



Katalog poplavnih scenarijev za izlivno območje Meže

Dramurci

Naslov:

Katalog poplavnih scenarijev za izlivno območje Meže

Avtorji:

Matej Müller, dr. Gorazd Novak, Gašper Rak, Tanja Prešeren, Karin Kompare, Daniel Kozelj

Izdajatelj:

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

Vodnogospodarski inštitut

Hajdrihova 28, Ljubljana

Oblikovanje:

CwIT, Ljiljana Sušnik, s.p.

Naklada:

300 izvodov

Tisk:

ARMA, Arpad Žoldoš s.p.

Kraj in leto izdaje:

Ljubljana, 2012

Fotografija naslovnice:

VGP DRAVA Ptuj, d.d.



CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

556.166(497.413)

KATALOG poplavnih scenarijev za izlivno območje Meže / [avtorji Matej Müller ... et al.]. - Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodnogospodarski inštitut, 2012

ISBN 978-961-90074-2-6

1. Müller, Matej
264111104

UVOD

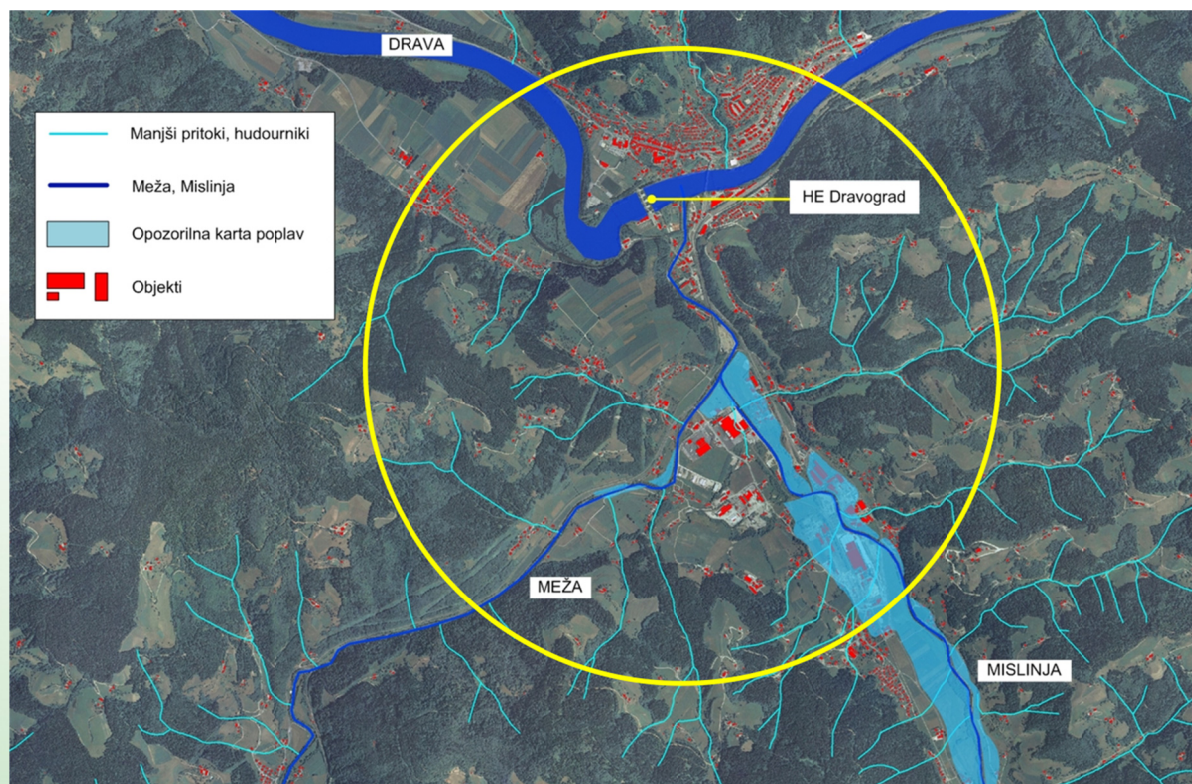
Izdelava kataloga šestdesetih poplavnih scenarijev za lokacijo vodnega vozlišča Dravograd je del 2. delovnega paketa (WP2) bilateralnega projekta »Čezmejna vodarska iniciativa za reki Drava in Mura (DRA-MUR-CI)« (DRA-MUR-CI, 2012), sofinanciranega iz Operativnega programa čezmejnega sodelovanja Slovenija-Avstrija 2007-2013. WP2 obravnava ravnanje ob poplavih in zmanjševanje tveganj, pri čemer so cilji:

- izpopolnjeno poznavanje poplavnih procesov in poplavnih tveganj (analiza tveganja) ter izboljšana izmenjava informacij/podatkov za ravnanje ob poplavih,
- izboljšanje čezmejnega ravnanja ob poplavih na rekah Dravi in Muri.

Obravnavano območje se nahaja blizu državne meje z Avstrijo in obsega okolico sotočja Meže in Mislinje ter okolico izliva Meže v Dravo. Obravnavani so naslednji vodotoki:

- Drava od akumulacije HE Dravograd do mostu pod izlivom Meže,
- Meža od izliva v Dravo do rečne stacionaže približno 4,400 km,
- Mislinja od izliva v Mežo do rečne stacionaže približno 2,200 km.

Na tem območju se nahaja mesto Dravograd s hidroelektrarno, blizu sotočja Meže in Mislinje pa se nahajata naselji Otiški vrh in Šentjanž pri Dravogradu. Gre za poplavno ogroženo območje, kar dokazuje tudi opozorilna karta poplav (ARSO, 2012), ki je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Obravnavano območje (obkroženo) z vrisano opozorilno karto poplav

Iz slike so razvidni tudi vsi manjši pritoki in hudourniki, ki lahko prav tako vplivajo na poplavno nevarnost območja. V hidravlični analizi in katalogu poplavnih scenarijev bodo hudourniki obravnavani le posredno in ne kot mreža posameznih pritokov.

Regijski načrt zaščite in reševanja ob poplavah na območju koroške regije opisuje vodne razmere na naslednji način: »Meža je v 3 km dolgem izlivnem odseku regulirana, nad tem odsekom pa teče po ozki dolini med cesto oz. železnico in strmim pobočjem na drugi strani. Potencialno nevarnost ogroženosti pred poplavami predstavljajo dotrajani in slabo vzdrževani objekti (jezovi, obrežni zidovi) in nanosi plavin hudourniških pritokov. Mislinja je pritok Meže in je urejena na 23 km dolgem izlivnem odseku. Struga prevaja visoke vode do Q_{10} . Problem poplavne ogroženosti nastopa predvsem v industrijskih predelih v Pamečah, Otiškem vrhu in Slovenj Gradcu.« (URSZR, 2005, str. 6).

»Glede poplav (pritokov Mislinje) so te pogoste zaradi neurejenosti pritokov, obsežnejše pa so predvsem ob sami Mislinji. Ob visokih vodah je poplavljenih 360 ha površin ob Mislinji in Suhadolnici, od tega je 23 ha industrijskih površin v Otiškem vrhu, Pamečah in Slovenj Gradcu ter urbane površine v Tomaški vasi in Turiški vasi. Pri poplavah $Q_{10} - Q_{20}$ je poplavljen ozek pas kmetijskih površin v Otiškem vrhu, cesta Dravograd – Slovenj Gradec v Otiškem vrhu.« (URSZR, 2005, str. 7).

»Izvedeni energetske in vodnogospodarske objekti v ozki Dravski dolini zagotavljajo ustrezno protipoplavno varnost. Drava je na tem odseku na večjem delu utesnjena med cesto in železnico, ki ob visokih vodah nista ogroženi. Urbane površine so locirane izven poplavnih območij. Problematično pa je visokovodno stanje ob hudourniških pritokih Drave. V reko Dravo se na območju občine Dravograd izliva pritok, ki na porast Drave nima neposrednega vpliva. Ta pritok je Meža z Mislinjo. Pri normalnem pretoku Meže z Mislinjo $4 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri pretoku reke Drave $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ ne predstavlja nevarnosti za naselje Meža, če pa pretok Meže z Mislinjo doseže $88 \text{ m}^3/\text{s}$ in je pretok Drave višji od $1200 \text{ m}^3/\text{s}$, predstavlja veliko nevarnost za naselje Meža v Dravogradu, ki leži ob sotočju rek.« (URSZR, 2005, str. 7).

Na temo problematike plavlja pri premostitvah je bilo ocenjeno, da velike težave pri zagotavljanju poplavne varnosti povzročajo številni neustrezni prepusti in premajhni mostovi, velika prodonosnost, neustrezno vzdrževani prodni zadrževalniki in mestoma v naseljih prenizka poplavna varnost strug zaradi naplavin in zarasti. Vegetacija v strugi namreč povečuje koeficient trenja (n_G) in zmanjšuje pretočno sposobnost vodotoka, zaradi česar lahko voda prestopi bregove. Na izlivnem odseku Meže v Dravo se poleg naštetega pojavljajo problemi s poplavno varnostjo, ki je posledica zaježitve Meže ob visokih vodah Drave. Poplave so pogoste predvsem v dolinah, kjer so zgrajene ceste zmanjšale naravni visokovodni profil in prihaja do izrednih erozij in preplavljanja ter odnašanja cest. Pritoki Meže in Mislinje imajo izrazit hudourniški značaj.

To vsaj posredno potrjujejo tudi naša opažanja s terenskega ogleda, opravljenega nekaj dni po visoki vodi septembra 2010, ko so katastrofalne poplave prizadele osrednjo in JV Slovenijo. Prvi primer je cestni most med Šentjanžem in Bukovsko vasjo, ki je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Sled visoke vode 19.9.2010, fotografija posneta 24.9.2010 (FOTO: G. Novak)

Na sliki 2 je iz sledi v strugi razvidno, da je potok, ki se izliva v Mislinjo, v času visoke vode segal praktično do vrha prepusta oz. do roba korita. Drugi primer je hudournik ob cesti Dravograd-Ravne na Koroškem, ki je prikazan na sliki 3.



Slika 3: Sledi hudournika ob cesti v dolini Meže, posneta dne 24.9.2010 (FOTO: G. Novak)

Iz slike 3 je razvidno, da je ob obilnem deževju hudournik prestopil korito, prelil zid ob prepustu in poplaval cesto ter premestil plavine v Mežo.

Primer potencialnih težav zaradi kopičenja plavja je opuščen in dotrajan, približno 3 m širok lesen most na območju Podklanca, gorvodno od sotočja Meže in Mislinje, ki je prikazan na sliki 4.



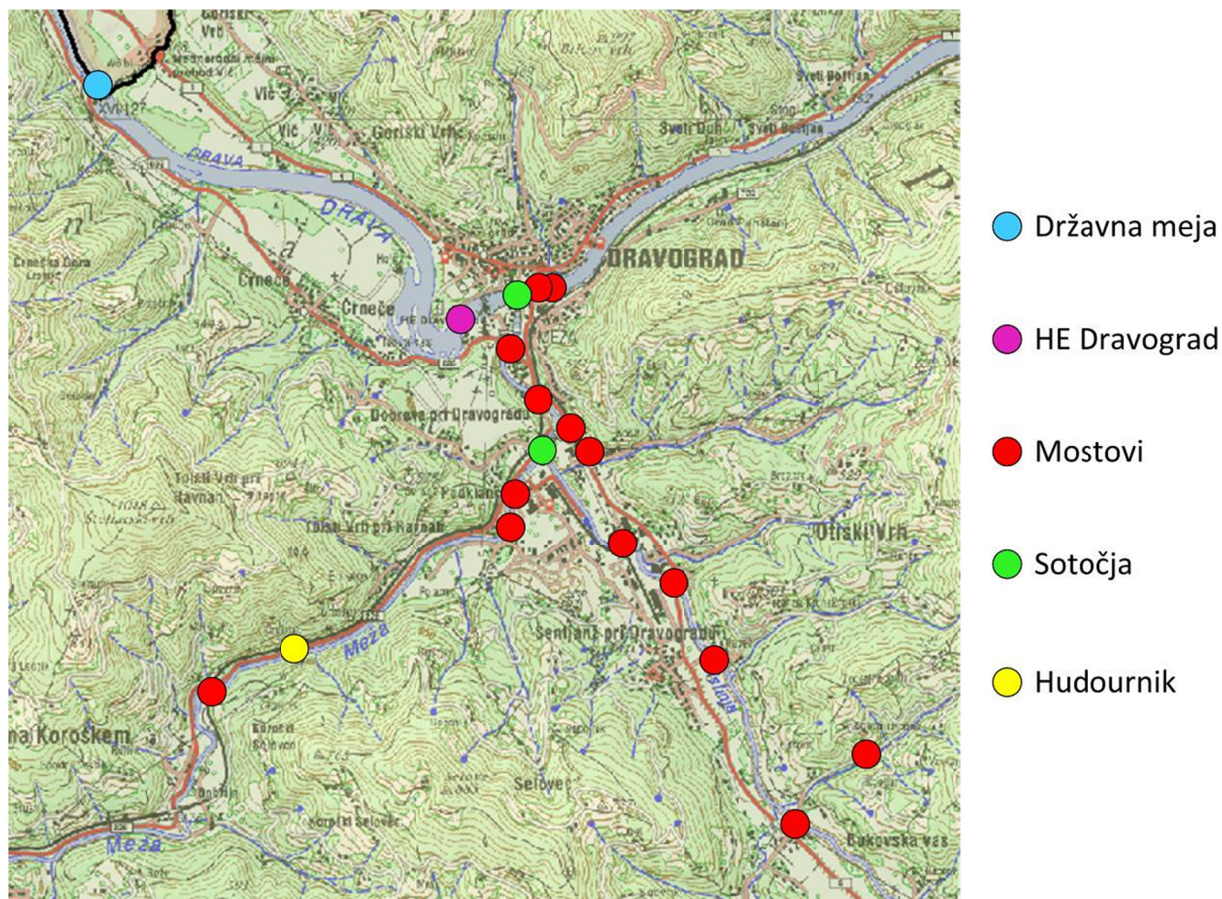
**Slika 4: Most gorvodno od sotočja Meže in Mislinje (levo). Plavje ob mostnem oporniku (desno).
Fotografiji posneti dne 24.9.2010 (FOTO: G. Novak)**

Iz slike 4 je razvidno, da se ob razrahljanem mostnem oporniku nabira plavje, kar je potencialno problematično, saj slednje zmanjšuje pretočni prerez in ogroža stabilnost mostu. Pretočni prerez zmanjšuje tudi zarast v strugi, ki je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Vegetacija ob protipoplavnih zidovih na bregovih Meže blizu izliva v Dravo (FOTO: G. Novak)

Poplavni scenariji so povezani s t.i. kritičnimi lokacijami, ki lahko bistveno vplivajo na prevajanje visokih vod. Na širšem območju vodnega vozlišča Dravograd so bile v začetni fazi izdelave kataloga poplavnih scenarijev (tj. po terenskem ogledu) kot kritične opredeljene lokacije, ki so prikazane na sliki 6.



