenim zrakom koja se koristi za pripremu digitalnih modela reljefa visoke razlučivosti. Prednost LiDAR podataka nad primjenom podataka tradicionalnih istraživanja sastoji se u tome da se jednodimenzionalni (1D) presjeci mogu pripremati s malim intervalima. Točnost rezultata dvodimenzionalnog (2D) modela i karata opasnosti od poplava je, očito, puno veća uz digitalnih modela reljefa LiDAR-a.

Nesigurnosti u izradi hidrodinamičkih modela i izradi karata opasnosti od poplava

Izvori nesigurnosti

Nesigurnosti vezane uz razvoj karata opasnosti od poplava na temelju hidrodinamičkih modela mogu se podijeliti na tri tipa (Prinos, 2008.):

- Nepouzdanost podataka;
- Nepouzdanost modela; i
- Nepouzdanost parametara.

Svaki element koji pridonosi lancu katastrofe od poplava, odnosno hidrološko opterećenje -> usmjeravanja poplava -> potencijalni neuspjeh struktura za zaštitu od poplava -> plavljenje -> oštećenje imovine, sadrži nesigurnosti, koje se mogu dodijeliti barem jednom od gore navedenih vrsta nesigurnosti. Tablica 7.1 prikazuje osnovne korake u razvoju karata opasnosti od poplava i ilustrira vjerojatne izvore neizvjesnosti i dodijeljen neizvjesnosti.

Ponašanje u slučaju nepouzdanosti

Detaljno parametriranje i validacija hidrodinamičkih modela gotovo uvijek predstavljaju problem zbog nedostatka točnih podataka o količini protoka, obliku kanala i topografiji korita (Ghimire, 2013.). Ključne parametre, modela poput koeficijenta hrapavosti korita moguće je optimizirati samo na temelju poplava za koje su dostupni dokazi o plavljenju (npr. pravovremene satelitske snimke). Nesigurnost u parametrima modela će se povećati kao rezultat kombinacije različitih hidroloških procesa u različitim prostorno-vremenskim mjerilima. Nadalje, točna mjerenja ekstremnih ekstremnog tečenja možda neće biti moguća, kada vodostaj prelazi ograničenja mjerenja i počne pritjecati u poplavno područje. Sve ove izvore nepouzdanosti treba uzeti u obzir za izradu pouzdanije i točne procjene ekstremnih tečenja, kao i za izradu karata opasnosti i rizika od poplava.

Kako bi se procijenile nepouzdanosti karata opasnosti od poplava, moguće je primijeniti Monte Carlo metode ili metode širenja pogreške.

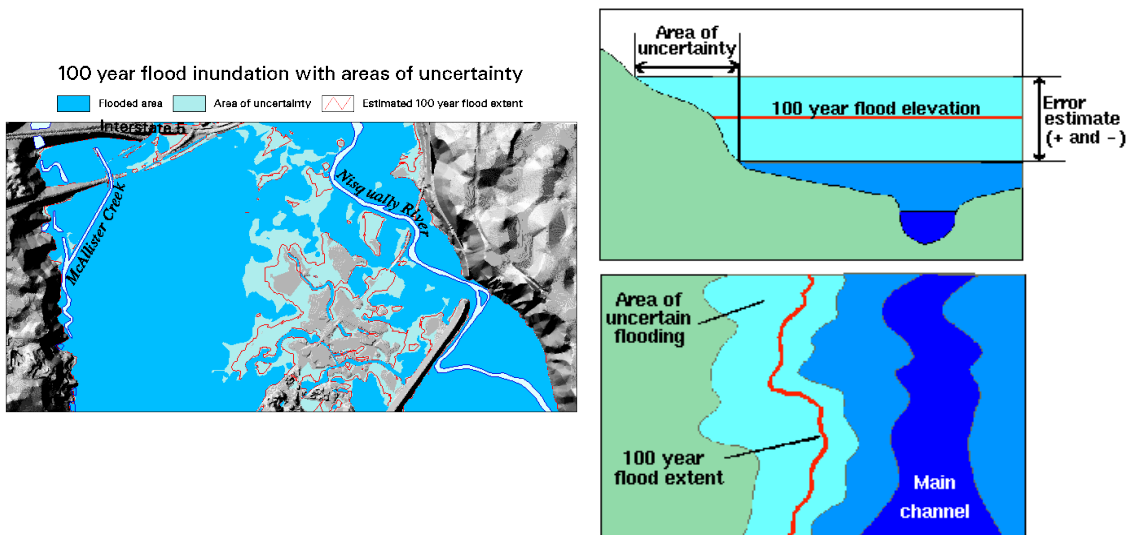
Metodologija širenje pogreške procjenjuje u kojoj se mjeri kvantitativne neizvjesnosti u ulaznih podacima modela šire tijekom simulacija modela i kako iste utječu na konačne rezultate. Ova metoda se može koristiti za brzu procjenu jednostavnih izračuna, ali ju je teško primijeniti na složene izračune. Iz ovog razloga, primjena metode širenja pogreške ne čini se pogod-

nom za procjenu nesigurnosti u razvoju karata opasnosti od poplava.

Varijabla	Izvor nepouzdanosti	Tip nesigurnosti
Godišnji protok	Modeliranje procesa padaline-otjecanje	Nepouzdanost modela
	Modeliranje valova	Nepouzdanost modela
	Odabir funkcije distribucije	Nepouzdanost modela
	Parametri statističke distribucije	Nepouzdanost parametara
	Manjkavi ili nedostupni podaci	Nepouzdanost podataka
	Pogreške pri mjerenju	Nepouzdanost podataka
Propust brane	Pogreške u mjerenju geometrije brane	Nepouzdanost podataka
	Modeliranje proloma brane	Nepouzdanost modela
	Parametri brane (geometrija, podloga, širina proloma i tako dalje)	Nepouzdanost parametara
Vodostaji	Odabir modela (1D – 2D – 3D)	Nepouzdanost modela
	Stacionarne ili nestacionarne simulacije	Nepouzdanost modela
	Jednadžbe/parametri hidrauličkog otpora	Nepouzdanost modela
	Hrapavost kanala	Nepouzdanost parametara
	Geometrija kanala	Nepouzdanost parametara
	Transport nanosa i oblici korita	Nepouzdanost podataka
	Učinci taloženja ostataka i leda	Nepouzdanost podataka
Štete uslijed poplave	Ovisnost o vodostajima	Nepouzdanost modela i parametara
	Korištenje zemljišta/zgrada, vrijednost i lokacija	Nepouzdanost podataka
	Vrijednost sadržaja	Nepouzdanost podataka
	Uzvišenje struktura s katom	Nepouzdanost podataka
	Vrijeme upozorenja na poplave	Nepouzdanost podataka
	Javna reakcija na poplavu (učinkovitost evakuacije u slučaju poplave)	Nepouzdanost podataka
	Izvedba sustava za zaštitu od poplava (mogućnost neuspješne izvedbe ispod standarda)	Nepouzdanost podataka

Tablica 7.1 Izvori i tipovi nesigurnosti (Prinos, 2008)

Monte Carlo analiza može se primijeniti za ishođenje informacija o distribuciji izlaznih parametara modela. Ovo je moguće postići primjenom nasumičnog crteža s ulaznim parametrima modela i naknadnim ispitivanjem navedenih parametara. Varijacija ulaznih parametara i ponovljena primjenom modela često su vrlo dugotrajan zadatak.



Slika 7.1 Karta poplava s područjima neizvjesnosti (lijevo) i shematskim presjekom vodotoka i pogledom iz zraka koji ukazuje na pogrešne procjene (desno)

Prikaz neizvjesnosti na kartama opasnosti od poplava

Objavljivanje karata opasnosti od poplava trebalo bi biti popraćeno razmatranjima koja se odnose na pouzdanosti i vjerojatne nepouzdanosti. Jednostavan način za ovo je predložen na slici 7.1 (Jones et al., 2008.), gdje se izračunata nesigurnost prikazuje kao područje u kojem su poplave neizvjesne. Ovo je danas vrlo jednostavno napraviti korištenjem geografskog informacijskog sustava.

Nepouzdanost modela u odnosu na odabir tipa modela

Korištenje pojednostavljenih jednodimenzionalnih (1D) modela u svrhu procjene opasnosti od poplava može rezultirati pogreškama do oko 10%, dok s druge strane nudi neke uštede po pitanju izračuna (Angelo et al., 2002.). Stvarni nepouzdanosti u dostupnim podacima i teška procjeni parametara modela mogu dovesti do većih netočnosti, ovisno o odabranom modelu (vidi također Dodatak 13). Pojednostavljeni modeli mogu, u ovom slučaju, biti razuman izbor obzirom da zahtijevaju manje podataka.

Doprinos nesigurnosti modela ili nepouzdanosti parametara u ukupnoj nepouzdanosti rizika od poplava može biti znatan. Međutim, nepouzdanost koja proizlazi iz izbora programskog paketa u kojem se primjenjuju odabrani modeli i parametri postaje beznačajna kad oba paketa pružaju slične mogućnosti. Kao rezultat gore navedenoga, može se reći da odabir paket za izradu modela ni na koji način dominantan u procjeni rizika od poplava (Vanderkimpen et al., 2009.).

Veličina ćelije dvodimenzionalnog (2D) rastera

Veličina ćelije rastera dvodimenzionalne (2D) shematizacije poplavnog područja relevantna je za točnost rezultata modeliranja. Haile & Rientjes (2007.) zaključuju da izmjena visoko razlučivih digitalnih modela reljefa (DMR) na niže razlučivosti utječe na sve ulazne podatke dvodimenzionalnog (2D) modela, poput vrijednosti uzvišenja, nagiba i dimenzija kanala. Pogreška uvedena mijenjanjem razlučivosti napravljena je za oba pilot područja, utječe na rezultate dvodimenzionalne (2D) simulacije, npr. smanjujući brzine protoka kada razlučivost digitalnog modela reljefa (DMR) postane gruba (krupna).

Pokretačke sile u Delti Neretve koje nisu uključene u proces izrade modela

Utjecaji vjetra i olujni udari, koji podižu razinu mora ispred obale i šire se na rijeku Neretvu, ne uzimaju se u obzir. Međutim, ove pojave bi mogle znatno utjecati na faze simulacije poplava i vodostaja rijeke (Begović & Schrunk, 2011.).

Pokretačke sile poplava u Delti Neretve se sastojati od plavljenja uslijed djelovanja voda, kao i uslijed otežane odvodnje oborinskih voda. Potonji je postupak iznimno teško simulirati u okviru vrste modela koji je odabran za ovaj projekt (1D2D), bez modeliranja procesa padaline-otjecanje).

Testiranje modela

Uglavnom, modele plavljenja moguće je testirati na tri načina (Alkema, 2007.):

- Testirati numeričku shema modela metodom usporedbe s analitičkim rješenjima i teorijskim analizama dosljednosti, stabilnosti i konvergencije;
- Uspoređujući rezultate simulacije modela s laboratorijskim eksperimentima plavljenja koji se provode pod strogim nadzorom;
- Uspoređujući rezultate simulacije modela s podacima o stvarnim poplavama.

Vrlo mali broj studija je proveden s ciljem temeljite procjene izvedbe modela plavljenja s podacima o stvarnim poplavama. Razlog tome je, uglavnom, složenost i manjak stvarnih mjernih podataka. Informacije nakon poplave su obično dostupne u obliku razine vode ili oznaka plavljenja koje ukazuju na razinu lokalnih poplava. Iako je ova informacija važna po pitanju testiranja modela, nije dostatna za pravilno testiranje dvodimenzionalnog (2D) modela širenja poplave. Potrebna su dodatna mjerenja, obzirom na 'dinamične' karakteristike poplave, poput vremena dolaska poplavne vode, brzina protoka i brzina podizanja razine vode.

Modeli razvijeni za oba pilot područja su ugrubo (zbog vremenskih ograničenja) testirani s kartama poplava. Analiza rezultata modela s kartama poplava je usredotočena na globalne usporedbe zračnih snimaka, ali ne ide previše u detalje. Općenito, rezultati modela odgovaraju kartama poplava, iako su prisutna značajna lokalna odstupanja.

Kako bi se povećala točnost rezultata modela, može se razviti opći plan praćenja i provesti istraživanje tijekom poplava. Plan praćenja treba sadržavati najmanje sljedeće:

- Metodologiju i organizaciju za provjeru vodomjernih postaja koje mjere razinu vode i protok;
- Organizaciju (npr. logistiku) za sakupljanje poplavnih oznaka na unaprijed definiranim lokacijama;
- Organizaciju za prikupljanje fotografija iz zraka i satelitskih podataka i metodologiju za prijenos tih podataka u karte poplava;
- Organizaciju (logistika) osoblja ('oči i uši') koje će biti na terenu i snimati;
- Bilježenje operativnih odluka, posebno onih koje se odnose na rad hidrauličkih struktura.

Opći plan praćenja moguće je poboljšati i lokalizirati za specifična područja interesa.

7.2 Zaključci

Moguće je izvesti sljedeće općenite zaključke na temelju procesa razvoja hidrodinamičkih modela u svrhu izrade karata opasnosti od poplava za dva odabrana pilot područja:

- Točnost rezultata hidrodinamičke simulacije u osnovi je zadovoljavajuća u svrhu dobivanja općeg uvida u opasnosti od poplava za različita povratna razdoblja.
- Pouzdanost podataka primijenjenog topografskog digitalnog modela reljefa, međutim, nije dovoljna za ishođenje detaljnih i lokalnih podataka u vezi s razmjerom poplava, dubinom ili razinom vode i brzinama protoka;
- Točnost hidroloških podataka koji se primjenjuju u svrhu provođenja hidroloških analiza, standardnog hidrografskog razvoja poplava, kalibriranje i validacija ponekada su upitni. Ovo se odražava na značajke simulacija poplava (jednom u 25, 50, 100 i 1000 godina),

kao i na hidraulički jednodimenzionalni (1D) model koji simulira protok rijeke i dvodimenzionalni (2D) model koji simulira poplavu.

- proces kalibriranja i validacije hidrodinamičkih modela nije u potpunosti finaliziran zbog vremenskih ograničenja i relativno ograničene količine dostupnih ljudskih resursa;
- Proces prikupljanja podataka podložan je poboljšanju;
- Sudionici iz središnjice i regionalnih vodnogospodarskih odjela Hrvatskih voda stekli su bolji uvid u osjetljivosti primjene hidrodinamičkih modela u svrhu mapiranja opasnosti od poplava;
- Osoblje Hrvatskih voda iz različitih regionalnih ureda u središnjice dobilo je bolji uvid u kompletan proces prikupljanja podataka, pripreme i analize u svrhu razvoja hidrodinamičkog modela, kalibriranja, validacije i simulacije;
- Osoblje Hrvatskih voda iz različitih regionalnih ureda u središnjice dobilo je bolji uvid u proces upotrebe vanjskih resursa u svrhu poboljšanja produktivnosti u vezi razvoja hidrodinamičkog modela za mapiranje opasnosti od poplava.

Konkretni zaključci koji se odnose na (korištenje) hidrodinamičkih modela i simulacija poplava na rijeci Kupi i u Delti Neretve:

- Lokalni rezultati primjene modela su relativno osjetljivi na postavku nasipa ('bez nasipanski nasipi-visoki nasipi', vidi dio 5.3). Ukoliko postoji potreba za lokalnim i detaljnijim podacima o poplavi, trebalo bi provesti dodatnu simulaciju s različitim postavkama nasipa, pored općeg poboljšanja (lokalnih) rezultata kalibracije i validacije.
- Moguće je koristiti dvodimenzionalni (2D) raster manje razlučivosti, ukoliko postoji potreba za lokalnim i detaljnijim podacima o poplavi;
- Poboljšane podatke digitalnih modela reljefa i podatke o presjecima vopdotoka trebalo bi integrirati i oba modela, čim su isti dostupni. Za model Delti Neretve, svi podaci o presjeku vodotoka (osim za rijeku Neretvu) trebali bi se zamijeniti, uključujući i pritoke (rijeke Norin, Prunjak i Mislina).
- Pravila rada ustave u Opuzenu (otvoranje na 1,600 m³/s na rijeci Neretvi, s maksimalnim prijenosom protoka od 500 m³/s preko Male Neretve) treba pravilno shematizirati u modelu za Deltu Neretve;
- Visinu regulirane brane u kanalu Kupa-Kupa kanala treba dodatno istražiti i integrirati u model u svrhu pravilne simulacije plavljenja retencijskog područja Kupčina. Ovo podešavanje bi, također, moglo imati utjecaja na uzvodni, kao i na nizvodni vodostaje rijeke Kupe te bi ponovno trebalo provesti kalibraciju i validaciju modela.

7.3 Preporuke

Sljedeće preporuke se većim dijelom fokusiraju na aplikacije za izradu modela budućih poplava na području Republike Hrvatske:

- Poboljšati dostupnost podataka razvojem metodologije za strukturiranje i organiziranjem procesa prikupljanja podataka. Primjena strukturiranih sustava za upravljanje podacima i bazama podataka, koji su u skladu s direktivama EU, može poboljšati dostupnost podataka. 'Meta-podatci' modela (npr. shematizacije, unos podataka i dnevni modeli) i rezultati (izlazne datoteke modela) bi, također, trebale biti pohranjeni u ovim bazama podataka.
- Ulagati u točnost topografskih podataka. Ovo je korisno, ne samo za izradu modela i karata opasnosti od poplava, već i za niz drugih dnevnih analiza i projektnih aktivnosti u kojima sudjeluju Hrvatske vode. Trenutni topografski podaci mogu se poboljšati nabavom satelitskih podataka u svrhu izrade točnih digitalnih modela reljefa (5*5 m). Alternativno, LiDAR podaci mogu se prikupljati u svrhu visoke razlučivosti (do 1 cm) pri izradi topografskih karata.

- Poboľšati dostupnost i točnost podataka o presjecima vodotoka u svrhu pravilne izrade jednodimenzionalnih (1D) modela. Potrebno je razviti metodologiju pomoću koje će se redovito nadzirati batimetrijski podaci rijeka i tokova na relevantnim lokacijama i dionicama. Ovi podaci se, također, mogu koristiti za analizu radova održavanja i procju kapaciteta prijenosa protoka.
- Implementirati i institucionalno osigurati radnu skupinu unutar Hrvatskih voda koja bi očuvala kritičnu masu (ljudskih potencijala) za upravljanje i održavanje postojećih modela (opasnosti od poplava) i vodila razvoj novih modela instrumenata za izradu karata opasnosti (i rizika) od poplava. Ove je alate za izradu modela, također, moguće primijeniti za simuliranje (relativnih) utjecaja strukturalnih mjera obrane od poplava i izgradnje nasipa. Osim toga, ovi bi se modeli mogli primijeniti (nakon manjih strukturalnih prilagodbi) za simuliranje prijevremenih upozorenja.
- Poboľšati (i, po potrebi, institucionalizirati) suradnju između Hrvatskih voda i Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske, u svrhu dostave podataka, razvoja modela, strateškog (političkog) istraživanja i predviđanja potencijala.
- Nabaviti povijesne satelitske podatke za točnije utvrđivanje razmjera poplava (a možda i dubina plavljenja) te poboľšanu kalibraciju i validaciju modela.
- Razviti opći plan praćenja i provesti istraživanje kako bi se prikupili podaci o poplavi te kako bi se povećao stupanj točnosti rezultata modela.

8 POPIS LITERATURE

- Alkema, D., 2007. *Simulating floods: on the application of a 2D hydraulic model for flood hazard and risk assessment*. PhD Thesis Utrecht University. Utrecht, September 2007.
- Angelo, L., E. Oliveri & M. Greco, 2002. *Two-dimensional modelling of floods to map risk-prone areas*. Journal of Water Resources Planning and management. Vol. 128, No. 3, str. 168-178.
- Begović, V. & I. Schrunck, 2011. *Endangered Cultural Heritage along the Major Rivers and Adjacent Wetlands in Croatia*. U: Halounová, L. (ed.), 2011. *Remote Sensing and Geoinformation not only for Scientific Cooperation*. Proceedings 31st EARSeL Symposium 30. svibnja – 2. lipnja 2011., Prag
- SAFU, 2010. *IPA 2010 Twinning ugovor; Razvoj karata opasnosti od poplava i rizika od poplava*. Središnja agencija za financiranje i ugovaranje programa i projekata EU. Broj Twinning projekta: HR/2010/IB/EN/01. Broj ugovora: 2010-03-27-050101.
- Deltares, 2013. *Deltares systems; design and analysis tools; Sobek suite (web stranica)*. (<http://www.deltaresystems.com/hydro/product/108282/sobek-suite>)
- Douben, K., 2013. *Mission report activity 2.1*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K., F. Pons, T. Wubbels & J. Beckers, 2013a. *Mission report activity 2.2*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K., T. Wubbels & S. Giri, 2013b. *Mission report activity 2.2-2 & 2.3*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K., S. Giri & C. de Leeuw, 2013c. *Mission report activity 2.5*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K., S. Giri & C. de Leeuw, 2013d. *Mission report activity 2.5-2*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K., S. Giri, T. Wubbels, C. Schlacher, G. Vincze & S. Charaud, 2013e. *Mission report activity 3.1-2, 2.5-3, 4.1-1 & 2.7-1*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- Douben, K. & J. Beckers, 2013. *Mission report activity 2.4*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- EU, 2007. *Direktiva 2007/60/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima*. Službeni glasnik Europske unije. L 288/27. 6-11-2007. (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:en:pdf>)
- Ghimire, S., 2013. *Application of a 2D hydrodynamic model for assessing flood risk from extreme storm events*. Climate Vol. 1, No. 3, str. 148-162. (<http://www.mdpi.com/2225-1154/1/3/148>)
- Haile, A. & T. Rientjes, 2007. *Uncertainty issues in hydrodynamic flood modelling*. U: *Proceedings of the 5th International symposium on Spatial Data Quality SDQ 2007, Modelling qualities in space and time*. ITC, Enschede, The Netherlands, 13-15 June, 2007.
- Hornich, R., W. Zeeman & K. Douben, 2013. *Mission report activity 1.1*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- INWEB, 2004. *Internationally shared surface water bodies in the Balkan region; the Kolpa/Kupa river sub-basin*. International Network of Water-Environment Centres for the Balkans, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. (http://www.inweb.gr/workshops2/sub_basins/2_Kolpa.html).
- Jones, J., T. Haluska, A. Williamson & M. Erwin, 1998. *Updating flood inundation maps efficiently: building on existing hydraulic information and modern elevation data with a GIS*. U.S. Geological Survey Open-File Report 98-200. (<http://wa.water.usgs.gov/pubs/ofr/floodgis/>)
- Kolbezen, M. & J. Pristov, 1998. *Surface streams and water balances of Slovenia*. Hidrometeorološki institut Republike Slovenije.
- Kvesić, D. & B. Deduš, 2008. *Hydraulic Study of the Neretva River; from Mostar to the border*

- with the Republic of Croatia. 2nd European MIKE by DHI Software Conference. Dubrovnik, Hrvatska, 12.-15. listopada 2008.
http://www.dhigroup.com/upload/publications/mike11/Kvesic_Hydraulic_study_of_the_Neretva.pdf)
- Martini, F. & R. Loat, 2007. *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP). Paris/Bern.
http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas)
- Néelz, S. & G. Pender, 2009. *Desktop review of 2D hydraulic modelling packages*. Environment Agency. Znanstveni izvještaj: SC080035. ISBN: 978-1-84911-079-2.
- NOAA, 2014. *How hydrodynamic models are used*. National Oceanic and Atmospheric Administration. http://www.nauticalcharts.noaa.gov/csdl/learn_models.html
- RCW, 2002. *Transboundary management of the lower Neretva valley*. Ramsar Convention on Wetlands. 14. ožujka 2002.
- SRBC, 2009. *Main hydrographic features in the Sava River basin; Sava River basin analysis report*. International Sava River Basin Commission. Zagreb, rujan 2009.
- STOWA/RIZA, 1999. *Smooth Modelling in Water Management, Good Modelling Practice Handbook*. STOWA report 99-05. Dutch Dept. of Public Works, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment report 99.036. ISBN 90-5773-056-1.
<http://harmoniqua.wau.nl/public/Reports/Existing%20Guidelines/GMP111.pdf>)
- UoS, 1992. *Flood study Metković, Jerkovac area*. University of Split, Faculty of Civil Engineering. Split, prosinac 1992.
- UoS, 1996. *Lower Neretva Study; Water management solution for Lower Neretva basin*. Book 5: surface water. University of Split, Construction faculty. Split, listopad 1996.
- Vanderkimpen, P., E. Melger & P. Peeters, 2009. *Flood modelling for risk evaluation – a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study*. U: Samuels et al. (eds), 2009. *Flood Risk Management: Research and Practice*. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48507-4.
- Vincze, G., R. Hornich & C. Schlacher, 2013. *Mission report activity 3.1*. IPA 2010 Twinning Project Development of Flood Hazard Maps and Flood Risk Maps.
- VPB, 2004. *Flood defence design study of the city of Karlovac*. Water Management Project Office (VPB). Zagreb, prosinac 2004.
- Vranješ, M., M. Prskalo & T. Džeba, 2013. *Hydrology and hydrogeology of the Neretva and Trebišnjica basins, Overview of the construction of part of the system – upper horizons*. In: Hydrology and hydrogeology of the Neretva River basin and Trebišnjica, No. 5, June 2013.
- WWF, 2014. *Living Neretva*. World Wildlife Fund. (http://wwf.panda.org/bs/living_neretva/)
- ZN, 2001. *Declaration for the protection of the Neretva River*. Zeleni-Neretva Konjic, NGO for preservation of the Neretva River and environment protection.

