

## MoravaFFWS – integralna platforma za unapređenje hidrološkog prognostičkog sistema na slivu Velike Morave

Predrag Živadinović<sup>1</sup>  
Slavimir Stevanović<sup>2</sup>  
Ljiljana Dekić<sup>3</sup>  
Dejan Vladiković<sup>4</sup>  
Samir Čatović<sup>5</sup>

APSTRAKT: Nakon katastrofalnih poplava u maju 2014. godine koje su pogodile oko 1.6 miliona stanovnika Republike Srbije, Vlada Republike Srbije je usvojila Nacionalni program upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda. Koristeći sredstva predpristupnih fondova EU Programa, Republičkom hidrometeorološkom zavodu (RHMZ) odobrena su sredstva za finansiranje otklanjanja posledica poplava i unapređenje hidrološkog osmatračkog, informacionog i prognostičkog sistema za upravljanje rizikom od poplava u okviru koga je u periodu od septembra 2019. do aprila 2020. godine implementirana prognostička platforma sa operativnim hidrološkim prognostičkim modelima za slivove Južne, Zapadne i Velike Morave - MoravaFFWS (Morava Flood Forecasting and Warning System). Realizacijom aktivnosti predviđenih Programom, nakon unapređenja osmatračkog i informacionog sistema, kao konačan cilj, razvijena su 2 nova hidrološka modela koja su integrisana u Delft-FEWS platformu. Automatizacijom pojedinih koraka u procesu donošenja odluka, kao i mogućnost pregleda meteoroloških i hidroloških produkata iz različitih izvora na jedinstvenoj platformi, značajno su unapređeni kapaciteti RHMZ-a u okviru sistema za odbranu od poplava Republike Srbije. U ovom radu su prikazane projektne aktivnosti da bi ovaj sistem postao operativan, kao i pregled trenutnih i planiranih aktivnosti sa ciljem održivosti i poboljšanja sistema.

Ključne reči: Morava, prognoza, poplava, FFWS, FEWS

## MoravaFFWS - integral platform for improving the hydrological forecasting system in the Velika Morava basin

ABSTRACT: After the catastrophic floods in May 2014, which affected about 1.6 million inhabitants of the Republic of Serbia, the Government of the Republic of Serbia adopted the National Program for Disaster Risk Management. Using the EU IPA funds, the Republic Hydrometeorological Service (RHMS) was approved a donation from the European Commission to finance part of the flood risk management system within period from September 2019 to April 2020 implemented a forecasting platform with operational hydrological forecasting models for the South, West and Great Morava - MoravaFFWS (Morava Flood Forecasting and Warning System). With the implementation of activities envisaged by the Program, after the improvement of the observation and information system, as the final goal, 2 new hydrological models were developed and integrated into the Delft-FEWS platform. By automating certain steps in the decision-making process, as well as the possibility of reviewing meteorological and hydrological products from various sources on a single platform, the capacities of RHMS within the flood defense system of the Republic of Serbia have been significantly improved. This paper presents project activities to make this system operational, as well as an overview of current and planned activities with the aim of sustainability and improvement of the system.

Keywords: Morava, forecast, flood, FFWS, FEWS

---

<sup>1</sup> Predrag Živadinović, dipl.građ.inž, RHMZ, [predrag.zivadinovic@hidmet.gov.rs](mailto:predrag.zivadinovic@hidmet.gov.rs)

<sup>2</sup> Mr Slavimir Stevanović, dipl.građ.inž, RHMZ, [slavimir.stevanovic@hidmet.gov.rs](mailto:slavimir.stevanovic@hidmet.gov.rs)

<sup>3</sup> Ljiljana Dekić, dipl.met., RHMZ, [ljiljana.dekic@hidmet.gov.rs](mailto:ljiljana.dekic@hidmet.gov.rs)