Slika 6: Kritične lokacije, ki lahko bistveno vplivajo na prevajanje visokih vod

Podlaga: ARSO, <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>

Iz slike 6 je razvidno, da so na območju vodnega vozlišča Dravograd zgrajeni številni mostovi, ki predstavljajo (v smislu hidravličnega modeliranja) notranje pogoje za številne kombinacije poplavnih scenarijev. V naravi lahko pride do scenarijev, kjer se mostne odprtine zamašijo zaradi plavja, ki se nabere okrog mostnih stebrov. Količina in velikost plavja sta seveda odvisni od geografskih značilnosti območja in pa tudi od velikosti pretoka. Ker se v bližini Dravogradskega vodnega vozlišča nahajajo tudi številni hudourniki, je verjetnost, da pride do takšne zamašitve mostnih odprtih s plavjem precej velika. Ocenjeno je bilo, da se lahko nabere na določenih stebrih Meže pri 10 oziroma 100 letnem pretoku v širino približno 3 do 6 m plavja. Tako je bila v računu za primer scenarija zamašitve mostne konstrukcije upoštevana razširjena debelina mostnega stebra za 3 m. Ker je korito struge v povprečju 40 m široko, lahko takšna zagostitev plavja precej zmanjša pretočni profil in s tem pretočnost struge. Zaradi zmanjšane pretočnosti pa se lahko pojavi zaježitev in poplavljanje reke na gorvodnih odsekih.



Slika 7: Most na Dravi (Dravograd) – dolvodno od sotočja

Vir: VGP DRAVA Ptuj, d.d.

Slika 7 prikazuje Dravo pri Dravogradu in predstavlja dolvodni del 1D hidravličnega modela Drave. Spodnji robni pogoj modela je definiran tik nad mostom in je bil povzet po hidravlični študiji zaježitvenih gladin (Hojnik, 2007). Mostni oporniki so v tem primeru izven modeliranega območja, njihov vpliv na gladine pri pojavu visokih voda pa je posredno vključen v model preko spodnjega robnega pogoja.



**Slika 8: Merilni lati na lokaciji vodomerne postaje
Otiški Vrh I – Mislinja (FOTO: G. Novak)**



**Slika 9: Mostni opornik železniškega mostu
(FOTO: G. Novak)**

Meritve gladin, ki so bile opravljene na vodomerni postaji Otiški Vrh I na Mislinji (slika 8) ob preteklih visokovodnih dogodkih, so bile uporabljene za umerjanje in verifikacijo vzpostavljenega hidravličnega modela območja Dravograjskega vodnega vozlišča. S pomočjo teh meritev je bil umerjen koeficient hrapavosti, medtem ko so se meritve iz vodomerne postaje Otiški Vrh I na Meži uporabile bolj za umerjanje koeficientov izgub na lokaciji mostu, ki se nahaja gorvodno od vodomerne postaje. Tako umerjene vrednosti koeficientov so bile nato uporabljene še za ostale mostne konstrukcije s predpostavko, da nastopijo podobne hidravlične razmere tudi pri drugih mostovih.

V hidravličnem modelu so bile zajete vse mostne konstrukcije, za katere je bilo ocenjeno, da imajo velik vpliv na poplavno nevarnost obravnavanega območja. Mostna konstrukcija, ki predstavlja oviro v toku, je bila v model vključena s pomočjo 1 dimenzijskih enačb, s katerimi je možno modelirati potopljen tok skozi mostno odprtino in prelivanje preko cestne konstrukcije. Eden izmed mostnih opornikov, ki so bili zajeti v hidravličnem modelu, je prikazan na sliki 9.



Slika 10: Pogled na jez HE Dravograd

Vir: VGP DRAVA Ptuj, d.d.

Jez hidroelektrarne Dravograd, ki je prikazan na sliki 10, se nahaja gorvodno od sotočja Meže in Mislinje. Ob pojavu visokih voda se zapornice na jazu dvignejo, s tem pa se omogoči nemoteno prelivanje vode iz akumulacijskega bazena. Objekt predstavlja gorvodni robni pogoj v hidravličnem modelu Dravograjskega vodnega vozlišča, vhodni pretok v model pa je odvisen od obratovanja gorvodne avstrijske verige hidroelektrarn. Za določitev ustreznega scenarija ob pojavu visokih voda bo omenjen pretok preko HE Dravograd, napovedan s prognostičnim modelom od avstrijskih koroških pristojnih organov.

Na obravnavanem območju se nahajata dve sotočji na precej kratki razdalji. Prvo je sotočje Meže in Drave, ki je prikazano na sliki 11, drugo pa je sotočje Meže in Mislinje. V sklopu te študije so bile obravnavane različne koincidence Mislinje, Meže in Drave, ki so bile vključene v poplavne scenarije.



Slika 11: Pogled na sotočje Meže in Drave

Vir: VGP DRAVA Ptuj, d.d.

Brežine struge Mislinje so v večji meri poraščene z večjo zarastjo (Slika 12), ki pa ob pojavu visokih voda povzroči dvig gladine, saj se hitrosti vode zaradi upora toku zmanjšajo, s tem pa se poveča gladina vode. Zaradi obrežne zarasti je zmanjšana pretočnost struge, poplavna nevarnost pa je na bližnjem obvodnem območju povečana.



Slika 12: Zarast na brežinah struge Mislinje (FOTO: G. Novak)

Po pojavu visokih voda ostanejo na terenu sledi, ki so lahko uporabne pri verifikaciji hidravličnih modelov. Seveda takšne sledi ne dajo dovolj natančnih informacij za samo umerjanje modela, ob pomanjkanju meritev gladin preteklih dogodkov pa so lahko precej uporabne za približno oceno o pravilnosti rezultatov hidravličnega modela. Slika 13 prikazuje sledi preteklega visokovodnega dogodka v letu 2010. Opazno je tudi, da so na tej lokaciji visoke vode uničile obrežno zarast, ki je po dogodku ostala polomljena.



Slika 13: Sledi visoke vode iz leta 2010 (FOTO: G. Novak)

Za zmanjšanje poplavne nevarnosti so bili na obravnavanem izlivnem odseku Meže v Dravo v preteklosti že izvedeni protipoplavni ukrepi, ki obsegajo tudi odstranitev zarasti. Razlika pred in po odstranitvi je razvidna iz primerjave slik 11 in 14, ki prikazujeta sotočje Meže in Drave v letu 2006 (slika 11) in v letu 2012 (slika 14).

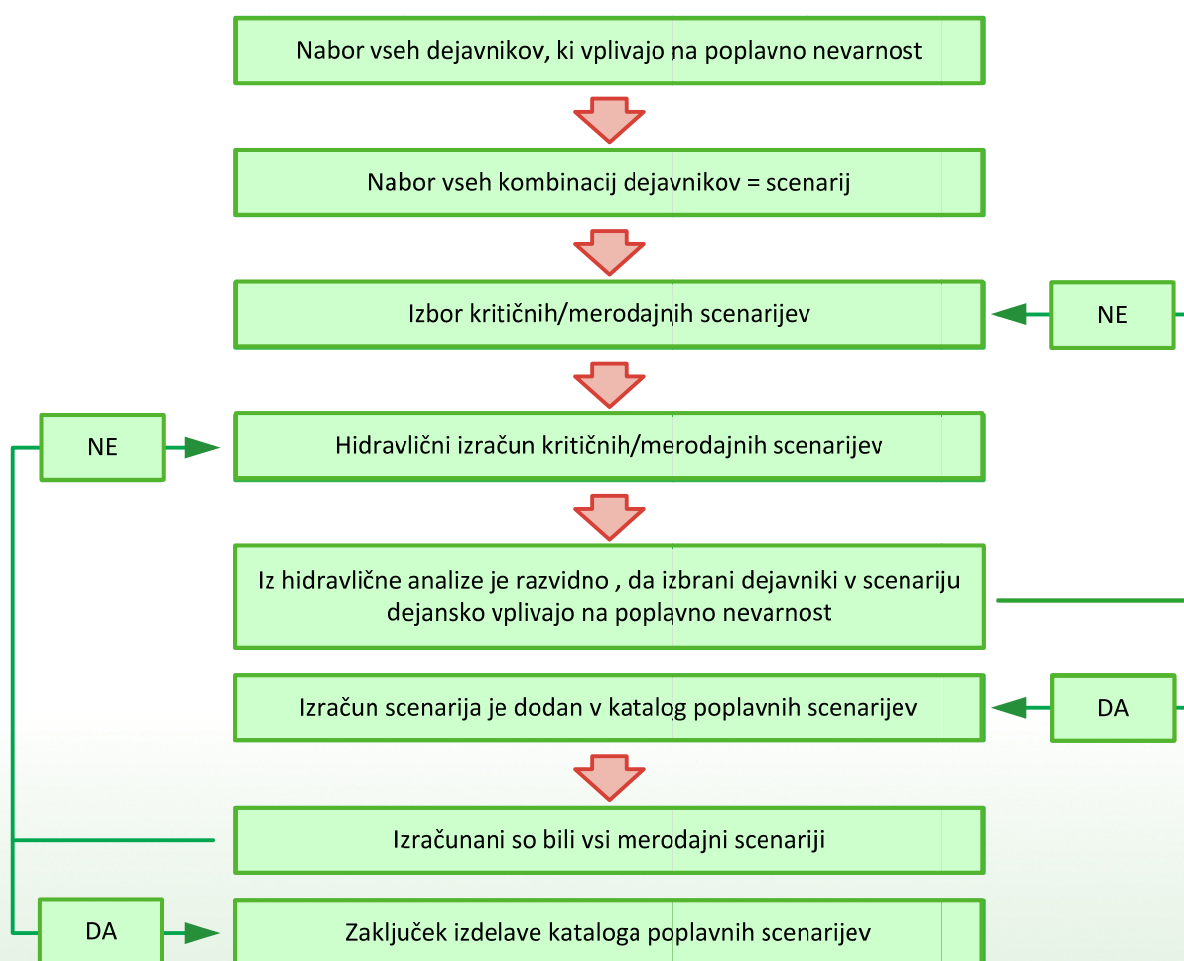


Slika 14: Sotočje Meže in Drave po odstranitvi zarasti

Vir: VGP DRAVA Ptuj, d.d.

METODOLOGIJA IZDELAVE POPLAVNIH SCENARIJEV

Za izdelavo kataloga poplavnih scenarijev je bila potrebna obširna priprava vseh podatkov. Določiti je bilo treba vse dejavnike, ki lahko vplivajo na poplavno nevarnost ter vse možne kombinacije teh dejavnikov. Zaradi prevelikega časa hidravličnega izračuna je bilo treba nabor vseh kombinacij zmanjšati na kritične/merodajne scenarije. Ti scenariji pa morajo predstavljati ustrezne situacije, ki se lahko v naravi pojavijo. Po hidravličnem izračunu je bilo treba presoditi ali je izbrani scenarij res kritičen glede povečanja obsega poplavljanja in izračun dodati v katalog scenarijev. Ob zaključku vseh izračunov in analiz za vse scenarije, ki so bili na začetku izbrani kot kritični, je bil katalog poplavnih scenarijev dokončan. Slika 15 prikazuje shemo postopka izdelave kataloga.



Slika 15: Shematični prikaz postopka izdelave kataloga scenarijev

Vzroke, ki lahko sprožijo nek scenarij razdelimo v dve skupini:

1.) PRIMARNI VZROKI so problematični sami po sebi. Za dano območje jih lahko razdelimo na:

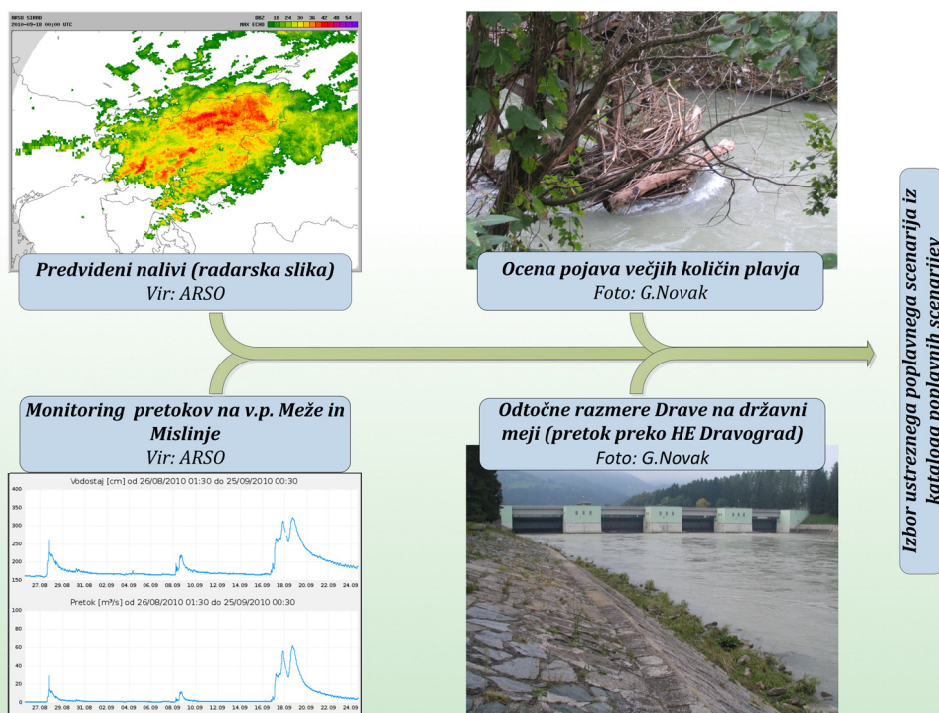
- visoke vode vodotokov (različne koincidence povratnih dob pretokov Drave, Meže in Mislinje) in
- obratovanje HE (mehanska okvara zapornic, zagozdeno plavje).

