

## ZAJEDNIČKA BILATERALNO USKLAĐENA METODOLOGIJA HIDRAULIČKOG MODELIRANJA GRANIČNIH RIJEKA

(svibanj 2018)

Zajednička bilateralno usklađena metodologija hidrauličkog modeliranja za izradu karata opasnosti od poplava predstavlja predviđeni pristup ka hidrauličkom modeliranju za optimizaciju planiranih mjera i za izradu karata opasnosti od poplava graničnih rijeka Kupe, Sutle, Drave, Mure, Dragonje i Bregane. U slučaju, da se prilikom izrade i upotrebe hidrauličkih modela neki od prihvaćenih pristupa pokažu iz bilo kakvih razloga neoptimalni, Zajednička bilateralno usklađena metodologija hidrauličkog modeliranja će biti u skladu sa potrebama odgovarajuće prilagođena.

### Geometrijska konfiguracija:

Hidraulički modeli graničnih rijeka Kupe, Sutle, Drave, Mure, Dragonje i Bregane predstavljaju osnovni alat za izvedbu usporedbe i optimizacije planiranih mjera za smanjenje opasnosti od poplava na razmatranim područjima, te za izradu karata opasnosti od poplava. Modeli su izrađeni u programskom okruženju MIKE FLOOD (DHI) sa upotrebom fiksne odn. fleksibilne mreže računskih ćelija. Veličina računskih ćelija prilagođena je konfiguraciji i veličini pojedinog ciljnog područja. Modeli kroz aktivnu izmjenu toka kombiniraju jednodimenzionalni tok u koritu vodotoka sa dvodimenzionalnim tokom po poplavnim površinama. Kao podloga za izradu modela korita vodotoka poslužili su postojeći i u okviru projekta FRISCO1 dodatno izmjereni riječni poprečni profili osnovnih vodotoka i značajnih pritoka, dok su bili za konstrukciju terena izvan riječnih korita upotrijebljeni prvenstveno podaci LIDAR DMT 1x1m, a na područjima, na kojima isti ne postoje bili su upotrijebljeni podaci iz postojećeg DMT 12,5 x 12,5 m. Pošto to ponegdje diktira njihov utjecaj na tok razmatranih vodotoka, mnogobrojni detalji su modelirani puno složenije i preciznije nego to omogućava navedeni pristup. To se izvelo na osnovu terenskih posmatranja i mjerenja, te korištenja projekata izvedenog stanja objekata gdje god je to bilo moguće.

Geometrijske konfiguracije modela će biti isporučene svakoj državi prilagođene njenim službenim visinskim i geodetskim sustavima (za Hrvatsku: HTRS96/TM i HRVS71, za Sloveniju: D96/TM i visinski sustav s ishodištem u Trstu)