DODACI

Dodatak 1. Definicije i skraćenice

1D	Jednodimenzionalni model
2D	Dvodimenzionalni model
1D2D	Model kopnenog toka (Sobek)
Algoritam	Redosljed koraka za rješavanje problema u računalnom programu
APSFRR	Područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava
ASCII	Američki standardni znakovnik za razmjenu informacija
AT	Austrija
BC	Zemlja korisnica
Kalibriranje	Aktivnosti u svrhu postizanja unaprijed određenog stupnja sličnosti između modela i terenskih mjerenja na temelju (sustavne) promjene neizvjesnih čimbenika (čestih parametara), nakon čega slijedi analiza preostalih pogrešaka
CETE Méditerranée	Centar za tehničke studije i inženjering (Francuska), izvorno na francuskom: Le Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CLC	Corine baza podataka
Konstanta	Količina čija je točna vrijednost poznata
CRO, hrvatski prijevod HR	Hrvatska
CW, hrvatski prijevod HV	Hrvatske vode
Podaci	Djelići informacija
Asimilacija podataka	Pristup koji integrira podatke u opis fizičkog/kemijskog procesa kako bi se omogućila jasnoća i mogućnost procjene sadržaja informacija, kako unutar opisa podataka, tako i unutar opisa procesa
DEM, hrvatski prijevod DMR	Digitalni model reljefa
Zavisna varijabla	Varijabla koja se mijenja u odnosu na jednu ili više nezavisnih varijabli
Deterministički	Bez slučajnosti (suprotno od stohastički)
DGPS	Diferencijalni globalni pozicijski sustav
Dimenzija	1. duljina, širina, visina 2. jedinica (analize dimenzija) kojom se izražava količina
Analiza dimenzija	Test kojim se potvrđuje točnost svih dimenzija u jednadžbama modela
Diskretizacija	Pretvorba kontinuiranog modela (u prostoru i vremenu) u model koji opisuje sustav u diskretnim (ne nužno malim) koracima u vremenu i prostoru
DLG	Državna služba za upravljanje zemljištem i vodama (Nizozemska)
Domena	Znanstvena domena, u ovom priručniku su to poddomene vodnog gospodarstva
DSM	Digitalni model površine
DTM, hrvatski prijevod: DMR	Digitalni model reljefa
DWG (format datoteke)	(DraWinG) je binarni format datoteke za spremanje dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih podataka za izradu plana i metapodataka
Dinamički model	Model u kojem je vrijeme nezavisna varijabla
EC, hrvatski prijevod	Europska komisija
EFD	Direktiva o poplavama
Energetski proračun	Bilanca energetske tokova
Jedinica	Nezavisna količina s vlastitim značenjem
ETRS	Europski terestrički referentni sustav

EU	Europska unija
Metoda konačnih razlika	Transformacija (djelomičnih) diferencijalnih jednadžbi koje su kontinuirane u vremenu i/ili prostoru u diskretne diferencijalne jednadžbe kako bi se potonje riješile numeričkim pristupom, uz pomoć diskretne matematičke mreže
Metoda konačnih elemenata	Transformacija (djelomičnih) diferencijalnih jednadžbi koje su kontinuirane u prostoru u diskretne diferencijalne jednadžbe kako bi se potonje riješile numeričkim pristupom, uz pomoć diskretnih elemenata, točnije, prostornih pregrada
FR	Francuska
FRM	Upravljanje poplavnim rizicima
FRMP	Plan upravljanja poplavnim rizicima
Modeli neizrazite logike	Model s opisima na temelju neizrazite logike, npr. sa srednjim vrijednostima između da i ne (možda)
GIS	Geografski informacijski sustav
Općeniti test ponašanja	Test na temelju kojeg se vrši provjera zadovoljava li grubi rad modela očekivanja
HEC	Hidrološki inženjerski centar
HEC-RAS	HEC-RAS (računalni sustav)
HEP	Hrvatska elektroprivreda
Heuristička metoda	Neformalna metoda postizanja cilja koji nije točno poznat na istraživački i kontinuirano prosudbeni način u skladu s određenim kriterijem
HIC, hrvatski prijevod: HHI	Hrvatski hidrografski institut
HTRS	Hrvatski terestrički referentni sustav
HQ	Središnjica
Identifikacija	Kalibriranje kako bi se utvrdile nedvojbene vrijednosti svih parametara i drugih čimbenika kalibriranja
Nezavisna varijabla	Varijabla u odnosu na koju se opisuju promjene u dinamičkom sustavu; npr. vrijeme, tri prostorne dimenzije
Integracija	Rješavanje diferencijalnih jednadžbi
Algoritam integracije	Algoritam za (numeričko) rješavanje diferencijalnih jednadžbi
Tumačenje	Interpretativno objašnjavanje
Materijalna bilanca	Materijalna bilanca (npr. voda) koja ulazi i izlazi iz (matematičkog) modela ili nekog drugog fizičkog sustava
Mata-informacije	Podaci o podacima (lokacija podataka, metoda mjerenja i osoba koja provodi mjerenje, stupanj točnosti mjerenja i tako dalje)
MHSC, hrvatski prijevod: DHMZ	Državni hidrometeorološki zavod
MoA	Ministarstvo poljoprivrede
Model	Skupni naziv za reprezentacije bitnih aspekata sustava, sa znanjem predstavljenim u korisnom obliku. Napomena: Za potrebe ovog izvješća, 'modelom' često se naziva računalni program (program modela) s odgovarajućim ulaznim informacijama. Međutim, riječ 'model' se, također, može odnositi na bilješke na papiru, matematički model, dijagram ili sliku.
Program modela	Matematički prikaz u obliku računalnog programa, čija je namjena izrada modela unosom podataka
Projektni obrazac modela	Obrazac iz priručnika Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: Praksa dobrog modeliranja koji, što je potpunije moguće, opisuje projekt izrade modela
Modelar	1. Osoba koja razvija model 2. Osoba koja radi na modelu
Izrada modela	1. Izrada modela

	2. Rad na modelu
Proces izrade modela	Svi koraci koji se moraju ili mogu poduzeti pri izradi i radu s modelima
Projekt izrade modela	Projekt u kojem rad s modelom predstavlja važnu značajku
MS	Država članica (EU)
Model neuronske mreže	Model koji opisuje odnose između ulaznih i izlaznih podataka pomoću mreže čvorova, kako bi se neuronskoj mreži dozvolilo generiranje poznatih izlaznih podataka nakon unosa poznatih podataka
NGO, hrvatski prijevod: NVO	Nevladina organizacija/udruga
NL	Nizozemska
Nestacionarni model	Model u kojem je vrijeme nezavisna varijabla (vidi dinamički model)
NPRD, hrvatski prijevod: DUZS	Državna uprava za zaštitu i spašavanje
Funkcija optimizacije	Kvantifikacija pogreški modela uz pomoć terenskih mjerenja
Promatranje	Terenska mjerenja, dakle, promatranje sustava kojeg predstavlja optimizacija modela za one vrijednosti parametra koje minimiziraju prethodno definiranu ciljnu funkciju
Model kopnenog toka	Sobek modul koji simulira dvodimenzionalno (2D) plavljenje poplavnih područja, nasipe/brane/ustave, prolome nasipa i tako dalje.
Parametar	Količina koja bi trebala biti konstantna, ali koja nije točno poznata
Djelomična diferencijalna jednačnja	Diferencijalna jednačnja s više (od jedne) nezavisnih varijabli
PFHA	Procjena vjerojatnosti opasnosti od poplava
PFRA	Prethodna procjena razine rizika od poplava
PIP	Plan provedbe projekta
Definicija problema	Jasna, precizna (ne nužno kvantitativna) specifikacija poznatih detalja problema i potrebni izračuni
Programer	Osoba koja sastavlja ili prilagođava računalne programe
RBD	Vodno područje
RBMP	Plan upravljanja vodnim područjem
Razlika	Preostala pogreška
Analiza razlika	(Statistička) analiza razlika
Preostala pogreška	Razlika između rezultata modela i terenskih mjerenja
Test robusnosti	Test kojim se provjerava je li model otporan na intenzivan unos podataka
RTA	Dugoročni savjetnik za Twinning
RTAA	Pomoćnik Dugoročnog savjetnika za Twinning
RWABD	Regional Water Authority Brabantse Delta
Shematizacija	Pojednostavljeni prikaz prostorne i vremenske distribucije varijabli i parametara
Opseg	Skup uvjeta pod kojima se model može primjenjivati
Analiza osjetljivosti	Istraživanje odnosa između promjenjivih čimbenika (najčešće parametara) i izlaznih podataka modela
SGA, hrvatski prijevod: DGU	Državna geodetska uprava
Simuliranje	Oponašanje dijela stvarnosti ili sustava (konceptualni model, fizički model, računalni model)
Sobek	Softverski alat za izradu modela za jednodimenzionalni tok, morfologiju rijeka i kakvoću površinskih voda
Meki hibridni model	Model koji se orijentira na podatke (npr. neuronska mreža) unutar kojeg su uključeni fizički koncepti (npr. kroz kalibraciju)

Stabilnost	Kvaliteta diferencijalne jednadžbe i/ili metode integracije kojima se smanjuju pogrešku u svakom koraku integracije
Standardni unos	Ulazi podaci standardnog testa (npr. iz Priručnika o programu za izradu modela ili jednostavnog primjera) za kojeg su poznati izlazni podaci
Stanje	Skup varijabli u sustavu u specifičnom vremenskom trenutku koji sadrži sve podatke o prošlosti koja je relevantna po pitanju budućnosti sustava. Stanje ne predstavlja uvijek jedinstveni skup varijabli: nekoliko skupova bi bolje definiralo ovaj pojam
Varijabla stanja	Varijabla koja je dio stanja sustava
Stacionarni (statički) model	Model koji nije dinamičan; ne ispituje se promjene u vremenu
Statistička distribucija	Vjerojatnost distribucije nasumičnog uzorka
STE	Kratkoročni stručnjak na projektu
Stohastički	Nasumični
Sustav	Cjelina (često dio stvarnosti) koja se sastoji od međusobno povezanih jedinica
Definicija sustava	Tekstualni opis sustava
TIN	Triangulirana nepravilna mreža
TVZ	Tehničko veleučilište u Zagrebu
Analiza nesigurnosti	Aktivnosti na temelju kojih se procjenjuje pouzdanost modela nakon kalibracije (i/ili validacije)
Jedinica	Prethodno utvrđena jedinica kojom se izražava ili mjeri količina
Validacija	Usporedba izlaznih rezultata modela s nezavisnim skupom (koji se još ne koristi za kalibriranje) mjernih podataka kako bi se utvrdilo je li model 'dobar' (ili je li koncept dobar, je li model u stanju reproducirati prošlost s potrebnom razinom točnosti i je li model pogodan za ishođenje odgovora na sva pitanja)
Varijabla	Količina čija se vrijednost može mijenjati
Provjera	Provjera točne implementacije matematičkog modela u računalni program i računalnog programa u računalu
WFD	Okvirna direktiva o vodama
WISE	Europski informacijski sustav za vode i more
WMD, hrvatski prijevod: VGO	Vodnogospodarski odjel
WMI, hrvatski prijevod: VGI	Zavod za vodno gospodarstvo

Dodatak 2. Hrvatski stručnjaci i kratkoročni stručnjaci na projektu uključeni u razvoj modela

Hrvatski stručnjaci			Kratkoročni stručnjaci na projektu		
Ime	Institucija	Aktivnost	Ime	Institucija	Aktivnost
<i>Radna grupa Kupa</i>			<i>Nizozemska</i>		
Tomislav Šlehta	Hrvatske vode/ Varaždin	Sve	Mario Cerutti (Dugoročni savjetnik za Twinning)	Ministarstvo infrastrukture i okoliša	Sve
Ladislav Grđan	Hrvatske vode/ Varaždin	2.1	Ton Geensen	Državna služba za upravljanje zemljištem i vodama (Nizozemska)	2.1
Silvija Sitar	Hrvatske vode/ Osijek	2.1 do 2.3, 2.5 i 3.1-2	Klaas-jan Douben	Regional Water Authority Brabantse Delta	Sve
Luka Vukmanić	Hrvatske vode/ središnjica	2.2 do 2.5 i 3.1-2	Rogier Vogelij	Državna služba za upravljanje zemljištem i vodama (Nizozemska)	2.1
Krešimir Ložnjak	Hrvatske vode/ središnjica	2.2 do 2.5 i 3.1-2	Tjibbe Wubbels	Državna služba za upravljanje zemljištem i vodama (Nizozemska)	2.2, 2.3 i 3.1-2
Martina Strahonja	Hrvatske vode/ Osijek	2.2, 2.4, 2.5 i 3.1-2	Joost Beckers	Deltares	2.2 i 2.4
Nenad Mađarić	Hrvatske vode/ Varaždin	2.2 do 2.5 i 3.1-2	Sanjay Giri	Deltares	2.2, 2.3, 2.5 i 3.1-2
			Corné Leeuw de	Državna služba za upravljanje zemljištem i vodama (Nizozemska)	2.5
<i>Radna grupa Neretva</i>			<i>Francuska</i>		
Mirjana Švonja	Hrvatske vode/ Split	2.1	Eric Mino	Office International de l'Eau (Međunarodni ured za vode)	2.1
Goran Petrović	Hrvatske vode/ Rijeka	2.1 do 2.4	José-Luis Delgado	CETE Méditerranée	2.1
Marijana Oršolić	Hrvatske vode/ Rijeka	Sve	Frédéric Pons	CETE Méditerranée	2.2, 2.4 i 2.5
Sanja Ivica	Hrvatske vode/Split	2.2 do 2.5 i 3.1-2			
Ivica Bojčić	Hrvatske vode/Split	2.3 i 2.4 i 3.1-2			
<i>Općenito</i>					
Sanja Željeznjak (Pomoćnica Dugoročnog savjetnika za Twinning)	Ured dugoročnog savjetnik za Twinning, hrvatske vode	Sve			
Kristina Markić (Pomoćnica Dugoročnog savjetnika za Twinning)	Ured dugoročnog savjetnik za Twinning, hrvatske vode	Sve			
Alan Cibilić	Hrvatske vode/ središnjica	Sve			
Darko Barbalić	Hrvatske vode/ središnjica	Sve			
Marijan Babić	Hrvatske vode/ Zagreb - Gornja Sava	Sve			
Tomislav Novosel	Hrvatske vode/ Zagreb - Sava	2.1 i 2.2			
Tijana Rosandić	Hrvatske vode/središnjica	2.2			

Dodatak 3. Opća karakterizacija rijeke Neretve i njenog ušća te rijeke Kupe

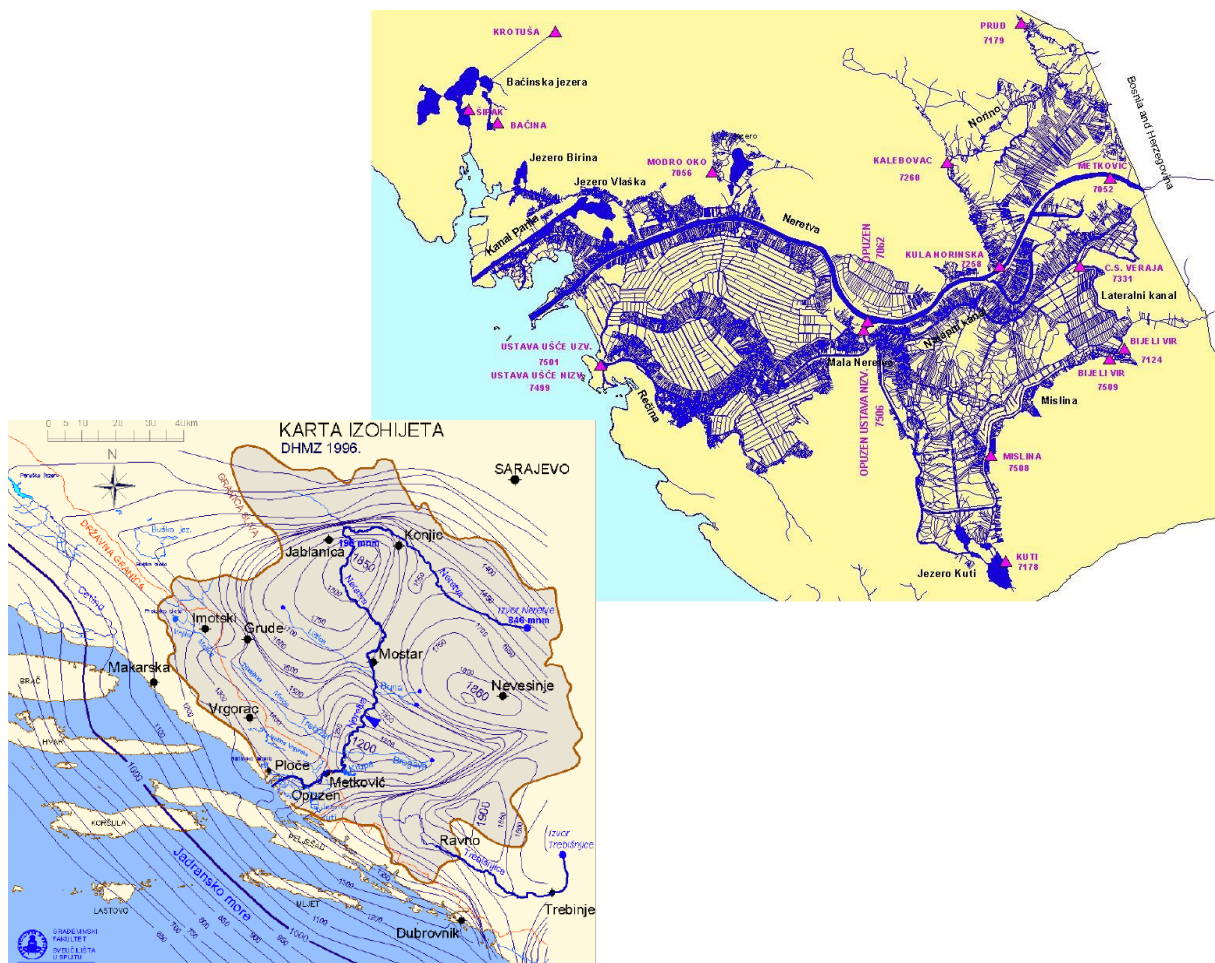
Rijeka Neretva i njeno ušće

Uvod

Neretva je najveća rijeka istočnog dijela jadranskog vodnog područja. Neretvu u velikoj mjeri kontroliraju i štite četiri velike hidroelektrane s velikim branama i rezervoarima (RCW, 2002.). Međutim, vodno područje sliva Neretve i dalje zauzima značajno mjesto u pogledu svoje raznolikosti ekoloških sustava i staništa, flore i faune, kulturne i povijesne baštine i, najvažnije, svoje čiste i svježe (pitke) vode (WWF, 2014.).

Zemljopis i hidrologija

Rijeka Neretva protječe kroz Bosnu i Hercegovinu i Hrvatsku i to je najveća rijeka koja protječe kroz krš Dinarida u cijelom istočnom dijelu jadranskog vodnog područja. Ukupna duljina toka rije Neretve iznosi 230 km, od čega se 208 km nalazi u Bosni i Hercegovini. Nizvodnih 22 km toka rijeke Neretve nalaze se u Republici Hrvatskoj. Površina sliva rijeke Neretve iznosi 10,380 km² (10,110 km² u Bosni i Hercegovini te 280 km² u Hrvatskoj). Prosječan protok u Žitomisljima u Bosni i Hercegovini iznosi 233 m³/s, a na ušću u Hrvatskoj 341 m³/s. Vodno područje rijeke Trebišnjice u Bosni i Hercegovini je povezano sa slivom rijeke Neretve zbog fizičke krške veze. Ukupan prosječan protok, uključujući rijeku Trebišnjicu, iznosi 402 m³/s (ZN, 2001.).



Slika A.3.1 Vodno područje i ušće rijeke Neretve

Sekcije/tokovi

Rijeka Neretva je podijeljena u tri sekcije s geografskog i hidrološkog aspekta. Njen izvor i kanjon gornjeg toka smješteni su u Dinaridima, u podnožju planina Zelengora i Lebršnik (1277 m n.v). Gornja Neretva teče od izvora do grada Konjica (Bosna i Hercegovina) i pokriva približno 1,390 km² s prosječnim padom (nagibom) od 1.2%.

