

# IZBOLJŠANJE NAPOVEDOVANJA POPLAV V POREČJU MURE

Maja Koprivšek<sup>1</sup>, Jure Cedilnik<sup>2</sup>, Sašo Petan<sup>3</sup>

## Povzetek

Za natančnejše in poenoteno opozarjanje pred poplavami v Sloveniji in Avstriji sta Agencija Republike Slovenije za okolje in hidrološka služba avstrijske zvezne dežele Štajerske v projektu CROSSRISK izboljšali sistem za napovedovanje poplav. Izhodišče je bila modelska postavitvev avstrijskega dela porečja Mure, ki je že bila vključena v hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje. Nadgradnja je potekala v štirih korakih, rezultat vsakega pa je samostojna modelska postavitvev: tri deterministične in ena skupinska (ansambelska). Nadgrajeni model bo pripomogel k točnejšim napovedim pretoka, še zlasti v času taljenja snega, skupinska hidrološka napoved pa nam daje informacijo o negotovosti hidrološke napovedi. Hidrološka služba avstrijske zvezne dežele Štajerske je na podlagi drugega, dvodimenzionalnega hidrodinamičnega, modela pripravila še katalog poplavnih scenarijev za odsek reke Mure na slovensko-avstrijski meji.

## IMPROVEMENT IN THE PREDICTION OF FLOODS IN THE MURA RIVER BASIN

### Abstract

*With the aim of more accurate and unified flood warnings in Slovenia and Austria, the CROSSRISK project improved the existing hydrological forecasting system in the Slovenian-Austrian part of the Mura river basin. In doing so, the Slovenian Environment Agency cooperated closely with the hydrological service of the Provincial Government of Styria (Department 14 – Water Management, Resources and Sustainability). The Mura river model was upgraded in four steps, each resulting in an independent model setup: three deterministic and one ensemble model setups. The upgraded model will enable better forecasting of the Mura river flows and more accurate flood warnings, especially during the snowmelt period. The ensemble hydrological forecast provides information on the uncertainty of the hydrological forecast. The hydrological service of the Austrian federal province of Styria has prepared a catalogue of flood scenarios for the Slovenian-Austrian border Mura section, based on another, 2D, hydrodynamic model.*

<sup>1</sup> mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, [maja.koprivsek@gov.si](mailto:maja.koprivsek@gov.si)

<sup>2</sup> Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, [jure.cedilnik@gov.si](mailto:jure.cedilnik@gov.si)

<sup>3</sup> dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, [saso.petan@gov.si](mailto:saso.petan@gov.si)

## UVOD

Pri napovedovanju pretokov v mednarodnih porečjih je zelo pomembno sodelovanje hidroloških služb vseh držav na območju porečja. Še zlasti ob visokovodnih stanjih, pri opozarjanju pred poplavami, je pomembno, da so napovedi in opozorila za mejni odsek reke enotni na obeh straneh meje. Sodelovanje med hidrološkimi in meteorološkimi službami na območju porečja Mure obsega:

- izmenjavo merjenih hidroloških in meteoroloških podatkov (v stvarnem času ter tudi zgodovinskih nizov za potrebe analiz in umerjanja hidroloških modelov),
- izmenjavo rezultatov simulacij hidroloških in meteoroloških modelov,
- izmenjavo hidroloških napovedi in opozorilnih produktov,

- sodelovanje pri pripravi oziroma izboljšavah modelov za napovedovanje pretokov,
- izmenjavo izkušenj z delovanjem operativnih modelskih postavitvev Mure na rednih strokovnih srečanjih pod okriljem Stalne slovensko-madžarske komisije za vodno gospodarstvo.

Porečje Mure se razteza čez štiri države: Slovenijo, Avstrijo, Hrvaško in Madžarsko. Prva mednarodna modelska postavitvev Mure, ki obsega celotno porečje, je bila vzpostavljena leta 2011, leta 2016 pa je bila vzpostavljena še podrobnejša modelska postavitvev avstrijskega dela porečja. Obe modelski postavitvi sta vključeni v hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje. V projektu CROSSRISK smo se osredotočili le na izboljšavo modela slovensko-avstrijskega dela porečja, o delu v okviru projekta pa so bile ves čas trajanja seznanjene

hidrološke službe preostalih dveh držav, ki imajo tudi dostop do rezultatov modelskih simulacij, to je napovedi pretoka Mure ter njenih večjih pritokov v Sloveniji in Avstriji v stvarnem času.