### Način modeliranja dinamike toka i pritoka:

- **Usvojena vrsta toka:**

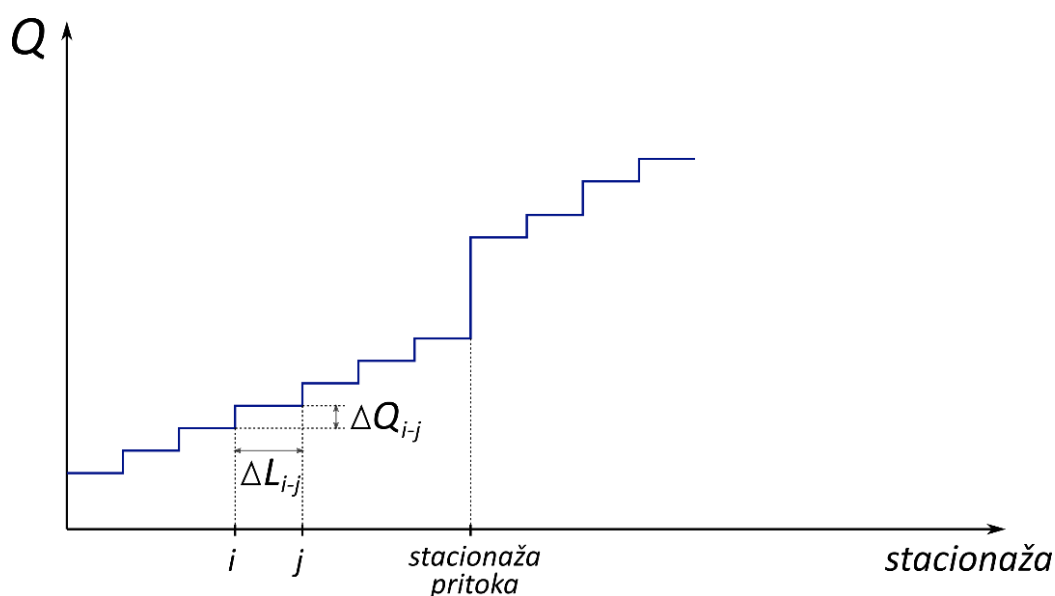
Za svih šest graničnih slivova u izradi su dinamički hidraulički modeli. U svim se slučajevima modelira nestacionarno tečenje u skladu sa hidrološkim podlogama, kako ih određuju hidrološke analize Studija o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava na graničnim slivovima rijeka Kupe, Sutle, Drave, Mure, Dragonje i Bregane.

- **Uzvodni rubni uvjeti:**

Usvojeni će biti projektni velikovodni hidrogrami za dogovorene hidrološke scenarije, određene u Zajedničkoj bilateralno usklađenoj metodologiji izrade karata opasnosti od poplava, dok njihov

oblik i vrijednosti određuju hidrološke analize Studija o prekogranično usklađenom upravljanju rizicima od poplava na graničnim slivovima rijeka Kupe, Sutle, Drave, Mure, Dragonje i Bregane.

- **Unutrašnji rubni uvjeti** (povećavanje protoka duž vodotoka):
  - Pritoke razmatranog vodotoka su u većini slučajeva modelirane kao točkovni izvori sa nestacionarnim tečenjem, dok su neke veće i značajnije pritoke modelirane kao zasebne grane slivova na način poput osnovnog vodotoka.
  - Protok duž vodotoka mijenja se (povećava) stepenasto po odsjecima. Način mijenjanja protoka određuju hidrološke studije slivova.



*Shema povećavanja protoka duž vodotoka*

- **Nizvodni rubni uvjeti:** Nizvodni rubni uvjeti razlikuju se po slivovima i formiraju se obzirom na konfiguraciju pojedinog vodotoka. U slučaju gdje se razmatrani vodotok slijeva u odvodnik (Sava, Jadransko more) nizvodni rubni uvjet predstavlja odgovarajuće stanje odvodnika, dok se u ostalim slučajevima hidraulički modeli produžuju u dodatni odsjek odgovarajuće dužine, koji osigurava uspostavljanje pravih hidrauličkih uslova na nizvodnom graničnom profilu ciljnog područja.

## Vrste poplava

U okviru projekta FRISCO1 razmatraju se samo fluvijalne (riječne) poplave, dok se poplave iz mogućih ostalih izvora (oborinske, morske i druge vrste poplava) ne razmatraju. Scenariji probijanja nasipa ili oštećenja drugih vodoprivrednih objekata nisu predmet razmatranja projekta FRISCO1.

## Važenje rezultata

Područje važenja rezultata hidrauličkih modela projekta FRISCO1 je ograničeno linijama ciljnih područja razmatranih graničnih vodotoka, dok sami modeli ponegdje nadilaze taj obuhvat i pokrivaju mnogo šire područje. Time se osigurava pravilan utjecaj površina i objekata sa vanjskih područja na formiranje poplavnih tokova na ciljnim područjima razmatranih vodotoka projekta FRISCO1.