Drugi (srednji) tok počinje od sliva rijeka Neretve i Rame između Konjica i Jablanice. Na ovom su prostoru (između Jablanice i Mostara) izgrađene tri hidroelektrične brane. Posljednjih 30 km rijeke Neretve sastoji se od aluvijalnog ušća, prije slijevanja rijeke Neretve u Jadransko more.

Donja Neretva i njezine močvare

Dolina uzduž posljednjih 30 km rijeke Neretve, kao i sama rijeka čine impresivan krajolik. Nizvodno od sliva s rijekama Trebižat i Bregava, dolina se širi u obliku aluvijalne lepeze koja pokriva 20 000 hektara koji su okruženi krškim masivom.

Tijekom vremena, Neretva je oblikovala deltu s močvarama, koji su navedeni u okviru Ramsarske konvencije (RCW, 2002). U ovom dijelu rijeka Neretva se račva u brojne tokove, oblikujući deltu koja pokriva površinu od približno 12000 hektara. Broj močvarna područja u delti je smanjen, kao rezultat opsežnih projekata melioracije. Danas rijeka teče u nekoliko glavnih grana prema Jadranskom moru.

Područje je potrebno zaštititi od poplava i isušiti od oborinskih i izvorskih voda zimi te navodnjavati i zaštititi od utjecaja soli u razdoblju bujanja vegetacije. Trenutni sustav obrane od poplava nije završen u potpunosti te je područje samo djelomično zaštićeno od poplava.

Rijeka Kupa

Uvod

Kupa izvire u Hrvatskoj, u planinskoj regiji Gorski kotar (313 m nadmorske visine), na području Nacionalnog parka Risnjak. Nakon nekoliko kilometra dopijeva do slovenske granice. Od tamo tvori prirodnu granicu između sjeverozapadne Hrvatske i jugoistočne Slovenije i odvaja se od granice sa Slovenijom nakon prolaska kroz grad Metliku. Gornji, gotovo netaknuti tok rijeke u dinarskoj krškoj regiji zaštićen je i nema strukturnih zahvata na njemu (vidi sliku A.3.2).

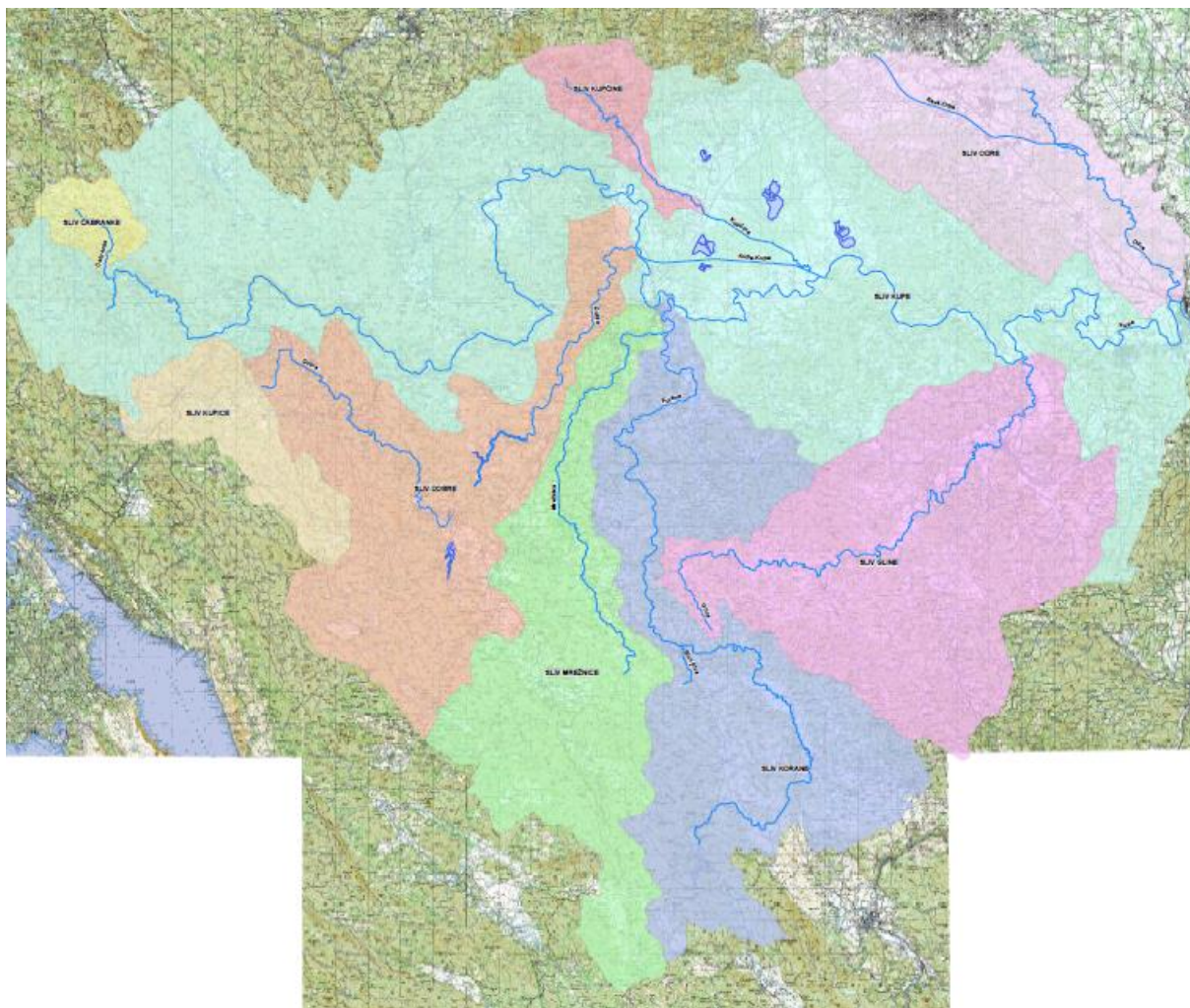
Duljina toka rijeke Kupe iznosi 297 km, s graničnim dijelom od 118 km, a ostatak je smješten u Hrvatskoj (SRBC, 2009.; Kolbezen & Pristov, 1998.).

Ukupno slivno područje kupe se prostire na površini od 10,605 km² (1,943 km² u Sloveniji i 8,412 km² u Hrvatskoj). Približno 250 km² sliva (rijeka Korana) dio je Bosne i Hercegovine (INEWB, 2004).

Zemljopisne značajke (u Hrvatskoj)

Prvi glavni grad uz rijeku Kupu u Hrvatskoj je Karlovac, gdje rijeka Kupa prima priliv drugih dviju rijeka Dobre i Korane (kojima se pak pridružuje rijeka Mrežnica). Sjeverno od Karlovca, rijeka Dobra se slijeva s rijekom Kupom. Kupa nastavlja protjecati nakon prolaska kroz Karlovac prema istoku svojim donjim tokom, koji se odlikuje ravnim, aluvijalnim terenima s plodnim površinama. Na kraju nastavlja do grada Siska i ulijeva se u rijeku Savu (115 m iznad razine mora).

Sjeverno od Karlovca, izrađena je protuplavna zaštita (skretnica) (kanal Kupa - Kupa) u svrhu usmjeravanja velike vode prema dijelu rijeke nizvodno od Karlovca. Duljina kanala iznosi 21.9 km, dok maksimalni kapacitet prijenosa protoka iznosi 765 m³/s.



Slika A.3.2 Vodno područje rijeke Kupe

Klima u vodnom području sliva rijeke Kupe je kontinentalna, s mediteranskim utjecajem. Rijeke Kupe ima snježno-kišni režim, s visokim protocima u razdoblju između listopada i prosinca, kao i u proljeće (zbog topljenja snijega i proljetnih kiša). Minimalni protok karakterističan je za kolovoz i rujan. Prosječna brzina toka iznosi $201 \text{ m}^3/\text{s}$ na slivu s rijekom Savom. Prosječan protok rijeke Dobre iznosi $35 \text{ m}^3/\text{s}$, Korane $29 \text{ m}^3/\text{s}$, Mrežnice $27 \text{ m}^3/\text{s}$ i Gline $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

Korištenja zemljišta u slivu rijeke grubo se dijeli na planine (35%), šume (45%), pašnjak (35%), poljoprivredu (20%). Područje pokriveno sustavima navodnjavanja je iznimno malo.

Plavljenja i oštećenja uslijed plavljenja rijeke Kupe

Najveća plavljenja rijeke Kupe i Dobre zabilježena tijekom posljednjih sto godina navedena su u nastavku (SRBC, 2009):

- Poplavljanja rijeke Kupe: 1939., 1966., 1972., 1974., 1996. i 1998.;
- Poplavljanja rijeke Dobre: 1966., 1998. i 1999.

Gradovi Karlovac i Sisak, kao i veliki broj naselja uzduž rijeke Kupe između ova dva grada platili su cijenu života u blizini rijeke u prosincu 1966. Oko 5 500 stambenih jedinica poplavljeno je na području grada Karlovca. Poplavljeno je ukupno 15 600 hektara na području općine Karlovca, autocesti Karlovac-Zagreb i brojne druge ceste.

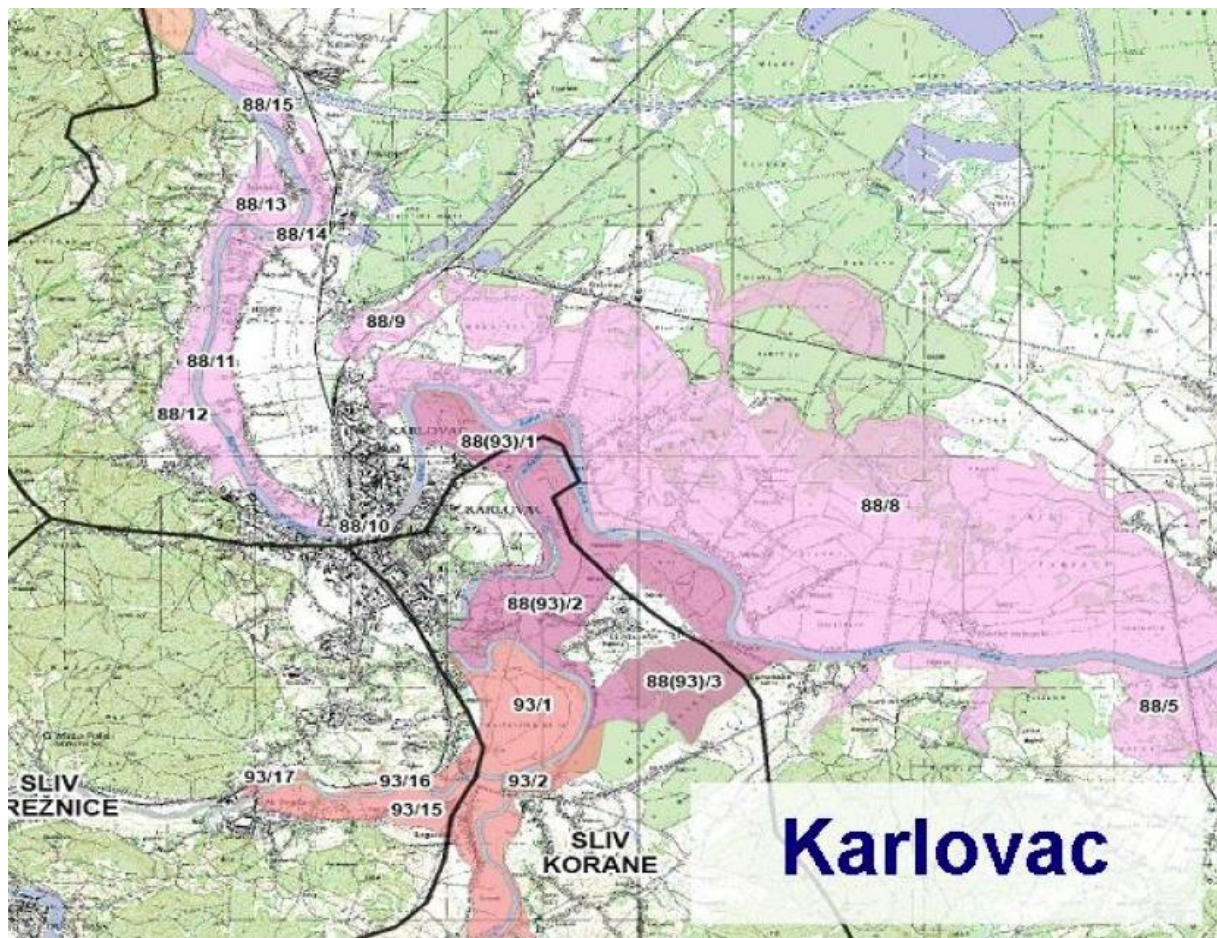
U listopadu 1974. poplavljeno je oko 14 600 ha u vodnom području sliva rijeke Kupe. Kupa je poplavila dijelove Karlovca, Ozlja i 12 manjih naselja, a njezine pritoke su poplavile Ogulin,

Slunj, Glinu i Topusko među većim naseljima i brojna manja naselja.

U posljednjih dvadeset godina, veća šteta je uzrokovana plavljenjima rijeka Kupe (1996. i 1998.) i Gornje Dobre (1999.) Postojeći sustav zaštite od poplava u vodnom području sliva rijeke Kupe je sastavni dio sveobuhvatnog sustava zaštite od poplava u Srednjoj Posavini. Izgrađeni objekti pružaju zaštitu od 5-godišnjih velikih voda unutar 50-godišnjeg povratnog razdoblja. Tato su viši poplavni valovi, poput onoga u studenom 1998., značajno poplavili urbanizirana i poljoprivredna područja (12 000 ha).

Poplave su također česte u gradu Ogulinu, u kojem hidroenergetski sustav Gojak igra važnu ulogu u zaštite od poplava. U srpnju 1999. dogodio se poplavni val rijeke Gornja Dobra rijeci tijekom remonta hidroelektrane Gojak, što je dovelo do poplave katastrofalnih razmjera u Ogulinu.

Značajne poplave zabilježene su u Karlovcu 1939., 1966., 1972., 1974., 1996., 1998., 2001., 2005., 2010., 2012. i 2013. (vidi sliku A 3.3).



Slika A.3.3 Poplave zabilježene u blizini Karlovca

Dodatak 4. Hidrološke vremenske serije prikupljene na mjernim postajama ušća rijeke Neretve i rijeke Kupe

Ušće rijeke Neretve

Mjerna postaja (oznaka)	Parametar	Lokacija		Vremenski interval	Razdoblje	Bilješke
		x-koord.	y-koord.			
Rijeka Neretva						
Metković 7052	Vodostaj	4-767-842	6-471-957	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1991. i 13.08.'95 - 08.09.'95
Metković 7052	Vodostaj	4-767-842	6-471-957	dnevno	1934.-2012.	Nedostupni podaci: 01.02.'40 – 30.10.'40 i 01.10.'44 – 31.12.'44 i 01.02.'45 – 01.03.'45
Opuzen 7062	Vodostaj	4-763-826	6-464-886	satno	1936.-1943. 1945.-2012.	Nedostupni podaci: 1942.-1944.
Mala Neretva						
Vodomjerna postaja na zapornici Opuzen uzvodno 7507	Vodostaj	4-763-600	6-464-778	dnevno	1977.-2009.	Nedostupni podaci: 29.07.'04 – 21.01.'05
Vodomjerna postaja na zapornici Opuzen nizvodno 7506	Vodostaj	4-763-578	6-464-781	od 2011. satno	1977.-2012.	Nedostupni podaci: 28.06.'04 – 21.01.'05
Ustava ušća uzvodno 7501	Vodostaj	-	-	satno	2010.-2012.	Nedostupni podaci: 01.01.'10 – 26.05.'10
Ustava ušća uzvodno 7501	Vodostaj	-	-	dnevno	2010.-2012.	Nedostupni podaci: 01.01.'10 – 27.05.'10
Ustava ušća nizvodno 7499	Vodostaj	4-762-701	6-457-180	satno	1990.-2012.	-
Ustava ušća nizvodno 7499	Vodostaj	4-762-701	6-457-180	dnevno	1977.-2012.	-
Rijeka Norin						
Prud 7179	Vodostaj	4-772-372	6-469-475	dnevno	1978.-2012.	Nedostupni podaci: 01.08.'04 – 31.12.'04
Prud 7179	Vodostaj	4-772-372	6-469-475	satno	2005.-2012.	-
Kalebovac 7260	Vodostaj	4-768-374	6-467-254	satno	1986.-2012.	Nedostupni podaci: 01.01.'94 – 31.12.'94
Kula Norinska 7258	Vodostaj	4-765-353	6-468-723	satno	1986.-2012.	Nedostupni podaci: 01.07.'86 – 31.10.'87 i 01.02.'88 – 01.05.'88
Rijeka Prunjak						
Kuti 7178	Vodostaj	4-756-825	6-468-747	dnevno	1978.-2012.	Nedostupni podaci: 01.08.'04 – 31.12.'04
Prunjak 7505	Vodostaj	4-763-044	6-464-906	dnevno	1977.-2009.	-
Rijeka Mislina						
Bijeli Vir 7124	Vodostaj	4-762-922	6-472-269	dnevno	1960.-2011.	-
Bijeli Vir 7124	Protok	4-762-922	6-472-269	dnevno	1993.-2001.	-
Bijeli Vir 7509	Vodostaj	4-762-922	6-472-269	dnevno	1978.-2008.	Nedostupni podaci: 01.01.'90 – 24.08.'90
Padaline						

Opuzen	Kumulativne oborine	-	-	dnevno	1981.-2012.	Nedostupni podaci: 01.12.'81 – 31.12.'81 i 01.01.'86 – 228.02.'86 i 02.07.'06 – 29.07.'06 i 15.10.'11 – 31.12.'11 i 01.02.'12 – 29.02.'12 i 01.12.'12 – 31.12.'12
Ploče	Kumulativne oborine	-	-	dnevno	1981.-2012.	-

Rijeka Kupa

Mjerna postaja (oznaka)	Parametar	Lokacija		Vremenski interval	Razdoblje	Bilješke
		x-koordin.	y-koordin.			
Rijeka Kupa						
Kamanje 4024	Vodostaj	413492,02	5055865,51	dnevno	1957.-2012.	Nedostupni podaci: 1996., 1997.
Kamanje 4024	Vodostaj	413492,02	5055865,51	satno	1958.-2012.	Nedostupni podaci: 1958.-1981., 1991., 1994.
Kamanje 4024	Protok	413492,02	5055865,51	dnevno	1957.-2012.	Nedostupni podaci: 1996., 1997.
Kamanje 4024	Protok	413492,02	5055865,51	satno	2000.-2012.	-
Brodarci 4003	Vodostaj	424333,65	5045332,69	dnevno	1957.-2012.	Nedostupni podaci: 1996.
Brodarci 4003	Vodostaj	424333,65	5045332,69	satno	1983.-2012.	Nedostupni podaci: 1996.
Brodarci 4003	Protok	424333,65	5045332,69	dnevno	1983.-2012.	Nedostupni podaci: 1996.
Brodarci 4003	Protok	424333,65	5045332,69	satno	2003.-2012.	Nedostupni podaci: 1996.
Karlovac 4111	Vodostaj	425870,79	5040043,26	dnevno	1926.-2012.	Nedostupni podaci: 1991.
Karlovac 4111	Vodostaj	425870,79	5040043,26	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1991., 1996.
Rečica II 4056	Vodostaj	435033,37	5038192,51	dnevno	1948.-2012.	Nedostupni podaci: 1992.-2000.
Rečica II 4056	Protok	435033,37	5038192,51	dnevno	1948.-2012.	Nedostupni podaci: 1992.-2000.
Jamnička kiselica 4107	Vodostaj	449861,68	5045544,00	dnevno	1948.-2012.	Nedostupni podaci: 1991.-1999.
Jamnička kiselica 4107	Vodostaj	449861,68	5045544,00	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1991.-1999.
Jamnička kiselica 4107	Protok	449861,68	5045544,00	dnevno	1948.-2012.	Nedostupni podaci: 1991.-1999.
Jamnička kiselica 4107	Protok	449861,68	5045544,00	satno	2001.-2012.	Nedostupni podaci: 1991.-1999.
Rijeka Dobra						
Donje stative 4061	Vodostaj	419847,29	5042320,53	dnevno	1946.-2012.	-
Donje stative 4061	Vodostaj	419847,29	5042320,53	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1994.
Donje stative 4061	Protok	419847,29	5042320,53	dnevno	1946.-2012.	-
Donje stative 4061	Protok	419847,29	5042320,53	satno	2001.-	-

					2012.	
Rijeka Mrežnica						
Mrzlo Polje 4042	Vodostaj	421366,15	5036181,90	dnevno	1947.-2012.	-
Mrzlo Polje 4042	Vodostaj	421366,15	5036181,90	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1994.
Mrzlo Polje 4042	Protok	421366,15	5036181,90	dnevno	1947.-2012.	-
Mrzlo Polje 4042	Protok	421366,15	5036181,90	satno	2001.-2012.	-
Rijeka Korana						
Velemerić 4073	Vodostaj	430411,13	5030477,13	dnevno	1946.-2012.	Nedostupni podaci: 1988.-1998.
Velemerić 4073	Vodostaj	430411,13	5030477,13	satno	1982.-2012.	Nedostupni podaci: 1988.-1998.
Velemerić 4073	Protok	430411,13	5030477,13	dnevno	1946.-2012.	Nedostupni podaci: 1988.-1998.
Velemerić 4073	Protok	430411,13	5030477,13	satno	2001.-2012.	
Kanal Kupa-Kupa						
Mahično 2553	Vodostaj	424671,76	5045488,23	dnevno	2009.	-
Mahično 2553	Protok	424671,76	5045488,23	dnevno	2009.	-
Rečica 2552	Vodostaj	435033,37	5038192,51	dnevno	2009., 2012.	Nedostupni podaci: 2010.
Rečica 2552	Vodostaj	435033,37	5038192,51	satno	2009., 2012.	Nedostupni podaci: 2010.

Dodatak 5. Odstupanja i/ili uklonjeni presjeci vodotoka rijeke Kupe

Kako bi se mogla provesti analiza podataka, za odstupanja su u MS Excel ucrtane maksimalne vrijednosti koje jako odstupaju od ostalih vrijednosti na lijevoj i desnoj obali rijeke i najniže točke u koritu rijeke. Prvo je provedena brza provjera u ArcGIS-u kako bi se utvrdilo jesu li niske točke u presjecima vodotoka smještene između maksimalnih točaka. U nekoliko slučajeva, niske točke presjeka vodotoka su bile vrlo blizu jednoj od maksimalnih točaka te je tada bilo potrebno provjeriti oblik presjeka vodotoka.

Provedene su analize odstupanja te su iste i provjerene na temelju digitalnih modela reljefa, aplikacije Google Streetview i fotografija snimljenih iz zraka. Rezultati su zorno prikazani u tablici A.5.1. Čelije označene narančastom bojom odgovaraju izbrisanim presjecima vodotoka.