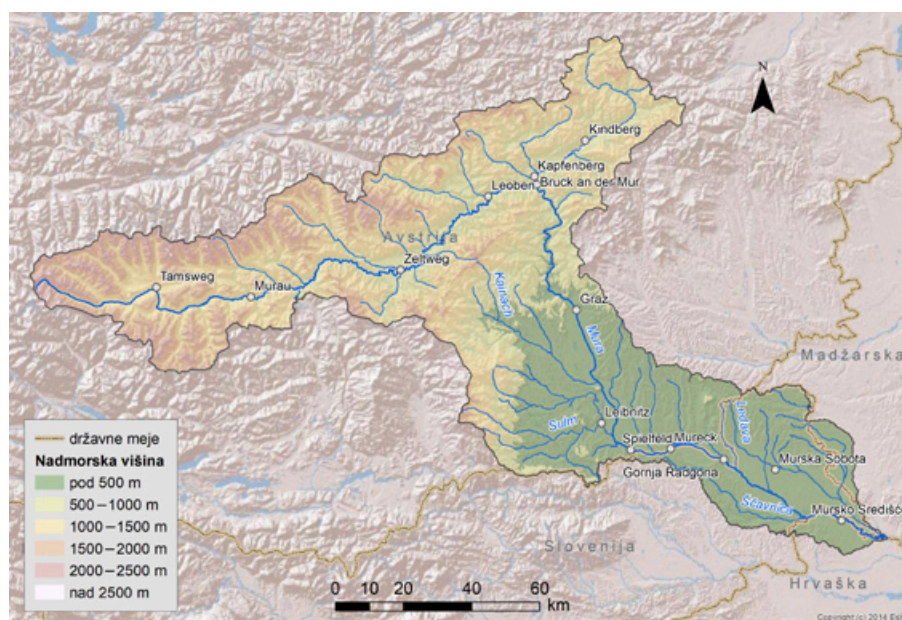
Nadgradnja modela Mure je potekala v štirih korakih, izmed katerih se je vsak končal s samostojno modelsko postavitvijo. Prva modelska postavitvev obsega podrobnejšo delitev porečja Mure na računske enote, posodobljeno računsko rečno mrežo ter dodatne podatke s padavinskih in vodomernih postaj v Avstriji. Pri drugi modelski postavitvi je bila vpeljana nova metoda za izračun dnevni vrednosti potencialne evapotranspiracije, pri tretji pa se upoštevajo analize in napovedi snežnega modela Crocus, ki je del modelske verige za napovedovanje vremena Agencije Republike Slovenije za okolje. Četrta modelska postavitvev je skupinska (ansambelska) in upošteva 51-člansko skupinsko napoved Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Vsi modelski izračuni se izvajajo na Agenciji Republike Slovenije za okolje in tudi na sedežu Urada deželne vlade Štajerske v Gradcu (Oddelek 14 – vodno gospodarstvo, viri in trajnost), kjer pa so modelske postavitve nekoliko prilagojene njihovim podatkovnim virom.

Ob vključitvi novih modelskih postavitvev v hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje je bila dopolnjena tudi platforma za prikaz rezultatov modelskih simulacij, ki je sicer namenjena strokovnim službam s področja hidrologije ter zaščite in reševanja. Pripravljen je bil tudi poenostavljen prikaz napovedi pretokov, namenjen splošni javnosti (CROSSRISK, n. l.).

Poleg nadgradnje hidrološkega modela Mure je v okviru projekta CROSSRISK hidrološka služba avstrijske zvezne dežele Štajerske na podlagi drugega, dvodimenzionalnega hidrodinamičnega, modela pripravila še katalog poplavnih scenarijev za odsek reke Mure na slovensko-avstrijski meji, ki služi kot izhodišče za dopolnitev načrtov za zaščito in reševanje ob poplavih.

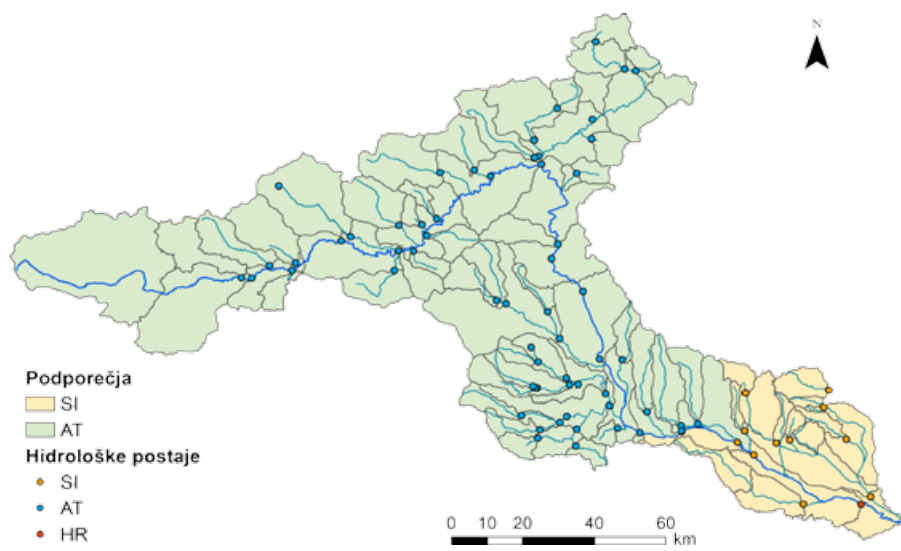
## HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI PROJEKTNEGA OBMOČJA POREČJA MURE

Projektno območje obsega porečje reke Mure od njenega izvira v Radstatskih Turah v Avstriji do mejnega odseka ob slovensko-hrvaški meji (slika 1). Območje meri približno 12.000 kvadratnih kilometrov, izmed teh jih približno 15 odstotkov leži v Sloveniji. Povirje reke sega v alpsko gorovje, ki presega nadmorsko višino 3000 metrov, srednji del porečja pa obsega alpsko hribovje na prehodu v Panonsko nižino, kjer se nato nadaljuje spodnji del porečja. Dobra tretjina projektnega porečja leži na nadmorski višini pod 500 metri, slaba polovica na višini med 500 in 1500 metri, dobrih 16 odstotkov pa višje kot 1500 metrov nad morjem. V povirnem delu je Mura značilna hudourniška reka, kmalu pa se spusti v širšo dolino in pot nadaljuje mimo večjih avstrijskih krajev Murau, Ljubina (nem. Leoben), Bruck an der Mur, Gradec (nem. Graz) in Špilje (nem. Spielfeld). Nato teče po avstrijsko-slovenski meji skozi Sladki Vrh, mimo Cmureka (nem. Mureck) do Gornje Radgone, prečka Slovenijo, od Gibine pa teče ob