2.) SEKUNDARNI VZROKI so največkrat posledica primarnih in so problematični kot dodatno poslabšanje razmer. Lahko jih razdelimo na:

- zamašitev kanalizacije (ob nalivih),
- blokirani mostovi,
- blokirani prepusti,
- erozija (naravnih) brežin, zdrs brega → zajezba in/ali preusmeritev (hudourniškega) toka in
- erozija nasipov (cestnih in/ali železniških; obstoječih protipoplavnih nasipov).

Če bi upoštevali vse vzroke, bi hitro lahko našli več 1000 kombinacij različnih vzrokov, pri tem bi vsaka kombinacija predstavljala določen scenarij. Zaradi poenostavitve so v tej študiji obravnavani samo tisti, za katere je bilo ocenjeno, da lahko privedejo do povečane poplavne nevarnosti na obravnavanem območju. Tako so bili kot primarni vzroki upoštevani hidrološki pogoji (različne koincidence pretokov Drave, Meže in Mislinje), medtem ko so bili kot sekundarni vzroki upoštevani blokirani mostovi in prepusti.

Slika 16 prikazuje postopek izbire ustreznega poplavnega scenarija iz kataloga poplavnih scenarijev za prihajajoči visokovodnih dogodek. Celoten postopek se prične pri napovedi meteoroloških razmer, iz katerih je možno oceniti ali bo do visokovodnega dogodka v prihodnjih dneh sploh prišlo. Pretoka Meže in Mislinje bo možno v določenem trenutku pridobiti iz vodomernih postaj, ki se nahajata gorvodno od sotočja, medtem ko je pretok Drave (odtočne razmere Drave na državni meji) navezan na Poplavne scenarije na avstrijskem delu porečja Drave na podlagi prognoze visokovodnega vala, ki je rezultat Poplavnih scenarijev avstrijskih partnerjev projekta DRA-MUR-CI (izdanih v posebni brošuri). S strokovno oceno o možnosti pojava večjih količin plavja ob prihajajočem dogodku in s pomočjo znanih hidroloških razmer pa bo tako možno ustrezno izbrati poplavni scenarij in oceniti pričakovano območje poplavljenosti v času nastopa visokovodnega vala.



Slika 16: Postopek izbire ustreznega poplavnega scenarija iz kataloga poplavnih scenarijev

Za hidravlični izračun poplavnih scenarijev je bil uporabljen kombinirani 1D-2D model MIKE Flood, organizacije DHI (Danish Hydraulic Institute). Omenjeni model je bil izbran kot ustrezen za modeliranje poplavnih scenarijev na obravnavanem območju predvsem zato, ker omogoča zajem raznih objektov, kot so npr. mostne konstrukcije. Na obravnavanem območju se namreč nahaja 9 mostov, ki predstavljajo ovire v vodnem toku in imajo velik vpliv na hidravlične razmere. Tako je bilo mogoče z omenjenim programom zajeti tudi vpliv zajezev, ki nastanejo zaradi mostnih konstrukcij.

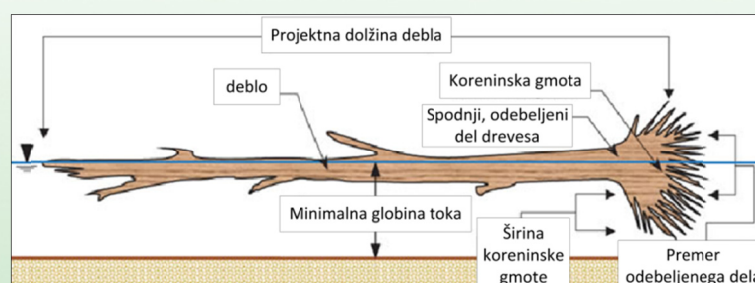
Ker ima vsak model svoje pozitivne in negativne lastnosti, je bil za verifikacijo oz. oceno ustreznosti rezultatov uporabljen še dvodimenzionalni hidravlični model CCHE 2D, organizacije NCCHE (National Center for Computational Hydroscience and Engineering – The University of Mississippi). Ta predstavlja polni 2D model (»Fully 2D«), ki za razliko od MIKE Flood orodja ne vsebuje možnosti zajema vpliva mostnih konstrukcij na hidravlične razmere. Zato medsebojna primerjava rezultatov MIKE Flood in CCHE2D ni bila mogoča za scenarije, kjer voda že doseže spodnjo koto cestne konstrukcije.

Predpostavljeno je bilo, da je obseg poplav na obravnavanem območju v splošnem odvisen od naslednjih dejavnikov:

- dotoki Meže, Mislinje in Drave s povratno dobo $\geq Q_2$,
- zagozdeno plavje ob mostnih opornikih (zmanjšanje pretočnosti mostnih odprtin),
- hudourniški nanosi materiala v strugo (zmanjšanje pretočnosti v dolinskem odseku Meže).

Obravnavano območje obsega tri večje vodotoke, dve sotočji, sedem hudournikov in devet mostov, zato je ob upoštevanju različnih kombinacij prej navedenih dejavnikov možnih več sto poplavnih scenarijev. Zaradi optimizacije izvajanja simulacij (te so pri 2D modelu bistveno daljše kot pri običajnih 1D modelih) so bile za merodajne simulacije izbrane kombinacije glavnih parametrov, kot so prikazane v preglednici 1. Pri izbiri merodajnih scenarijev je bilo upoštevano naslednje:

- Če nastopi zamašitev mostne odprtine zaradi plavja se le-to modelira z upoštevanjem širše debeline stebra. Zaradi poenostavitve je bila izbrana razširitev stebra pri vseh hidroloških pogojih 3 m. Zaradi prevelikega števila scenarijev, ki bi se pojavili, če bi upoštevali možnost zamašitve na vseh mostovih, je bila kot najbolj kritičen scenarij upoštevana samo možnost zamašitve mostu pred v.p. Otiški Vrh I na Meži. Približno 100 m gorvodno od omenjenega mostu se nahaja opuščeni leseni most, ki bi se lahko ob pojavu visokih voda porušil, plavje iz lesenih ostankov mosta pa bi se zagozdilo v dolvodni cestni most. Prav tako se gorvodno nahaja še vtok že omenjenega hudournika, ki bi lahko ob izrednem dogodku v Mežo prav tako prinesel razno plavje. Tako vneseno plavje bi zamašilo mostno odprtino.



Slika 17: Opis merodajnih dolžin plavja za oceno možnosti zamašitve mostne odprtine

Vir: Lagasse in sod., 2010, str. 46

- Vpliv hudournikov (oz. hudourniško povzročenih poplav) je na obravnavanem območju vodnega vozlišča Dravograd manjši kot na odsekih gorvodno od vozlišča, zato je v scenarijih zajet le posredno. To je doseženo preko zmanjšane prepustnosti mostnih odprtin. Ocenjujemo, da z omenjenim pristopom ostajamo na varni strani – tudi v smislu ostalih nepredvidenih oz. ne eksplicitno upoštevanih dejavnikov, ki lahko prispevajo k obsegu poplav. Scenariji so bili izračunani s pomočjo orodja MIKE Flood, v katalog poplavnih scenarijev pa so nazadnje bili uvrščeni scenariji, ki so spisani v preglednici 1.

Preglednica 1: Spisek obravnavanih poplavnih scenarijev

številka scenarija	Mislinja	Meža	Drava	zamašitev AB mostu na Meži pri Ind. coni	številka scenarija	Mislinja	Meža	Drava	zamašitev AB mostu na Meži pri Ind. coni
1	Q ₂	Q ₂	Q ₂	NE	31	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₁₀₀	NE
2	Q ₂	Q ₂	Q ₅	NE	32	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₁₀₀	DA
3	Q ₂	Q ₂	Q ₁₀	NE	33	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₂	NE
4	Q ₂	Q ₂	Q ₂₀	NE	34	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₂	DA
5	Q ₂	Q ₂	Q ₅₀	NE	35	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅	NE
6	Q ₂	Q ₂	Q ₁₀₀	NE	36	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₁₀	NE
7	Q ₂	Q ₂	Q ₅₀₀	NE	37	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₂₀	NE
8	Q ₅	Q ₅	Q ₂	NE	38	Q ₅₀	Q ₂₀	Q ₂₀	NE
9	Q ₅	Q ₅	Q ₅	NE	39	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀	NE
10	Q ₅	Q ₅	Q ₁₀	NE	40	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	NE
11	Q ₅	Q ₅	Q ₂₀	NE	41	Q ₅₀	Q ₅₀	Q ₅₀₀	NE
12	Q ₅	Q ₅	Q ₅₀	NE	42	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₂	NE
13	Q ₅	Q ₅	Q ₁₀₀	NE	43	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₂	DA
14	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₂	NE	44	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅	NE
15	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₂	DA	45	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀	NE
16	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₅	NE	46	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀	NE
17	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₁₀	NE	47	Q ₁₀₀	Q ₂₀	Q ₂₀	NE
18	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₂₀	NE	48	Q ₁₀₀	Q ₂₀	Q ₂₀	DA
19	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₅₀	NE	49	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀	NE
20	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₁₀₀	NE	50	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	NE
21	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₁₀₀	DA	51	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	DA
22	Q ₁₀	Q ₁₀	Q ₅₀₀	NE	52	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀	NE
23	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₂	NE	53	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	NE
24	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₂	DA	54	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	NE
25	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₅	NE	55	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	NE
26	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₁₀	NE	56	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀	DA
27	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₂₀	NE	57	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀	NE
28	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₂₀	NE	58	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	NE
29	Q ₂₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀	NE	59	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	NE
30	Q ₂₀	Q ₂₀	Q ₅₀	NE	60	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀	DA

V nadaljevanju je predstavljen hidravlični model, s pomočjo katerega so bili zgoraj napisani scenariji (preglednica 1) simulirani. Rezultati hidravličnega modela obsegajo globine in obseg vode pri določenem poplavnem scenariju. Natančnost izračunanega dosega visokih voda pri različnih poplavnih scenarijih, ki so zbrani v katalogu poplavnih scenarijev, je tako v večji meri odvisna od natančnosti hidravličnega modela, le - ta pa od natančnosti vhodnih podatkov. Za boljšo interpretacijo rezultatov so tako v nadaljevanju opisani vsi podatki, ki so bili uporabljeni za izdelavo hidravličnega modela.

PODATKI

Za izdelavo hidravličnih modelov so potrebni topografski podatki (tj. podatki o kotah terena) in hidrološki podatki (podatki o pretokih posameznih vodotokov in o pripadajočih kotah gladin). Dosedanje študije območja vodnega vozlišča pri Dravogradu so bile z različnih vidikov obravnavane predvsem na odsekih Meže in Mislinje, ki ležijo gorvodno od vodnega vozlišča Dravograd. Obstoječe študije smo – kolikor je bilo mogoče – uporabili kot vir najnovejših podatkov o topografiji in hidrologiji območja, ki ga obravnava ta katalog poplavnih scenarijev. Tako uporabljene študije so naslednje:

- projekt »Zajezne gladine posameznih HE na Dravi« (Hojnik, 2007),
- študija »Hidrološka študija Meže in Mislinje s Suhadolnico«, št. C - 373 (Kovačič in Burja, 2005),
- idejni projekt »Meža – izboljšanje poplavne varnosti in stabilnosti struge na Ravnah in Prevaljah – načrt ureditve vodotoka« (Zorič, 2006) in
- »Regijski načrt zaščite in reševanja ob poplavih na območju koroške regije – verzija 2.0« (URSZR, 2005).

Geometrijski podatki

Geometrija uporabljenih numeričnih hidravličnih modelov temelji na digitalnem modelu terena (DMT), ki je bil narejen z orodjem ArcGIS na podlagi pridobljenih podatkov LIDAR (Geoin, 2009) in rečnih prečnih profilov po zadnji geodetski izmeri, povzeti po študiji (Zorič, 2006). Geometrija mostnih konstrukcij je bila povzeta po HEC RAS modelu, ki je bil uporabljen v študiji (Zorič, 2006). Za geometrijo struge Drave so bili uporabljeni prečni prerezi posneti v letu 2009 (Slatinšek, 2009). V nadaljevanju so povzeti vsi geometrijski podatki, ki so bili uporabljeni v tej študiji:

- LIDAR podatki obvodnega območja Meže ter sotočja Drave, Meže in Mislinje (Geoin, 2009),
- prečni prerezi strug Meže in Mislinje, povzeti po HEC RAS študiji (Zorič, 2006),
- geometrija mostov, povzeta po HEC RAS študiji (Zorič, 2006),
- prečni prerezi struge Drave (Slatinšek, 2009).