Broj presjeka vodotoka	Rezultat analize
380	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Na lijevoj i desnoj obali. U blizini mosta. Vjerojatno visoka vrijednost (točka) na strukturi kanala.
402	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Ulaz u kanal Kupa-Kupa. Točka locirana na nasipu kanala.
427	Niska vrijednost blizu maksimalne vrijednosti. Profil provjeren.
442	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Blizu uskog proširenja u zavoju u kojem se potok ulijeva u rijeku.
447	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Niska vrijednost locirana na obali rijeke.
451	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Blizu uskog proširenja u zavoju u kojem se potok ulijeva u rijeku.
467	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. 5 metara razlike u uzvišenju s maksimalnim vrijednostima okolnih presjeka vodotoka. U referentnom materijalu nema vidljivog razloga.
469	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. 16 metara razlike u uzvišenju s maksimalnim vrijednostima okolnih presjeka vodotoka. U referentnom materijalu nema vidljivog razloga.
471	Niska vrijednost blizu maksimalne vrijednosti. Profil provjeren.
490	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. 8 metara niže od okolnog zemljišta. Blizu uskog proširenja u zavoju u kojem se potok ulijeva u rijeku.
491	Niska vrijednost blizu maksimalne vrijednosti. Profil provjeren.
501	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. 5 metara razlike u uzvišenju s maksimalnim vrijednostima okolnih presjeka vodotoka. U referentnom materijalu nema vidljivog razloga.
516	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Blizu trajektne rampe koja ima nisku maksimalnu vrijednost u presjeku vodotoka.
552	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. U blizini mosta. Vjerojatno visoka vrijednost (točka) na strukturi kanala.
552A	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti.
576	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti.
591	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. U blizini mosta. Vjerojatno visoka vrijednost (točka) na strukturi kanala.
602	Minimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Izbrisati presjek vodotoka.

637	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Provjereno s referentnim materijalom: Brdo.
638	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. Provjereno s referentnim materijalom: Brdo.
650	Maksimalna vrijednost koja uvelike odstupa od ostalih vrijednosti. U referentnom materijalu nema vidljivog razloga. Izbrisao bi se, ali ovo je prvi presjek vodotoka za pilot područje.

Tablica A.5.1 Odstupanja i/ili uklonjeni presjeci vodotoka rijeke Kupe

Dodatak 6. Godišnje maksimalne vrijednosti (vodostaji, protoci i padaline) za mjerne postaje na ušću rijeke Neretve i rijeci Kupi

Ušće rijeke Neretve

	Metković 7052 (H_hr)	Bijeli Vir 7124 (H_d)	Bijeli Vir 7124 (Q_d)	Kuti 7178 (H_d)	Prud 7179 (H_d)	Prud 7179 (H_hr)	Ustava nizvodno (H_hr)	ušća 7499	Opuzen (P)
n	30	30	9	30	30	7	22	30	
1981		2,13							
1982	2,00	2,5		1,08	1,50			120	
1983	1,58	1,84		0,94	1,19			66	
1984	2,00	2,44		1,30	1,45			125	
1985	2,45	2,29		1,35	1,42			97	
1986	2,35	2,24		1,20	1,26			84	
1987	2,10	2,09		1,30	1,46			97	
1988	1,46	1,84		0,96	1,22			112	
1989	1,25	2,49		1,24	1,32			100	
1990	1,81	2,28		1,18	1,46		0,88	61	
1991	1,16	2,29		1,12	1,42		0,74	104	
1992	1,50	1,89		1,01	1,50		0,93	99	
1993	2,21	2,57	45,6	1,20	1,60		0,94	108	
1994	2,04	2,09	31,1	0,94	1,31		0,91	51	
1995	3,22	2,31	36,7	1,08	1,74		0,96	147	
1996	2,88	2,29	35,0	1,19	1,46		1,06	103	
1997	1,67	2,09	29,4	1,07	1,26		1,07	97	
1998	1,65	2,09	29,4	1,06	1,48		0,87	75	
1999	3,45	2,21	32,7	1,25	1,44		1,05	84	
2000	3,15	2,93	54,9	1,45	1,48		1,14	83	
2001	1,72	1,64	14,4	0,83	1,10		0,9	49	
2002	2,11	2,32		1,15	1,46		1,05	51	
2003	2,18	2,31		1,06	1,43		0,91	112	
2004	2,11	2,33		1,03	1,35		1	83	
2005	2,27	1,97		0,96	1,36	1,4	1,01	61	
2006	1,45	1,61		0,88	1,27	1,42	0,89	115	
2007	1,76	2,11		1,00	1,22	1,25	0,94	68	
2008	2,42	2		1,14	1,33	1,35	1,1	123	
2009	3,55	2,04		1,19	1,66	1,7	1,17	83	
2010	3,87	2,25		1,26	1,72	1,74	1,14	119	
2011	1,27			0,84	1,18	1,18	0,99	34	

Objašnjenje simbola:

H : vodostaj (m + MSL)

Q : protok (m³/s)

P : kumulativne oborine (mm)

_hr : satno

_d : dnevno

Rijeka Kupa

	Kamanje 4024 (Q_d)	Donje stative 4061 (Q_d)	Mrzlo Polje 4042 (Q_d)	Velemerič 4073 (Q_d)	Jamnička kiselica 4107 (Q_d)	Brodarci 4003 (Q_d)
n	54	54	54	49	56	28
1948					1,141	
1949					964	
1950					815	
1951					949	
1952					1,581	
1953					891	
1954					1,149	
1955					904	
1956					606	
1957	631	212	218	260	853	
1958	498	161	218	336	752	
1959	755	196	326	309	967	
1960	711	216	200	274	913	
1961	572	165	188	249	829	
1962	821	220	304	436	1,067	
1963	890	218	249	253	882	
1964	917	220	269	253	975	
1965	833	232	233	223	976	
1966	1,052	291	287	334	1,394	
1967	550	165	226	243	904	
1968	931	241	245	206	928	
1969	764	214	248	355	979	
1970	412	129	163	257	802	
1971	495	218	219	188	868	
1972	733	245	287	355	1,022	
1973	475	123	160	304	724	
1974	835	245	307	439	1,556	
1975	510	176	225	188	775	
1976	853	209	248	234	908	
1977	554	228	222	249	819	
1978	641	158	193	182	813	
1979	749	206	255	351	957	
1980	688	206	260	340	1,051	
1981	624	250	222	306	977	
1982	690	177	226	244	823	
1983	534	116	183	130	785	616
1984	637	202	237	302	819	626
1985	630	179	177	153	733	600
1986	469	141	207	164	652	563
1987	756	242	203	347	748	818
1988	407	98	68	76	444	352
1989	648	246	308	402	957	793
1990	747	215	232	232	779	854
1991	877	233	269		924	892
1992	829	252	237		868	912
1993	928	195	226			1,038
1994	562	273	215			810
1995	755	253	267			924
1996	570	234	217	370		731
1997	381	152	194	364		557
1998	836	238	198	201		837
1999	573	255	256	400		796
2000	813	206	238	209	1,083	1,160
2001	413	134	183	232	731	604
2002	534	215	240	243	1,005	671
2003	470	159	196	192	930	400
2004	688	191	225	244	956	906
2005	1,022	237	269	291	1,103	1,005
2006	550	154	138	213	620	893
2007	375	142	122	144	681	394
2008	584	165	217	328	920	754
2009	763	200	213	252	881	828
2010	870	229	232	277	1,094	937

Dodatak 7. Rezultati analize učestalosti poplava (godišnje maksimalne vrijednosti) za

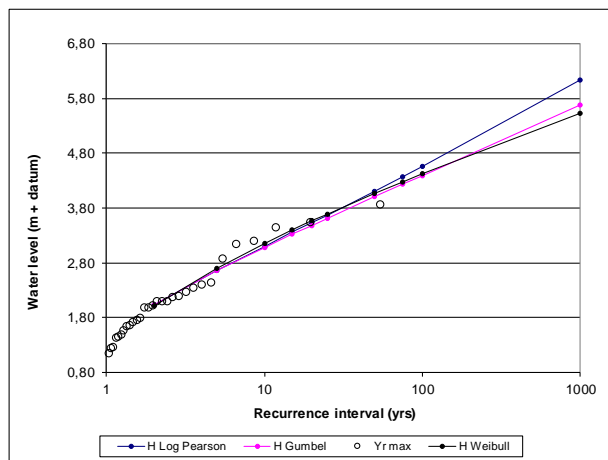
pilot područja, za rijeke Kupu i Neretvu

	T25			T50			T100			T1000		
	Gumbel	Log-Pearson	Weibull	Gumbel	Log-Pearson	Weibull	Gumbel	Log-Pearson	Weibull	Gumbel	Log-Pearson	Weibull
Rijeka Kupa												
Ulazni hidrogrami												
4024 Q_d - Kamanje (Kupa)	1,023	1,005	986	1,117	1,072	1,040	1,210	1,134	1,089	1,518	1,315	1,222
4042 Q_d - Mrzlo Polje (Mrežnica)	320	298	293	346	308	302	371	316	309	455	323	327
4061 Q_d - Donje stative (Dobra)	290	275	269	313	285	278	337	294	286	414	317	306
4073 Q_d - Velemerić (Korana)	433	421	411	477	452	435	521	481	457	665	567	515
Izlazni hidrogram												
4107 Q_d - Jamnička kiselica	1,323	1,315	1,322	1,432	1,427	1,418	1,541	1,542	1,508	1,900	1,953	1,781
Kontrolne točke												
2552 H_d - Recica												
2553 Q_d - Mahicho												
4003 Q_d - Brodarci												
4056 Q_d - Recica II												
4111 H_d - Karlovac												
Rijeka Neretva												
Ulazni hidrogrami												
7052 H_hr - Metković	3,61	3,67	3,69	4,00	4,11	4,07	4,39	4,55	4,43	5,68	6,14	5,53
7052 Q_hr - Metković	1,838	1,852	1,887	1,975	2,005	2,044	2,112	2,161	2,199	2,563	2,725	2,710
7124 H_d - Bijeli Vir	2,74	2,67	2,65	2,89	2,75	2,72	3,04	2,82	2,79	3,54	3,03	2,96
7124 Q_d - Bijeli Vir	55,2	57,1	68,2	60,2	64,4	75,6	65,0	72,4	93,0	81,2	105,3	100,6
7178 H_d - Kutli	1,42	1,39	1,38	1,51	1,44	1,43	1,59	1,49	1,47	1,87	1,62	1,58
7179 H_hr - Prud	1,87	1,87	1,96	1,99	1,98	2,05	2,10	2,08	2,23	2,48	2,43	2,30
7179 H_d - Prud	3,04	3,01	3,00	3,13	3,07	3,05	3,21	3,12	3,09	3,49	3,28	3,22
Izlazni hidrogram												
7499 H_d - razina vode_not corr. (nije ispravljeno)	1,20	1,18	1,16	1,26	1,22	1,19	1,32	1,26	1,22	1,51	1,37	1,28
7499 H_d - razina vode_corr. (ispravljeno)	1,26	1,23	1,23	1,31	1,26	1,25	1,36	1,29	1,28	1,52	1,26	1,23
Kontrolne točke												
7062 H_d - Opuzen (Neretva)												
7258 H_d Kula Norinska (Narona)												
7260 H_d Kalebovac (Narona)												
7506 H_d Opuzen (ustava nizvodno)												
7507 H_d Opuzen (ustava nizvodno)												
Padaline												
Opuzen	145	139	135	160	148	142	175	155	148	223	175	163
Ploče												

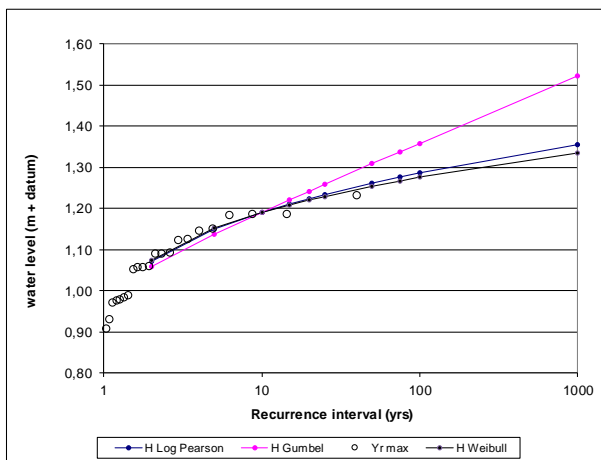
Dodatak 8. Krivulje učestalosti poplava za mjerne stanice na ušću rijeke Neretve i rijeci Kupa

Ušće rijeke Neretve

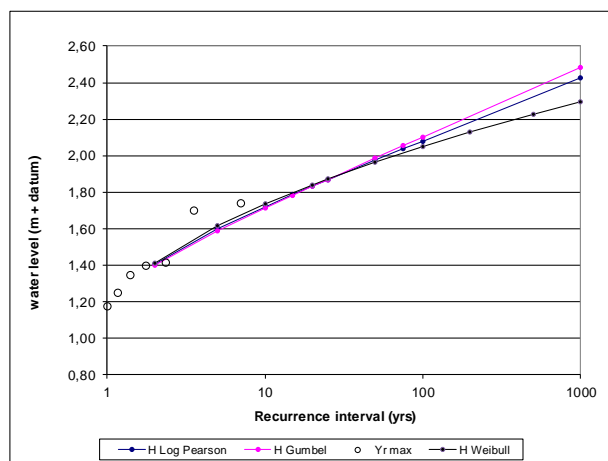
Metković (Neretva) H_hr (7052)



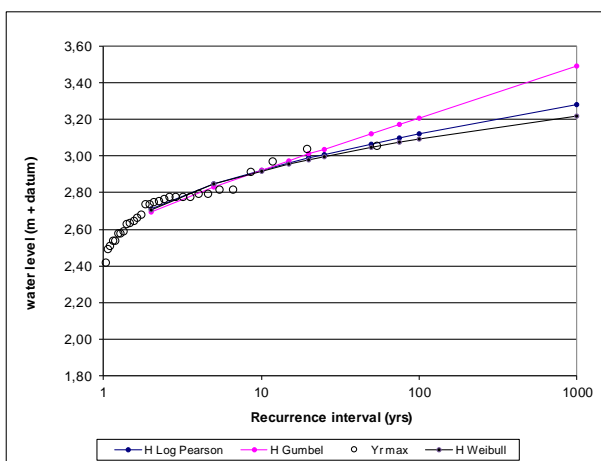
Razina vode H_hr (7499)



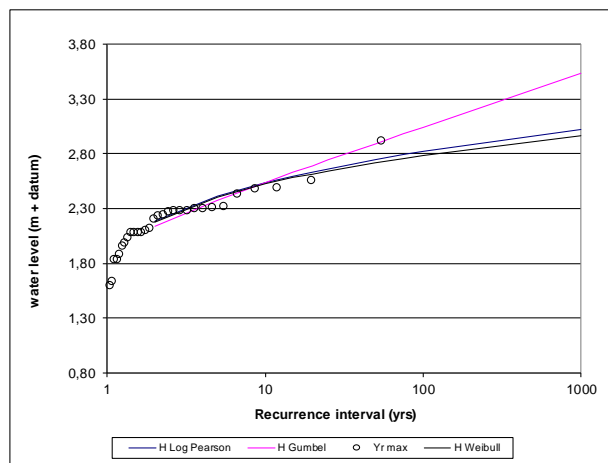
Prud (Norin) H_hr (7179)



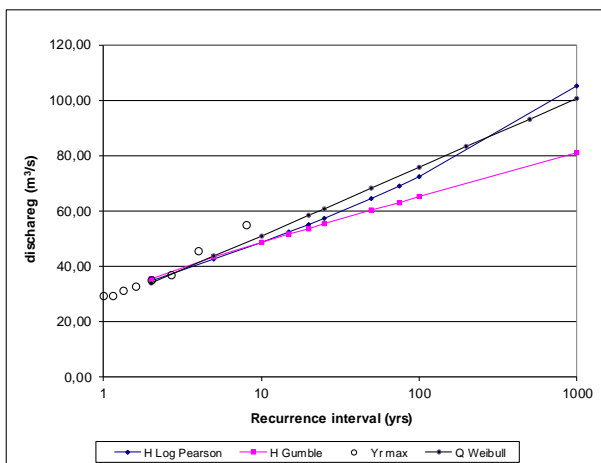
Prud (Norin) H_d (7179)



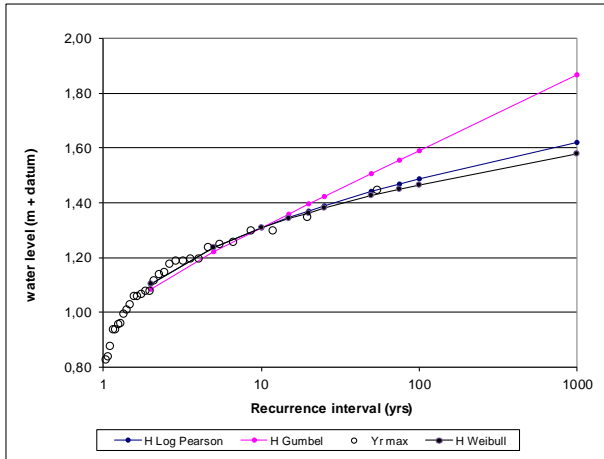
Bijeli Vir (Mislina) H_d (7124)



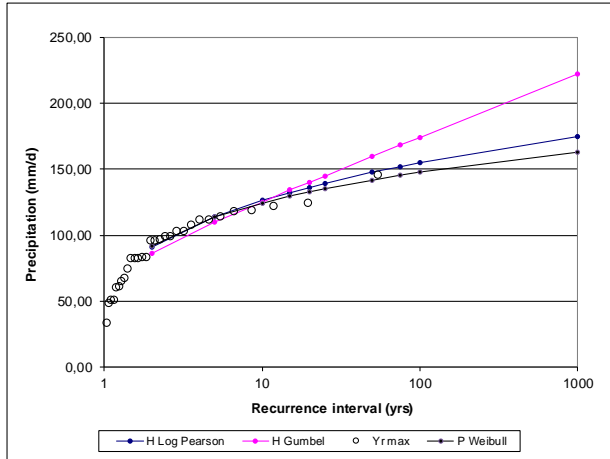
Bijeli Vir (Mislina) Q_d (7124)



Kuti (Prunjak) H_d (7178)

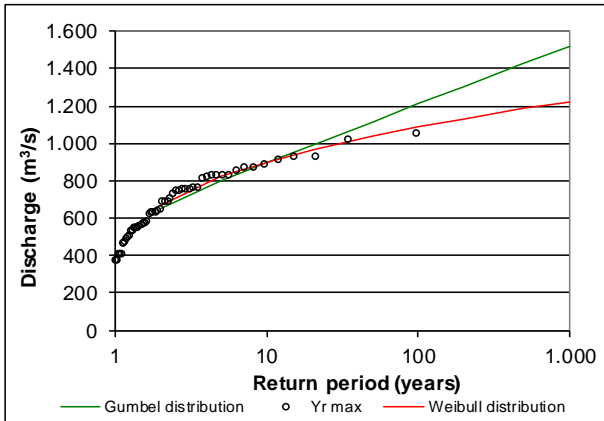


Opuzen P_d

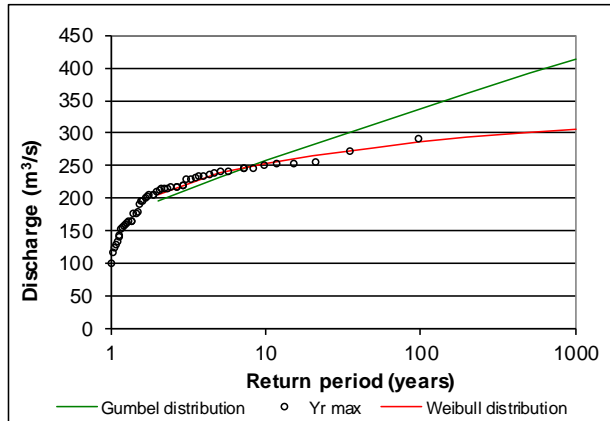


Rijeka Kupa

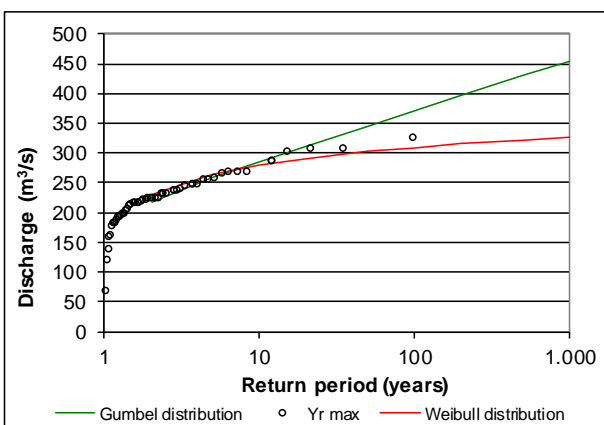
Kamanje (Kupa) Q_d (4024)



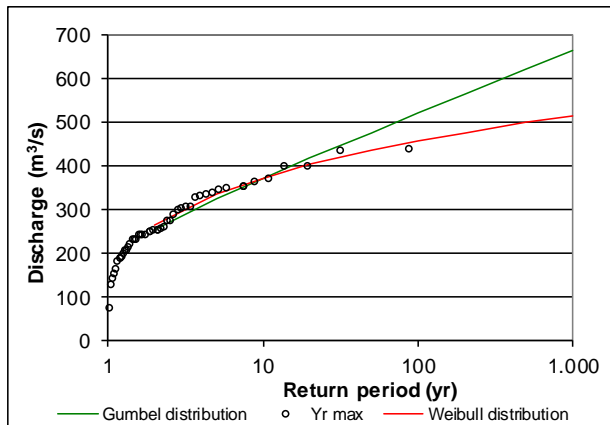
Donje stative (Dobra) Q_d (4061)



Mrzlo Polje (Mrežnica) Q_d (4042)