Slika 1: Projektno območje porečja Mure

Figure 1: Project-related area of the Mura river basin



**Slika 2:** Podporečja in vodomerne postaje v nadgrajenem modelu Mure

*Figure 2: Sub-catchments and hydrological stations in the upgraded Mura model*

slovensko-hrvaški meji. Zunaj projektnega območja se nato reka Mura vije še vzdolž hrvaško-madžarske meje in se na nadmorski višini okoli 130 metrov pri Legradu po približno 469 kilometrih toka (Brilly in sod., 2012) kot levi pritok izlije v reko Dravo. Med krajema Ljubina (nem. Leoben) in Špilje (nem. Spiefeld) je na Muri veriga 21 pretočnih hidroelektrarn. Večji levi pritok reke Mure je Murica (nem. Mürz) v Avstriji, večji desni pritoki pa so Kainach in Solba (nem. Sulm) v Avstriji ter Ščavnica v Sloveniji.

podatkov o temperaturi zraka ter kratkovalovnem sončnem sevanju preračunava, ali so padavine v obliki dežja ali snega. Na podlagi tega preračunava vodni ekvivalent snežne odeje in količino vode iz staljenega snega. Ker se temperatura zraka z nadmorsko višino zelo spreminja, so posamezna podporečja v modelu opredeljena tudi s topografijo, ki je v snežnem modulu opisana s površinami posameznih višinskih con.

## ZGRADBA HIDROLOŠKEGA PROGNOŠČNEGA SISTEMA

Hidrološki prognošični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje (Petan in sod., 2015; Moderc in sod., 2015) je sestavljen iz dveh modelskih komponent programskega paketa DHI MIKE11 – hidrološkega modela NAM (Nielsen in Hansen, 1973) in enostavnega enodimenzionalnega hidrodinamičnega modela. Sistem dopolnjujejo manjše aplikacije, ki na vhodni strani skrbijo za pripravo vhodnih podatkov, na izhodni pa za pripravo in posredovanje rezultatov modelskih simulacij.

Vhodni podatki modela so opazovane in napovedane meteorološke spremenljivke, to so padavine, temperatura zraka dva metra od tal, potencialna evapotranspiracija in kratkovalovno sončno sevanje. Rezultati modelskih simulacij pa so napovedi pretoka in vodostaja v različnih prognošičnih točkah, ki so na mestih vodomernih postaj ali na iztoku iz posameznih podporečij.

Hidrološki model za simulacijo akumuliranja in taljenja snega vključuje tudi snežni modul, ki na podlagi

## POSODOBITEV HIDROLOŠKE IN HIDRODINAMIČNE KOMPONENTE MODELA MURE

Podlaga za nadgradnjo modela Mure je bila operativna modelska postavitev avstrijskega dela porečja. Dodan ji je bil slovenski del porečja, hkrati pa so bila zaradi uvedbe novih samodejnih vodomernih postaj dodatno razdeljena tudi nekatera podporečja na avstrijski strani. Celotno modelsko porečje Mure je tako zdaj sestavljeno iz 61 avstrijskih in 17 slovenskih podporečij (slika 2). Srednja velikost podporečij je okoli 150 kvadratnih kilometrov, najmanjše podporečje meri le 8,37 kvadratnega kilometra, največje pa 952,1 kvadratnega kilometra.

Hidrološka komponenta modela je prilagojena in umerjena na daljši niz hidroloških ter meteoroloških podatkov iz širše opazovalne mreže glede na prejšnjo modelsko postavitev Mure. Model upošteva časovne nize padavin s 119 slovenskih in avstrijskih meteoroloških postaj ter časovne nize pretokov z 58 hidroloških postaj, med katerimi je poleg slovenskih in avstrijskih tudi ena hrvaška. Poleg merjenih podatkov uporablja še napovedi količine padavin, jakosti sončnega sevanja ter analize in napovedi temperature

zraka. Za obdobje napovedi do 72 ur uporablja rezultate simulacij meteorološkega modela ALADIN/SI, ki ima natančnejšo računsko mrežo (štiri kilometre), za preostali čas do osem dni pa rezultate simulacij modela Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi z redkejšo računsko mrežo (devet kilometrov), vendar z daljšim časovnim dosegom napovedi. Vir podatka o potencialni evapotranspiraciji v modelski postavitvi prvega koraka nadgradnje so klimatološke mesečne vrednosti, preračunane na podporečja ob upoštevanju pokrovnosti tal. Taka metoda je uporabljena v dosedanjih operativnih modelskih postavitvah hidrološkega prognostičnega sistema Agencije Republike Slovenije za okolje in daje zadovoljivo oceno izhlapevanja zlasti v porečjih z večjim specifičnim odtokom ter v vremenskih razmerah, ki v daljšem časovnem obdobju ne odstopajo bistveno od klimatološko pričakovanih.