<sup>4</sup> Dejan Vladiković, dipl.građ.inž, RHMZ, [dejan.vladikovic@hidmet.gov.rs](mailto:dejan.vladikovic@hidmet.gov.rs)

<sup>5</sup> Samir Čatović, dipl.građ.inž, RHMZ, [samir.catovic@hidmet.gov.rs](mailto:samir.catovic@hidmet.gov.rs)

## 1 Uvod

Sliv Velike Morave (38.200 km<sup>2</sup>) predstavlja najveći sliv u Republici Srbiji koji pokriva nešto više od 43% njene teritorije, dok se blizu 15% sliva nalazi u susednoj Bugarskoj i Crnoj Gori. Sliv Velike Morave čine 3 glavne celine: sliv Južne Morave, sliv Zapadne Morave i neposredni sliv Velike Morave. Sam sliv karakteriše raznolikost u vidu tipa vodotoka, topografije i uslova oticanja – od širokih ravnica na severu, do brdovitih predela u severo-istočnim delovima sliva do planinskih venaca koji se mogu naći u centralnim, jugo-zapadnim, južnim i istočnim delovima sliva. Imajući u vidu da se u dolinama Zapadne, Južne i Velike Morave (kao i njihovih pritoka) nalazi veliki broj naselja, industrijskih centara i velike površine obradive zemlje, može se shvatiti koliki značaj odbrana od poplava ima na ovom području Republike Srbije.

U slivu je izgrađen veliki broj hidrotehničkih objekata i struktura koje služe odbrani od poplava na glavnim vodotocima i većim pritokama, ali i dalje postoje područja koja su ugrožena od poplava. Pre svega to su ruralna područja i područja na kojima sistem nasipa nije kontinualan, pa su moguće poplave i iz zaleđa.

Potreba za nestrukturnim merama u vidu izgradnje prognostičkih sistema za rane najave i upozorenja za odbranu od poplava pokazuje svoju vrednost upravo u situacijama kada strukturne mere ne daju rezultate, omogućavajući zajednici da preventivno reaguje i spreči ili umanju štetu nastalu od poplava. Cilj ovakvih mera je da omogući službama nadležnim za zaštitu od poplava što duži „lead time“, odnosno vreme od trenutka najave događaja do trenutka samog događaja, kako bi se sprovele pripremne mere za sprečavanje, odnosno umanjenje eventualnih posledica poplavne epizode. Taj period može iznositi od više dana za veće ravničarske vodotoke, do svega nekoliko sati za male bujične vodotoke.

Nakon majskih poplava 2014.-te godine, Republika Srbija je pokrenula izgradnju niza strukturnih i nestrukturnih sistema za odbranu od poplava koji su za cilj imali kako obnavljanje porušene infrastrukture, tako i izgradnju novih sistema koji bi unapredili odbranu od poplava u Republici Srbiji.

Evropska Komisija (EK) je u ime Evropske Unije (EU) obezbedila Republici Srbiji bespovratna sredstva i zajmove kod Svetske Banke (WB) za potrebe realizacije Nacionalnog programa upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda. Program se sastoji iz 3 celine:

- Snimanje plavnih područja LIDAR-om i formiranje Digitalnog Modela Terena (DMT).
- Nadogradnja Vodnog Informacionog Sistema (VIS) Republike Srbije.
- Unapređenje osmatračke mreže kao dela sistema za rane najave i upozorenja.

Jedan od ciljeva 3. tačke Nacionalnog programa upravljanja rizikom od elementarnih nepogoda između ostalih je i podrška Republičkom Hidrometeorološkom Zavodu (RHMZ) u vidu unapređenja hidroloških prognoza. RHMZ je aplicirao za sredstva projektom – „Razvoj hidroloških modela za sliv Velike Morave (MoravaFFWS)“, a Projekat je postavio 2 osnovna cilja koje ja trebalo ostvariti:

- Razviti 2 dobro kalibrisana modela za sliv Velike Morave.
- Integrisati razvijene modele u jedinstveni sistem koji omogućava prikupljanje, obradu i prikaz osmotrenih i prognoziranih vrednosti hidrometeoroloških parametara.