Rezultati projekta FRISCO1 trebaju biti detaljno obrazloženi kako bi mogli naknadno biti korišteni, odnosno prilagođeni i dopunjeni sukladno nacionalnim metodologijama za Plan upravljanja rizicima od poplava

## Isporuka modela Naručitelju

Izvoditelj će isporučiti modele u digitalnoj formi sa svim potrebnim datotekama koje omogućuju njihovo daljnje korištenje nakon završetka Projekta a kako bi se moglo provesti dodatno modeliranje za potrebe usklađivanja sa nacionalnim metodologijama koje se koriste u sklopu Plana upravljanja rizicima od poplava.

Modeli koji budu isporučeni Naručitelju trebaju sadržati odgovarajuću prateću dokumentaciju koja će sadržati minimalno slijedeće informacije:

- Naziv Projekta
- Datum završetka izrade modela
- Detaljno opisani scenarij/izvor/mehanizam plavljenja
- Tko je izrađivač modela
- Da li je model radna verzija ili konačni rezultat
- Visinski referentni sustav (za Hrvatsku: HRVS71, za Sloveniju visinski sustav s ishodištem u Trstu)
- Koordinatni referentni sustav (za Hrvatsku: HTRS 96/TM, za Sloveniju 96/TM (EPSD:3794))
- Prostorna domena važenja modela
- Korištene geometrijske/geodetske podloge
- Korištene podloge za rubne uvjete
- Korišteni početni uvjeti
- Određivanje koeficijenata hrapavosti, uključujući i 2D domenu
- Pretpostavke korištene pri modeliranju
- Potpunost modela
- Postupak kalibracije
- Rezultati verifikacije
- Ograničenja u korištenju modela

Te ostalo prema potrebi

Dokument pripremila: projektna skupina Inštituta za hidraulične raziskave

**HIDROINŠTITUT**

Javni raziskovalni zavod

Inštitut za hidraulične raziskave

Hajdrihova ulica 28, SI-1000 Ljubljana

Dokument dopunile: projektna skupina Hrvatskih voda sa stručnim službama

## COMMON BILATERALLY HARMONIZED METHODOLOGY OF THE HYDRAULIC MODELLING OF BORDER RIVERS

(May, 2018)

The common bilaterally harmonized methodology of hydraulic modelling for flood hazard maps preparation represents the envisaged approach to hydraulic modelling for the optimization of planned measures of reducing flood hazard and for the preparation of flood hazard maps of the border rivers of Kolpa/Kupa, Sotla/Sutla, Drava, Mura, Dragonja and Bregana. If, during the modelling process, it turns out that some approaches for any reason are inconsequential, according to new findings, the concept of the hydraulic modelling of the border rivers will be adapted accordingly.

### Geometric configuration:

The hydraulic models of the border rivers Kolpa/Kupa, Sotla/Sutla, Drava, Mura, Dragonja and Bregana represent basic tools for the comparison and optimization of the planned measures of reducing the flood hazard in the river basins concerned, as well as for the preparation of flood hazard and flood risk maps. The models are established in the MIKE FLOOD (DHI) program environment using a fixed or flexible cell meshes. The size of the calculating cells is adjusted to the configuration and size of each target area. Models through active flow exchange combine a one-dimensional flow along a river channel with a two-dimensional flow over flood plains. As a basis for the construction of the channel, the existing and within the FRISCO1 project recorded river profiles of the main streams and significant tributaries were used. For the construction of the terrain outside the riverbed the available geodetic, primarily LIDAR data DTM 1x1m, if accessible, were used, in the areas where the latter was not available, the existing DTM with a cell of 12.5 x 12.5 m was used. Many details are modelled much more precisely, as possible by the above-mentioned geodetic bases, as this dictates their impact on the flow of the rivers under consideration. This was done on the basis of field visits and measurements and projects of the current state of the terrain and structures.