Posodobljena je bila tudi hidrodinamična komponenta modela. Računska rečna mreža je bila razširjena na slovenski del porečja reke Mure, dodani so bili prečni profili na slovensko-hrvaškem mejnem odseku Mure, izmerjeni v okviru projekta FRISCO1, prav tako so bili dodani tudi novi rečni odseki na avstrijskem delu porečja. Hkrati je bila predvsem na avstrijski strani porečja računsko rečna mreža poenostavljena zaradi zagotavljanja hitrejšega računskega časa in stabilnejšega izvajanja modelskih simulacij.

Simulacije se samodejno izvedejo šestkrat na dan, pri čemer se upoštevajo najnovejši padavinski podatki iz samodejnih meteoroloških postaj ter aktualne napovedi meteoroloških modelov ALADIN/SI in Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi.

## UVEDBA NOVE METODE ZA IZRAČUN DNEVNIH VREDNOSTI POTENCIALNE EVAPOTRANSPIRACIJE

Pri drugi modelski postavitvi je bil uveden nov vir podatka o potencialni evapotranspiraciji, in sicer dnevne vrednosti, izračunane po Hargreasovi metodi (Hargreaves in Samani, 1985). Ta metoda daje natančnejšo oceno izhlapevanja v primerjavi s klimatološkimi vrednostmi. Nizi dnevni vrednosti referenčne evapotranspiracije ( $ET_0$ ) se ob vsakem zagonu modela za vsako podporečje izračunajo iz časovnega niza temperature zraka v obdobju simulacije po naslednji enačbi:

$$ET_0 = 0,0023 \cdot R_a \cdot (TC + 17,8) \cdot TR^{0,5},$$

pri čemer je  $R_a$  sončno obsevanje zunaj Zemljine atmosfere v mm/dan, TC povprečna dnevna temperatura zraka dva metra od tal v stopinjah Celzija in TR dnevni razpon temperature zraka dva metra od tal v stopinjah Celzija. Iz njih se z upoštevanjem faktorja pokrovnosti tal izračuna potencialna evapotranspiracija. Faktor pokrovnosti tal je vnaprej določen ter se razlikuje za vsako podporečje in zaporedni dan v letu. Pri njegovi določitvi je upoštevanih šest kategorij pokrovnosti, ki smo jih dobili z združevanjem tretje ravni kategorij Corine land cover iz leta 2018 (EEA, 2019): gole površine, trava, kmetijske površine, listnati ali mešani gozd, iglasti gozd ter voda ali močvirja (Koprivšek in sod., 2021).

Parametri hidrološke komponente modela so bili na novo umerjeni, medtem ko so drugi elementi modela (razdelitev na podporečja, prognostične točke, računsko rečna mreža) in tudi viri drugih vhodnih podatkov ostali enaki kot v predhodni modelski postavitvi. Simulacije se kot pri prvi modelski postavitvi samodejno izvajajo šestkrat na dan.

## UVEDBA SNEŽNEGA MODELA CROCUS

Pri tretji modelski postavitvi je bil uveden nov vir podatkov o padavinah, ki izhaja iz rezultatov simulacij modela snežne odeje Crocus. S takim modelom na celosten način simuliramo snežno odejo in procese v njej ter posledično določamo tudi količino vode v snežni odeji in taljenje snega.

V modelu Crocus je površje Zemlje na omejenem območju predstavljeno v pravilni mreži točk, v katerih simuliramo snežno odejo. Vhodni podatki zanj (količina padavin v dežni in snežni obliki, temperatura zraka, veter, zračna vlaga, zračni tlak itn.) morajo biti prav tako pripravljene v vseh točkah te mreže. Tako pripravljene podatke lahko dobimo iz kombinacije meritev in numeričnih meteoroloških modelov. Pri tem sicer takoj trčimo ob problem reprezentativnosti takih podatkov, saj je ravno v razgibanem reliefu vpliv omejene prostorske ločljivosti zaradi pravilne mreže točk največji.

Stanje snežne odeje ob vsakem času v modelu Crocus opišemo z množico fizikalnih količin (višina, gostota, temperatura, vsebnost tekoče vode itn.), njihov časovni razvoj pa določajo matematične enačbe. Za njihovo reševanje moramo poznati še robne pogoje, to je vrednosti nekaterih fizikalnih količin (jakost in faza padavin, temperatura in vlaga zraka, jakost



sončnega sevanja itn.) na meji med snežno odejo in ozračjem. Za robne pogoje uporabimo optimalno kombinacijo polj, izračunanih z meteorološkim modelom, in analize meteoroloških meritev na površju Zemlje. Kadar za robne pogoje uporabimo zgolj napoved meteorološkega modela, ki se izračunava že za potrebe vremenske napovedi, lahko napovemo tudi razvoj stanja snežne odeje.

V snežnem modelu se ob snežnih padavinah na vrh snežne odeje doda nova plast z lastnostmi novoza-padlega snega. Dežne padavine ne odtečejo neposredno v tla, temveč se ujamejo na vrhu snežne odeje in povečajo vodnatost v tej plasti snežne odeje. Ob ustreznih temperaturnih razmerah se lahko delež snega tudi stali, tekoča voda pa potem v prostoru med snežnimi zrni odteka v nižje ležeče plasti, v katerih lahko ob ustreznih pogojih tudi ponovno zamrzne. Ob odjugu tekoča voda sčasoma pride do tal in postane izhodni podatek modela, ki se nato upošteva v hidrološkem modelu.