U junu 2019.-te je objavljen javni poziv za prikupljanje ponuda za realizaciju projektnih aktivnosti koji je okončan izborom konzorcijuma na čelu sa holandskom firmom „Deltares“. Pored „Deltaresa“ konzorcijum čine i „Centar Građevinskog fakulteta“ d.o.o. iz Zagreba i Mihajlo Anđelić kao podugovaračke strane. Konsultanti su u svojoj ponudi predložili da se sliv Velike Morave modelira sa distribuiranim Wflow hidrološkim modelom i polu-distribuiranim HEC-HMS modelom, a kao prognostička platforma je odabran sistem zasnovan na DelftFEWS (Flood Early Warning System) softveru - MoravaFFWS.

## 2 Implementacija Morava FFWS platforme

Projekat „Razvoj hidroloških modela za sliv Velike Morave (MoravaFFWS)“ je zvanično započet inicijalnim sastankom između konzorcijuma predvođenim „Deltares“-om i stručnjaka RHMZ održanog 29. avgusta 2019.-te godine gde su predstavljeni timovi za realizaciju projekta sa obe strane i definisani pojedinačni ciljevi i vremenski rokovi za realizaciju tih ciljeva. Tim konsultanata predvodio je Klaas-Jan van Heeringen projekt menadžer Deltaresa, zatim Matthijs Lemans specijalista za Delft-FEWS, Mark Hegnauer, Helene Boisgontier, Damir Bekić, Klaudija Pranjić, Tin Kulić i Mihailo Anđelić. Sa strane RHMZ tim za realizaciju projekta predvodio je mr Slavimir Stevanović, zatim Samir Čatović, Dejan Vladiković, Ljiljana Dekić, Marija Ivković i Predrag Živadinović. RHMZ tim je tokom realizacije projekta imao podršku u vidu eksternog saradnika Prof. dr Jasne Plavšić sa Građevinskog fakulteta u Beogradu. Svaki član tima imao je svoja zaduženja i obaveze i na taj način je olakšana komunikacija između konsultanata i naručioca posla.

U Tabeli 1. dat je pregled ključnih događaja tokom realizacije projekta, odnosno predviđenih vremena izlazaka verzija DelftFEWS softvera i pratećih aktivnosti.

Tabela 1. Raspored izlazaka verzija

Table 1. Release Schedule

Verzija	Datum	Opis
radna verzija 0.1	10. okt 2019.	nezavisna Delft-FEWS aplikacija sa prikazom istorijskih podataka i GIS podlogama
radna verzija 0.2	22. nov 2019.	klijent-server Delft-FEWS aplikacija sa ulazom osmotrenih vrednosti u realnom vremenu, sa algoritmima za pre-processing na Delft-FEWS Test okruženju
verzija 1.0	19. dec 2019.	klijent-server Delft-FEWS aplikacija sa integrisanim Wflow i HEC-HMS modelima na Test i Radnom Delft-FEWS okruženju spremna za testiranje u realnim okolnostima
verzija 2.0	31. mar 2020.	Konačna klijent-server Delft-FEWS aplikacija sa integrisanim svim podacima, alatima i modelima i spremna za rad u realnim okolnostima na Test i Radnom Delft-FEWS okruženju – MoravaFFWS

Zaključcima sa inicijalnog sastanka RHMZ-a sa konsultantima predviđeno je da se razviju hidrološki modeli sa računskim korakom na časovnom nivou. Shodno tome, zadatak projektnih timova bio je sagledavanje raspoloživosti hidro-meteoroloških, satelitskih, radarskih i ostalih podataka neophodnih za pokretanje modela na slivu Velike Morave, zatim njihova sistematizacija, klasifikacija i integracija sa Delft-FEWS sistemom.