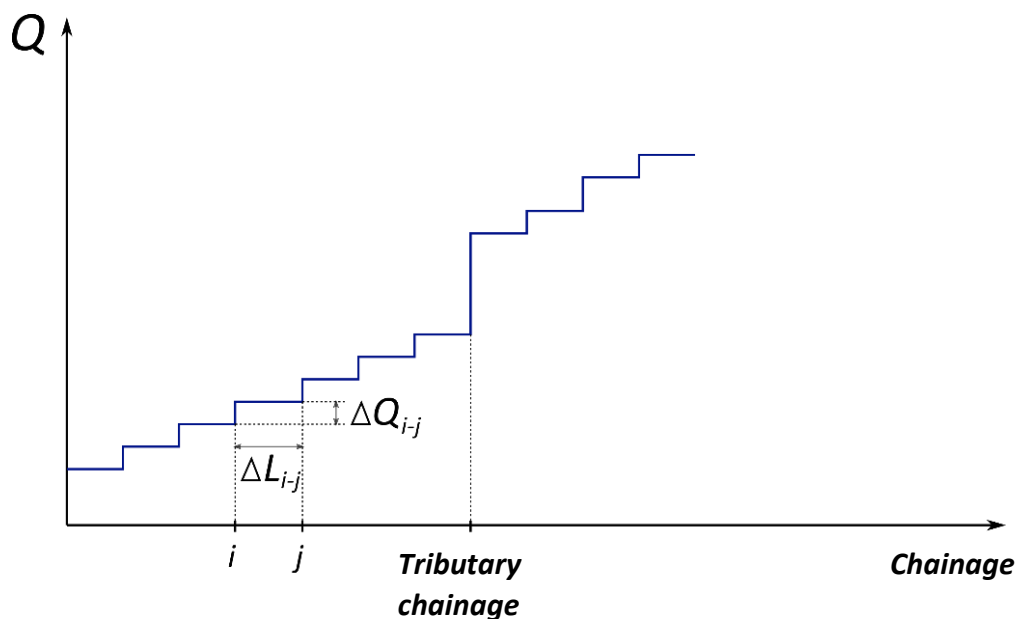
Geometrical configurations of the model shall be delivered to each country adapted to its official height and geodetic systems (for Croatia: HTRS96/TM and HRVS71 and for Slovenia: D96/T and altitude/vertical reference system with origin in Trieste)

### Modelling of flow dynamics and tributaries:

- **Stream type:** Dynamic hydraulic models are produced for all six transborder river sheds. In all cases, unstable flows are modeled, based on hydrological bases, as provided by hydrological analyzes of Preparation of Cross-Border Harmonized Flood Risk Management Studies for the Kolpa/Kupa, Sotla/Sutla, Drava, Mura, Dragonja and Bregana rivers. The inflows of the considered rivers are mainly modeled as a point source with unsteady flow, while some larger and more important tributaries are modeled in the same way as the main stream.
- **Upstream boundary conditions:** Project hydrographs for the agreed hydrological scenarios will be adopted, as determined by the Common Bilateral Methodology for the Preparation of Flood Hazard Maps, and as their time series and values are presented by hydrological analyzes of

Preparation of Cross-Border Harmonized Flood Risk Management Studies for the Kolpa/Kupa, Sotla/Sutla, Drava, Mura, Dragonja and Bregana rivers.

- **Inner boundary conditions** (increasing flow along the watercourse):
  - The tributaries of the watercourse under consideration are modeled in most cases as a point source with an unsteady flow, and some larger and more important tributaries are modeled in a longer section, the same way as the basic watercourse.
  - The discharge along the watercourse changes (increases) stepwise or step by step. The method of changing the flow is determined by hydrological studies of river basins.



*Discharge increase along the watercourse*

- **Downstream boundary conditions:** The downstream boundary conditions differ between the river basins and are formed according to the configuration of each watercourse downstream ending. In cases where the considered watercourse flows into a larger watercourse (Sava, Adriatic Sea), the downstream boundary condition represents the state of that watercourse, in other cases, an appropriate outlet section of the basic river is established that ensures the establishment of the correct outflow conditions on the outlet profile of the target area of the watercourse under consideration.