Med plastmi snega se upošteva prenos toplote, tako da lahko določimo navpični temperaturni profil snežne odeje. Posedanje snega obravnavamo tako, da se debelina določene plasti zmanjša (gostota pa se ji poveča) zaradi teže višje ležečih plasti. Model upošteva tudi metamorfizem snega v odeji z empiričnimi matematičnimi relacijami, ki so jih razvili na podlagi laboratorijskih eksperimentov z uporabo računalniške tomografije pri opazovanju snega.

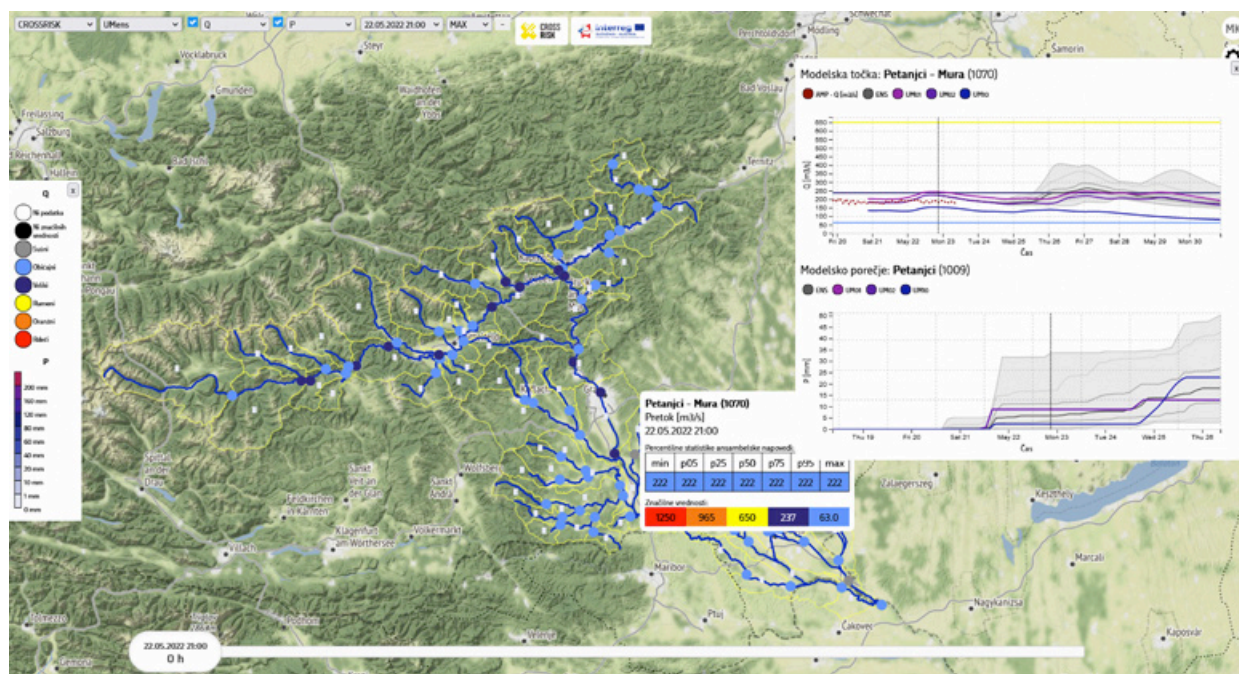
Z obravnavo vseh teh procesov lahko določimo podrobno sestavo snežne odeje, računski čas takega modela pa je seveda nekaj desetkrat daljši v primerjavi z enostavnim enoplastnim ali kalorimetričnim.

Izhodni podatki snežnega modela Crocus, ki so hkrati vhodni podatki za hidrološki model, obsegajo količino dežja skupaj z odtokom vode zaradi taljenja, zato je bil izključen snežni modul znotraj hidrološkega modela, posledično pa modelska podporečja niso več razdeljena na višinske cone. Sicer ostajata razdelitev na podporečja in hidrodinamična komponenta modela enaka kot v predhodnih dveh modelskih postavitvah Mure, vir podatka o potencialni evapotranspiraciji pa so dnevne vrednosti, izračunane po Hargreavesovi enačbi (Hargreaves in Samani, 1985). Parametri hidrološke komponente modela so bili na novo umerjeni glede na nov vir padavin.

Simulacije hidrološkega modela, ki upošteva najnovejši izračun snežnega modela Crocus, se samodejno izvajajo enkrat na dan.

## SKUPINSKA HIDROLOŠKA NAPOVED

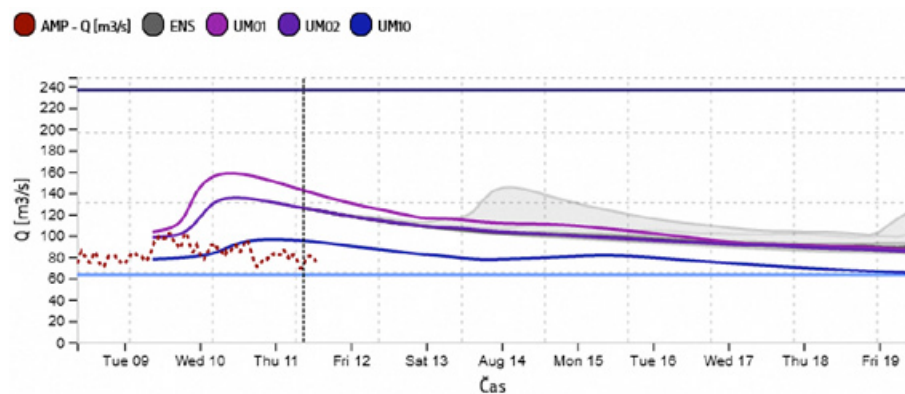
V zadnjem koraku nadgradnje je bila vzpostavljena skupinska (ansambelska) modelska postavitve. Ta izhaja iz modelske postavitve z novim virom potencialne evapotranspiracije, vendar brez novega snežnega modela. Vir napovedi padavin, kratkovalovnega