Prvi koraci u formiranju MoravaFFWS sistema svakako su bili integracija statičkih podloga poput digitalnog modela terena (Copernicus - EU DEM), vegetacioni prekrivač (Corine Land Cover 2018), pedološke podloge, granice slivova, hidrografija, lokacije akumulacija, hidroloških i meteoroloških mernih mesta kao i program rada stanica, zatim kompletne istorijske hidrološke i meteorološke podloge uključujući i krive protoka za 81 hidrološku stanicu (koje nisu statičke i sistem omogućava ažuriranje po potrebi). Pregled dostavljenih istorijskih hidroloških podataka dat je u Tabeli 2.

Sa druge strane, za operativan rad bilo je potrebno izdvojiti sve aktivne hidrološke i meteorološke stanice koje omogućavaju izveštavanje u regularnim vremenskih intervalima. U slivu Velike Morave, u trenutku formiranja MoravaFFWS sistema nalazila se 91 hidrološka stanica, od kojih je 45 imalo izveštavanje u realnom vremenu na časovnom nivou. Meteorološki podaci su u zavisnosti od kategorije mernog mesta prikupljeni na dnevnom, odnosno časovnom nivou. U Tabeli 3. dat je pregled mernih mesta meteoroloških parametara koji su korišćeni kao ulazni podaci u MoravaFFWS sistemu.

Tabela 2. Istorijski hidrolološki podaci

Table 2. Historical hydro data

Parametar	Vremenski korak	Period	Broj stanica	Opis
H	čas	2005-2018	75	časovne vrednosti vodostaja
	dan	1999-2018	91	srednjednevne vrednosti vodostaja
Q	čas	2005-2018	75	časovne vrednosti protoka
	dan	1999-2018	85	srednjednevne vrednosti protoka
H,Q	dan	1980-1999	6	Raspoložive srednjednevne vrednosti za h.s. u slivu reke Ibar sa KiM

Tabela 3. Meteorološki ulazni podaci

Table 3. Meteorological input data

Rang stanice	Broj	Parametar	Vremenski korak
Glavna meteorološka stanica	13	p,t	sat
Klimatološka stanica	39	p	dan
Padavinska stanica	187	p	dan
Automatska klimatološka stanica	11	p,t	sat
Automatska padavinska stanica	2	p	sat
APS – u toku realizacije projekta	17	p	sat

Sastavni deo MoravaFFWS sistema su i časovni radarski snimci sa radarskog centra Jastrebac koji pokriva čitavu površinu sliva Velike Morave. Radarske snimke sistem koristi da bi se omogućila tačnija vremenska i prostorna raspodela padavina po slivu na osnovu dnevnih osmatranja padavina sa padavinskih stanica. Takođe, u sistem slivaju i satelitski snimci iz evropskog Copernicus programa za procenu zaliha vode u snegu.

Pored osmotrenih i izmerenih vrednosti u MoravaFFWS sistem su integrisani su i produkti numeričkih prognoza vremena (NWP) čije su karakteristike date u Tabeli 4.

Da bi svi ti podaci bili na raspolaganju MoravaFFWS sistemu, bilo je potrebno kreirati radne procedure (Slika 1.), koje će sve podatke neophodne za pokretanje modela dostavljati u regularnim intervalima. Tako se svi hidrolološki podaci, kao i deo meteoroloških podataka (8 automatskih padavinskih stanica) koji se slivaju u hidrolološki informacioni sistem WISKI, koristeći KiDSM (Kisters Distributed Service Manager) šalju na svakih sat vremena u ZRXP formatu, dok se ostali meteorološki osmotreni podaci šalju u vidu .csv datoteka na časovnom ili dnevnom nivou u zavisnosti od raspoloživosti. Produkti numeričkih prognoza se dostavljaju u svom izvornom obliku za koje postoje predefinisane import procedure koje su sastavni deo FEWS platforme i one se dostavljaju u vremenskim intervalima prikazanim u Tabeli 4.