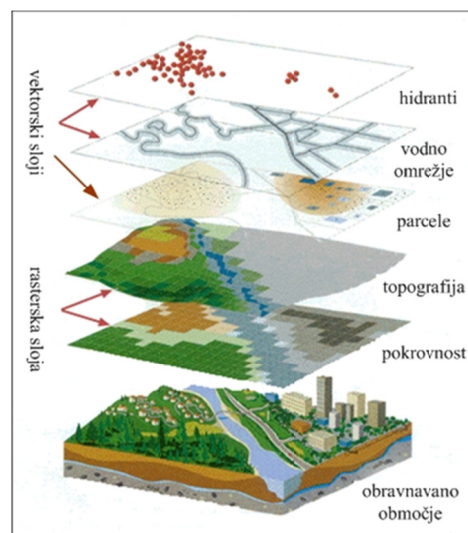
V hidravličnem modelu je bil obvodni teren zajet z digitalnim modelom terena. Le - ta je bil izdelan na podlagi meritev s pomočjo LIDAR sistema. Osnova enote za zajem podatkov je aktivni skener, ki deluje na principu impulzne telemetrije z laserjem v bližnjem infrardečem delu svetlobnega spektra. Inštrument pošilja laserske impulze proti tlom ter prejema odbite signale. Na podlagi časa potovanja signala, ki je merjen z natančnostjo 10^{-10} sekunde, je določena razdalja med plovilom in terenom. Pri tem se posname tudi območje, kjer se nahaja struga vodotoka. Izmerjene kote na teh lokacijah pa niso ustrezne, saj se laserski žarek odbije od vodne gladine, izmerjena kota pa daje podatek o gladini vode v strugi v času izvajanja meritev. Celotni sistem LIDAR prikazuje slika 18.

Za vzpostavitev hidravličnega modela in za prikaz končnih rezultatov, je potrebnih več različnih GIS podatkovnih slojev, kot so npr. geometrija terena, geometrija struge (batimetrija), pokrovnost tal, lokacije objektov, trase cest in železnic... Pri tem je iz geometrije struge in terena izdelan digitalni model višin, pokrovnost tal pa je potrebna za določitev velikosti trenja, ki ima v hidravličnem modelu precej pomembno vlogo. Lokacije objektov, cest in železnic pa so potrebni za boljši za prikaz končnih rezultatov. Uporabo različne podatkovne sloje prikazuje slika 19.



Slika 18: Sistem LIDAR (shematični prikaz snemanja terena z laserjem)

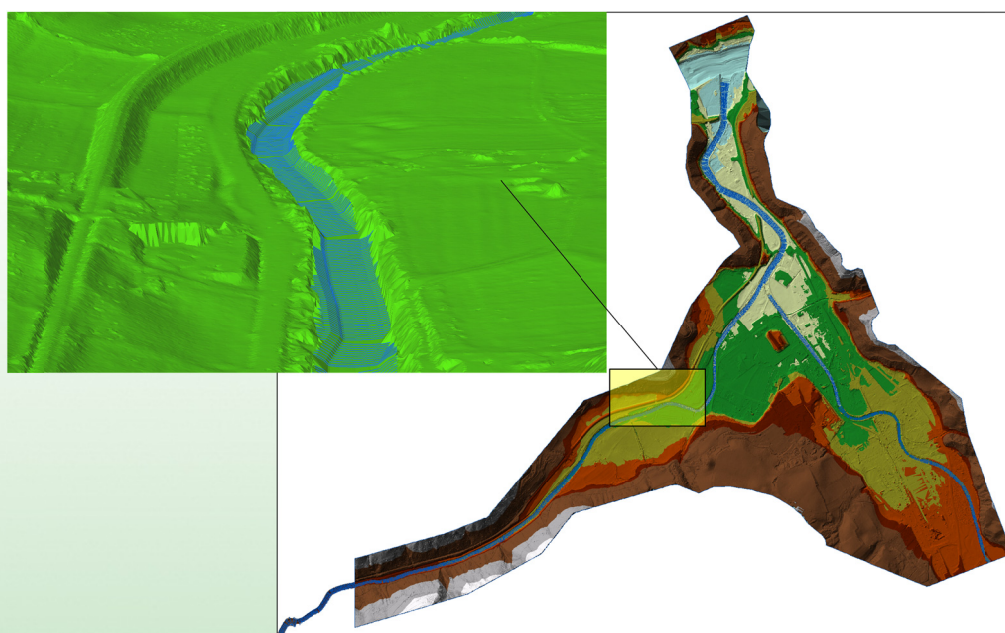
Vir: Alemseged, 2005



Slika 19: Prikaz različnih podatkovnih slojev

Vir: Rak, 2006

Slika 20 prikazuje izdelani DMT z batimetrijo struge Drave, Meže in Mislinje (slika desno). Na levi strani je prikazan 3D pogled na DMT s strugo Meže, kjer predstavlja zelena barva LIDAR podatke, modre črte pa vstavljene prečne prereze struge Meže. Prelivni robovi so bili v glavnem definirani s pomočjo LIDAR posnetka, saj so bili prečni prerezi na določenih odsekih izmerjeni na prevelikih razdaljah vzdolž vodotoka. Tako bi ob upoštevanju prelivnih robov struge iz prečnih prerezov ob interpolaciji med samimi prerezi nastala prevelika napaka. Z zajemom prelivnih robov iz LIDAR posnetka lahko rečemo, da je geometrija struge natančneje zajeta kljub večji merilni negotovosti, ki nastane ob laserskem snemanju terena v primerjavi s standardnimi geodetskimi meritvami prečnih prerezov.



Slika 20: Prikaz izdelanega digitalnega modela terena z batimetrijo Drave, Meže in Mislinje

Hidrološki podatki

Vhodni podatki za hidravlični model, s katerim so bili analizirani izbrani poplavni scenariji iz točke 2, so zraven geometrije obvodnega terena ter batimetrije struge tudi hidrološki podatki, kot npr. vrednosti pretokov z različnimi povratnimi vrednostmi, merjene gladine ob poznanih pretokih, ipd. Uporabljeni hidrološki podatki so bili pridobljeni iz različnih virov:

- projekt: »Zajezne gladine posameznih HE na Dravi« (Hojnik, 2009),
- študija: »Hidrološka študija Meže in Mislinje s Suhadolnico« (Kovačič in Burja, 2005),
- ARSO Hidrološki arhiv – razmere 18. 9. 2010 (uporabljeno za umerjanje; ARSO, 2012),
- ARSO Hidrološki letopis 2008 (uporabljeno za podatke o vodomernih postajah; ARSO, 2012).

Uporabljen hidravlični model MIKE Flood, ki je podrobneje obravnavan v poglavju Hidravlično modeliranje, ima naslednje hidravlične robne pogoje:

- dotoki z različnimi povratnimi dobami – lokacije: vtočni prerez Meže, vtočni prerez Mislinje in vtočni prerez Drava pod HE Dravograd,
- določena gladina na izhodnem robu pri doloženem vhodnem pretoku – lokacija: Drava pri mostu v Dravogradu.

Tako je bilo treba iz hidroloških podatkov, ki so uporabljeni kot vhodni podatki za hidravlični izračun, pridobiti iz različnih študij podatke o vrednosti pretokov z različnimi povratnimi dobami, za hidrološke prereze »Meža do Mislinje« (oznaka v »Hidrološki študiji Meže in Mislinje« (Kovačič in Burja, 2005) je 41m), »Mislinja do Meže« (oznaka v »Hidrološki študiji Meže in Mislinje« (Kovačič in Burja, 2005) je 118) in »Drava pri HE Dravograd« (prerez na lokaciji HE Dravograd). Prav tako je bilo treba pridobiti podatke o gladinah pri določenih pretokih reke Drave na lokaciji dolvodno od sotočja Meže in Drave. Ta podatek je namreč bil uporabljen za spodnji robni pogoj hidravličnega modela. Zbrani podatki o karakterističnih pretokih in pripadajočih kotah gladin so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2: Zbrani podatki o karakterističnih pretokih in pripadajočih kotah gladin

	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₁₀₀₀	Vir
HE Dravograd [m ³ /s]	1206	1547	1809	2051	2369	2612	3451	Hojnik, 2007
Drava pod sotočjem [m ³ /s]	1252	1622	1883	2163	2514	2804	3704	
Dravograd most [m]	333,87		335,30			337,03	338,45	
Meža [m ³ /s]		133	171	212	265	316		Kovačič in Burja, 2005
Mislinja [m ³ /s]		107	141	180	234	282		

Vrednosti, ki so v preglednici 2 obrobljene z odebeljeno črto, so bile uporabljene za določitev pretočne krivulje na spodnjem robnem pogoju (SRP), tj. na iztoku iz modela. Iz te pretočne krivulje je bila za vsak posamezni scenarij določena vrednost gladine na iztoku iz modela glede na vrednost skupnega dotoka.

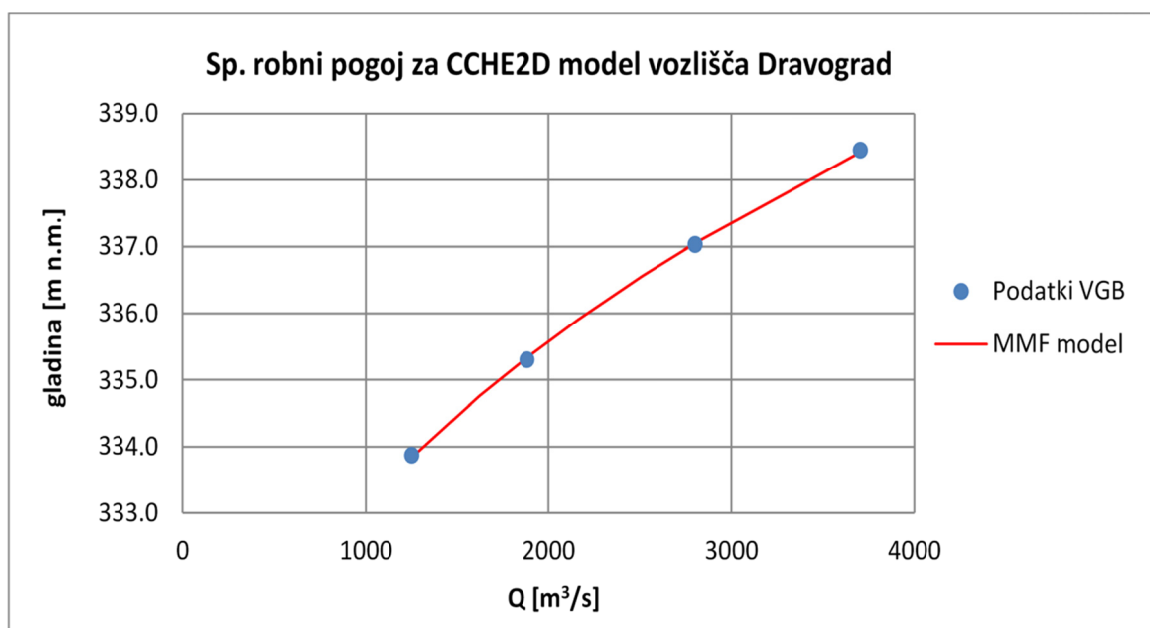
Vrednostim, označenim v zgornji preglednici, se najbolje prilega krivulja po t.i. »MMF modelu« (Slika 21), pri katerem je zveza med pretokom Q in gladino h dana z enačbo:

$$h = (a \cdot b + c \cdot Q^d) / (b + Q^d), \quad (1)$$

kjer so a, b, c in d koeficienti, s katerimi se krivulja prilagodi vhodnim podatkom (tj. znanim vrednostim).

Vrednosti koeficientov so: $a = 326,821$; $b = 394,249$; $c = 394,348$ in $d = 0,536$.

Iskanje krivulje, ki se najbolje prilega vhodnim podatkom, je bilo izvedeno s programom Curve Expert 1.4.



Slika 21: Pretočna krivulja spodnjega robnega pogoja

Ker v katalogu poplavnih scenarijev nastopajo tudi vrednosti Q_2 in Q_{500} , ki jih v zgoraj navedenih virih ni, so bile te vrednosti v primeru Drave določene z interpolacijo obstoječih vrednosti, v primeru Meže in Mislinje pa z ekstrapolacijo obstoječih vrednosti. S programom Curve Expert so bile poiskane različne krivulje $Q(T)$, kjer je T povratna doba (na abscisi) in Q pretok (na ordinati). Vrednosti Q_2 in Q_{500} so bile izračunane kot poprečna vrednosti, dobljenih po najbolje prilegajočih se aproksimacijskih krivuljah. V preglednici 3 je kot primer navedenih nekaj rezultatov računa vrednosti Q_{500} .

Preglednica 3: Izračunane vrednosti Q_{500}

Dotok	metoda	best-fit aproksimacijske krivulje	razpon Q_{500} [m³/s]	popravljen Q_{500} [m³/s]
Drava	interpolacija	logaritemska, MMF	3205 do 3200	3203
Meža	ekstrapolacija	eksponentna, Hoerl, MMF, log.	408 do 464	440
Mislinja	ekstrapolacija	Hoerl, MMF, eksponentna, log.	371 do 435	410

Iz preglednice 4 je razvidno, da je razpon izračunanih vrednosti Q_{500} za Dravo le $\pm 3 \text{ m}^3/\text{s}$ (kar je po pričakovanjih, saj je bila uporabljena interpolacija), za Mežo in Mislinjo pa približno ± 30 oz. $\pm 40 \text{ m}^3/\text{s}$ (ker gre za ekstrapolacijo pri večji vrednosti abscise so razlike med aproksimacijskimi krivuljami večje). Vse vrednosti pretokov, ki nastopajo v poplavnih scenarijih so zbrane v preglednici 4.

Preglednica 4: Upoštevane vrednosti karakterističnih pretokov

	Q_2 [m ³ /s]	Q_5 [m ³ /s]	Q_{10} [m ³ /s]	Q_{20} [m ³ /s]	Q_{50} [m ³ /s]	Q_{100} [m ³ /s]	Q_{500} [m ³ /s]
Drava	1206	1547	1809	2051	2369	2612	3203
Meža	82	132	170	211	265	315	440
Mislinja	59	107	141	180	234	282	410

Za umerjanje modelov so bili uporabljeni podatki za razmere visokih voda v letih od 2005 do 2010, povzeti iz Hidrološkega letopisa in Hidrološkega arhiva ARSO (preglednica 5). Ti podatki so bili uporabljeni, ker predstavljajo največje poplavne dogodke preteklih let in tudi zato, ker so bili na voljo podatki za določen dogodek tako za v.p. Otiški Vrh I – Meža kot tudi za v.p. Otiški Vrh I – Mislinja.