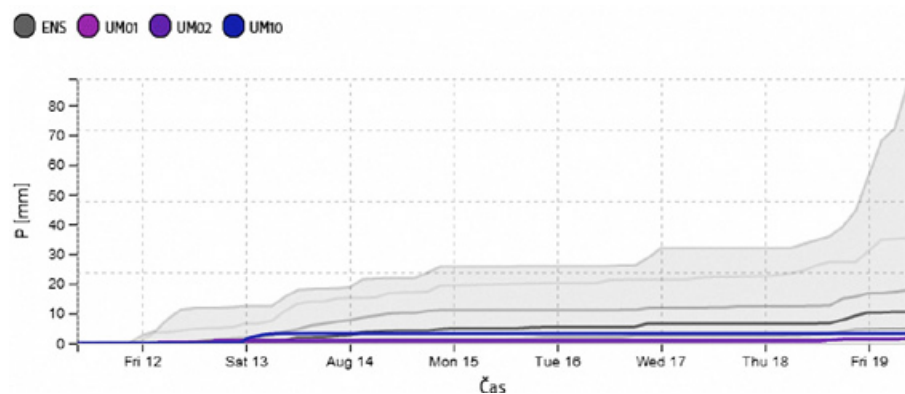
Slika 3: Prikaz rezultatov simulacij različnih modelskih postavitvev Mure v aplikaciji HFSVIS

Figure 3: Displaying the results of the different model setups simulations in the HFSVIS web application

Modelska točka: **Petanjci – Mura (1070)**



Modelsko porečje: **Petanjci (1009)**



**Slika 4:** Grafični prikaz rezultatov treh determinističnih in ene skupinske modelske simulacije Mure

**Figure 4:** Graphical representation of the results of the three deterministic and one ensemble Mura model simulations

sončnega sevanja in temperature zraka dva metra od tal je 51-članska ansambelska napoved meteorološkega modela Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi, rezultat simulacij pa je 51-članska hidrološka napoved, razvrščena v percentilne razrede.

Vsi drugi elementi modela Mure, vključno s parametri hidrološke komponente modela, pa ostajajo enaki kot v modelski postavitvi z novim virom potencialne evapotranspiracije. Simulacije se samodejno izvedejo vsakih 12 ur, pri tem pa se upoštevajo aktualne napovedi padavin, kratkovalovnega sončnega sevanja in temperature zraka dva metra od tal 51-članskega ansambelskega meteorološkega modela Evropskega centra za srednjeročne vremenske napovedi.

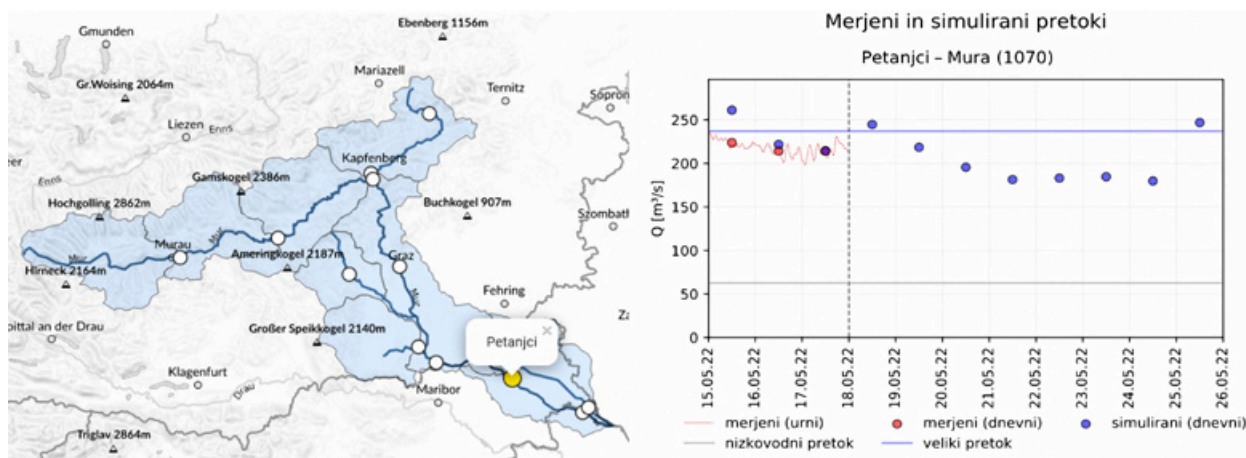
## PRIKAZ REZULTATOV MODELSKIH SIMULACIJ

Podrobni rezultati modelskih simulacij so prikazani v aplikaciji za prikaz rezultatov hidrološkega prognostičnega sistema Agencije Republike Slovenije za okolje, imenovani HFSVIS (slika 3) ter namenjeni strokovnim službam s področja hidrološkega napovedovanja, upravljanja voda ter zaščite in reševanja. Aplikacija omogoča poleg prikaza rezultatov

modelskih simulacij tudi prikaz izbranih hidroloških podatkov (pretokov in vodostajev) iz avstrijske in slovenske merilne mreže.