Tabela 4. Numeričke prognoze vremena - MoravaFFWS

Table 4. Numerical Weather Prediction – Morava FFWS

NWP	Vremenski korak (h)	Dužina prognoze (h)	Parametri	Opis
ECMWF-HRES	0-90: 1 93-144: 3 150-240: 6	240	padavine konvektivne padavine temperatura topljenje snega	Raspoloživo u 00h i 12h (UTC)
ECMWF EPS	0-90: 1 93-144: 3 150-240: 6	240	padavine temperatura	Ansambl od 51 prognoza Raspoloživo u 00h i 12h (UTC)
WRF Serbia	3	72	padavine konvektivne padavine temperatura vlažnost zemljišta visina snega topljenje snega	Raspoloživo u 00h i 12h (UTC)
ICON-EU	0-78: 1 81-120: 3	120	padavine temperatura zalihe vode u snegu	Raspoloživo u 00h, 06h, 12h i 24h (UTC)

Workflow Id	Actions	<input type="checkbox"/>	Priority	Interval	Next Due Time
Amalgamate_Monthly		<input type="checkbox"/>	Normal	day 1 of each month at 0:00	01/09/2021 00:00:00
Archive_Export_Gridded		<input type="checkbox"/>	Normal	1d	17/08/2021 04:17:00
Archive_Export_Scalar		<input type="checkbox"/>	Normal	1d	17/08/2021 03:17:00
Database_Maintenance		<input type="checkbox"/>	Normal	1d	17/08/2021 03:13:00
HEC-HMS_VelikaMorava_Forecast_ECMWF		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 9:05 21:05	16/08/2021 21:05:00
HEC-HMS_VelikaMorava_Forecast_Ensemble		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 9:10	17/08/2021 09:10:00
HEC-HMS_VelikaMorava_Forecast_ICON_EU		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 5:05	17/08/2021 05:05:00
HEC-HMS_VelikaMorava_Forecast_WRF_SRB		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 8:05	17/08/2021 08:05:00
HEC-HMS_VelikaMorava_Update		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 4:00 16:00	16/08/2021 16:00:00
Import_Copernicus		<input type="checkbox"/>	Normal	12h	16/08/2021 17:05:00
Import_NWP		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 8:15 8:30 8:45 20:15 20:30 20:45	16/08/2021 20:15:00
Import_NWP		<input type="checkbox"/>	Normal	1h	16/08/2021 12:00:00
Import_Observations		<input type="checkbox"/>	Normal	15m	16/08/2021 11:15:00
Import_Radar		<input type="checkbox"/>	Normal	1h	16/08/2021 12:10:00
Performance_Leadtime_Forecast		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 20:02	16/08/2021 20:02:00
SystemMetrics		<input type="checkbox"/>	Normal	1h	16/08/2021 12:00:00
WFlow_VelikaMorava_Forecast_ECMWF		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 9:15	17/08/2021 09:15:00
WFlow_VelikaMorava_Forecast_ICON_EU		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 7:10	17/08/2021 07:10:00
WFlow_VelikaMorava_Forecast_WRF_SRB		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 10:10	17/08/2021 10:10:00
WFlow_VelikaMorava_Update		<input type="checkbox"/>	Normal	days 1-31 of each month at 6:30	17/08/2021 06:30:00

Slika 1. Radne procedure u MoravaFFWS sistemu

Figure 1. MoravaFFWS workflows

Svi ovi koraci bili su neophodni da bi se stvorio integralni sistem koji omogućava na jednom mestu pregled osmotrenih vrednosti, prognostičkih materijala, priprema setova ulaznih podataka za hidrološke modele, pokretanje modela i prikaz rezultata hidroloških modela. Čitav taj sistem oslanja se na značajne hardverske resurse koji to mogu da podrže. Kako je projektom predviđeno da postoje 2

paralelna sistema – jedan produkcion i drugi kao test okruženje bilo je potrebno obezbediti ukupno 9 serverskih mašina čije su karakteristike date u Tabeli 5, a čija shema je data na Slici 2. Kompletna MoravaFFWS infrastruktura je virtuelna i podignuta korišćenjem MS HyperV softvera za virtualizaciju koja omogućava jednostavno upravljanje računarskim resursima.