### Flood types:

Within the FRISCO1 project, only fluvial floods, ie river flooding, and not flooding from possible other sources (precipitation, marine floods and other types of floods) are considered. Also, scenarios for the embankment breaks or damage to other existing water management facilities are not addressed in the FRISCO1 project.

## Validity of results:

FRISCO1's areas of the validity of the results are limited upside-down by the borders of the target areas of the rivers under consideration. In some areas, the models themselves cover a much wider area, so that, wherever necessary, it is also ensured that the formation of flood flows in the target areas of the considered watercourses are correctly influenced by the effects of surfaces and structures outside of the target area.

The results of the FRISCO1 Project must be elaborated in detail so that they can be used subsequently, i.e. adapted and supplemented according to the national methodologies for the Flood Risk Management Plan.

## Delivery of the models to the Investor

The Contractor shall deliver the models in digital format, with all necessary files that enable their further use after the completion of the Project, i.e. additional modelling for the purposes of their harmonization with the national methodologies used for the Flood Risk Management Plan.

The models delivered to the Investor shall include the appropriate associated documentation that contains, at the minimum, the following information:

- Project title
- Completion date of the model development
- Detailed description of the scenario/source/flooding mechanism
- Who is the developer of the model
- Is the model a working version or the final result
- Altitude/vertical reference system (for Croatia: HRVS71, for Slovenia vertical reference system with origin in Trieste)
- Coordinate reference system (for Croatia: HTRS 96/TM, for Slovenia D96/TM (EPSD: 3794))
- Spatial domain of the model validity
- Used geometrical/geodetic baseline information/maps
- Used baseline information/maps for boundary conditions
- Used initial conditions
- Determination of the roughness coefficient, including the 2D domain
- Assumptions used in modelling
- Completeness of the model
- Calibration procedure
- Verification results
- Limitations in the use of the model
- As well as other information, if necessary.

Document prepared by: Institute for Hydraulic Research Project group

**HIDROINŠTITUT**

Javni raziskovalni zavod

Inštitut za hidravlične raziskave

Hajdrihova ulica 28, SI-1000 Ljubljana

The document supplemented by: Hrvatske vode Project Team with expert services

## SKUPNA BILATERALNO USKLAJENA METODOLOGIJA HIDRAVLIČNEGA MODELIRANJA MEJNIH REK

(maj 2018)

Skupna bilateralno usklajena metodologija hidravličnega modeliranja za izdelavo kart poplavne nevarnosti predstavlja predvideni pristop k hidravličnemu modeliranju za optimizacijo načrtovanih ukrepov za zmanjšanje poplavne nevarnosti in za izdelavo kart poplavne nevarnosti mejnih rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane. Če se bo med izdelavo in uporabo modelov izkazalo, da so nekateri pristopi iz kakršnegakoli razloga nesmotrni, bo v skladu z novimi ugotovitvami Skupna bilateralna metodologija hidravličnega modeliranja mejnih rek ustrezno prilagojena.

### Geometrijska konfiguracija:

Hidravlični modeli mejnih rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane predstavljajo osnovno orodje za izvedbo primerjave in optimizacijo načrtovanih ukrepov za zmanjšanje poplavne nevarnosti na obravnavanih porečjih ter za izdelavo kart poplavne nevarnosti in poplavne ogroženosti. Modeli so izdelani v programskem okolju MIKE FLOOD (DHI) z uporabo fiksne oz. fleksibilne mreže celic. Velikost računskih celic je prilagojena konfiguraciji in velikosti posameznega ciljnega območja. Modeli skozi aktivno izmenjavo toka kombinirajo enodimenzijski tok po strugi vodotoka z dvodimenzijskim tokom po poplavnih površinah. Kot podlaga za izdelavo struge vodotoka so služili obstoječi in v okviru projekta FRISCO1 dodatno izmerjeni rečni profili osnovnih vodotokov in pomembnih pritokov, za izdelavo površin terena izven struge pa razpoložljivi geodetski, prvenstveno LIDAR podatki DMR 1x1m, na območjih, kjer slednji niso bili na voljo pa podatki iz obstoječega digitalnega modela višin s celico 12,5 x 12,5 m. Mnoge podrobnosti so modelirane veliko natančneje, kot to omogočajo navedene geodetske podlage, ker to narekuje njihov vpliv na tok obravnavanih rek. To je bilo izvedeno na podlagi terenskih ogledov in meritev ter projektov izvedenega stanja objektov.