Skupinska hidrološka napoved je predstavljena z grafikoni, ki v izbranih prognostičnih točkah prikazujejo ovojnico in značilne percentilne vrednosti (5, 25, 50, 75, 95) rezultatov skupinskih modelskih simulacij ter rezultate simulacij vseh treh determinističnih modelskih postavitvev (slika 4). Za vsako prognostično točko so prikazane tudi tabele s številom članov hidrološke skupinske napovedi, ki presegajo posamezne visokovodne vrednosti ob različnih urah napovedi.

Splošni javnosti je namenjena vizualizacija rezultatov posodobljenega modela Mure na spletnem portalu projekta CROSSRISK (n. l.), na katerem je pod zavihkom Hidrologija prikazan del rezultatov tega modela, in sicer za dvanajst vodomernih postaj v porečju reke Mure (slika 5). Prikazana je napoved srednjega dnevnega pretoka za osem dni, podatki pa se osvežujejo vsak dan ob šesti uri zjutraj. Poleg tega so prikazani tudi izmerjena srednji dnevni in urni pretok ter simulirani srednji dnevni pretok za pretekle tri dni. Za vsako lokacijo sta dodani tudi mejni vrednosti za veliki in mali pretok.



Slika 5: Prikaz rezultatov modelskih simulacij Mure na spletnem portalu projekta CROSSRISK

Figure 5: Displaying the Mura model simulations results on the CROSSRISK project web portal

## VREDNOTENJE IZBOLJŠAV MODELA

Rezultate modelske različice Mure, ki upošteva klimatološke vrednosti potencialne evapotranspiracije, in rezultate modelske različice, ki upošteva dnevne vrednosti potencialne evapotranspiracije, smo primerjali z izmerjenim pretokom na izbranih vodomernih postajah na Muri ter njenih pritokih v obdobju od avgusta 2018 do decembra 2020.

Na sliki 6 je prikazana primerjava uspešnosti simulacij modela Mure ob uporabi različnih virov potencialne evapotranspiracije na izbranih vodomernih postajah. Pri modelski postavitvi, ki upošteva Hargreavesovo metodo potencialne evapotranspiracije, so vrednosti Nash-Sutcliffovega koeficienta (NS) v povprečju za 23 odstotkov večje, vrednosti koeficienta determinacije ( $R^2$ ) pa v povprečju za 5,9 odstotka večje kot pri postavitvi, ki upošteva klimatološke vrednosti potencialne evapotranspiracije. Absolutni odklon vrednosti količnika dQs, ki predstavlja delež srednjega simuliranega pretoka v srednjem merjenem pretoku, od ena znaša na modelski postavitvi z upoštevanjem klimatoloških vrednosti potencialne evapotranspiracije povprečno 0,12, na modelski postavitvi z upoštevanjem dnevnih vrednosti potencialne evapotranspiracije pa 0,07. Te vrednosti kažejo na to, da smo v modelskem porečju Mure z uvedbo dnevnih vrednosti potencialne evapotranspiracije po Hargreavesovi metodi izboljšali uspešnost modela in, nekoliko manj, tudi ujemanje vodne bilance. Modelski rezultati se najbolj izboljšajo ob daljših obdobjih, ko se vremenske razmere izrazito razlikujejo od klimatološko pričakovanih (Koprivšek in sod., 2021.)

Modelska različica, ki upošteva novi snežni model Crocus, je bila postavljena v operativno delovanje

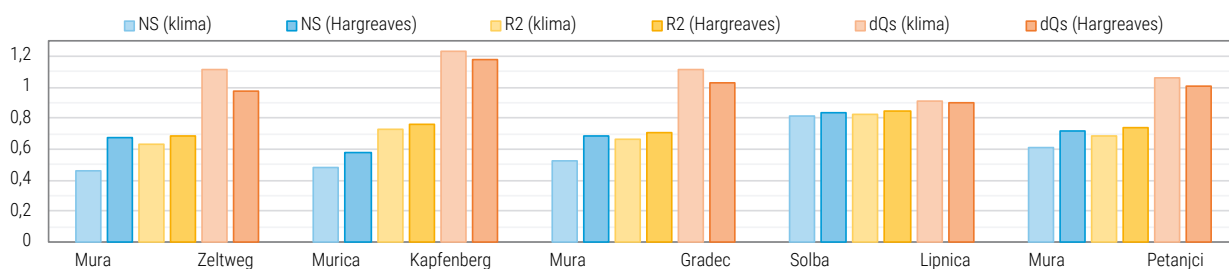
še leta 2021, zato v analizo ni vključena. Takrat se je tudi vzpostavil prenos rezultatov avstrijske različice modela za zelo kratkoročne vremenske napovedi INCA, ki služijo kot vhodni podatek za model Crocus. Glede na spremljanje in sprotno vrednotenje modelskih rezultatov Mure pa ta modelska različica še ni dosegla optimalne učinkovitosti, zato bo nujno ponovno prilagajanje modelskih parametrov glede na daljši niz vhodnih podatkov.