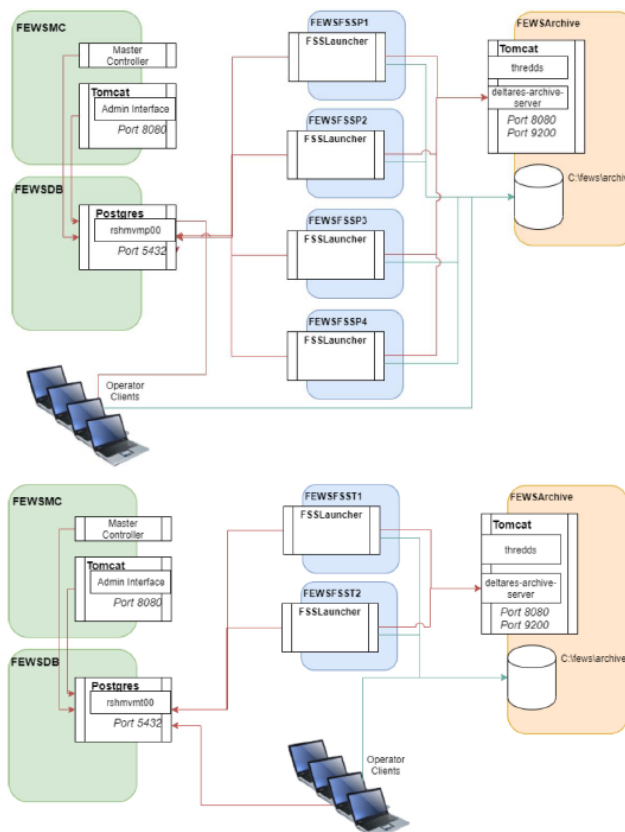
Tabela 5. MoravaFFWS sistem - hardver

Table 5. MoravaFFWS system - hardware

Server	Uloga	VM -Produkcion i	VM – Test
Glavni kontroler – MC	Server na kome se nalazi Delft-FEWS Master Controller aplikacija, upravlja svim procesima u sistemu: sadrži interfejs za administriranje sistema	FEWSMC 2 jezgra 4 GB RAM 60 GB Storage 1 mrežna kartica Microsoft Windows Server 2019	
Baza podataka - DB	centralna baza podataka	FEWSDB 2 jezgra 8 GB RAM 200 GB skladištenog prostora 1 network card Microsoft Windows Server 2019	
Računski server - FSS	računske jedinice koje obavljaju sav import, prognostičke proračune i distributivne zadatke	FEWSFSSP1 – FEWSFSSP4 Production  2 jezgra 8 GB RAM 250 GB skladištenog prostora 1 mrežna kartica Microsoft Windows Server 2019	FEWSFSST1 – FEWSFSST2 Test 2 jezgra 8 GB RAM 250 GB skladištenog prostora 1 mrežna kartica Microsoft Windows Server 2019
Arhivski server	Arhiviranje podataka	FEWSArchive 4 jezgra 4 GB RAM 1 TB skladištenog prostora 1 mrežna kartica Microsoft Windows Server 2019	

Nakon inicijalne faze projekta koja je podrazumevala podizanje sistema i prikupljanje podataka, usledilo je korak u kome je bilo potrebno definisati lokacije za koje će se izdavati hidrološke prognoze. Uvažavajući potrebe RHMZ-a konsultanti su prihvatili da sistem konfiguriraju tako da je moguće izdavati hidrološke prognoze na 16 hidroloških stanica datih u Tabeli 6.