Geometrijske konfiguracije modelov bodo dostavljene vsaki državi in prilagojene njenemu uradnemu državnemu in višinskemu referenčnemu sistemu (za Hrvaško: HTRS96/TM i HRVS71, za Slovenijo D96/TM in višinski sistem z izhodiščem v Trstu).

### Obravnava dinamike toka in pritokov v hidravličnem modelu

- **Privzeta vrsta toka:**

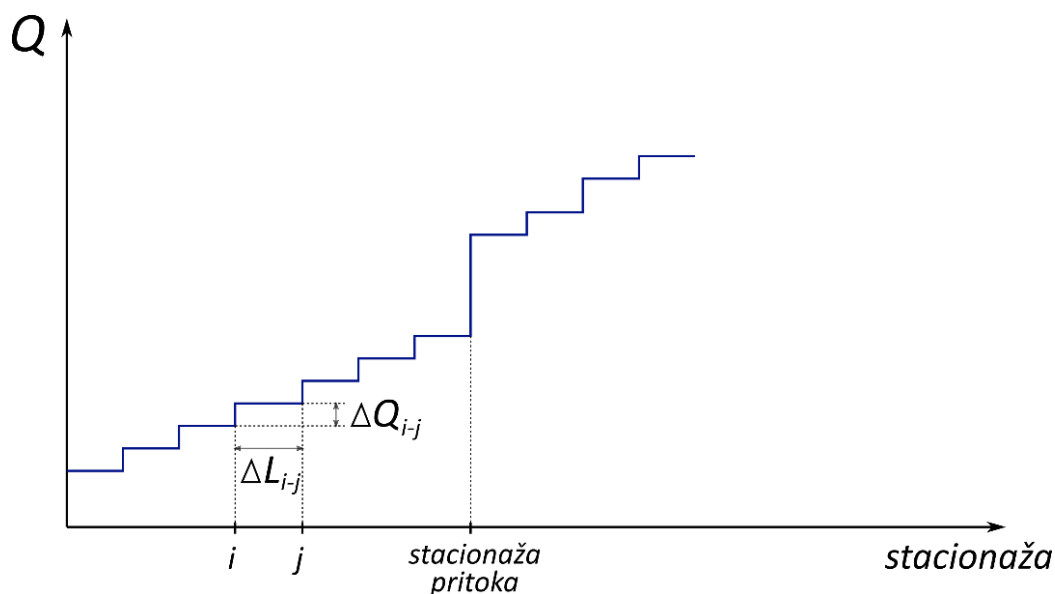
Za vseh šest mejnih porečij se izdelata dinamične hidravlične modele. V vseh primerih se modelira nestalni tok, po hidroloških podlagah, kot jih podajajo hidrološke analize Celovitih študij zmanjševanja poplavne ogroženosti za čezmejno porečje rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane.

- **Gorvodni robni pogoji:**

Privzeti bodo projektni visokovodni hidrogrami za dogovorjene hidrološke scenarije, kot jih določa Skupna bilateralna metodologija izdelave kart poplavne nevarnosti, njihov potek in vrednosti pa

podajajo hidrološke analize Celovitih študij zmanjševanja poplavne ogroženosti za čezmejno porečje rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane.