Preglednica 5: Podatki za umerjanje – razmere v času visokih voda v letih 2005 do 2010

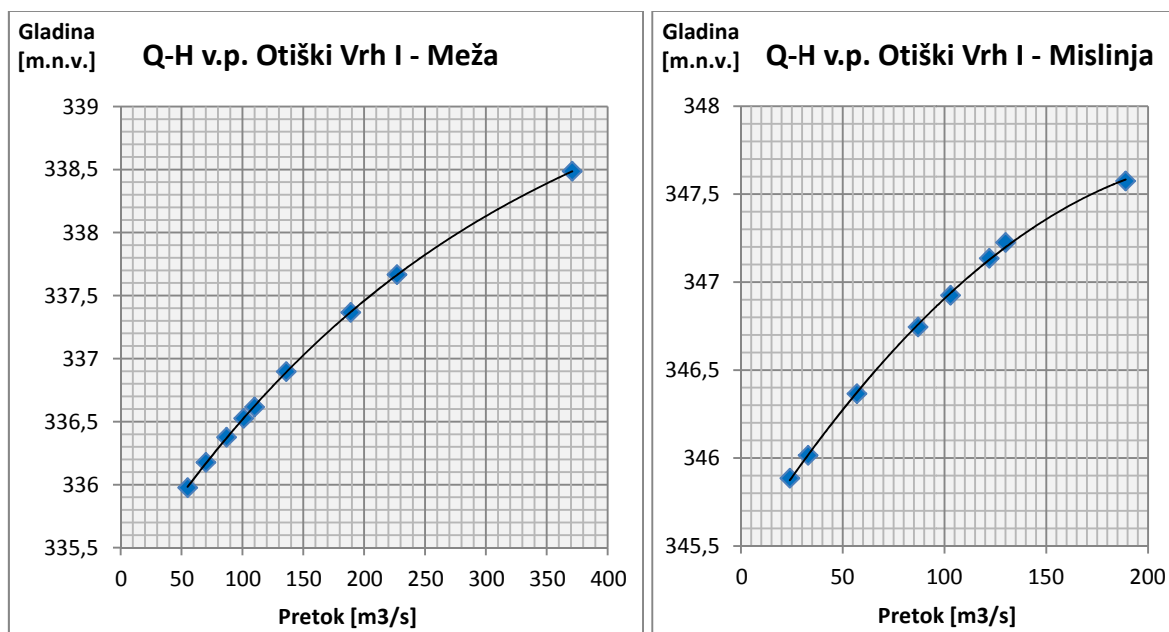
Datum VV	v.p. Otiški Vrh I - Meža			v.p. Otiški Vrh I - Mislinja			Drava
	Q	h	H	Q	h	H	Q
	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m ³ /s]
18.9.2010	227	370	337.67	130	249	347.23	714
11.12.2008	111	265	336.62	33	128	346.02	411
5.10.2005	189	340	337.37	103	219	346.93	1024

Postaja Meža-Otiški vrh I se nahaja dolvodno od sotočja Meže in Mislinje. Izmerjena vrednost, ki je podana v zgornji tabeli predstavlja pretok, v katerem je že všteti pretok Mislinje. Ker je v našem hidravličnem modelu vhodni prerez Meže gorvodno od sotočja z Mislinjo, je bilo treba kot vhodni podatek uporabiti vrednost izmerjenega pretoka na v.p. Otiški Vrh I, od katerega se je odštelo vrednost pretoka Mislinje. V naslednji preglednici (Preglednica 6) so vrednosti pretokov, ki so bili uporabljeni kot vhodni podatki za umerjanje hidravličnega modela. Za umerjanje so bili torej uporabljeni naslednji robni pogoji:

Preglednica 6: Robni pogoji za umerjanje

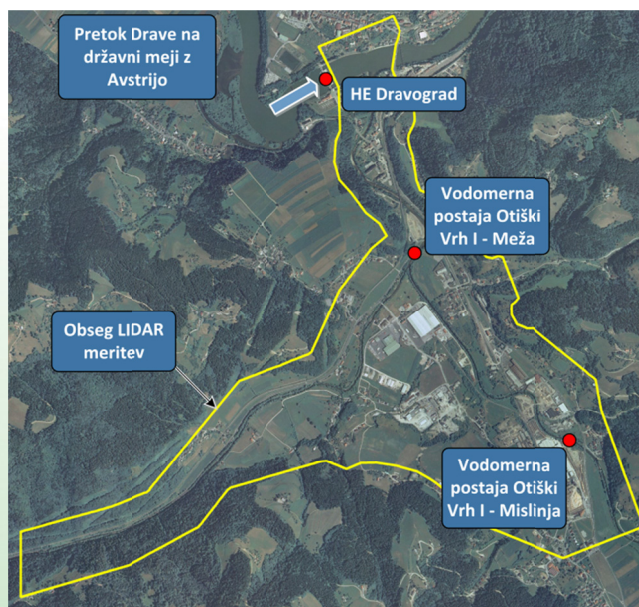
Datum VV	v.p. Otiški Vrh I - Meža			v.p. Otiški Vrh I - Mislinja			Drava
	Q	h	H	Q	h	H	Q
	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m ³ /s]
18.9.2010	97	370	337.67	130	249	347.23	714
11.12.2008	78	265	336.62	33	128	346.02	411
5.10.2005	86	340	337.37	103	219	346.93	1024

Za verifikacijo tako umerjenega hidravličnega modela smo nato uporabili še pretočne krivulje vodomernih postaj, ki so bile izdelane na osnovi podatkov o merjenih gladinah, dobljenih iz arhiva ARSO (2012). Tako so bili zbrani podatki o gladinah in pretokih vseh visokovodnih dogodkov Meže in Mislinje v zadnjih desetih letih. Podatki so prikazani na Slika 22.



Slika 22: Zbrani podatki o gladinah in pretokih visokovodnih dogodkov v zadnjih desetih letih

Slika 23 prikazuje vse lokacije, kjer poteka znotraj obravnavanega območja monitoring pretokov. To sta vodomerni postaji Otiški Vrh I na Meži in Mislinji ter HE Dravograd. Dodaten podatek predstavlja napovedani pretok Drave na državni meji z Avstrijo, ki bo pridobljen v času napovedi visokovodnega dogodka s pomočjo avstrijskega kataloga poplavnih scenarijev.



Slika 23: Prikaz lokacij, kjer poteka monitoring pretokov

HIDRAVLIČNO MODELIRANJE

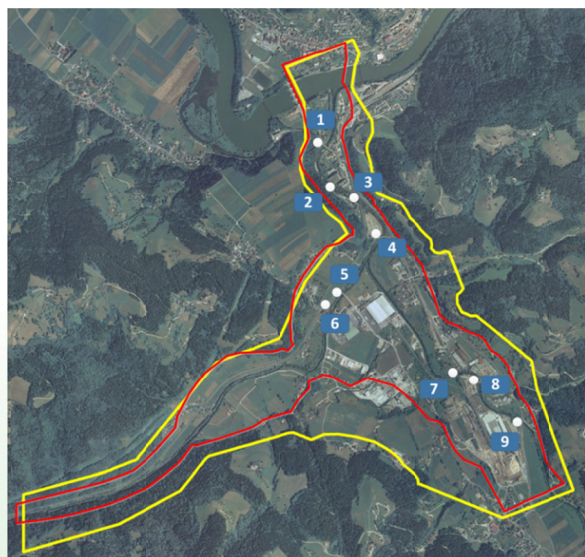
V tem poglavju so predstavljene značilnosti uporabljenih numeričnih hidravličnih modelov (tj. njihovi parametri oz. nastavitve) in rezultati umerjanja.

Vzpostavitev hidravličnega modela

Zaradi hidravličnih razmer na lokacijah mostov, kjer gladina vode že pri 10-letnih vodah doseže spodnji rob mostne konstrukcije, smo za izračun scenarijev uporabili programsko orodje MIKE Flood (DHI, 2012), ki omogoča vnos objektov, kot so npr. mostne konstrukcije, hidravlične razmere pa je možno opisati na teh lokacijah z 1D enačbami.

Model obsega reko Mežo od sotočja z Dravo približno do rečne stacionaže 4,4 km, Mislinjo od sotočja z Mežo do približno rečne stacionaže 2,2 km ter Dravo od pregrade HE Dravograd (upoštevane je profil tik dolvodno od pregrade) do mostu dolvodno od izliva Meže. Obseg modeliranega območja je prikazan na sliki 23.

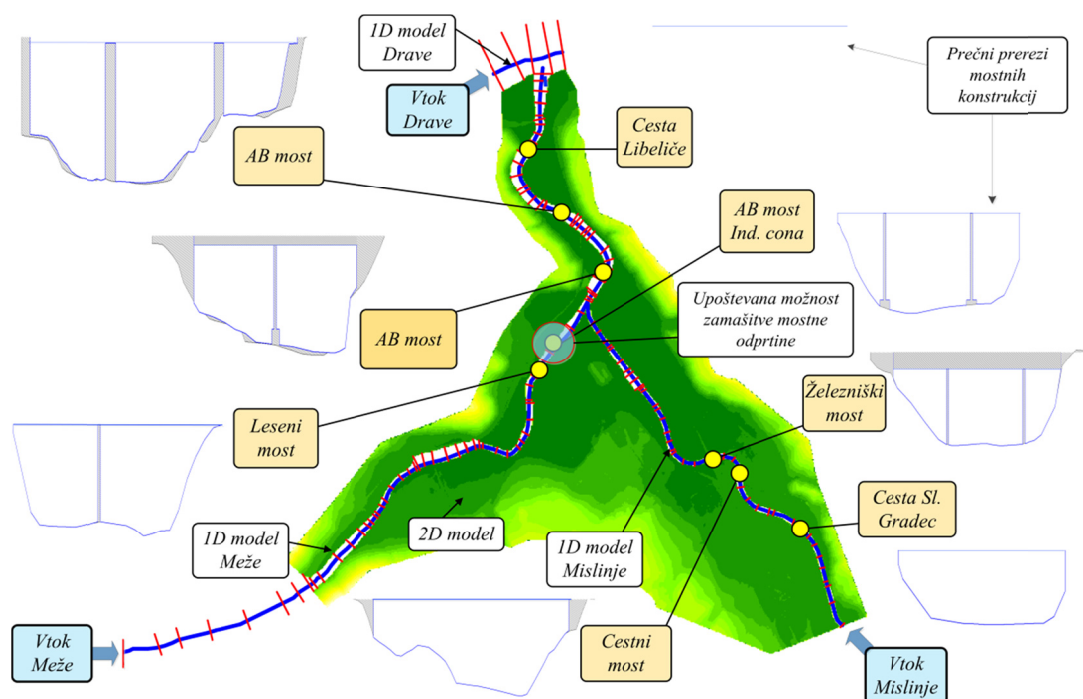
Iz topografskih podatkov sta bila izdelana dva digitalna modela reliefa (DMR), in sicer z rastrom 1 x 1 m in 2 x 2 m. Zaradi optimizacije potrebnega računskega časa simulacij je bil izbran DMR s celicami 2 x 2 m. Na tem DMR je bila z orodjem ArcGIS generirana numerična mreža za MIKE Flood, ki ima velikost celic 4 x 4 m za obvodno območje Meže in Mislinje.



most	stac. [m]	opis
1	410	cesta Libeliče
2	770	brv toplovod
3	920	cesta
4	1242	cesta Ravne
5	1715	cesta industrijska cona
6	1847	opuščeni
7	1048	železniški
8	1235	cesta
9	1655	cesta Slovenj Gradec

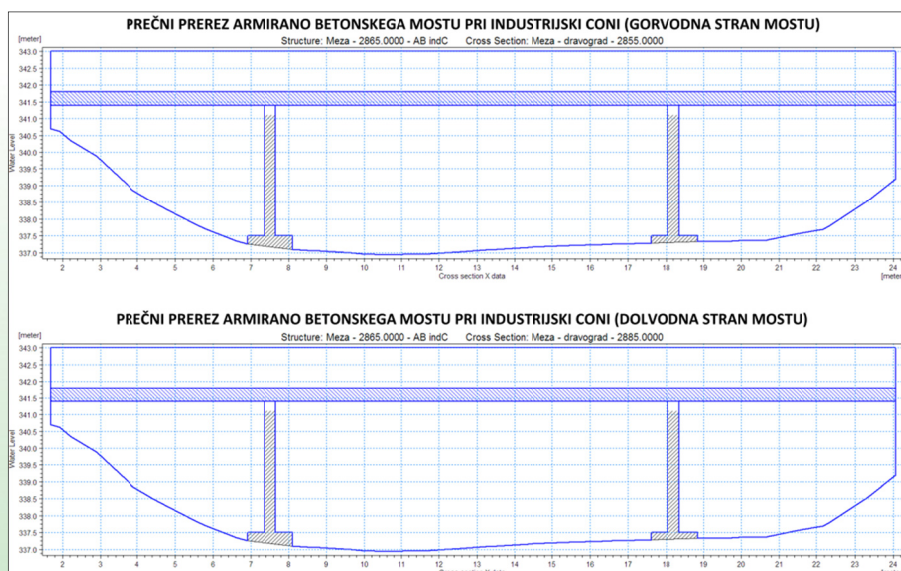
Slika 24: Obseg LIDAR podatkov in hidravličnega modela MIKE Flood (rumena črta) ter dodatnega CCHE2D modela (rdeča črta)

Slika 24 prikazuje obseg digitalnega modela reliefa (rumena črta), ki je tudi obseg hidravličnega modela MIKE Flood, obseg dodatnega modela CCHE, ki je bil uporabljen za oceno ustreznosti rezultatov dobljenih z MIKE Flood-om (rdeča črta), robne pogoje (puščice) in lokacije upoštevanih mostov (pike). Stacionaža mostov na Mislinji (mostovi št. 7, 8 in 9) je merjena od sotočja z Mežo, vrednosti stacionaž pa so vzete iz HEC-RAS modela (Zorič, 2006).