## POPLAVNE KARTE

V okviru projekta CROSSRISK je hidrološka služba avstrijske zvezne dežele Štajerske pripravila tudi katalog poplavnih scenarijev, pripravljenih na podlagi rezultatov simulacij dvodimenzionalnega hidrodinamičnega modela mejnega območja reke Mure med Špiljem (nem. Spielfeld) in Petanjci. Model temelji na podatkih, pridobljenih z laserskim skeniranjem obravnavanega območja v okviru projekta CROSSRISK (n. l.) in z radarsko batimetrijo rečnega dna v okviru projekta goMURra (n. l.). Poplavne karte za deset scenarijev z različno verjetnostjo nastopa med petletno in tristoletno povratno dobo so javno dostopne na spletnem portalu projekta CROSSRISK.

Katalog poplavnih scenarijev predstavlja temelj za boljše razumevanje hidroloških in hidrodinamičnih procesov na poplavnih območjih mejnega odseka reke Mure ter tudi boljšo oceno poteka visokovodnih dogodkov na slovensko-avstrijskem čezmejnem območju. Tako bo koristil tudi kot izhodišče za dopolnitev načrtov za zaščito in reševanje ob poplavih, uporaben pa bo tudi pri nadaljnjih štabnih vajah zaščite in reševanja ob reki Muri (Rak in sod., 2014).





Slika 6: Primerjava uspešnosti simulacij modela Mure ob uporabi različnih virov potencialne evapotranspiracije

Figure 6: Performance comparison of the Mura model simulations using two different PET sources

## SKLEPNE MISLI

Hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje je bil v okviru projekta CROSSRISK dopolnjen z modelskimi postavitvami slovensko-avstrijskega dela porečja Mure, ki imajo glede na predhodne modelske postavitve Mure podrobnejšo razdelitev na podporečja. Tako omogočajo podrobnejši vpogled v hidrološke razmere v porečju Mure. Poleg tega so modelske analize in napovedi pretokov točnejše zaradi večjega števila upoštevanih meteoroloških postaj, tako pri umerjanju kot tudi pri operativnem delovanju modela. Dodatne modelske prognostične točke in navezava teh na izmerjene podatke s posodobljenih ali pa na novo vzpostavljenih hidroloških postaj na avstrijskem delu porečja Mure omogočajo boljše vrednotenje rezultatov modelskih simulacij.

Z uvedbo novega vira potencialne evapotranspiracije, ki se dnevno preračunava po empirični enačbi iz časovnega niza temperature zraka v obdobju simulacije, smo dosegli izboljšanje rezultatov modelskih simulacij v obdobjih, ko se vremenske razmere izrazito razlikujejo od klimatološko pričakovanih. Ta modelska postavitve trenutno daje najzanesljivejše napovedi pretokov v porečju Mure.

Modelska postavitve z novim snežnim modelom zaradi hkratnega razvoja modela Crocus in hidrološkega modela, ki na njem temelji, ter posledično kratkega časovnega niza podatkov za umerjanje še ni dosegla optimalne učinkovitosti. S prihodnjim razvojem modela Crocus in ob ponovnem umerjanju hidrološkega modela pa pričakujemo, da bo ta modelska postavitve omogočila boljše napovedovanje pretokov reke Mure in natančnejše opozarjanje pred poplavami, zlasti v obdobju taljenja snega.

Skupinska hidrološka napoved nam glede na raztros in statistično obdelavo rezultatov 51 simulacij skupinske modelske postavitve daje informacijo o negotovosti hidrološke napovedi, ki je v veliko pomoč pri napovedovanju visokovodnih razmer ter opozarjanju pred poplavami.

Metodološke pridobitve projekta CROSSRISK uvažamo tudi na druga porečja hidrološkega prognostičnega sistema Agencije Republike Slovenije za okolje. Tako smo za vsa modelska porečja že uvedli skupinsko hidrološko napoved, leta 2022 pa uvajamo tudi novo metodo določanja potencialne evapotranspiracije.

## Viri in literatura

- Brilly, M., Šraj, M., Vidmar, A., Horvat, A., Koprivšek, M., 2012. Hidrološka študija reke Mure. Poročilo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 156 str.
- CROSSRISK, n. l. <https://www.crossrisk.eu/sl/>, 10. 5. 2022.
- EEA, 2019. Corine Land Cover 2018. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-corine>, 1. 6. 2020.
- goMURra, n. l. <https://www.gomurra.eu/sl/gomurra-programa-interreg-v-a-slovenija-avstrija/>, 10. 8. 2022.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture. Paper presented in ASAE Regional Meeting, Grand Junction, Colorado. DOI: 10.13031/2013.26773.
- Koprivšek, M., Vihar, A., Petan, S., 2021. Uporaba Hargreavesove metode za izračun potencialne evapotranspiracije pri hidrološkem modeliranju. Acta hydrotechnica, 34(61), 77–92.
- Moderc, M., Pogačnik, N., Udovč, M., Petan, S., 2015. Operativni hidrodinamični model Ljubljanskega barja. Ujma, 29, 378–382.
- Nielsen, S. A., Hansen, E., 1973. Numerical simulation of the rainfall-runoff process on a daily basis. Nordic Hydrology, 4, 171–190.
- Petan, S., Golob, A., Moderc, M., 2015. Hidrološki prognostični sistem Agencije Republike Slovenije za okolje. Acta hydrotechnica, 28(49), 119–131.
- Rak, G., Slokar, M., Steinman, F., 2014. Slovensko-avstrijsko sodelovanje pri poplavah zaradi porušitve protipoplavnih objektov na območju Gornje Radgone in Radgone. Ujma, 28, 245–254.