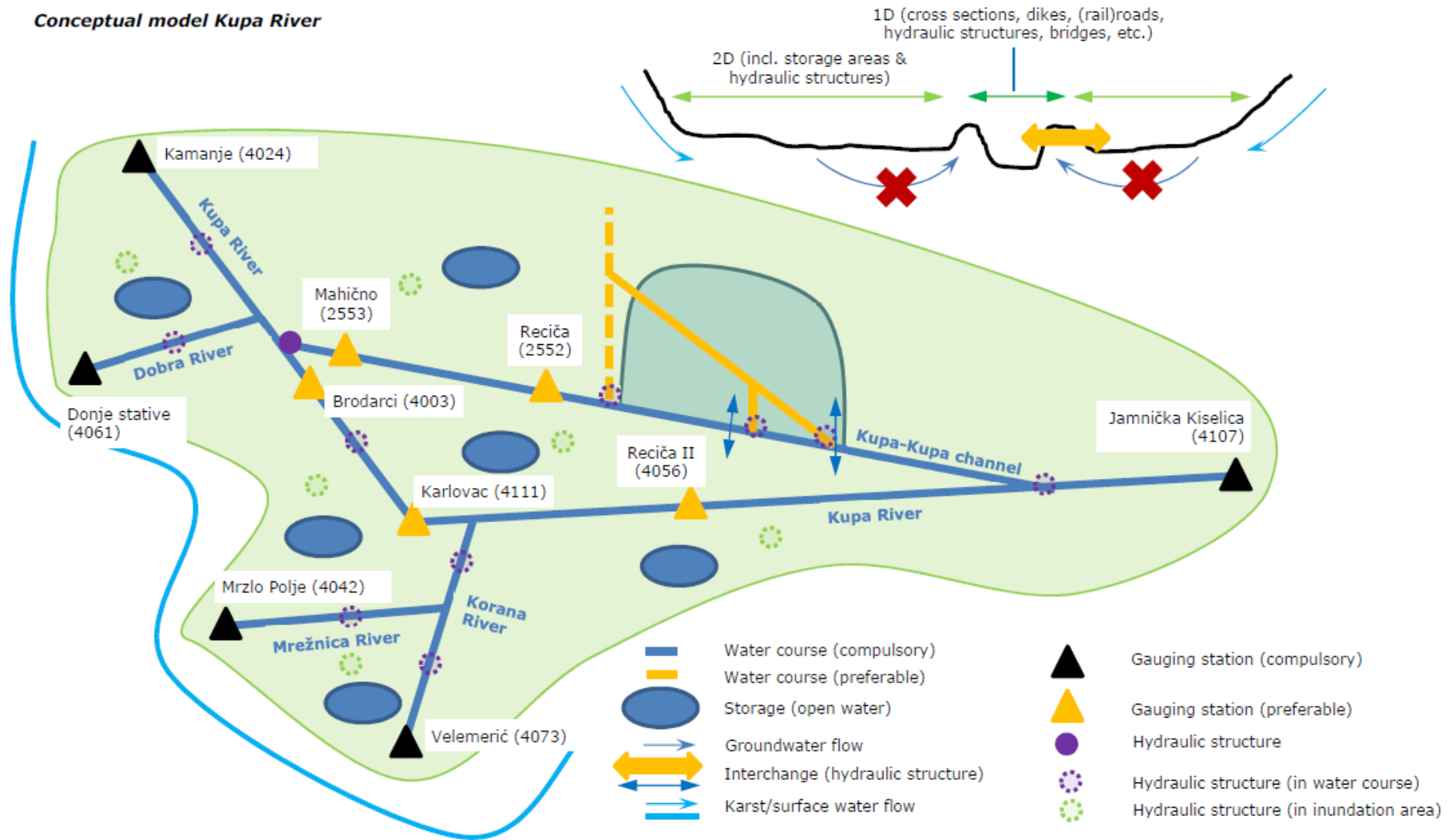


Velemerić (Korana) Q_d (4073)

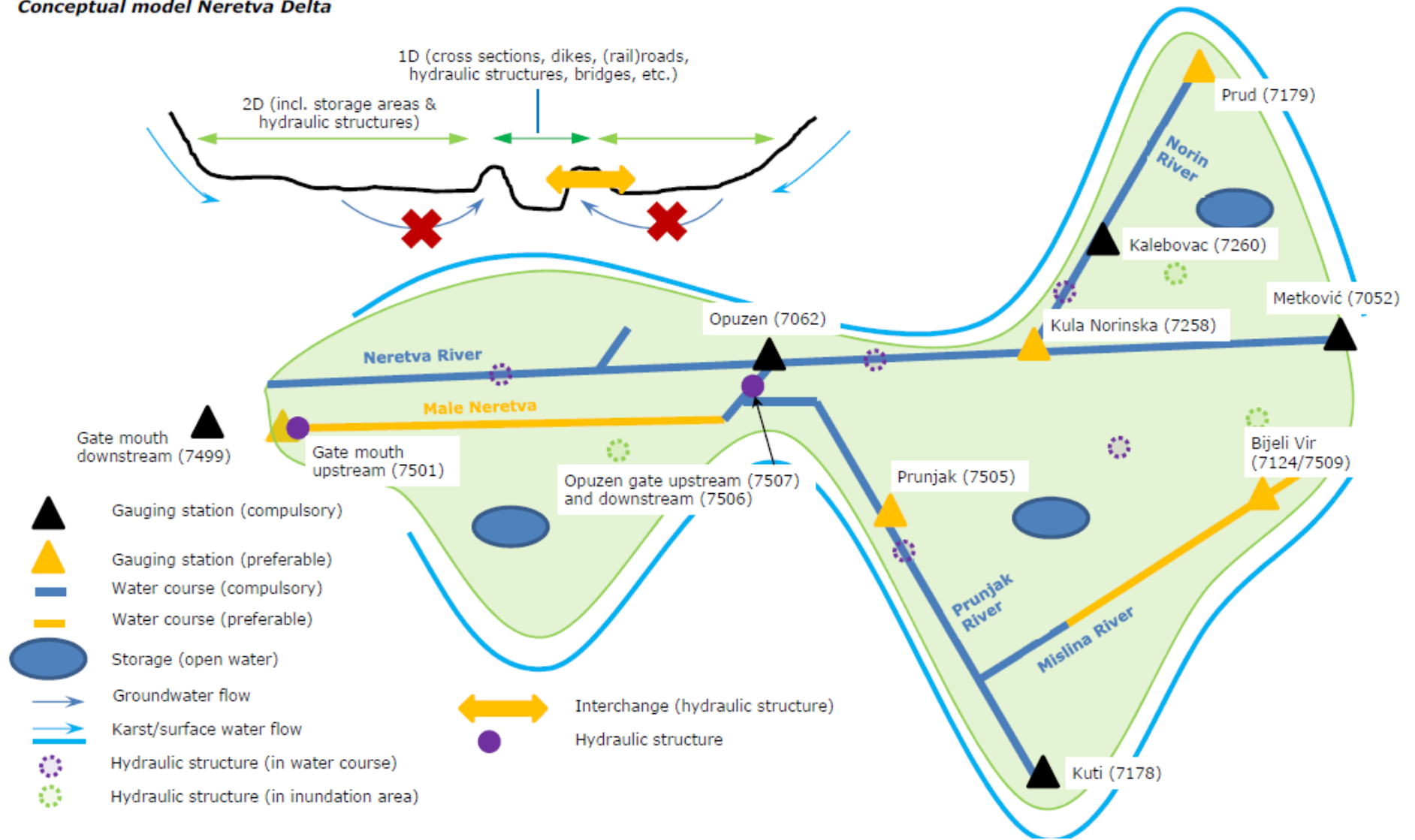


Dodatak 9. Konceptualni modeli za rijeku Kupu i ušće rijeke Neretve

Conceptual model Kupa River



Conceptual model Neretva Delta



Dodatak 10. Izrada jednodimenzionalnih hidrodinamičkih modela riječnih ogranaka primjenom Sobek softvera

Uspostava modela za rijeku i ogranke (jnodimenzionalni Sobek)

Aktivnosti potrebne za uspostavu modela moguće je podijeliti na tri dijela:

- A. Izrada datoteke s ekstenzijom .map za novi SOBEK projekt;
- B. Priprema središnje linije za domenu modela;
- C. Izrada modela iz radne datoteke u SOBEK-u.

A. Izrada datoteke s ekstenzijom .map za novi SOBEK projekt;

Potrebno je poduzeti sljedeće korake:

- 1) Potreban je shape file pozadinske karte područja;
- 2) U postojećem SOBEK projektu odabrati "schematization";
- 3) Odabrati *File* -> *Export* -> *Map*. Spremiti pozadinsku kartu u file datoteku (ime file-a, npr. *imerijeke.map*) na sigurnu lokaciju!
- 4) Zatvoriti postojeći model;
- 5) Na početnom zaslonu SOBEK-a odabrati *Options* -> *SOBEK options* -> *Background map*;
- 6) Pronađite kartu koju ste spremili u 2. koraku i odaberite "Copy map layers in new projects".

B. Priprema središnje linije za domenu modela;

Potrebno je poduzeti sljedeće korake:

- 1) Koristite unaprijed pripremljeni shape file središnje linije za rijeku i njena račvanja.
- 2) Na točki na kojoj se rijeka susreće s drugim ograncima, obje središnje linije bi trebale biti na **točno** istoj lokaciji. Neka se dvije linije ukope u GIS.
- 3) Središnja linija sadrži velik broj odvojenih linijskih elemenata (vidi tablicu s atributima u GIS-u/geografskom informacijskom sustavu). Razriješite linije, tako da po račvanju dobijete samo jednu liniju.
- 4) Dodajte shape file-u novu stavku koja sadrži, primjerice, broj. Svako od račvanja trebalo bi imati svoj vlastiti broj. Iznimno je važno da rijeka uzvodno od sliva s drugim ograncima ima različit broj u odnosu na onaj nizvod od ogranaka (račvanja). Možda ćete trebati podijeliti liniju na lokaciji sliva.


C. Izrada modela iz radne datoteke u SOBEK-u

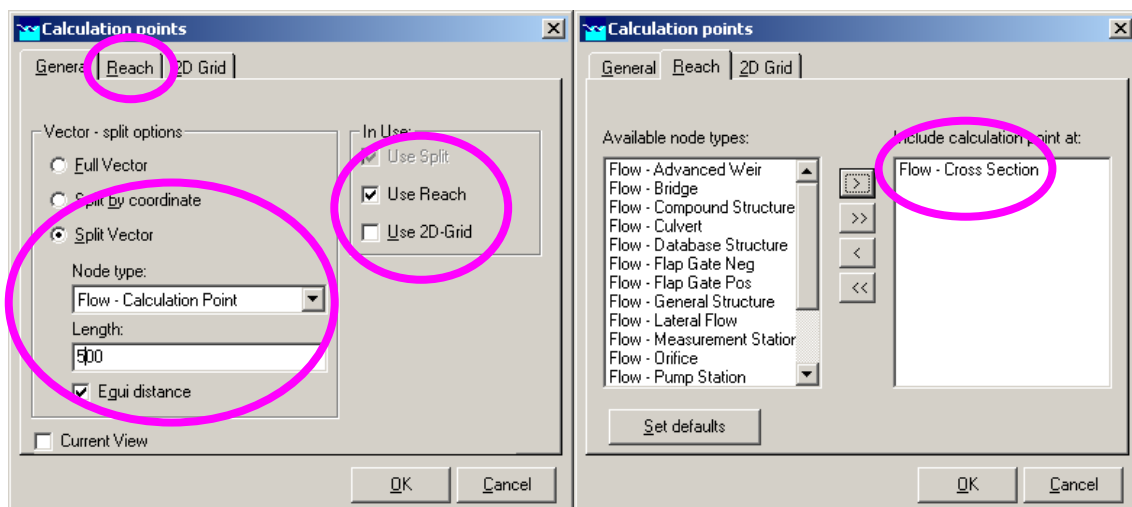
Potrebno je poduzeti sljedeće korake:

- 1) Trebat će Vam shape file-ovi svih elemenata koje je potrebno integrirati u model.
- 2) Otvoriti *new project* u SOBEK-u.
- 3) Copirajte shape file-ove koji su dio Vaše pozadinske mape u mapu *FIXED* Vašeg novog projekta.
- 4) Ne mijenjati ništa unutar "Meteorological data".
- 5) U "Import Network" odaberite "Start from scratch".
- 6) Unutar "Settings" odaberite "1D River" (odznačite 1D Rural, možda je bolje da označite 1D2D budući da će nam ova opcija biti potrebna!).
- 7) U postavkama za 1DFlow River, odaberite sljedeće:
 - vremenski interval;
 - simulacijsko razdoblje (na osnovu kalibracijskog razdoblja);
 - početni vodostaj.

Sada možete započeti s uvozom shape file-a za sve mrežne elemente modela:

- 8) Odabrati "schematization" -> *Edit model*.
- 9) Odaberite *File* -> *Import* -> shape file središnje linije prilagođen prema dijelu (B):
 - *use as network*
 - *model = flow model*

- *ID* = nova stavka koju ste dodali u shape file u dijelu (B)
 - *vector link options* = *full vector*
 - *branch type* = *flow channel*
 - nema potrebe za izmjenama unutar "advanced"
- 10) Kliknite OK i provjerite jeste li dobili točan broj račvanja.
- 11) Provjerite je li rijeka stvarno povezana s ostalim račvanjima. Za ovo je potrebno uvećati prikaz.
- 12) Provjerite jesu li sva račvanja spojena na isti spojni čvor.
- 13) Provjerite oblik središnje linije (= osi rijeke). Kako biste to napravili pritisnite tipku . Ovime otvarate prikaz sloja vektora mreže.
- 14) Sada uvezite presjeke vodotoka:
- *File* -> *import* -> odaberite shape file za presjek vodotoka
 - Odaberite "add reach elements"
 - *model* = *Flow model*
 - *ID* = *ID*
 - *name* = *name*
 - *node type* = *cross-section*
 - *OK*
 - *yes, save* (spremite) trenutnu mrežu.
- 15) Sada na isti način uvezite utvrđene točke izračuna. Fiksne točke izračuna su točke na kojima imate fiksne lokacije, poput točki promatranja, struktura i tako dalje. Ne zaboravite preuzeti ime i ID navedenih točaka.
- 16) Sada na isti način uvezite točke bočnog ulijevanja i preljeva. Ne zaboravite preuzeti ime i ID navedenih točaka.
- 17) Promijenite uzvodne i nizvodne granice u tip čvora "Boundary".
- 18) Koristite granične uvjete za jedno od kalibracijskih razdoblja. Za ovo koristite korisničko sučelje (možete uvesti ASCII datoteku u prikladnom formatu).
- 19) Kreirajte točke izračuna.
- *Edit actions* -> *Reach* -> *calculation grid all reaches*
 - *split vector*
 - *node type* = *Flow-Calculation point*
 - označite okvir za "use reach" i "Equi distance"
 - u "Reach" uključite točku izračuna na presjecima vodotoka i nigdje drugdje!



- 20) Kliknite OK kako biste kreirali točke izračuna.

- 21) Provjerite jesu li čvorovi presjeka vodotoka vidljivi unutar Vaše mreže. Odaberite čitavu mrežu. Kliknite na odabir desnom tipkom miša -> *Model data –Flow model*.
- 22) Unutar editora za višestruke podatke, odaberite *Flow – cross section* -> *Friction* unesite vrijednost za koeficijent trenja za sve brojeve račvanja.
- 23) Spemite slučaj i u potpunosti zatvorite SOBEK (nema otvorenih prozora!)
- 24) Provjerite možete li provesti simulaciju.

Dodatak 11. Pregled Sobek simulacija

Rijeka Kupa

Slučaj #	Naziv slučaja/definicija	Opis
1	Osnovni (prvi test)	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Granični uvjeti: Q = konstanta za 4 postaje (4024, 4061, 4062 i 4073), H = konstanta na nizvodnoj granici (4107) Rezultat: protok na 4107 jednak je zbroju protoka na 4024, 4061, 4062 i 4073
2	Slučaj 2a, bez mjerne postaje (simulacija nestacionarnog tečenja 2008.; test 2)	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Granični uvjeti: Q = vremenska serija (\neq konstanta) na 4 postaje (4024, 4061, 4062 i 4073), H vremenska serija na nizvodnoj granici (4107) Rezultat: testiranje ponašanja modela
3	Slučaj 1, bez mjerne postaje (simulacija nestacionarnog tečenja 2008.)	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Shematizacija: dodatni čvor za vremenske serije bočnog ulijevanja Q_{sl2} Rezultat: H_h (4111) i H_d (4056) - veliko nepodaranje u dijagramima Aktivnost: Promijeniti Manningovu vrijednost $n=0.02$ za čitavu riječnu mrežu
4	Slučaj 2b, mjerna postaja (simulacija nestacionarnog tečenja 2008.), hrapavost $n=0.02$	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Rezultat: H_h (4111) i H_d (4056) - veliko nepodaranje u dijagramima Aktivnost: Promijeniti Manningovu vrijednost $n=0.05$ za čitavu riječnu mrežu
5	Slučaj 2c, mjerna postaja (simulacija nestacionarnog tečenja 2008.), hrapavost $n=0.05$	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Rezultat: H_h (4111) i H_d (4056) - veliko nepodaranje u dijagramima Aktivnost: Promijeniti Manningovu vrijednost $n=0.04$ za čitavu riječnu mrežu
6	Slučaj 2d, mjerna postaja (simulacija nestacionarnog tečenja 2008.), hrapavost $n=0.04$, 1D2D	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Rezultat: -
7	Slučaj 3, kalibriranje, hrapavost $n=0.04$	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/11/2010 – 31/12/2010 Rezultat: Q_d (4003 i 4056) – razlike između mjerenja i simulirani vodostaj povećava se pred vrhuncem poplave Objašnjenje: vertikalni zidovi u jednodimenzionalnoj (1D) mreži sprečavaju prelijevanje (povećanje vodostaja), pri čemu se voda, u stvarnosti, prelijeva preko obala rijeke
8	Slučaj 4a, validacija, hrapavost $n=0.04$	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/10/2005 – 31/12/2005 Rezultat: -
9	Slučaj 6, simulacija nestacionarnog tečenja 2008., hrapavost $n=0.04$, Q-H	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 Shematizacija: krivulja stanja na vodomjernoj postaji 4107 umjesto granice vodostaja Rezultat: H (4111) - veliko nepodudaranje u dijagramima Objašnjenje: krivulju stanja moguće je dodati u ulazne podatke Q = konstanta ili kod potpuno završenog modela (za provjeru)
10	Slučaj 4b, nizak prag 110,05	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/10/2005 – 31/12/2005 Rezultat: Promjena inicijalnih uvjeta sa 105 na 111 m iznad razine mora ne utječe na rezultate modela
11	Slučaj 4c, niži prag 110.05, početna vrijednost 111	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/10/2005 – 31/12/2005 Rezultat: -
12	Slučaj 5a, validacija 2009., hrapavost $n=0.04$	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 Shematizacija: prag u kanalu Kupa-Kupa = 111.05 m iznad razine mora Rezultat: Q_d (2552 & 2553) – Q kanal Kupa-Kupa prenizak (prag je previsok) Aktivnost: smanjiti vrijednost praga
13	Slučaj 7, 2009., hra-	<ul style="list-style-type: none"> Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009

	pavost $n=0,04$, bočna prelijevanja	<ul style="list-style-type: none"> • Shematizacija: dodatni čvorovi za vremenske serije bočnih ulijevanja Q_{sl1} & Q_{sl5}, (osim Q_{sl2}) i ispravak presjeka vodotoka (podešeni mokri perimetar) • Rezultati: (i) gotovo i da nema razlike u odnosu na slučaj 8 na vodomjernim postajama 4003, 4111 i 4056, (ii) Q_d (4003 i 4056) - prevelike procjene protoka za vrijeme visokih vodostaja (iii) H_d (4003 & 4056) - premale procjene vodostaja za vrijeme visokih vodostaja • Aktivnost: prilagoditi Manningov n na različitim dionicama i pogledati dvodimenzionalni (2D) model
14	Slučaj 5b, validacija 2009., hrapavost $n=0,04$, novi model	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: prag u kanalu Kupa-Kupa = 110.05 m iznad razine mora • Rezultat: Q_d (2552 i 2553) - još uvijek postoje odstupanja u odnosu na izmjerene protoke. Mogući razlozi: 'n', geometrija
15	Slučaj 5c, validacija 2009., hrapavost $n=0,05$, novi CS	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0.05$ za čitavu mrežu • Rezultati: H_d (4003 i 4056) - precijenjeni vodostaji
16	Slučaj 5d, validacija 2009., hrapavost $n=0,055$ i $0,045$, novi CS	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0.055$ i $n = 0.045$ na različitim dionicama • Rezultati: H_d (4056) - grafikoni su usklađeni za visoke vodostaje, mala odstupanja tijekom niskih vodostaja
17	Slučaj 8a, 2009., hrapavost $n=0,045$ i $0,055$, bočna prelijevanja, novi CS	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0.055$ i $n = 0.045$ na različitim dionicama, bočna prelijevanja, fiksni CS, Q_h dodan na graničnim postajama • Rezultati: (i) H_h (4003) – odstupanje tijekom visokih vodostaja, (ii) Q_h (4003) - veće odstupanje za vrijeme visokih vodostaja • Aktivnost: izmijeniti ulazne podatke: Q_h natrag na Q_d na graničnim postajama i n sa $0,055$ to $0,05$
18	Slučaj 8b, 2009., hrapavost $n=0,045$ i $0,05$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, 2D	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0.05$ i $n = 0.045$ na različitim dionicama, bočna prelijevanja, fiksni CS, dvodimenzionalni (2D) raster • Rezultat: nema podudaranja u grafikonima • Naknadne aktivnosti: novi podaci o uzvišenju i geometriji pronađeni za kanal Kupa-Kupa, podešavanje jednodimenzionalne (1D) mreže, novo uzvišenje praga je 109,58 iznad razine mora
19	Slučaj 8c, 2009., hrapavost $n=0,045$ i $0,05$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0.05$ i $n = 0.045$ na različitim dionicama, bočna prelijevanja, fiksni CS, izmjena ulaznih podataka (Q_h natrag na Q_d na graničnim postajama) • Rezultati: (i) H_d (4003) - odstupanje između simuliranih i izmjerenih vodostaja, (ii) Q_d (4003) – podudaranje
20	Slučaj 8d, 2009., hrapavost $n=0,045$ i $0,05$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: $n = 0,05$ i $n = 0,045$ na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS, prilagodba uzvišenja praga = 109,58 m iznad razine mora, $n = 0,04$ uzvodno od praga u rijeci Kupi, $n=0,05$ u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
21	Slučaj 8e, 2009., hrapavost $n=0,045$ i $0,04$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Rezultat: -
22	Slučaj 9, 2010., hrapavost $n=0,045$ i $0,04$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58, 2D	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 6/12/2010 – 15/12/2010 (razmjer poplave poznat) • Shematizacija: $n = 0,04$ i $n = 0,045$ na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS, 2D raster, točke na 2D rasteru (a, b, c) dodane kako bi se provjerili rezultati za ove točke • Rezultat: -
23	Slučaj 11, 2008., hrapavost $n=0,045$ i $0,04$, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 • Shematizacija: $n = 0,05$ i $n = 0,045$ na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS, $n = 0,04$ uzvodno od praga u rijeci Kupi, $n=0,05$ u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -

24	Slučaj 12, 2010., hrapavost n=0,045 i 0,04, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 6/12/2010 – 15/12/2010 (razmjer poplave poznat) • Shematizacija: n = 0.045 i n = 0.04 na različitim dionicama, bočna prelijevanja, fiksni CS • Rezultat: -
25	Slučaj 13, 2010., hrapavost n=0,045 i 0,04, bočna prelijevanja, novi CS, dnevno, prag 109,58, dugo	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 15/8/2010 – 1/10/2010 (razmjer poplave poznat) • Shematizacija: n = 0.045 i n = 0.04 na različitim dionicama, bočna prelijevanja, fiksni CS • Rezultat: -
26	Slučaj 14, 2009, prag 109,00, n KK=0.06	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: n = 0,06 u kanalu Kupa-Kupa, uzvišenje praga = 109.00 m iznad razine mora • Rezultat: (i) H (2553) - niže od praga = 109,58 i n = 0,05, (ii) Q (2553) - više od praga = 109,58 i n = 0,05
27	Slučaj 15, 2009, prag 109,00, n KK=0.04	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: n = 0,04 u kanalu Kupa-Kupa, uzvišenje praga = 109,00 m iznad razine mora • Rezultat: (i) H (2553) - niže od praga = 109,58 i n = 0,05, (ii) Q (2553) - više od praga = 109,58 i n = 0,05
28	Slučaj 16, 2009., novi DMR, n 2D raste-ra=0.07	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: dvodimenzionalni (2D)= raster, novi digitalni model reljefa (DEM), raster od 100 m, n = 0,04 u kanalu Kupa-Kupa, n = 0,07 u 2D rasteru, bez nasipa, uzvišenje praga = 109,00 m iznad razine mora • Rezultat: POGREŠKA
29	Slučaj 17a, 2008., n KK=0.05	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 9/12/2008 – 29/12/2008 • Shematizacija: dvodimenzionalni (2D) raster novi digitalni model reljefa (DEM), raster od 100 m, n = 0,05 i n = 0,045 na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS, n = 0,04 uzvodno od praga u rijeci Kupi, n=0,05 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: POGREŠKA
30	Slučaj 17a, 2009., n KK=0,05	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 1/3/2009 – 30/4/2009 • Shematizacija: dvodimenzionalni (2D) raster novi digitalni model reljefa (DEM), raster od 100 m, n = 0,05 i n = 0,045 na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS, n = 0,04 uzvodno od praga u rijeci Kupi, n=0,05 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
31	Slučaj 20, 2012, 1D, prag 109,00, n KK=0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 15/10/2012 – 31/12/2012 • Shematizacija: 1D, uzvišenje praga = 109,00 m iznad razine mora, n = 0,07 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
32	Slučaj 21, 2012, 1D, prag 109,50, n KK=0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 15/10/2012 – 31/12/2012 • Shematizacija: 1D, uzvišenje praga = 109,50 m iznad razine mora, n = 0,07 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
33	Slučaj 22, 2012., 1D2D, prag 109,00, n KK=0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 15/10/2012 – 31/12/2012 • Shematizacija: 1D + 2D, uzvišenje praga = 109,00 m iznad razine mora, n = 0,07 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
34	Slučaj 23, 2012., 1D, prag 109,90, n KK=0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 15/10/2012 – 31/12/2012 • Shematizacija: 1D, uzvišenje praga = 109,90 m iznad razine mora, n = 0,07 u kanalu Kupa-Kupa • Rezultat: -
35	Slučaj Nenad_1, 2010., 2D, novi DMR, bez nasipa	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 6/12/2010 – 15/12/2010 • Shematizacija: 2D, negativni protok, novi digitalni model reljefa (DMR), bez nasipa • Rezultat: Karlovac je poplavljen
36	Slučaj Nenad_2, 2010., 2D, novi DMR, visoki nasipi	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 6/12/2010 – 15/12/2010 • Shematizacija: 2D, negativni protok, novi digitalni model reljefa (DMR), visoki nasipi

		<ul style="list-style-type: none"> • Rezultat: Karlovac je djelomično poplavljen
37	Slučaj 28, 2010., bez aktivnosti	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 6/12/2010 – 15/12/2010 (razmjer poplave poznat) • Shematizacija: $n = 0,04$ i $n = 0,045$ na različitim dionicama, bočna ulijevanja i preljevi, fiksni CS s ručno ispravljenom lijevom obalom rijeke Korane, 2D raster, novi (poboljšani) digitalni model reljefa (DEM), točke na 2D rasteru (a, b, c) dodane kako bi se provjerili rezultati za ove točke • Rezultat: nema vremena na raspolaganju za ovu simulaciju, ali se pretpostavlja da je to ispravna shematizacija - simulacije karata opasnosti od poplava provodit će se na temelju ovog modela
		<p>Parametri modela za simulacije izrade karata opasnosti od poplava:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presjeci vodotoka: novi, prilagođeni uzduž rijeke Korane (uzvišenje nasipa) • Q-h na nizvodnoj graničnoj postaji (4107), ulazni Q negativan (-Q) • Nema bočnih ulijevanja i preljeva (nema analiza učestalosti poplava za bočne tokove, odstupanja rezultata mogla bi iznositi oko 10%) • Vremensko razdoblje: 256 sati (1.1.2000 00:00 – 11.1.2000 16:00) • Visoki nasipi
36	Zadano	
37	T100 simulacija 1 visoki nasipi	• Kupa/Dobra visoko i Korana/Mrežnica nisko
38	T1000 simulacija 1 visoki nasipi	• Kupa/Dobra visoko i Korana/Mrežnica nisko
39	T25 simulacija 1 visoki nasipi	• Kupa/Dobra visoko i Korana/Mrežnica nisko
40	T50 simulacija 1 visoki nasipi	• Kupa/Dobra visoko i Korana/Mrežnica nisko
41	T50 simulacija 2 visoki nasipi	• Korana/Mrežnica visoko i Kupa/Dobra nisko
42	T100 simulacija 2 visoki nasipi	• Korana/Mrežnica visoko i Kupa/Dobra nisko
43	T1000 simulacija 2 visoki nasipi	• Korana/Mrežnica visoko i Kupa/Dobra nisko
44	T25 simulacija 2 visoki nasipi	• Korana/Mrežnica visoko i Kupa/Dobra nisko

Ušće rijeke Neretve

Slučaj #	Naziv slučaja	Opis
1	Zadano (15-10-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Početna uspostava modela • Razdoblje simulacije: 01.07.2010. - 30.09.2010. • Postavke: 1D PROTOK (ruralni), vremenski interval 1h, početni vodostaj 0.5 m iznad razine vode, izračun na temelju početne simulacije nestacionarnog tečenja • Shematizacija: uvezeni glavni vodotoci (podijeljenih u račvanja) i izmjereni presjek vodotoka rijeke Neretve (78), dodan procijenjeni presjek vodotoka za rijeke Norin (3) i Malu Neretvu (5) s pritokama (7) (trapez i pravokutni tipovi), uvezena fiksne točke izračuna: vodomjerne postaje (8) i strukture - ustave (2), postavljeni rubni čvorovi (6), postavljene točke izračuna na udaljenosti od 100 m (293), jezero Kutu postavljeno kao bazno čvorište (donja razina -1,5 m iznad razine mora, površine pohrane 1,200,000 m²), koeficijent trenja 0,1 (Manning) za sve vodotoke. Razmjer poplave za zabilježenu poplavu u prosincu 2010. dodan kao pozadina. • Simulacija samo za južni dio modela - Neretva i pritoka Norin, s graničnim uvjetima (vodostaji), postavljenima na vodomjernim postajama Metković i Prud i ušću rijeke Neretve (kao i vodomjerna postaja na ustavi ušća nizvodno za rijeku Mala Neretva • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
2	Kalibriranje, 2010., novi 1D2D model	<ul style="list-style-type: none"> • Postavke: provjeren kopneni tok (2D) s metodom prelijevanja 1D kanala, 'bez nasipa'

	(15-10-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 22.11.2010. - 12.12.2010. • Shematizacija: uvezen digitalni model reljefa (DTM) (100x100 m raster), nekoliko presjeka vodotoka rijeke Neretve ispravljeno ručno ili izbrisano i presjeci vodotoka rijeke Mala Neretva izmijenjeni u Y-Z tip i modificirani u skladu s novim AutoCad podacima, ukupni presjeci vodotoka: Neretva (76), Mala Neretva (9) i točke izračuna (296), koeficijent trenja 0,033 za rijeku Neretvu i ostale vodotoke, osim za dio rijeke Mala Neretva nizvodno od Opuzena: 0.1, ustava Opuzen zatvorena i ustava na ušću Male Neretve djelomično otvorena, simulacija s čitavim modelom – 6 graničnih uvjeta (vodostaji) • U drugoj seriji ispravak graničnih uvjeta za ustavu na ušću rijeke Mala Neretva nizvodno (ispravljeno u odnosu na datum). • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
3	Kalibriranje, 2010., novi 1D2D model (16-10-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Postavke: metoda prelijevanja 1D kanala, 'visoki nasipi' • Meteorološki podaci: dnevne padaline Opuzen • Shematizacija: lateralni čvorovi toka dodani za rijeku Norin (protok racionalnom metodom, vrijednost infiltracije 0, područje otjecanja 1000 ha) i rijeku Prunjak (protok racionalnom metodom, vrijednost infiltracije 0, područje otjecanja 2500 ha), presjeci vodotoka – smanjene razine korita (ID 15,5,4), granični podaci za vodomjernu postaju Prud pogrešni (m umjesto m iznad razine mora) i ispravljani • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
4	Kalibriranje 2010., novi 1D2D model (16.10.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Shematizacija: lateralni čvor tok dodan za lateralni kanal Mislina - konstantan protok od 5 m³/s, presjeci vodotoka za pritoku Norin kalibrirani – razine korita spuštene na 15 i 4, povećane na 4 i dodana dva nova presjeka vodotoka (ID 38, 39) • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
5	Kalibriranje, 2009.-2010., novi 1D2D model (17-10-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 31.12.2009. – 20.01.2010. • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
6	Kalibriranje, 2010., 1D2D model, novi digitalni model reljefa (DTM) (3-11-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 22.11.2010. - 12.12.2010. • Shematizacija: dodan novi digitalni model reljefa (DTM) (ispravljena područja za jezero Kuti i rijeku Norin i ispravljen nasip na ušću rijeke Mala Neretva) • Rezultat: model zahtijeva daljnje kalibriranje
9	Kalibriranje, 2009.-2010., novi 1D2D model, novi digitalni model reljefa (DTM) (4-11-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Postavke: početni vodostaj se promijenio s 0.5 na 0.2 m iznad razine mora (0.5 m iznad razine mora bilo je previsoko za Kuti područje) • Razdoblje simulacije: 31.12.2009. – 20.01.2010. • Shematizacija: presjeci vodotoka na rijeci Prunjak, bočni kanal Mislina i Crna Rijeka kalibrirani – sva izmijenjena na Y-Z format, dodani novi profili • Rezultat: rezultati simulacije se smatraju prihvatljivima
10	Validacija, 2011., novi 1D2D model, novi digitalni model reljefa (DTM) (5-11-2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Razdoblje simulacije: 10.12.2011. – 23.12.2011. • Rezultat: potvrđeni rezultati prethodne simulacije (9), model se smatra prihvatljivim za simulacije karata opasnosti od poplava za odabrana povratna razdoblja
		<p>Parametri modela za simulacije izrade karata opasnosti od poplava:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prilagođen digitalni model reljefa (DTM) - niže područje jezera Kuti, dio područja u blizini Norina i desni nasipi na rijeci Mala Neretva • Dodani presjeci vodotoka i prilagođeni presjeci vodotoka za rijeke Mislina, Crna rijeka i Prunjak • Izmijenjeno dno jezera Kuti • Vremensko razdoblje: 256 sati (1.1.2000 00:00 – 11.1.2000 16:00) • Visoki nasipi
11	T25 (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 25 godina (vodostaji i padaline) • Rezultat: Ustava na ušću Male Neretve u more nije bila u potpunosti otvorena, ali ovo ne utječe na rezultat simulacije
12	T50 (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 50 godina (vodostaji i padaline) • Rezultat: Ustava na ušću Male Neretve u more nije bila u potpunosti otvo-

		rena, ali ovo ne utječe na rezultat simulacije
13	T100 (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 100 godina (vodostaji i padaline) • Rezultat: Ustava na ušću Male Neretve u more nije bila u potpunosti otvorena, ali ovo ne utječe na rezultat simulacije
14	T1,000 (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline) • Rezultat: Ustava na ušću Male Neretve u more nije bila u potpunosti otvorena, ali ovo ne utječe na rezultat simulacije
15	T100 otvorena ustava u Opuzenu (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 100 godina (vodostaji i padaline) i s otvorenom branom u Opuzenu • Rezultat: ustava u Opuzenu nije bila stvarno otvorena (početna visina postavljena na 0); potrebno ponoviti
16	T1,000 otvorena ustava Opuzen (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline) i s otvorenom branom u Opuzenu • Rezultat: ustava u Opuzenu nije bila stvarno otvorena (početna visina postavljena na 0); potrebno ponoviti
17	T1,000 otvorena ustava Opuzen i prolom nasipa (05. i 06.11.2013.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline) i s otvorenom branom u Opuzenu i propuštanje nasipa u rogotinskom području • Rezultat: pucanje nasipa u rogotinskom području nije rezultiralo poplavom značajnih razmjera
<p>Nakon završnih simulacija opasnosti od poplava provedenih u studenom 2013., pronađene su pogreške u presjecima vodotoka rijeke Mala Neretva. Navedene greške su ispravljene (promjena razine površine) te su ponovno provedene simulacije za određena povratna razdoblja. Osim toga, koeficijent hrapavosti je prilagođen za rijeku mala Neretva i ustava na ušću rijeke Mala Neretva je u potpunosti otvorena.</p>		
27	T25 novo (Siječanj 2014.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija: provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 25 godina (vodostaji i padaline) • Postavke nasipa: nema nasipa • Shematizacija: koeficijent hrapavosti za rijeku Mala Neretva postavljen na 0,033 i ispravak pomicanja razine površine u profilu (28) rijeke Mala Neretva. Pravilo rada za ustavu na ušću rijeke Mala Neretva: svi segmenti otvoreni s maksimalnom visinom otvaranja od 5,5 m, pozitivan smjer tečenja.
28	T50 novo (Siječanj 2014.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 50 godina (vodostaji i padaline)
29	T100 novo (Siječanj 2014.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 100 godina (vodostaji i padaline)
30	T1,000 novo (Siječanj 2014.)	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline)
31	T1,000 otvorena ustava u Opuzenu, razina vrha (krune) -0,75 m iznad razine mora	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline) • Shematizacija: otvorena ustava u Opuzenu, razina vrha (krune) -0,75 m iznad razine mora
32	T1,000 otvorena ustava u Opuzenu, razina vrha (krune) -2 m iznad razine mora	<ul style="list-style-type: none"> • Simulacija provedena za granične uvjete unutar povratnog razdoblja od 1000 godina (vodostaji i padaline) • Shematizacija: ustava Opuzen u potpunosti otvorena jada vodostaj na vodomjernoj postaji Opuzen dosegne 3,6 m iznad razine mora, s razinom krune -2 m iznad razine mora. Smjer toka na ustavi ušća postavljen pozitivno i negativno.

Dodatak 12. Izrada hidrodinamičkih riječnih modela i primjena modela

Uvod

Hidrodinamika je proučavanje gibanja tekućina, posebice vode. Hidrodinamički model je alat koji na neki način opisuje (ili predstavlja) gibanje vode. Prije pojave računalnih sustava, hidrodinamički model mogao je, zapravo, biti fizički model izrađen na temelju mjerila ili skupu statističkih odnosa. Međutim, gotovo svi hidrodinamički modeli koji su danas u upotrebi su računalni numerički modeli (NOAA,2014.).

Računalna dinamika fluida

S tehnološkim razvojem numeričkih modela, izrada hidrodinamičkih modela postala je dijelom šireg područja računalne dinamike fluida (CFD, od engleski: computational fluid dynamics). Zajednički temelj za ove aktivnosti izrade modela je numeričko rješavanje jednadžbi očuvanja količine gibanja i mase u fluidu.

Izrada hidrodinamičkih modela postiže se na temelju vještog razvijanja modela u kombinaciji s razumijevanje fizičkog sustava voda. CFD modeli su ograničeni na sustave sa svojstvima koja su opisana regulacijskim jednadžbama, sposobnošću numeričkog algoritma kojim se jednadžbe rješavaju te sposobnošću računalnog sustava. Ovi faktori određuju sposobnost modela da predstavlja fizički sustav vode u numeričkom okviru i zahtijevaju da korisnik razumije ograničenja pristupa izrade modela.

Izrada modela

Fizički sustav vode za koji je potrebno izraditi model sastoji od jedinica s njihovim međusobnim odnosima (procesima) i ograničenog broja odnosa s okolinom izvan sustava vode. U ovom kontekstu, izrada modela podrazumijeva konstrukciju modela, ali ovaj pojam se primjenjuje i za rad s modelom. Simuliranje je sličan pojam i općenito se primjenjuje za 'raditi nešto s modelom na računalu'. Međutim, ovaj pojam se, također, koristi i u širem smislu i znači 'oponašati sustav vode na računalu'. Ovo gotovo uvijek podrazumijeva izradu niza pretpostavki koje čini model jednostavnijim i manje realnim. Ovo pojednostavljenje je, najvećim dijelom, potrebno kako bi model bio što učinkovitiji.

Matematički model je matematički prijevod konceptualnog modela. Primjeri matematičkih modela su: algebarske jednadžbe, diferencijalne jednadžbe, obične diferencijalne jednadžbe, parcijalne diferencijalne jednadžbe, neuronske mreže, statistički modeli i kombinacije navedenih modela.

Varijable i dinamika modela

Model je dinamički ako opisuje promjenu unutar zadanog vremenskog razdoblja; model je stacionaran ili statički ukoliko ne opisuje promjenu unutar zadanog vremenskog razdoblja. Matematički model ima jednu ili više nezavisnih varijabli i jednu ili više zavisnih varijabli. Unutar dinamičkog modela, vrijeme je minimalna nezavisna varijabla. U prostornom modelu, najmanje jedna prostorna dimenzija predstavlja drugu nezavisnu varijablu. Dinamički trodimenzionalni (3D) model ima četiri nezavisne varijable: vrijeme i tri prostorne dimenzije. Ako su dinamički modeli osnova 'tvrde' ne-stohastičke reprezentacije, isti se definiraju determinističkim modelima; to jest, znanje o sustavu vode za kojeg se model priprema je u potpunosti utvrđeno u modelu i te ponovljena primjena modela generira iste rezultate.

Baš poput sustava vode kojeg predstavlja, model posjeduje strukturu (varijable stanja i odnose koji su definirani pomoćnim varijablama) te određeno ponašanje. Potonje definira kako se model ponaša duž osi (jedne ili dvije) nezavisnih varijabli u kako se rezultati modela mijenjaju tijekom vremena i/ili duž prostorne osi (jedne ili dvije).

Matematički modeli

Matematički modeli sastoje se od (djelomičnih ili običnih) diferencijalne jednadžbi i/ili algebarskih jednadžbi. Matematičke jednadžbe u modelu moguće je riješiti na analitički način (koji omogućuje derivaciju točne vrijednosti za svaku točku u domeni) ili numerički način (koji

omogućuje numerički pristup točne vrijednosti za svaku točku u domeni).

Jedinice u matematičkim modelom zastupljene su putem jedne ili više varijabli stanja i odnosa među jedinicama putem pomoćnih varijabli. Varijable stanja određuju status modela. Promjene u varijablama stanja se definiraju pomoću (djelomičnih) diferencijalnih jednačbi. Pomoćne varijable se definiraju na temelju algebarskih jednačbi ili im se izravno dodjeljuje vrijednost (input). Jednačbe mogu koristiti varijable stanja, pomoćne varijabli, parametre (konstantne tijekom vremena) ili druge komponente modela.

Od konceptualnog do računalnog modela

Konceptualni model se pretvara u računalni modelom unosom podataka u program modela, odnosno u računalni program, namijenjenog za izradu modela kroz unos podataka. U ovu je svrhu potrebno odabrati parametre, uključujući one potrebne za prostornu shematizaciju. Osim gore navedenih odabira, sustavski podaci (voda) moraju se uključiti u program za izradu modela pomoću kojeg se model izrađuje.

Procedura provjere pravilne implementacije modela na računalu naziva se verifikacijom. Jednostavan proces verifikacije može se sastojati od sljedećih komponenti:

- Provjera pravila koje primjenjuje program za izradu modela;
- Dimenzijska/jedinična analiza
- Pokretanje probnog modela (sa shematizacijom/diskretizacijom) koji je dostavljen s programom za izradu modela;
- Provjeriti prostornu shematizaciju.

Nakon unosa modela u računalo, potrebno je poravnati sličnost između modela i vodenog sustava, odnosno, potrebno je poboljšati stupanj sličnosti između ponašanja modela i vodenog sustava. Ovaj proces se naziva kalibracijom. Provodi se izmjenom vrijednosti parametara te naknadnom usporedbom rezultata modela s terenskim mjerenjima. Ovaj proces često koristi tehnike optimizacije.

Analiza osjetljivosti može poslužiti u svrhu otkrivanja nepouzdanih čimbenika koje je potrebno uskladiti tijekom kalibracije u svrhu postizanja što većeg stupnja sličnosti.

nakon kalibracije, moguće je istražiti preostale razlike i kvantificirati preostale nepouzdanosti u predviđanjima modela u sklopu analize nepouzdanosti.

Osim kalibriranja, model je potrebno i potvrditi (validacija). U procesu validacije, rezultati model (rezultati analize nepouzdanosti) uspoređuju se s nezavisnim skupom opažanja (onaj koji se ne koristi kod kalibracije) vodnog sustava kako bi se provjerilo opisuje li model sustav (njegovo ponašanje) na pravilan način.

Čitav skup postupaka i aktivnosti uključenih u modeliranje i simulacije kako bi se riješio određeni problem naziva se projektom izrade modela.

Više informacija o izradi hidrodinamičkih modela rijeka i primjeni modela, uklj. neke zanimljive reference moguće je pronaći u priručniku Good Modeling Practice (GMP), u hrvatskom prijevodu: Praksa dobrog modeliranja (STOWA/RIZA, 1999.).

Dodatak 13. Pregled (2D) hidrodinamičkih paketa za izradu modela plavljenja

Ovaj dodatak daje uvod u širu temu izrade matematičkih i numeričkih modela riječnih poplava i plavljenja poplavnih područja. Ovi podaci su, u velikoj mjeri, izvedeni iz Néelz & Pender (2009), Alkema (2007) i Prinios (2008).

Konvencionalni tipovi modela su kategorizirani i klasificiraju se prema njihovoj dimenzionalnosti i uvode se pod općim uvjetima. Opisani su i uspoređeni jednodimenzionalni i dvodimenzionalni modeli plavljenja, kao i kratak uvod u numeričke pristupe izradi modela koji se koristi u softveru za modeliranje plavljenja.