Slika 25: Vzpostavitev modela MIKE Flood in vstavljanje geometrije mostov

Hidravlični model MIKE Flood simulira tok v strugi, kjer prevladujejo hitrosti v vzdolžni smeri, z 1D modelom, medtem ko je tok po poplavnih ravnicah, kjer prevladujejo hitrosti v dveh horizontalnih smereh, modeliran s t.i. 2D modelom. Na ta način lahko združimo ekonomičnost 1D modelov (zaradi manjšega računskega časa) z večjo natančnostjo 2D modelov. Prav tako je mogoče v takšnem modelu lažje vključiti različne notranje robne pogoje kot je npr. mostna konstrukcija, ki predstavlja skupaj z mostnim stebrom oviro toku vode in lahko bistveno vpliva na gorvodne razmere. Slika 25 prikazuje topografijo hidravličnega modela MIKE Flood z vsemi mostnimi konstrukcijami, ki so bile upoštevane v modelu.



Slika 26: Gorvodna in dolvodna stran železniškega mostu na Meži v modelu MIKE Flood

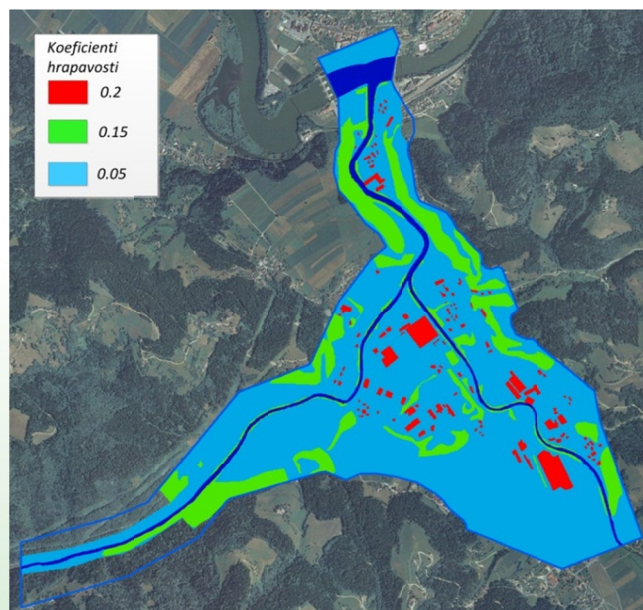
Vpliv mostov na hidravlične razmere je bil v modelu MIKE Flood upoštevan preko 1D enačb. Tako je bila za tok skozi mostne odprtine uporabljena enačba po FHWA (U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration) za potopljeni tok, za tok preko cestne konstrukcije pa enačba po FHWA za široke pragove. Slika 26 prikazuje gorvodni in dolvodni prerez betonskega mostu na Meži, ki se nahaja pri industrijski coni.

Za 2D del modela MIKE Flood so bile vrednosti koeficientov hrapavosti določene po terenskem ogledu in oceni glede na predlagane vrednosti po strokovni literaturi (DVWK, 1991, Mertens, 2006). Tako je bila za območja, kjer se nahajajo razne njive in travniki uporabljena vrednost Manningovega koeficienta 0,05 (preglednica 7), za območja poraščena z gosto vegetacijo (gozd) vrednost 0,1 ter za območja, kjer se nahajajo razni objekti vrednost 0,2. Porazdelitev vrednosti koeficientov je prikazana na sliki 27.

Preglednica 7: Uporabljene vrednosti Manningovega koeficienta hrapavosti za poplavna območja v modelu MIKE Flood

Tip terena	n_G [-]
stavbe	0,200
gozd	0,100
ostalo	0,050

Slika 27 prikazuje porazdelitev uporabljenih vrednosti koeficientov n_G po obravnavanem območju glede na rabo tal. Za območja, kjer se nahajajo večji objekti, je bila uporabljena vrednost 0,2. S tem je bil onemogočen tok vode na teh območjih, kar predstavlja tudi realno sliko, saj je tam tok vode onemogočen zaradi objektov.

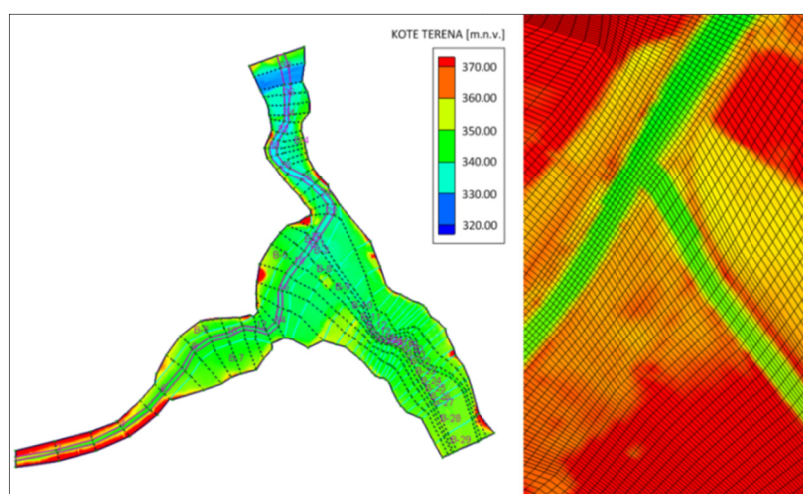


Slika 27: Porazdelitev koeficientov hrapavosti n_G glede na rabo tal

Vrednosti koeficientov hrapavosti na območju struge so bile umerjene glede na terenske meritve pretokov in gladin vode pri preteklih visokovodnih dogodkih.

Vrednosti znotraj struge smo spreminjali tako dolgo, dokler rezultati niso dovolj dobro ustrezali omenjenim meritvam gladin. Postopek umerjanja in verifikacije izdelanih hidravličnih modelov je podrobneje opisan v naslednjem poglavju Umerjanje in verifikacija modelov.

V hidravličnem smislu predstavljata obe sotočji (Meža in Mislinja ter Meža in Drava) s pripadajočim območjem izrazito dvodimenzionalen (2D) problem. Za ustrezno oceno pravilnosti rezultatov, dobljenih z modelom MIKE Flood, so bili scenariji analizirani še s pomočjo programskega orodja CCHE2D (CCHE, 2012), ki omogoča 2D simulacijo toka s prosto gladino. Sicer gre za t.i. »beta« verzijo programa, ki se redno izboljšuje in je brezplačno dostopna na spletni strani organizacije NCCHE, toda program so doslej uspešno uporabili pri različnih nalogah (o čemer pričajo reference proizvajalca) in se je izkazal za zanesljivega tudi v različnih analizah (ujemanje z rezultati MIKE Flood simulacij mejne Mure v sklopu projekta DRA-MUR-CI). Model CCHE2D sestoji iz modula CCHE-MESH za generiranje računske mreže in uporabniškega vmesnika CCHE-GUI.



Slika 28: Numerična mreža CCHE2D (levo), detajl sotočja Meže in Mislinje (desno)

Opomba: Na detajlu desno so zaradi boljše vidljivosti uporabljene drugačne barve kot na sliki levo.

V končni mreži je $283 \times 1200 = 339.600$ vozlišč. Opisana numerična mreža (slika 28) je bila izbrana kot optimum med natančnostjo simulacije in za to potrebnim računskim časom ter računalniškim spominom.

Modelirano območje je sicer manjše od npr. modelov mejne Mure (ki so tudi obravnavani v projektu DRA-MUR-CI), vendar pa manjša korita Meže in Mislinje zahtevajo manjše celice in zato manjše računske korake. Slednje velja zlasti za simulacije večjih pretokov. Izkazalo se je, da je največji dopustni računski korak 2 s in da je hitrost računa za primer z dotoki Q_{100} približno 25 korakov / min. To pomeni, da se vsako minuto računanja izvede simulacija 50 s v naravi, kar narekuje dolge računske čase. Da bi jih minimizirali, smo pri simulacijah uporabljali t.i. »hot start«, kar pomeni, da smo nek rezultat uporabili za izračun naslednjega scenarija. Tako je vsak naslednji scenarij temeljil na rezultatih predhodnega.

Vrednosti koeficientov hrapavosti za območje izven struge so bile izbrane enake kot za model MIKE Flood. Vrednosti koeficientov na območju strug pa so bile umerjene s postopnim spreminjanjem vrednosti Manningovega koeficienta hrapavosti n_G v strugi Meže in Mislinje, glede na razmere v času visokih vod med leti 2005 in 2010, kot jih podaja preglednica 5.

Poudariti je treba, da razpoložljiva verzija CCHE2D kljub precej širokemu naboru možnosti simulacij ne omogoča modeliranja mostov in prepustov, zato je na lokacijah mostov upoštevan zgolj teren brez premostitvenih konstrukcij. Mostne stebre je bilo možno modelirati z dvigom celic na lokacijah, kjer se nahajajo mostni stebri. Pri tem seveda pride do določene napake, saj celice niso dovolj majhne, da bi bilo mogoče natančno zajeti geometrijo mostnih stebrov. Bolj kot nenatančno modeliranje mostnih stebrov je problematično to, da so izračunane gladine modela CCHE2D na nekaterih lokacijah mostov že pri Q_{10} višje od spodnjega oboda mostne konstrukcije – kote slednjih je možno razbrati iz prečnih prerezov HEC-RAS študije VGB (Zorič, 2006). To pomeni, da v okolici omenjenih mostov razmere ne morejo biti simulirane pravilno. Izračunane kote gladin za nekatere značilne primere so prikazane v preglednici 8.

Preglednica 8: Izračunane kote gladin (umerjeni model CCHE2D) na lokacijah mostov

reka	most	HEC-RAS model VGB Maribor 2011			CCHE2D gladine [m n.m.] za dotoke:			
		stac. [m]	opis mostu	min. kota mostu	vsi Q_{10}	vsi Q_{20}	vsi Q_{50}	vsi Q_{100}
Meža	1	410	cesta Libeliče	336.1	336.12	336.87	337.65	338.31
	2	770	brv toplovod	336.8	336.66	337.23	337.88	338.47
	3	920	železniški	342.7	336.70	337.32	337.99	338.53
	4	1242	cesta Ravne	339.3	338.14	338.48	339.25	339.89
	5	1715	cesta ind. cona	341.1	339.66	340.18	340.37	340.99
	6	1847	opuščeni	341.2	340.10	340.56	341.08	341.49
Mislinja	7	1048	železniški	346.2	344.75	344.82	345.13	344.87
	8	1235	cesta	345.4	346.21	346.33	346.66	346.71
	9	1655	cesta Sl. Gradec	349.0	348.22	348.34	348.76	348.87

Dodatno težavo modela CCHE2D predstavlja tudi modeliranje ne-efektivnega dela prečnega prereza zaradi zagodenega plavja. Modeliranje slednjega je mogoče le posredno, pa še to v omejenem obsegu, in sicer s spreminjanjem višinske koordinate vozlišč modelnega dna. Blokado se torej lahko modelira le z grebenom sredi struge, kar pa je nezadostna aproksimacija dejanskih razmer. Zaradi opisane problematike z modeliranjem mostov je bil model CCHE2D uporabljen le kot primerjava z rezultati, dobljenimi iz modela MIKE Flood.

Umerjanje in verifikacija modelov

Hidravlični model območja Dravograjskega vodnega vozlišča je bil umerjen s pomočjo merjenih gladin preteklih visokovodnih dogodkov. Tako so bili iz arhiva ARSO (ARSO, 2012) zbrani podatki o gladinah in pretokih največjih visokovodnih dogodkov v preteklih desetih letih in tisti, za katere je bila poznana koincidenca vseh treh vodotokov za dani dogodek (Meže, Mislinje in Drave). V fazi umerjanja smo modelom spreminjali koeficiente hrapavosti ter koeficiente izgub na mostovih tako dolgo, dokler niso izračunane gladine na lokacijah obeh vodomernih postaj dovolj dobro sovpadale z merjenimi gladinami. Pri tem smo ugotovili, da ima na lokaciji vodomerne postaje Otiški Vrh I-Meža na gladine v strugi velik vpliv mostna konstrukcija, ki se nahaja približno 50 m dolvodno od vodomerne postaje. Z analizo občutljivosti smo ugotovili, da vrednosti koeficientov hrapavosti na tej lokaciji zaradi zaježitve z mostno konstrukcijo nimajo velikega vpliva na potek gladine. Večji vpliv pa ima sama mostna konstrukcija. Tako je bila vodomerna postaja Otiški Vrh I-Meža uporabljena v večji fazi za umerjanje

koeficientov izgub mostne konstrukcije, enake vrednosti pa so bile nato uporabljene za vse ostale mostove.

Podatki o gladinah na v.p. Otiški Vrh I-Mislinja pa so bili uporabljeni za umerjanje koeficientov hrapavosti. Zaradi predpostavke, da se po strukturi materiala v dnu struge Meže in Mislinje bistveno ne razlikujeta, je bila vrednost umerjenega koeficienta hrapavosti nato uporabljena za vse modelirane struge. Koeficienti na območju struge Drave so bili določeni po strokovni oceni (DVWK, 1991, Mertens, 2006), ker smo ugotovili, da koeficienti hrapavosti tako ali tako nimajo velikega vpliva na potek gladine, saj je v večji meri ta odvisna od spodnjega robnega pogoja (zaradi precej kratkega modeliranega odseka Drave).

Podatki za robne pogoje pa so bili pridobljeni iz drugih hidravličnih študij (Hojnik, 2009). Tako je bil določen koeficient hrapavosti na območju struge Meže, Mislinje in Drave v modelu MIKE Flood $n_G=0,034$. Spodnja preglednica prikazuje primerjavo izračunanih in izmerjenih gladin z modelom MIKE Flood za tri pretekle visokovodne dogodke.