- **Notranji robni pogoji (naraščanje pretoka vzdolž vodotoka):**
  - Pritoki obravnavanega vodotoka so v večini primerov modelirani kot točkovni vir z nestalnim tokom, nekateri večji in pomembnejši pritoki pa so modelirani v daljšem odseku, enako kot osnovni vodotok.
  - Pretok vzdolž vodotoka se spreminja (povečuje) stopničasto oz. korakoma po odsekih. Način spreminjanja pretoka določajo hidrološke študije porečij.



*Shema naraščanja pretoka vzdolž vodotoka*

- **Dolvodni robni pogoji:** Dolvodni robni pogoji so po porečjih različni in se oblikujejo glede na konfiguracijo posameznega vodotoka. V primerih, kjer se obravnavani vodotok izliva v odvodnik (Sava, Jadransko morje) spodnji robni pogoj predstavlja stanje odvodnika, v ostalih primerih pa se določi ustrezen iztočni odsek, ki zagotavlja vzpostavitev pravih odtočnih pogojev na iztočnem profilu ciljnega območja vodotoka.

## Vrste poplav:

V okviru projekta FRISCO1 so obravnavane samo fluvialne poplave, torej samo poplavljanje rek in ne tudi poplavljanja iz morebitnih drugih virov (padavinske, morske in druge vrste poplav). Prav tako se v projektu ne obravnava scenarijev porušitev nasipov ali poškodb drugih obstoječih vodnogospodarskih objektov.



## Veljavnost rezultatov:

Območje veljavnosti rezultatov hidravličnih modelov v projektu FRISCO1 je navzgor omejeno z mejnimi linijami ciljnih območij obravnavanih mejnih vodotokov. Sami modeli pa zajemajo na nekaterih mestih veliko širše območje, s čimer je povsod, kjer je to potrebno, zagotovljeno tudi pravilno doseganje vpliva površin in objektov izven ciljnega območja na oblikovanje poplavnih tokov na ciljnih območjih obravnavanih vodotokov.

Rezultate projekta FRISCO1 (modeliranja) je potrebno detajlno obrazložiti, da jih bo mogoče naknadno uporabljati, prilagoditi in dopolniti v skladu z nacionalnimi metodologijami za Načrt zmanjševanja poplavne ogroženosti.

## Predaja modela naročniku

Izvajalec/izdelovalec bo predal modele v digitalni obliki z vsemi potrebnimi datotekami, ki omogočajo njihovo nadaljnjo uporabo tudi po koncu projekta. Tako se bo lahko izvedlo dodatno modeliranje za potrebe usklajevanja z nacionalnimi metodologijami, ki se uporabljajo v sklopu Načrta zmanjševanja poplavne ogroženosti.

Modeli, ki bodo predani naročniku, morajo vsebovati ustrezno pripadajočo dokumentacijo, ki bo vsebovala minimalno sledeče informacije:

- Naziv Projekta
- Datum zaključka izdelave modela
- Podrobno opisan scenarij/izvor/mehanizem poplavljanja
- Ime izdelovalca modela
- Ali je model delovna ali končna verzija
- Višinski referenčni sistem (za Hrvaško: HRVS71, za Slovenijo višinski sistem z izhodiščem v Trstu)
- Državni koordinatni sistem (za Hrvaško: HTRS 96/TM, za Slovenijo 96/TM (EPSD:3794))
- Območje veljavnosti rezultatov modela
- Uporabljene geometrijske/geodetske podlage
- Uporabljene podlage za robne pogoje
- Uporabljeni začetni pogoji
- Določitev koeficienta hrapavosti, ki vključuje tudi 2D domeno
- Uporabljene predpostavke pri modeliranju
- Popolnost modela
- Postopek kalibracije
- Rezultati verifikacije
- Omejitve pri uporabi modela

Ter ostale, po potrebi.

Dokument pripravila: projektna skupina Inštituta za hidravlične raziskave

**HIDROINŠTITUT**

Javni raziskovalni zavod

Inštitut za hidravlične raziskave

Hajdrihova ulica 28, SI-1000 Ljubljana

Dokument dopolnila: projektna skupina Hrvatskih vod z strokovnimi službami