Kategorizacija modela

Kategorizacija modela koristi se u svrhu utvrđivanja najprikladnije metodologije izrade modela za određeni problem kojega je potrebno proučiti. Temelj za kategorizaciju sustava je razina složenosti modela, koja se definira na temelju zahtjeva za podacima, razlučivosti, fizičkih procesa i obilježja postojećih jednadžbi. U cilju povećanja kompleksnosti, mogu se razlikovati sljedeće kategorije (tablica A.13.1):

- Stručna prosudba, definirana kao ne-matematički pristup koji se temelji na intuiciji i iskustvu;
- Empirijska kategorija, definirana kao model koji ne pokušava simulirati fizičke procese, već dovodi opažanja ili mjerenja ulaznih podataka, poput uvjeta vala i vodostaja u izravan odnos s izlaznim podacima, poput brzina prelijevanja. Empirijske metode su često opisane kao 'čisto mapiranje'. Ove metode su prilično jednostavne u odnosu na druge kategorije s niskim troškovima koje pružaju slabe procjene opasnosti od poplava u velikim područjima u kojima protoci kroz pukotine mogu biti presudni u određivanju razmjera poplava. Oni se obično primjenjuju za procjenu razmjera poplava i dubina poplava u širokim razmjerima. ArcGIS i Delta *mapper* su primjeri modela koji obično opisuju procese tečenja u složenim kanalima. Ovi modeli izračunati razmjer plavljenja i dubinu vode presijecanjem ravne površine vode digitalnim modelima reljefa (DMR).
- Prva generacija, pokušava izraditi eksplicitne modele fizičkih procesa te pritom obično koristi veliki broj pojednostavljenih pretpostavki. Ovi modeli su u suštini jednodimenzionalni (1D) modeli koji se koriste s 2DH rasterom te izračunavaju razinu vode u svakoj ćeliji rastera u danim izlaznim koracima i na taj način omogućavaju procjenu trajanja poplave. U slučajevima gdje je poplavno područje veliko, ova vrsta modela može dati loše rezultate, jer se širenje poplavne vode ne promatra unutar svake ćelije. Infoworks RS, Infoworks CS i ISIS tipični su primjeri ove kategorije modela. Ovo su jednodimenzionalni (1D) modeli s 2DH rasterima koji simuliraju širenje poplava i generiraju rezultate za dubinu poplave, razmjer i trajanje poplave. Modeli poput Infoworks RS, Isis, Mike 11, HEC-RAS i Sobek-CF, koji rješavaju jednodimenzionalne St Venantove jednadžbe, koriste se za opisivanje procesa tečenja u kompaktnim kanalima. Primjenjuju se u slučaju izrade modela s mjerilom koje može biti u rasponu od 10-ih do 100-tih dijelova km, ovisno o veličini sliva. Dubina vode i prosječna brzina na svakom presjeku vodotoka, razmjer poplava na temelju presijecanja predviđenih dubina vode s digitalnim modelima i hidrogram nizvodnog otjecanja generiraju se kao izlazni podaci modela. 1D + modeli koriste pristup privremenog skladištenja vode u ćelijama kako bi simulirali protok vode u poplavnim područjima. Primjeri modela ove kategorije su Mike 11, HEC-RAS, Infoworks RS i ISIS.
- Druga generacija, na sofisticiraniji način pokušava izraditi modele fizičkih procesa, uključujući naprednije (manje pojednostavljene) metode. Ovi modeli su 1D/2DH hibridni modeli i u potpunosti dvodimenzionalni (2D). Modeli ove kategorije koriste St Venantove jednadžbe za izradu modela toka kanala. Međutim, dvodimenzionalna (2D) jednadžba kontinuiteta se koristi za približno utvrđivanje tečenja preko poplavnih područja. HYDROF i LISFLOOD-FP sadržavati dvodimenzionalnu (2D) metodu, što znači da su dvodimenzionalni (2D), isključujući zakon očuvanja količine gibanja za tečenje u

poplavnim područjima. Koriste se u slučaju modeliranja širokog razmjera ili plavljenja urbanih područja, ovisno o dimenziji ćelija rastera. HYDROF simulira proces širenja poplava. Ovo je dostupan model srednje cijene, točnosti i srednjeg vremena rada. LISFLOOD-FP je 1D/2DH hibridni model istih karakteristika kao HYDROF. Kada se koristi za simulaciju poplava u kompaktnim kanalima, proizvodi izlazne podatke o razmjeru poplave, dubinama vode i hidrograme otjecanja u nizvodnom smjeru. Mike 21 i TELEMAC 2D su dvodimenzionalni (2D) modeli, koji rješavaju dvodimenzionalne jednadžbe plitkog vala. TELEMAC 2D je konačni element 2DH modela koji simulira procese filtracije i istjecanja i generira izlazne podatke o razmjeru poplava, trajanju, dubinama poplava i brzini protoka u poplavnim područjima. 2D modeli poput Mike 21, TELEMAC, TUFLOW, SOBEK-OF i Delft-FLS se koriste za protoke kanala kod modela u kojima se kao mjerilo koristi 10. dio km. Oni možda imaju potencijal za korištenje u modeliranju širokih razmjera, ako se primjenjuju s iznimno velikim rasterima. Oni generiraju rezultate koji se odnose na razmjer plavljenja, dubine vode, brzine protoka usrednjene na temelju dubine na svakom računalnom čvoru i hidrograme nizvodnog otjecanja. TELEMAC 3D i Delft-3D obično se karakteriziraju kao 2D+ modeli, 2D plus rješenje za vertikalne protoke primjenom kontinuitet, koji se uglavnom primjenjuju za izradu obalnih modela za koje su važni trodimenzionalni (3D) profili brzina protoka. Izlazni podaci su razmjer plavljenja, dubine vode, u , v , w brzine protoka za svaku pojedinu ćeliju i hidrogrami nizvodnog otjecanja.

- Treća generacija, napredne metode koje pokušavaju izraditi modele fizičkih procesa koji uključuju nekoliko pretpostavki u svrhu pojednostavljenja. Ovi modeli simuliraju prolome nasipa u trodimenzionalnom (3D) prikazu s poplavom u dvodimenzionalnom (2D) prikazu. Oni pružaju bolje simulacije poplava, jer je provedena točna simulacija brzina protoka na graničnim područjima. FINEL 2D (3D) je 2DH (3D) konačni element modela i simulira procese filtracije i istjecanja. Razmjer poplave, trajanje, dubine poplava i brzine protoka u poplavnim područjima izvode se iz modela. Modeli poput CFX-a, FLUENT-a and PHOENIX-a se primjenjuju za lokalna predviđanja trodimenzionalnih brzina protoka u glavnim kanalima i poplavnim područjima. Oni pružaju trodimenzionalno (3D) rješenje o trodimenzionalnih Navier Stokes jednadžbi usrednjenih pomoću Reynolds jednadžbi. Izlazni podaci su razmjer plavljenja, dubine vode, u , v , w brzine protoka i turbulentna kinetička energija za svaku pojedinu ćeliju i hidrogrami nizvodnog otjecanja.

Klasifikacija vrsti modela

Što se tiče prostornog aspekta terenskih karakteristika i korištenih jednadžbi, moguće je identificirati sljedeće modele:

- Jednodimenzionalni (1D) modeli;
- Dvodimenzionalni (2D) modeli koji opisuju pojave bilo u dvije horizontalne dimenzije pretpostavljajući uniformnost stanja u vertikalnoj dimenziji (dvodimenzionalni horizontalni modeli '2DH') ili u jednoj vodoravnoj i okomitoj dimenziji pretpostavljajući uniformnost stanja u drugoj horizontalnoj dimenziji (dvodimenzionalni vertikalni modeli "2DV"); i
- Trodimenzionalni (3D) modeli koji su točniji, ali i složeniji.

Metode izrade modela poplava koje se trenutno koriste u cijeloj Europi mogu se podijeliti na nekoliko pristupa koji su prikazani u tablici A.13.1, na temelju njihove dimenzionalnosti ili načina na koji kombiniraju pristupe različitih dimenzionalnosti. Metodologije koje su trenutno najzastupljenije poznate su kao 1D, 1D+, 2D- i 2D metodologije. Ove pokrivaju većinu aplikacija za izradu modela koje su potrebne za potporu provedbe strategija upravljanja rizikom od poplava.

Hidrodinamički modeli temeljeni na dvodimenzionalnim jednadžbama plitke vode klasificirani su kao dvodimenzionalni (2D) pristupi. Dvodimenzionalne (2D) jednadžbe plitke vode (također označene kao 2D St-Venantove jednadžbe mogu biti izvedene integracijom Reynolds-usrednjenih Navier-Stokes jednadžbi preko dubine protoka. U tom procesu integracije, kao

pretpostavka se uzima distribucija hidrostatičkog tlaka. Rješenje ove jednadžbe može se dobiti iz raznih numeričkih metoda (poput konačne razlike, konačnog elementa ili konačnog volumena) i korištenjem različitih numeričkih rastera, od kojih svi imaju svoje prednosti i nedostatke u kontekstu izrade modela za poplavna područja.

Jednodimenzionalni modeli se temelje na nekom obliku jednodimenzionalne St-Venantove jednadžbe ili jednadžbe za plitku vodu. Ovi modeli zahtijevaju karakterizaciju terena kroz niz poprečnih presjeka vodotoka koji su okomiti na smjer protoka i izračunavaju prosječna dubina vode i brzina protoka. Ove se vrijednosti procjenjuju za područje između presjeka vodotoka i prostornog opsega poplavljenе površine.

Metoda	Opis	Aplikacija	Tipična vremena izračuna	Izlazni podaci	Primjeri modela
0D	Fizički zakoni nisu uključeni u simulaciju	Procjena razmjera i dubina poplave za širu upotrebu			<ul style="list-style-type: none"> • ArcGIS • Delta Mapper
1D	Rješenje jednodimenzionalnih St Venant jednadžbi	Modeliranje na temelju mjerila koje je moguće postaviti od desetina do tisućina km, ovisno o veličini sliva	minute	Dubina vode, brzina protoka usrednjena na temelju presjeka vodotoka i protoci na svakom presjeku vodotoka. Razmjer plavljenja, ako su poplavna područja dio jednodimenzionalnog (1D) modela ili putem horizontalne projekcije razine vode.	<ul style="list-style-type: none"> • Mike 11 • HEC-RAS • ISIS • Infoworks RS/CS • Sobek
1D+	1D plus pristup čelije utoka za simulaciju toka poplave	Modeliranje na temelju mjerila koje je moguće postaviti od desetina do tisućina km, ovisno o veličini sliva; potencijal za širu primjenu ako se koristi za rijetke podatke o presjecima vodotoka	minute	Kao i za jednodimenzionalne (1D) modele plus vodostaji i razmjer poplava u rasterskim poljima utoka	<ul style="list-style-type: none"> • Mike 11 • HEC-RAS • ISIS • Infoworks RS/CS • Sobek
2D-	2D minus zakon očuvanja količine gibanja za tečenje u poplavnim područjima	Modeliranje širokih razmjera i aplikacija gdje inercijski učinci nisu važni	sati	Razmjer plavljenja, dubine vode	<ul style="list-style-type: none"> • LISFLOOD-FP • JFLOW
2D	Rješenje dvodimenzionalnih jednadžbi plitke vode	Modeliranje na temelju mjerila koje je moguće postaviti na desetine km. Moguć potencijal za korištenje u modeliranju širokih razmjera, ako se primjenjuju s iznimno velikim rasterima.	sati ili dani	Razmjer plavljenja, dubine vode, brzine protoka usrednjene na temelju dubine	<ul style="list-style-type: none"> • TUFLOW • Mike 21 • TELEMAC • Sobek • Infoworks -2D
2D+	2D plus rješenje za vertikalne brzine protoka uz primjenu kontinuiteta	Aplikacije za izradu modela većinski priobalni područjima za koja su važni trodimenzionalni (3D) profili brzina protoka. Primjenjuje se i za rješavanje problema s mjerilima kod izrade modela za rijeke u okviru istraživačkih projekata.	dani	Razmjer plavljenja, dubine vode, 3D brzine protoka	<ul style="list-style-type: none"> • TELEMAC 3D • DELFT-3D
3D	Rješenje trodimenzionalnih Navier Stokes jednadžbi usrednjenih pomoću Reynolds jednadžbi	Lokalna predviđanja trodimenzionalnih (3D) brzina protoka u glavnim kanalima i poplavnim područjima	dani	Razmjer plavljenja, dubine vode, 3D brzine protoka	CFX

Tablica A.13.1 Klasifikacija modela plavljenja (Néelz & Pender, 2009.)

Tijekom godina, njihova upotreba je proširena na modeliranje toka u složenim kanalima, odnosno riječnim kanalima s poplavnim područjima. U ovom slučaju, tečenje u poplavnom području je dio jednodimenzionalnog toka kanala, a simulacija poplava je sastavni dio rješenja St-Venantovih jednadžbi. Ova tehnika ima najmanje dva nedostatka, a to su:

1. Pretpostavlja se da je tok poplavnog područja u jednom smjeru paralelan s glavnim kanalom, što često i nije slučaj. Ova pretpostavka je istinita za područja s dobro definiranim dolinama u kojima je tečenje čisto jednosmjerno. Bilo koje tečenje okomito na glavni smjer toka se zanemaruje i do bočnog prelijevanja dolazi trenutno, kako raste razina vode u rijeci. Za uske doline, ovo pojednostavljenje ne rezultira većim problemima, ali u širokim dolinama s relativno ravnim aluvijalnim površinama ili na aluvijalnim lepezama i kod velikih delta područja, ove pretpostavke ne vrijede.
2. Brzina protoka usrednjena na temelju presjeka vodotoka, koju je predvidio St -Venanto ima manje opipljivo fizičko značenje u situaciji u kojoj postoje velike razlike u magnitudi brzine protoka preko čitavog poplavnog područja. Pristup je poboljšana u posljednjih nekoliko godina, zahvaljujući značajnom napretku u parametranju kroz razvoj sustava procjene prijenosa protoka.

U suprotnosti s jednodimenzionalnim (1D) pristupom, 1D + pristup uključuje jednodimenzionalni (1D) pristup modeliranja protoka glavnog kanala. Poplavna područja se modeliraju kao ćelije za privremeno skladištenje vode koje mogu pokriti i do nekoliko km² i definirana su samo kroz odnos razina vode/volumen. Protok između 1D kanala i ovih poplavnih stanica za pohranu vode modelira se primjenom odnosa protoka (npr. na temelju jednadžbi toka brane) koji se često označavaju kao istjecanja ili veze istjecanja. Također se mogu koristiti za međusobno povezivanje stanica za privremeno skladištenje vode. Razina vode u svakoj stanici za pohranu izračunava se očuvanjem volumena. Za razliku od jednodimenzionalnog (1D) pristupa, 1D + pristup ne pretpostavlja da je protok usklađen sa središnjom linijom rijeke te bi, stoga, mogao biti prikladniji za izradu modela poplavnih područja većih dimenzija. Međutim, ovi modeli ne uključuju očuvanje momenta poplavnih područja, što znači da se voda može prenositi s jednog kraja ćelije za privremeno skladištenje vode na drugi. Izračun tokova među ćelijama može sadržavati velik broj pogreški (zbog poteškoća u definiranju jednadžbi izlivanja protoka). Do značajnih pogreški u predviđenim vodostajima može doći i na lokalnoj razini, ako su stanice za pohranu prevelike i nije moguće ispuniti pretpostavku o horizontalnosti razine vode.

Na gotovo ravnom terenu sa složenim topografskim elementima ne može se pretpostaviti da će tok biti paralelan s glavnim riječnim kanalom. I u urbanim sredinama te u područjima s dominantnom prisutnošću struktura izgrađenih ljudskom rukom (hidrauličke strukture), zahtijevaju se modeli koji izračunavaju tečenje u obje prostorne dimenzije, u x-i y-smjeru. Ovi dvodimenzionalni (2D) modeli uključuju (i) modele koji se zasnivaju na pojednostavljenoj verziji 2D jednadžbi za plitku vodu unutar kojih su neki pojmovi zanemareni, što je rezultiralo u kinematičkim i difuznim reprezentacijama poplavnog vala (npr. JFLOW) i (ii) modele koji se oslanjaju na digitalne modele reljefa s kvadratnim rasterom i pojednostavljeni jednodimenzionalni (1D) prikaz toka između ćelija rastera (LISFLOOD-FP). U stvari, drugi pristup je sličan 1D+ metodi, ali obično s puno finijom redovitom diskretizacijom fizičkog prostora. Kao i kod 1D+ pristupa, moment nije sačuvan za dvodimenzionalnu simulaciju poplavnih područja unutar dvodimenzionalnih (2D) modela.

Za kombiniranje jednodimenzionalnih (1D), dvodimenzionalnih (2D) i trodimenzionalnih (3D) pristupa za izradu modela postoji neograničeni broj mogućnosti. Konkretno, velik broj softverskih paketa uključuje mogućnost za povezivanje jednodimenzionalnih (1D) modela rijeka s dvodimenzionalnim (2D) rasterom poplavnih područja. Ovo je postalo popularno u posljednjih nekoliko godina, jer omogućava modelaru da iskoristi prednost utemeljene tradicije izrade jednodimenzionalnih (1D) modela rijeka, dok istovremeno izrađuje modele za poplavna

područja u dvije dimenzije. To također rezultira računalnim uštedama za strukturirane, u potpunosti dvodimenzionalne pristupe za koje će biti potreban finiji raster kako bi ispravno predstavljali geometriju riječnog kanala.

Konačno, neki modeli ne spadaju strogo u bilo koju od gore navedenih kategorija. Ovo je jedna od metoda koja se primjenjuje kod brzog širenja poplava. Ove metode se temelje na puno jednostavnijim prikazima fizikalnih procesa nego što je to slučaj s dvodimenzionalnim (2D) modelima. Osim toga, tu su i takozvane 0D metode modeliranja plavljenja, a to su metode koje ne uključuju modeliranje fizičkih procesa plavljenja. Jednostavne geometrijske metode koje projektiraju riječne vodostaje duž čitavog poplavnog područja također se mogu nazvati 0D metodama (ovo se, također, naziva 'kada' pristupom, engleski 'bath tub'). Ove je metode moguće primijeniti, kako za plavljenja riječnih, tako i za plavljenja priobalnih područja.

Jednodimenzionalni (1D) nasuprot dvodimenzionalnih (2D) modela plavljenja poplavnih područja

Odabir između jednodimenzionalnih (1D) i dvodimenzionalnih (2D) modela prvenstveno je važan u kontekstu izrade modela za plavljenja rijeka. Teorija 1D otvorenog toka ne odnosi se na tokove poplave u urbanim područjima, u kojima su ekstremna neuniformnost i prostorna varijabilnost uzoraka tečenja normalna pojava. Tokovi u urbanim područjima ne pojavljuju u obliku kanala koji su definirani na velikim udaljenostima. Ne treba podcjenjivati značaj područja utoka i ponovnog kruženja (recirkulacije) koja se očito ne uklapaju u jednodimenzionalni (1D) opis.

U kontekstu plavljenja rijeka, međutim, jednodimenzionalni (1D) modeli su prikladni za uska poplavnih područja, čija širina nije veća od tri širine glavnog kanala rijeke. Temeljna pretpostavka trebala bi biti da je moguće kvantificirati doprinos od poplavnih područja prijenosu protoka. Dodatni uvjet za valjanost takvih modela je da poplavna područja ne bi trebalo odvajati od glavnog kanala tako nasipima, branama ili uzvišenjima, ako se poplavno područje ponaša kao pojedinačni kanal.

Općenito gledajući, jednodimenzionalni (1D) modeli mogu biti dobar odabir u planini, niskom planinskom masivu i malim ravnim površinama kada tok ima uglavnom samo jedan smjer.

Bolja ravnoteža između točne zastupljenosti prijenosa poplavnim područjima i točne zastupljenosti kapacitet utoka može se postići primjenom 1D+ modela, gdje su velika 'izolirana' poplavna područja modelirana kao spremnici (rezervoari). Ovaj pristup modeliranja ima svoja ograničenja, razmjena tokova između rijeke i rezervoara i između rezervoara se obično modelira korištenjem jednadžbi za brane sa širokim vršnim dijelom koje nisu uvijek prikladne. Ovo nije toliko bitno, ako je vrijeme punjenja i isušivanja poplavnog područja relativno malo u odnosu na trajanje poplave.

Veličina i lokacija ćelija za utok i veze među njima definirani su od strane korisnika te stoga zahtijevaju razumijevanje putanji toka u poplavnom području, što može rezultirati kružnim usmjeravanjem toka unutar modela.

Izbor tipa modela (1D, 2D- ili 2D) za modeliranje površinskog tečenja većinom je važno kod aplikacija koje se odnose na plavljenje rijeka. Dvodimenzionalni (2D) model je preferirani odabir u urbanim i obalnim sredinama. Dvodimenzionalno (2D) modeliranje riječnih poplavnih područja moguće je podijeliti u dvije važne skupine, one u kojima se samo poplavna područja modeliraju u dvodimenzionalnom (2D) obliku (kao dio kombiniranog 1D/2D modela) i one u kojima se tok poplavnih područja i kanala modelira kao dio istog dvodimenzionalnog (2D) rastera.

Glavna prednost dvodimenzionalnog (2D) modeliranja je da unutar njega mogu biti zastupljene lokalne varijacije brzina protoka i vodostaja te lokalnih promjena u smjeru tečenja. Ovo, u načelu, omogućuje bolji prikaz prijenosa poplavnih područja, ali glavno ograničenje kombiniranih 1D/2D modela za rijeke i poplavna područja je to da su procesi razmjene toka između rijeke i poplavnih područja još uvijek prilično grubo modelirane. Glavni nedostatak dvodimen-

zionalnih (2D) modela je trošak njihova izračuna, s vremenom izračuna koje je obično proporcionalno sa $1/L^3$, pri čemu je L razlučivost rastera.

Tehnike rješenja

Dodatnu klasifikaciju modela moguće je provesti u skladu s primijenjenim tehnikama za rješavanje problema i metodama, kao što su to:

- Linearni modeli, u kojima su pojave predstavljene pojednostavljenim osnovnim jednažbama prvog reda i nelinearni modeli koji obuhvaćaju jednažbe drugog ili višeg reda i korelacijske odnose između varijabli;
- Modeli koji se zasnivaju na konačnom elementu, konačnoj razlici i konačnom volumenu;
- Modeli s faznim usrednjavanjem čijom primjenom je moguće utvrditi učinak procesa u odnosu na vremensko usrednjavanje i modeli s odvojenim fazama koji omogućavaju simulaciju trenutnog okruženja za svaki vremenski korak modela;
- Ulančani modeli s jednosmjernim ili dvosmjernim transferom podataka između dva modela;
- Umetnuti modeli s jednosmjernim transferom podataka iz modela s većim u modele s manjim područjima. Posebice, izlazni podaci prvog modela koriste se kao ulazni podaci za kasniji model. koji se odlikuje finijom prostornom diskretizacijom.