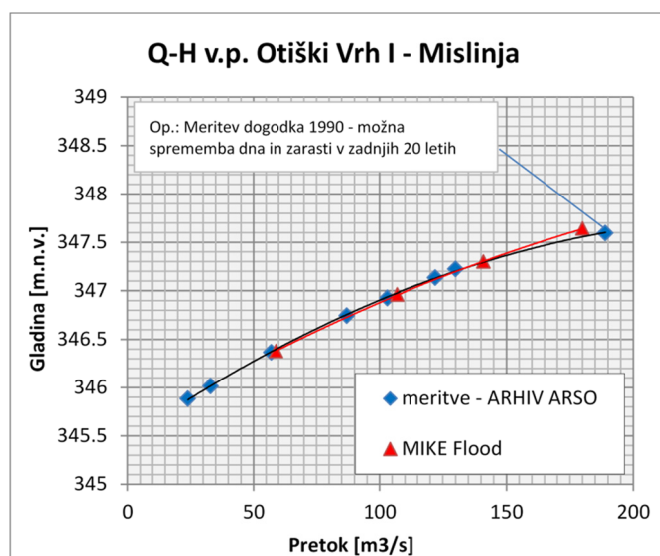
Preglednica 9: Primerjava izmerjenih in izračunanih gladin preteklih dogodkov na lokacijah v.p.

Datum VV	v.p. Otiški Vrh I - Meža				v.p. Otiški Vrh I - Mislinja				Drava
	Q	h	Hmerjeno	Hizračunano	Q	h	Hmerjeno	Hizračunano	Q
	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m.n.v.]	[m ³ /s]	[m]	[m.n.v.]	[m.n.v.]	[m ³ /s]
18.9.2010	227	370	337.67	337.61	130	249	347.23	347.24	714
11.12.2008	111	265	336.62	336.72	33	128	346.02	345.96	411
5.10.2005	189	340	337.37	337.36	103	219	346.93	346.94	1024

Iz preglednice 9 je razvidno, da je odstopanje izračunanih gladin od merjenih od 1 do 8 cm. Glede na to, da imajo tudi izmerjene gladine neko negotovost, lahko rečemo, da je model za te vrednosti pretokov ustrezno umerjen.

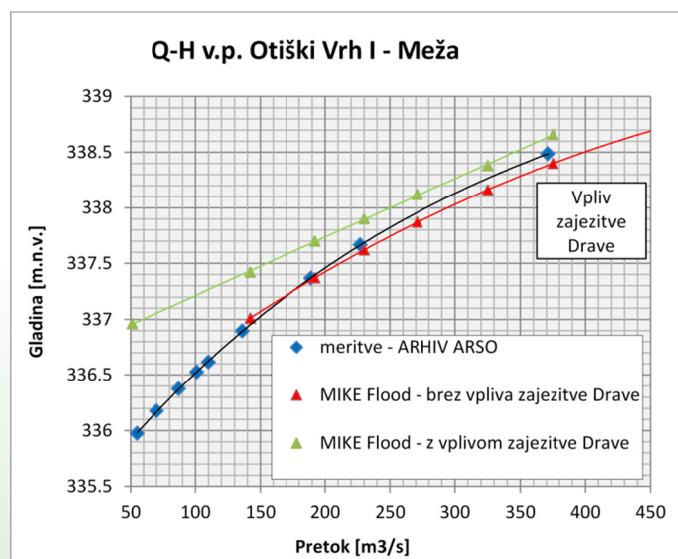
V nadaljnji fazi je bil hidravlični model še ustrezno verificiran s pomočjo preostalih merjenih gladin visokovodnih dogodkov, ki so ali starejši od 10 let ali pa ni bilo poznane koincidence vseh treh vodotokov, zato so bila od teh preostalih meritev tudi pričakovana določena odstopanja rezultatov. Slika 29 prikazuje primerjavo izračunanih in izmerjenih gladin v odvisnosti od trenutnega pretoka na lokaciji vodomerne postaje Otiški Vrh I-Mislinja. Na tej lokaciji smo ugotovili, da ima pri večjih pretokih vpliv na gladine tudi dolvodni most, ki do določene mere zajezuje Mislinjo. Ta vpliv mostu je bil v izračunih že upoštevan in tako dajejo rezultati, prikazani na sliki 29, realno sliko o gladinah. Razvidno je, da izračunane gladine pri višjih pretokih (od Q_{20} naprej) odstopajo za maksimalno 10 cm. Prav tako je treba poudariti, da meritev gladine pri dogodku iz leta 1990, ki je prikazana na sliki 29, ne more biti upoštevana za umerjanje modela, zaradi možnih sprememb geometrije struge in velikosti obrežne zarasti v zadnjih 20 letih. Zato je bila ta vrednost uporabljena samo za verifikacijo modela.

Podobno je bil model verificiran še s pomočjo preostalih merjenih gladin na lokaciji v.p. Otiški Vrh I-Meža, zbranih iz arhiva ARSO (2012), ki niso bile upoštrevane v fazi umerjanja bodisi zaradi pomanjkanja informacij o koincidencah vseh treh vodotokov bodisi zaradi zastarelosti podatka. V fazi verifikacije smo ugotovili določeno odstopanje izračunanih gladin od merjenih (rdeča in črna krivulja na sliki 30), zato je bila izdelana analiza vpliva pretoka Drave na zajezitev Meže in s tem na gladine na lokaciji v.p. Otiški Vrh I-Meža. Pri tem smo primerjali gladine vode pri določenih pretokih Meže za stanje, ko je pretok Drave zelo majhen (Q_2) in za stanje, ko je ta pretok večji (Q_{100}). Tako smo ugotovili, da ima Drava lahko velik vpliv na gladine vode v Meži, še posebej pri nižjih pretokih Meže.



Slika 29: Izračunane in izmerjene gladine v odvisnosti od pretoka na lokaciji v.p. Otiški Vrh I - Mislinja

Slika 30 prikazuje primerjavo izračunanih in izmerjenih gladin za različne pretoke Meže in za različne koincidence Meže in Drave. Tako rdeča krivulja predstavlja izračunano pretočno krivuljo, kjer je upoštevani pretok Drave Q_2 , medtem ko predstavlja zelena krivulja izračunano pretočno krivuljo, kjer je upoštevani pretok Drave Q_{100} . Seveda se še večji vpliv zaježitve pozna pri pretokih Drave, ki so večji od Q_{100} (pri pretoku Drave Q_{500} je gladina na lokaciji v.p. Otiški Vrh I-Meža skoraj za 1 m višja od gladine, kjer zaježitev ni upoštevana).



Slika 30: Izračunane in izmerjene gladine v odvisnosti od pretoka na lokaciji v.p. Otiški Vrh I - Meža

Iz verifikacije hidravličnega modela smo ugotovili, da je ta ustrezno umerjen in da daje dovolj natančne rezultate. Iz zgornjih slik pa je razvidno, da je odstopanje izračunanih gladin od merjenih, pri pretokih v rang 100 letnih visokih voda na lokacijah vodomernih postaj, maksimalno 10 cm.

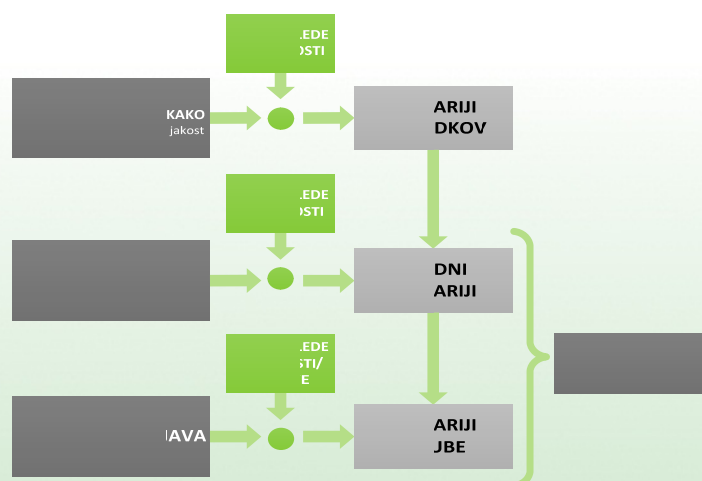
REZULTATI HIDRAVLIČNIH SIMULACIJ

Za prikaz poplavnih scenarijev so bili uporabljeni rezultati hidravličnega modela MIKE Flood. Izračunanih je bilo 60 scenarijev, kjer so bile upoštevane različne koincidence pretokov Meže, Mislinje in Drave. V katalog poplavnih scenarijev pa so bili dodani še scenariji, v katerih je upoštevana zamašitev mostne konstrukcije, ki se nahaja gorvodno od sotočja Meže in Mislinje pri industrijski coni. Kot delna zamašitev mostne odprtine s plavjem je bila upoštevana razširjena debelina mostnih stebrov za 3 m. S tem se je v povprečju vodna gladina gorvodno od mostu dvignila za 40 cm.

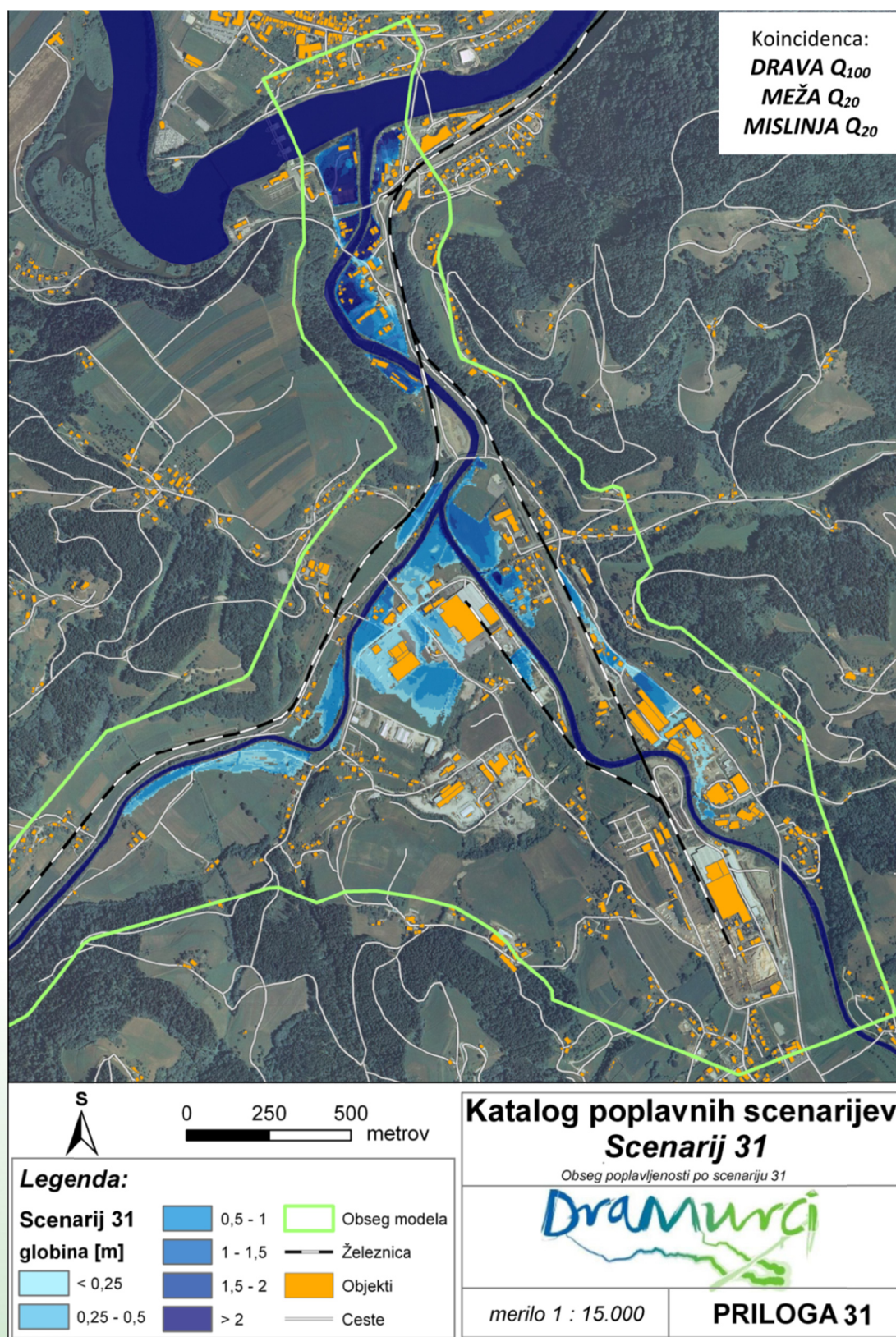
Model CCHE 2D je bil uporabljen samo za dodatno oceno natančnosti in medsebojno primerjavo rezultatov, dobljenih z MIKE Flood orodjem. Ugotovili smo, da se rezultati obeh modelov dobro ujemajo za primere scenarijev, kjer gladina voda še ne doseže spodnjega oboda mostnih konstrukcij. To so scenariji, ki obsegajo pretoke Meže in Mislinje od Q_2 do Q_{10} . Ujemanje pri teh scenarijih je bilo zadovoljivo, saj je bilo s CCHE 2D mogoče modelirati mostove samo kot mostne stebre, kjer smo v numerični mreži izločili celice, ki se nahajajo na teh lokacijah. Seveda nastane pri tem napaka že zaradi velikosti celic, s katerimi ni mogoče dovolj natančno zajeti geometrije mostnih stebrov. Pri scenarijih, kjer nastopijo večji pretoki od Q_{10} , pa medsebojna primerjava med modeli ni več smiselna, saj s CCHE2D ni mogoče simulirati skupnega pretoka skozi mostno odprtino in prelivanja čez mostno konstrukcijo (cesto) in zato rezultati ne dajo ustrezne ocene obsega poplavljenosti.

Rezultati modela MIKE Flood obsegajo globine in dosegi vode pri vsakem scenariju. Glavne značilnosti posameznih poplavnih scenarijev so predstavljene grafično, s slikami obsega in globin vode pri posameznem scenariju. Na kartah so prikazani tudi razni objekti (stavbe, ceste, ipd.) ter obseg modeliranega območja (območje LIDAR posnetka oz. modela MIKE Flood). Vsi rezultati, so predstavljeni na spletni strani projekta DRA-MUR-CI (<http://www.dramurci.eu>). Dva primera (globine in obseg poplavljenosti pri scenarijih 31 in 46) pa sta prikazana v nadaljevanju (sliki 32 in 33), da so vidne vsebine posameznih kart.