Kalibracija i verifikacija je sprovedena za 14 od 16 hidroloških stanica. Za kalibracioni period WFLOW modela odabrana je hidrološka 2013-2014 godina, nakon čega je verifikacija modela sprovedena za čitav period od 2011-2018 godine. Sa druge strane HEC-HMS model je kalibrisan na period 2014-2018 godina, a verifikacija je izvršena u periodu 2011-2013.



Slika 2. Shema MoravaFFWS sistema

Figure 2. MoravaFFWS scheme

Tabela 6. MoravaFFWS - prognostičke lokacije

Table 6. MoravaFFWS – forecasting locations

R.br.	Hidrološka stanica	Reka
1.	Ljubičevski most	Velika Morava
2.	Bagrdan	
3.	Ćuprija	
4.	Varvarin	
5.	Guča	Bjelica
6.	Raška	Ibar
7.	Lopatnica Lakat	
8.	Kratovska Stena	Zapadna Morava
9.	Čačak	
10.	Miločaj	
11.	Jasika	Nišava
12.	Bela Palanka	
13.	Niš	Toplica
14.	Prokuplje	
15.	Korvingrad	Južna Morava
16.	Mojsinje	

Ocena WFLOW modela data je kroz Nash-Sutcliffe koeficijent (1), srednje kvadratno odstupanje (2) i Kling-Gupta test (3).

$$L_{NSE} = 1 - \left[ \frac{\sum_t [Q_s(t) - Q_o(t)]^2}{\sum_t [Q_o(t) - \bar{Q}_o]^2} \right], \quad (1)$$

gde je  $Q_s$  – sračunata vrednost, a  $Q_o$  – osmotrena vrednost.

$$L_{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_t [Q_s(t) - Q_o(t)]^2}{n}}, \quad (2)$$

gde je  $Q_s$  – sračunata vrednost,  $Q_o$  – osmotrena vrednost, a  $n$  broj podataka

$$L_{KGE} = 1 - \sqrt{(CC - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{Q_{sim}}{Q_{obs}} - 1\right)^2}, \quad (3)$$

gde je  $CC$  – Pearsonov koeficijent,  $Q_{sim}$  – prosečna sračunata vrednost,  $Q_{obs}$  – prosečna osmotrena vrednost,  $\sigma_{sim}$  – standardna devijacija sračunatih vrednosti i  $\sigma_{obs}$  – standardna devijacija osmotrenih vrednosti.

Na osnovu rezultata koji su dati u Tabeli 7. može se reći da za hidrološke godine 2013., 2014., 2015. i 2016. WFLOW model daje relativno dobre rezultate sa izuzetkom Guče i Bele Palanke. Hidrološka 2017. i 2018. godina daju značajno niže vrednosti od osmotrenih. Razlog su 2 kišne epizode na kraju 2016. i 2017.-te, gde se zbog nedovoljno podataka o padavinama u slivu dobijaju značajno niže vrednosti koje bitno utiču na konačan rezultat.