Zahtjevi koji se odnose na podatke

Zahtjevi podataka za razvijanje karata opasnosti od poplava u riječnim područjima sastoje se od (i) u hidroloških ulaznih podataka i (ii) podataka potrebnih za hidrauličke izračune. Hidrološki ulaznih podataka može se opisati kao procjena poplava. Postoje dva osnovna pristupa za dobivanje procjene poplava za određeno povratno razdoblje:

- Statističke metode;
- Modeliranje procesa padaline-otjecanje.

Statističke metode pružaju jednu vrijednost vršnog protoka poplava za odabrano povratno razdoblje u određenom vremenskom trenutku. Modeli procesa padaline-otjecanje pružaju potpuni hidrogram poplava s obje stavke, vršnim protokom i volumenom poplave.

Statističke metode

Ekstremne vrijednosti pojedinih obilježja (protoci i/ili vodostaji) za određenu mjerno lokaciju ili vodno (pod)područje mogu se statički izvesti primjenom analize ekstremnih vrijednosti korištenjem zapisa o protocima (i vodostajima). Procjene ovih karakteristika za lokacije na kojima se ne provode mjerenja mogu se provesti primjenom pristupa regionalizacije (primjena podataka izmjereneog sliva na sliv sa sličnim obilježjima za koji nije provedeno mjerenje). Potrebno je provesti dodatnu procjenu kako bi se utvrdila povratna razdoblja za određene događaje.

Modeliranje procesa padaline-otjecanje

Korištenje modela procesa padaline-otjecanje rezultira potpunim hidrogramima kojima je moguće ispitati učinke npr. utoka sliva. U osnovi postoje tri vrste modela procesa padaline-otjecanja:

- Jedinični modeli hidrograma koji povezuju ulazne podatke (padaline) s izlaznim podacima (protoci i razine vode, odnosno, vodostaji). Modele je potrebno kalibrirati primjenom povijesnih vremenskih serija.
- Fizički modeli koji se temelje na egzaktnim osnovnim jednažbama i njihovim rješavanjem na precizan način. Ovaj proces podrazumijeva veliku količinu podataka i vremena. Dakle, primjena fizičkih modela nije (još) primjenjivo za područja velikih površina.
- Konceptualni modeli, koji opisuju hidrologiju sliva kiše na protok kao niz međusobno povezanih procesa, bez potrebe za rješavanjem temeljnih fizičkih jednažbi.

Dodatak 14. Zamke i osjetljive točke u izradi hidrodinamičkog modela

Ovaj prilog razmatra potencijalne zamke i osjetljivosti u izradi hidrodinamičkih modela (STOWA / Riza, 1999). Međutim, ovaj opis ne jamči sveobuhvatnost. Naposljetku, sve zamke i osjetljivosti često su specifične za pojedine modele i/ili softverski paket.

Opće zamke i osjetljivosti

Opće zamke i osjetljivosti opisane u nastavku slijede korake procesa izrade modela, kako je i opisano u dijelu 1.1 (vidi sliku 1.1).

Korak 1: Početak upisivanja u dnevnik modeliranja

Dnevnik modeliranja ne utječe izravno na proces izrade modela. Međutim, prilikom prosljeđivanja zadataka modeliranja i ponovnog korištenja modela i podatkovnih datoteka (nakon nekog vremena), manjak točnih podataka može dovesti do netočnih tumačenja (npr. izvođenje izlaznih podataka na ulazne podatke).

Međutim, dobro dokumentirani dnevnik modeliranja je danas prava rijetkost. Najčešće zamke su:

- Dnevnik modeliranja je nepotpun;
- Dnevnik modeliranja je neshvatljiv, ne samo za treće strane, već i za samog autora.

Objekti zamke se odnose na raspoloživost vremena i motivaciju. Po pitanju motivacije malo je toga što se može učiniti, jer je vođenje dnevnika modeliranja često omraženo među modelarima. Međutim, planiranje može utjecati na vremenski čimbenik. Tu je i pitanje ulaganja. Vođenje dnevnika modeliranja odnosi puno vremena kratkoročno gledajući, ali, dugoročno gledajući, ovo će se utrošeno vrijeme isplatiti.

Korak 2: Uspostava projekta izrade modela

Cilj procesa izrade modela i zahtjeve modeliranja nije moguće opisati dovoljno jasno. Metodu bilježenja rezultata modeliranja trebalo bi utvrditi na početku projekta. Kada je model dio lanca (npr. izrada karata opasnosti i/ili rizika od poplava), posebno je važno da se svi relevantni zahtjevi utvrde unaprijed (uključujući razlučivost, granične uvjete, nepouzdanost i mjerilo). Odabrani opseg mora biti dovoljno velik kako bi graničnim uvjetima omogućio neovisnost o onome što se događa na polju istraživanja.

Nejasna definirana vremenska i prostorna mjerila mogla bi imati posljedice u kasnijim fazama procesa izrade modela. Sukladno tome, mjerila modela možda neće biti u skladu s traženim odgovorima. Ako je odabrano mjerilo modela preveliko, shematizacija će biti preopćenita te relevantne detalje neće više biti moguće izvesti iz rezultata. Ovo bi mogao biti slučaj kod prevelikog dvodimenzionalnog (2D) rastera za izradu modela plavljenja. Ako je odabrano mjerilo modela premalo, irelevantne male izmjene u mjerilu će se procijeniti disproportionalno, što - u slučaju velikih razlika - može dovesti do neoptimalnog kalibriranja.

Korisnik mora biti svjestan mogućnosti koje model nudi. Povremeno se događa da tražena funkcionalnost modela ne ispunjava određene zahtjeve (nedovoljna potpora za know-how, podaci, teorija i tako dalje). U praksi, cilj procesa izrade modela se često formulira na 'upravljačkoj' razini. To ponekad rezultira komunikacijskim problemima u prijevodu na 'tehničku' razinu modela. Kao posljedica, model ne daje odgovor kojeg klijent traži u konačnici.

Korak 3: Uspostava modela

Osjetljiva točka u ovom koraku je razvoj dobrog koncepta modela. Pogrešan odabir varijabli koje opisuju proces može dovesti do pogreški u modelu koje je naknadno nemoguće otkriti. Do ovoga može doći, ukoliko se zanemare ključni procesi ili pokretačke sile (npr. protoci). Kako proces izrade modela napreduje, tako se povećava rizik da bi se pretpostavke u konceptu modela mogle 'prikriti' metodom kalibracije.

Druga osjetljiva točka je razvoj modela s velikim brojem detalja, ako količina podataka nije dostatna ili ukoliko uopće nema dostupnih podataka. Pogotovo u velikim i prostorno organiziranim projektima.

ranim modelima, bitno je da su skala i broj nezavisnih parametara (stupnjevi slobode) izabrani u skladu s raspoloživim podacima. Ako se primjenjuju previše parametara na model, postoji opasnost od toga da na prvi pogled to dobro funkcionira (u skladu je s povijesnim mjerenjima), ali je to teško ili uopće nije preporučljivo za interpolaciju ili predviđanja. To se zapravo može izmjeriti samo ako su dostupni odgovarajući mjerni podaci, tj. s pravom frekvencijom u odnosu na odabranom vremenskom intervalu. Mjerenje podataka je često procjena vrijednosti kako bi se zadovoljio vremenski interval modela. Metoda procjene vrijednosti posebice može imati velike posljedice. To se mora uzeti u obzir pri izradi modela, u protivnom postoji opasnost da će se izraditi model koji se ne može kalibrirati. Netočna procjena početnih uvjeta u kombinaciji s kratkim vremenskim intervalima simulacije može dovesti do pogrešnih zaključaka.

Konačno, također od velike važnosti je znanje o različitim programima za izradu modela koji su dostupni. Prečesto određeni program za izradu modela je odabran jer je osoba koja izrađuje model upoznata s tim programom. To ne znači nužno da je to najprikladniji program za istraživanje dotičnog problema.

Korak 4: Provedite analizu modela

Glavna zamka kod ovog koraka je da je analizu odvojeno nedovoljno vremena, unatoč činjenici da bi ovo mogao biti najvažniji korak u procesu izrade modela. Praksa vrlo često odnosi pobjedu nad teorijom, tako da ovaj korak ubrzava činjenica da gotovi proizvod mora biti pravodobno dostavljen.

Procjena o izvedbi modela često nije objektivna zbog prethodno postavljenih kriterija. U velikom broju slučajeva, procjene ovise o stručnosti modelara. U složenim slučajevima, ova stručnost je iznimno osjetljiv čimbenik.

Broj i prostorna distribucija stupnjeva slobode (koje model kontrolira) moraju biti u stanju prihvatiti količinu podataka dostupnih za odabir parametara kalibracije. Kalibracija modela s previše stupnjeva slobode često rezultira iskrivljenom slikom stvarnosti. Pogreške u konceptu modela mogu se ukloniti kalibracijom. U prethodnom koraku model izgleda bolje ukoliko postoji manje mjernih podataka. Međutim, u praksi često postoji tendencija povećanja broja parametara koje je potrebno kalibrirati kako bi se smanjile razlike između izmjerenih i izračunatih vrijednosti. Postoje teorijski koncepti ('mjerljivost') kojima se utvrđuje postoji li previše definiranih stupnjeva slobode, ali oni se uglavnom ne koriste u praksi.

Preporuča se procjena pouzdanosti vrijednosti kalibriranih parametara. Što se toga tiče, nepoznati parametri se također mogu procijeniti na temelju stručne prosudbe. Međutim, Nash-Sutcliffe koeficijent učinkovitosti modela se također može koristiti za procjenu predvidljive snage hidroloških modela.

Parametri možda neće biti osjetljivi na dostupna mjerenja (ne na mjestima ili u vremenima u kojima su mjerenja dostupna). Kao rezultat toga, osjetljive parametre nije moguće kalibrirati na odgovarajući način.

Usporedba rezultata modela i mjerenja ne mora uvijek voditi računa o razlikama u mjerilu. Mjerenje određene točke često se izravno uspoređuje s vrijednošću modelom koja predstavlja određenu količinu (volumen) ili određeno vremensko razdoblje. Općenito govoreći, kalibracija ne pokriva sve izvore nepouzdanosti. Prema tome, pogreške u mjerenja mogu imati snažan utjecaj na vrijednost parametra unutar malih skupova podataka.

Konačno, savršeno 'povijesno podudaranje', samo po sebi, nije jamstvo dobre definicije vodnog sustava.

Korak 5: Primjena modela

Glavna zamka u korištenju modela je primjena modela van izvornog opsega. Ovo se događa, kada se razvoj i analiza modela zasnivaju na podacima iz režima vodnog gospodarstva koji se razlikuje od onoga koji je predmet istraživanja. Do ovoga obično dolazi kada se model koristi za scenarije koji predstavljaju situaciju s mjerenjima koje je tek potrebno provesti. Zamka se odnosi na činjenicu da (i) analiza modela (prethodni korak) nije provedena ispravno, ili (ii) rezultati iz prethodnog koraka nisu uspješno primijenjeni.

Korak 6: Tumačenje rezultata

Pri tumačenju rezultata, u obzir je potrebno uzeti rubne granice nepouzdanosti. Provjerite, npr. je li moguće napraviti razliku među rezultatima različitih scenarija.

Korak 7: Izvještavanje

Kod izvještavanja je važno pronaći ravnotežu između (tehničkih) detalja i stupnja iskoristivosti za klijenta. U praksi, izvješća su često nepotpuna, a proces izrade modela često nije moguće ponoviti.

Glavna zamka s kojom su suočeni i klijent i modelar je činjenica da se prijenos znanja ne nastavlja nakon završetka izvještaja. Prema tome, informacija koju na raspolaganje stavi modelar može biti iskorištena na pogrešni način. Ovo je, u teoriji, moguće spriječiti dobro sastavljenim i jasno napisanim izvještajem. U praksi je postalo jasno da je pisani izvještaj sam za sebe rijetko kad dovoljan kako bi klijentu na raspolaganje stavio sve potrebne informacije. Osobni kontakt između modelara i klijenta je ključan. Modelar je odgovoran za nadzor pravilnog korištenja informacija.

Modeliranje procesa padaline-otjecanje

Modeli procesa padaline-otjecanje simuliraju tečenje regionalnih podzemnih voda i razine površinske vode. Ovi modeli često vode računa o aspektima kao što su zadržavanje vode u nezasićenoj zoni, navodnjavanje kišom, podzemno navodnjavanje i smanjenje kondenzacije. Modeli razlikuju popločena i ne-popločena područja te, jednako tako, vode računa o tipu i kapacitetu odvoda i kapacitetu postrojenja za pročišćavanje vode. U slučaju stakleničkih hortikulturnih površina, ovakvi modeli moraju voditi računa o upravljanju vodnim područjem. Tok površinske vode moguće je izračunati na nekoliko različitih načina. Najčešći su: stacionarno tečenje (tok), pseudo stacionarno tečenje, nestacionarno tečenje ili mjerenje na osnovu karakteristika sliva.

Korak 3: Uspostava modela

Mora postojati prethodno utvrđena sigurnost da je ovaj tip modela prikladan za problem istraživanja. To nije slučaj u područjima u kojima postoji značajna površina otjecanja. Nagib i mikro-reljef su najvažniji utjecajni čimbenici.

Utjecaj nestabilnog nizvodnog rubnog uvjeta (regionalni utjecaj) za modeliranje nezasićene zone često se podcjenjuje. Regionalni sustav podzemnih voda, i zasićenih i nezasićenih, mora biti uključen u nekim slučajevima.

Modeli procesa padaline-otjecanje se često primjenjuju za ekstremne uvjete. Međutim, procjena početnih uvjeta u nezasićenoj zoni posebno je teška, ali i jednako važna. U ovom slučaju, izmjereni sadržaj vode ili znanje o napretku tlaka glava u odnosu na dubinu su vrlo dragocjeni. Dobra procjena otpora pri odvodnji također je važna kao funkcija razine podzemne vode.

Korak 4: Provedite analizu modela

Jedan od najvažnijih parametara kalibracije je postotak otvorene vode. Veličina i trenutak vršnih otjecanja često se koriste kao pokazatelji u svrhu kalibracije. Koeficijent za pohranu u nezasićenoj zoni obično je slabo poznat i stoga se često koristi kao parametar za kalibraciju. Otpornost pri odvodnji je često teško izmjeriti te se podaci o njoj često dobiju putem kalibracije s razinama podzemne vode. Česta zamka za ova tip modela je kompenzacija pogreški u modeliranju nezasićene zone mijenjanjem drugih parametara (kao što je to otpor pri odvodnji). Konačno, modeli zahtijevaju dovoljno dugo razdoblje prilagodbe (broj dana ili čak tjeda-

'Smiješna pogreška modeliranja: 'siguran' projekt, ali nepotrebno skup.

Nakon izgradnje velikog retencijskog korita, ispostavilo se da se ono nikada ne napuni više od polovice, čak ni nakon iznimno jake kiše. Nakon provjere kalkulacija za projekt, postalo je jasno da je napravljena pretpostavka da će sva oborinska voda brzo otjecati. Gubici oborinskih voda nisu uzeti u obzir, kao ni komponenta naknadnog otjecanja putem podzemne vode. Rezultat je bio pomalo predimenzionirano korito. Razvijen je 'siguran' projekt, ali je isto bio nepotrebno skup.

na) kako bi se došlo do pouzdanih rezultata proračuna, ako su početni uvjeti neizvjesni.

Hidrodinamički modeli

Hidrodinamički modeli se ponekada pojavljuju u kombinaciji s modelima procesa padaline-otjecanje. Uzastopna simulacija je obično standardna, tamo gdje simulacija modula nije započela prije nego što je prethodna simulacija završena. Međutim, u ravnim područjima izravna veza između podzemnih i površinskih voda je poželjna.

Hidrodinamički modeli se temelje na shematizacijama jedne ili više dimenzija. Količina detalja simulacija uglavnom se temelji na vremenima izračuna unutar modela. Trenutno, jednodimenzionalni (1D) modeli često se koriste za analizu ponašanja sustava vode tijekom nekoliko godina. Jednodimenzionalni (1D) modeli također se koriste za planiranje, predviđanje, operativno upravljanje, optimiranje sustava i istraživanje politike upravljanja vodama.

Dvodimenzionalne (2D) shematizacije se primjenjuju, kada je potreban detaljniji uvid u polje brzine protoka i/ili vodostaje na horizontalnoj osi u tamo gdje izmjena varijabli duž vertikalne osi nema značajnog utjecaja na rezultat simulacija. Dvodimenzionalni (2D) modeli se uglavnom koriste za nadzor projektiranja i izvođenja (hidrauličkih) struktura, procjenu rizika od poplava i detaljne morfološke studije i istraživanja kakvoće vode. Simulacije se općenito definiraju za odabrani skup događaja.

Korak 3: Uspostava modela

Ponašanje sustava

Dobar uvid u ponašanje vodnog sustava ključna je stavka prije uspostave shematizacije modela. Možda bi bilo korisno uspostaviti početni pilot model te provesti određeni broj simulacija u svrhu grube procjene podataka modela. Osjetljivosti se mogu proučavati, kao što je to stupanj utjecaja rubnih uvjeta, fizički parametri modela poput hidrauličke hrapavosti ili utoka, slabljenja dinamičkih pojava u sustavu vode i tako dalje.

'Smiješna pogreška modeliranja': Prvi brod koji je prošao gotovo se zabio u most.

Novi jednodimenzionalni (1D) hidrodinamički model je korišten za projektiranje navigacijskog kanala. Nacrt je ograničavao brzine protoka na najviše 1 m/s. Nakon što je kanal otvoren, prvi brod koji je prolazio gotovo se zabio u most. To nije bilo moguće kontrolirati zbog velikih brzina protoka. U čemu je bio problem? Most je uzrokovao suženje kanala koje se nalazilo na zavoju u kanal. Dok je prosječna brzina protoka doista iznosila 1 m/s, ispod mosta ista je iznosila 5 m/s. U ovom slučaju se trebao koristiti dvodimenzionalni (2D) model.

Mjerna ljestvica modeliranja

Izbor mjerne ljestvice je osobito važan u izradi dvodimenzionalnih (2D) i trodimenzionalnih (3D) modela. Jesu li važni fizički procesi opisani unutar odabranog rastera? Koja je vremenska ljestvica odabrana, za, primjerice filtriranje plime i oseke?

Što se potonjeg tiče, poznati su slučajevi kada se razina vode nije mijenjala tijekom podešavanja i kalibracije modela plime i oseke. Zbog niske učestalosti uzorkovanja, odabrano je vrijeme izračuna u intervalima od 12 sati, što točno predstavlja jedan ciklus plime i oseke. Simulacija vremenski korak od jednog sata očito je dala puno bolje rezultate.

Granični uvjeti

Lokacije granica modela predstavljaju ključnu stavku. Princip je da, pri proučavanju promjena u fizičkom sustavu vode kao što su hidrotehničke strukture, rezultati ostanu što je moguće više neovisni o rezultatima definiranim na granicama modela. Kod rijeke, na primjer, moguća greška u nizvodnoj granici ne mora utjecati na područje interesa putem krivulje povratnog toka vode. Pilot model može biti koristan kako bi se provjerila lokacija granica.

Kapacitet utoka i protoka

Ovo je posebno važno za jednodimenzionalne (1D) simulacije. Jednodimenzionalni (1D) modeli općenito se smatraju kombinacijom kapaciteta utoka i protoka. Potrebno je potvrditi os-

jetljivost modela za ova dva parametra. Pogreške u kapacitetu utoka i protoka moguće je ukloniti daljnjim pojednostavljenjima mreže, uključujući i jarke, otvorene vode i tako dalje.

Bilanca materijala ili volumena

Ne jamče svi modeli pravilan izračun materijalne bilance, iako je to bitno za rezultate modela. Ovo se osobito odnosi na slučaj kada je parametar utoka izrazito nelinearan. Ako se provode poredbene simulacije u svrhu modeliranja učinka retencijskih korita, pogreška u materijalnoj bilanci će imati veliki utjecaj na nacrt, a time i na troškove projekta. Važnost pravilne ravnoteže volumena također mora biti uravnotežena s točnošću određenih podataka. Nesigurnosti u lateralnim protocima i topografiji poplavnih područja u simulacijama vršnih tečenja su zas-trašujuće. Pogreška u volumenu od nekoliko postotaka uistinu ne predstavlja problem u ovom slučaju.

Brojčani parametri

Potrebno je voditi računa pri odabiru brojčanih parametara. Važan čimbenik predstavlja dovoljan broj točaka za izračun na duljini vala koji se simulira, kako u pogledu prostora, tako i u pogledu vremena. Jednaka gustoća u prostornoj i vremenskoj definiciji je optimalna. To često znači da bi tzv. Courant broj (odnos između numeričkog vremenskog koraka i brzine širenja vala kroz određenu udaljenost) trebao biti veći od jedan. Prostorna diskretizacija treba biti potvrđena na temelju dovoljno precizne definicije topografije i specifičnih lokalnih pojava, kao što su to krivulje povratnog toka vode. Model se često koristi kako bi se usporedile situacije, što znači da Courant broj uvijek treba biti isti. Dvodimenzionalni (2D) i trodimenzionalni (3D) modeli često koriste skrivene privremene mjere u vremenu. Provjerite može li numerička obrada može dovesti jako odstupanja varijabli modela (do toga ne smije doći), što je osobito slučaj s većim Courant brojevima.

Korak 4: Provedite analizu modela

Početne vrijednosti

Provjeriti traženo trajanje simulacije kako bi se uklonio utjecaj netočnih ili nedosljednih početnih vrijednosti. Općenito govoreći, sljedeće načelo se primjenjuje za područja izmjene plime i oseke: vodostaji približno 2 plime, brzine tečenja i protoci približno 4 plime i ostali tokovi približno 12 plima (i oseka). U rijekama, trajanje vremena prilagodbe ovisi o vremenu putovanja vala kroz model, koje se regulira čimbenikom pohrane (privremeno skladištene vode). Početna situacija za vršno tečenje ne smije nadmašivati razinu vode do ruba.

Kalibriranje

Vrijednosti hidrauličke hrapavosti su ključne, a njih nije moguće izmjeriti i stoga ih je potrebno izvesti. Verifikacija se vjerojatno provodi na temelju vodostaja (protoci se mjere s manjim stupnjem točnosti od vodostaja). Također, u obzir je potrebno uzeti i učinak vjetra na vodostaj.

Proces kalibriranja s riječnim modelima u kvazi mirnim uvjetima trebalo bi uvijek započeti s najnižim vršnim protokom. Kalibracije za velike vode provode se redosljedom rastućih protoka.

Provjeriti imaju li radne sheme hidrauličkih struktura negativan učinak na dosljednost kalibracijskih podataka.

Detaljno kalibriranje nije uvijek važno za određene izračune. Ako su simulacije izrađene na temelju usporedbe referentne i nove situacije s mjerama koje će se provesti, pogreške se međusobno poništavaju.

Validacija

Validacija omogućava uvid u proces pretjeranog parametriranja te ju ne bi trebalo zapostavljati niti podcjenjivati njen značaj.