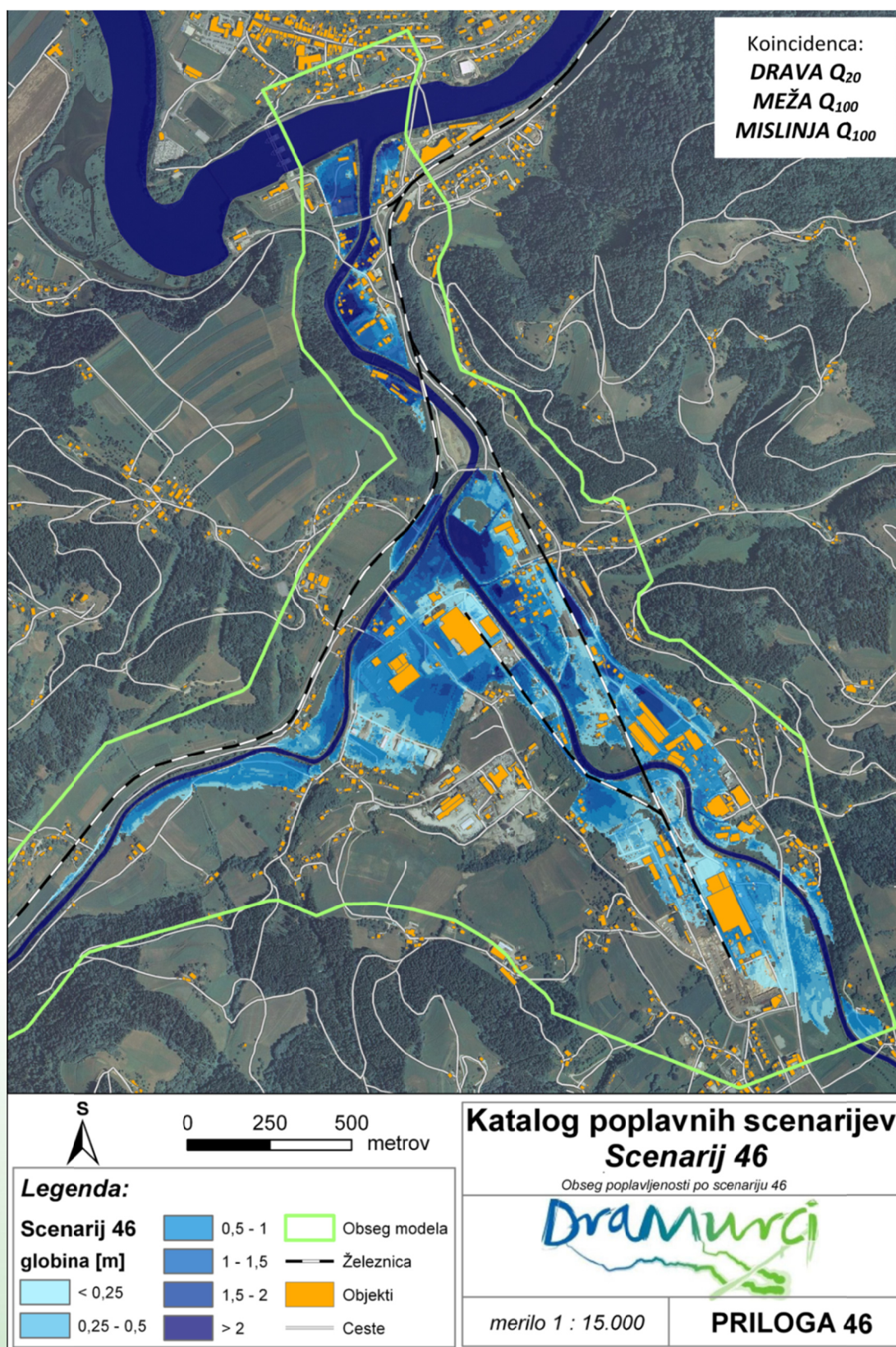
Tako dobljeni poplavni scenariji prikazujejo poplavno nevarnost, s pomočjo ocene ranljivosti je možno določiti še ogroženost in tveganje, kar bi predstavljalo še nadgradnjo dobljenih scenarijev. Povezavo med pojmi prikazuje slika 31.



Slika 31: Povezava med pojmi tveganja in kriznega ukrepanja (Prešeren in sod., 2012, str. 7)



Slika 32: Primer prikaza globin in obsega poplavljenosti pri scenariju 31



Slika 33: Primer prikaza globin in obsega poplavljenosti pri scenariju 46

ZAKLJUČEK

Za hidravlično modeliranje je bilo uporabljeno orodje MIKE Flood, za ustrezno oceno rezultatov pa je bil vzporedno izdelan še model s programskim orodjem CCHE 2D. Oba modela sta bila ustrezno umerjena in verificirana s pomočjo meritev gladin na lokacijah vodomernih postaj ob preteklih visokovodnih dogodkih. Vsi izbrani poplavni scenariji so bili tako preračunani s pomočjo teh modelov.

Ugotovili smo, da ima Drava lahko velik vpliv na gladine v strugi Meže, s tem pa dodatno ogroža bližnja naselja. Vpliv Drave pri 100-letnih vodah se pozna vse do sotočja Meže in Mislinje, pri 500-letnih pa še višje.

Izdelani katalog poplavnih scenarijev za izlivno območje Meže bo v prihodnosti lahko uporabljen za aktivnosti civilne zaščite in dovolj hitro opozarjanje na poplave na obravnavanem območju. Karte poplavne nevarnosti, ki se izdelujejo za prostorsko načrtovanje, namreč ne vsebujejo podatkov o koincidenzi različnih pritokov, kar pa je v tem primeru bistvenega pomena. S poznavanjem najbolj ogroženih območji bo mogoče ob nastopu visokih voda ustrezno ukrepati, s tem pa bo zagotovljena boljša zaščita pred izrednimi visokovodnimi dogodki.



Slika 34: Sotočje Meže in Drave (Drava lahko ima velik vpliv na gladine v strugi Meže)

VIRI IN LITERATURA

- [1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft (DVWK). 1991. Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. DVWK Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 220. 1991. Hamburg, Berlin, Verlag Paul Parey: 5 p.
- [2] Geoin d.o.o. 2009. LIDAR posnetek obvodnega območja Meže
- [3] Hojnik, T. 2007. Zajezne gladine posameznih HE na Dravi. Poročilo, VGB Maribor
- [4] Kovačič, I., Burja, D. 2005. Hidrološka študija Meže in Mislinje s Suhadolnico - št. C – 373. Hidrološko poročilo, IZVRS
- [5] Mertens, W. 2006 Hydraulisch-sedimentologische Berechnungsverfahren naturnah gestalteter Fließgewässer – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis. Hennef, DWA: 59.p.
- [6] Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomaska naloga.- UNI. Ljubljana, UL, FGG, Študij Vodarstvo in komunalno inženirstvo.
- [7] Slatinšek, I. 2009. Rečni profili bazena HE Vuzenica. Geodetski biro Iztok Slatinšek, d.o.o.
- [8] Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR). 2005. Regijski načrt zaščite in reševanja ob poplavih na območju koroške regije – verzija 2.0. URSZR, Slovenj Gradec
- [9] Zorič, Z. 2006. Meža – izboljšanje poplavne varnosti in stabilnosti struge na Ravnah in Prevaljah – načrt ureditve vodotoka. Poročilo, VGP Drava Ptuj

Internetni viri

- [10] Agencija RS za okolje (ARSO), www.arso.gov.si (2012)
- [11] Alemseged, T. H. 2005. Integrating Hydrodynamic Model and High Resolution DEM For Flood Modelling. Enschede, Netherlands. 84 str.
http://www.itc.nl/library/Papers_2005/msc/wrem/haile.pdf#search=%22Integrating%20Hydrodynamic%20Model%20and%20High%20Resolution%20DEM%20For%20Flood%20Modelling.%22 (2012)
- [12] CCHE2D webpage: <http://www.ncche.olemiss.edu/software> (2012)
- [13] DRA–MUR–CI: <http://www.dramurci.eu/> (2012), spletna stran projekta
- [14] Lagasse P. F., Clopper, P. E., Zevenbergen, L. W., Spitz W. J., Girard, L. G. 2010. Effects of Debris on Bridge Pier Scour. Washington, D.C., American Association of State Highway and Transportation Officials: 115 str.
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_653.pdf (2011).
- [15] MIKE by DHI webpage: <http://www.mikebydhi.com> (2012)

POVZETEK

V sklopu projekta DRA-MUR-CI je bila podrobneje obravnavana problematika izlivnega območja Meže. Ker gre za stičišče Meže (s pritokom Mislinjo) in Drave pri Dravogradu, to območje imenujemo Dravograjsko vodno vozlišče. Na tem območju se v času visokih voda pojavljajo različni procesi (poplave, zamašitev s plavjem, dotok hudourniških plavin ipd.), zato je lahko procesom poplavljanja izpostavljenih več objektov. Za osveščanje prebivalstva, uporabnikov prostora, ustrezno reagiranje javne vodne gospodarske službe ob poplavah pa tudi načrtovalcev rabe prostora in dejavnosti civilne zaščite, so zato potrebne podrobnejše hidravlične analize ob pojavi pretokov različnih povratnih dob.

V obravnavanih scenarijih so bile upoštevane različne možne koincidence pretokov Drave, Meže in Mislinje, ki bi lahko nastopile ob pojavu visokih voda, ti scenariji pa so bili analizirani s pomočjo hidravličnega modeliranja. Prav tako so bili določeni še dodatni scenariji (»kaj bi lahko šlo narobe«), kot so npr. zamašitev premostitev, prepustov, obravnavani pa so bili le po oceni najbolj kritični scenariji. Hidravlični model, s katerim so bile izvedene simulacije poplavnih scenarijev, je obsegal sotočje vseh treh rek in še približno 3 km odseka Meže in del pritoka Mislinje gorvodno od sotočja, na katerega bi lahko vplivala Meža. Za modeliranje je bilo uporabljeno programsko orodje MIKE Flood. Ker pa ima vsako orodje svoje pozitivne in negativne lastnosti, je bila opravljena še ocena oz. natančnost končnih rezultatov z drugim programskim orodjem – 2D modelom CCHE2D, ki uporablja popoln 2D pristop k modeliranju, vendar pa kljub precej širokemu naboru možnosti simulacij, ne omogoča modeliranja mostov in prepustov. Ker se na obravnavanem območju nahaja 9 mostnih konstrukcij, nastane velik problem pri izračunih scenarijev s CCHE, ko voda že doseže spodnji obod mostne konstrukcije. Zato za te scenarije primerjalni izračuni s CCHE niso bili mogoči.

Prikazani rezultati izvirajo iz uporabe programskega orodja MIKE Flood, ki združuje 1D in 2D pristop modeliranja, v strugi pa omogoča definirati ustrezne notranje pogoje, ki učinkovito predpisujejo tako tok skozi mostno odprtino kot tudi samo prelivanje čez mostno konstrukcijo. S pomočjo opisanih hidravličnih modelov je bilo simuliranih 60 poplavnih scenarijev, rezultati simulacij pa so bili na koncu vključeni v katalog poplavnih scenarijev. Število scenarijev presega predvidenih (najmanj) 50 scenarijev, saj smo ocenili, da prinašajo pomembne informacije o stanju na Meži in ob njej.

Za izračune posameznega scenarija je seveda treba ustrezno oceniti in napovedati pretok vseh treh rek, to so Meže, Mislinje in Drave. Pretoka Meže in Mislinje je bilo možno v določenem trenutku pridobiti iz vodomernih postaj, ki se nahajata gorvodno od sotočja, medtem ko je pretok Drave navezan na Poplavne scenarije na avstrijskim delu porečja Drave na podlagi prognoze visokovodnega vala, ki je rezultat Poplavnih scenarijev avstrijskih partnerjev projekta DRA-MUR-CI (izdanih v posebni brošuri). S povezovanjem rezultatov slovenskih in avstrijskih partnerjev je dosežen cilj projekta DRA-MUR-CI, saj bo mogoče v prihodnje na teh strokovnih podlagah ustrezno izbrati poplavni scenarij in oceniti pričakovano območje poplavljenosti v času nastopa visokovodnega vala.

Ključne besede: poplavni scenariji, prognoza poplav, hidravlično modeliranje, Dravograjsko vodno vozlišče, Meža, Mislinja, Drava

DRA-MUR-CI partnerstvo

VODILNI PARTNER - UM FG

Univerza v Mariboru
Fakulteta za gradbeništvo
Maribor, Slovenija
<http://kamen.uni-mb.si>

PROJEKTNI PARTNERJI

ASL FA 19B

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 19B
Schutzwasserwirtschaft und Bodenhaushalt
Graz, Austria
<http://www.verwaltung.steiermark.at>

ASL FA 13C

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 13C
Naturschutz
Graz, Austria
<http://www.verwaltung.steiermark.at>

AKL FA18

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 18
Wasserwirtschaft
Klagenfurt, Austria
<http://www.ktn.gv.at/>

VGP Mura d.d.

Vodnogospodarsko podjetje Mura
Murska Sobota, Slovenija
<http://www.sgp-pomgrad.si/vodnogospodarsko-podjetje>

UL FGG

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Vodnogospodarski inštitut pri FGG
Ljubljana, Slovenija
http://www.fgg.uni-lj.si/KMTe/VGI_slo.html

ARSO

Ministrstvo za okolje in prostor
Agencija Republike Slovenije za okolje
Ljubljana, Slovenija
<http://www.arso.gov.si/>

MKO

Ministrstvo za kmetijstvo in okolje
Center za Dravo
Slovenska 40
Maribor, Slovenija
<http://www.mko.gov.si/>

VGP Drava Ptuj d.d.

Vodnogospodarsko podjetje Drava Ptuj
Ptuj, Slovenija
<http://www.vgp-drava.si/>

Projekt DRA-MUR-CI je delno financiran od Evropske Unije, iz sklada za regionalni razvoj.
Operacija je bila izvedena v okviru SI-AT 2007-2013.



Naložba v vašo prihodnost

Operacijo delno financira Evropska unija
Evropski sklad za regionalni razvoj



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI
RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO**



Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



VGI - Vodnogospodarski inštitut pri UL FGG