Tabela 7. WFLOW – ocena modela

Table 7. WFLOW – model assessment

Stanica	2011-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		Ceo period							
	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG							
Raška-Ibar	-1.05	0.60	-0.4	-0.75	0.57	-0.14	0.69	0.92	0.42	0.62	0.79	0.53	0.44	0.06	0.84	-0.55	0.42	0.63	0.72	0.36	0.75	0.55
Lop. Lakat-Ibar	0.32	0.67	0.62	-0.11	0.66	0.19	0.85	0.92	0.85	0.61	0.80	0.48	0.72	0.21	0.79	-0.11	0.41	0.58	0.67	0.54	0.77	0.76
Guča-Bjelica	/	/	/	-0.01	0.56	0.26	-0.21	0.74	0.27	0.40	0.76	0.66	0.10	-0.58	0.58	-0.16	0.29	0.41	0.67	0.11	0.67	0.31
K. stena-Z.Morava	0.58	0.78	0.5	0.73	0.88	0.81	0.85	0.93	0.86	0.71	0.89	0.43	0.82	0.46	0.69	0.50	0.63	0.47	0.80	0.76	0.88	0.64
Miločaj-Z.Morava	0.71	0.85	0.7	0.48	0.91	0.27	0.91	0.97	0.66	0.76	0.89	0.60	0.85	0.22	0.65	0.56	0.64	0.62	0.84	0.81	0.92	0.69
Jasika-Z.Morava	0.57	0.80	0.7	-0.01	0.82	0.04	0.88	0.95	0.70	0.73	0.86	0.60	0.80	0.12	0.78	0.05	0.55	0.53	0.78	0.70	0.87	0.69
B.Palanka-Nišava	0.23	0.62	0.6	0.54	0.77	0.72	0.54	0.78	0.27	0.46	0.76	0.37	0.37	0.26	0.58	0.44	0.59	0.69	0.78	0.54	0.75	0.54
Niš-Nišava	0.65	0.82	0.7	0.49	0.85	0.46	0.64	0.81	0.47	0.69	0.83	0.61	0.74	-0.37	0.51	0.16	0.54	0.70	0.75	0.60	0.78	0.71
Prokuplje-Toplica	0.35	0.71	0.17	-0.99	0.85	-1.04	0.57	0.84	0.03	0.67	0.86	0.34	0.43	0.77	0.89	0.59	0.64	0.44	0.82	0.58	0.80	0.32



Stanica	2011-2012		2012-2013		2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		Ceo period																
	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG	NS	RMSE	KG													
Korvingrad-J.Morava	0.56	0.81	0.7	-3.11	0.85	-3.53	0.84	0.93	0.57	0.81	0.90	0.73	0.38	0.77	0.47	-1.39	0.78	-2.43	0.28	0.74	0.42	0.60	0.39	0.63	0.60	0.60	0.81	0.81	0.71	0.59	
Mojsinje-J.Morava	0.61	0.82	0.74	-1.10	0.84	-1.37	0.79	0.91	0.73	0.78	0.89	0.70	0.39	0.77	0.58	-1.32	0.68	-1.78	0.48	0.79	0.60	0.60	0.39	0.63	0.60	0.60	0.81	0.81	0.71	0.59	
Varvarin-V.Morava	0.73	0.89	0.74	-0.37	0.84	-0.43	0.87	0.94	0.75	0.77	0.88	0.63	0.68	0.87	0.64	-0.79	0.74	-1.25	0.27	0.77	0.77	0.77	0.64	0.57	0.66	0.66	0.60	0.81	0.81	0.71	0.59
Bagrdan-V.Morava	0.56	0.68	0.69	-0.44	0.85	-0.48	0.82	0.91	0.74	0.74	0.87	0.53	0.66	0.85	0.57	-0.58	0.71	-0.81	0.51	0.78	0.63	0.63	0.63	0.63	0.60	0.60	0.81	0.81	0.71	0.59	
Ljub.most-V.Morava	0.49	0.74	0.66	0.15	0.81	0.21	0.82	0.91	0.78	0.75	0.88	0.52	0.59	0.80	0.55	-0.77	0.65	-0.77	0.51	0.79	0.68	0.68	0.68	0.68	0.60	0.60	0.81	0.81	0.71	0.59	
PROSEK	0.41	0.76	0.54	-0.32	0.79	-0.29	0.71	0.89	0.51	0.68	0.85	0.55	0.57	0.81	0.55	-0.26	0.70	-0.40	0.48	0.76	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55	0.80	0.80	0.71	0.59	

U Tabeli 8. data je evaluacija rezultata HEC-HMS modela prikazana u vidu Nash-Sutcliffe koeficijenta (1). Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da su rezultati zadovoljavajući osim u profilima h.s. Bjelica i Mojsinje.

Tabela 8. HEC-HMS – ocena modela

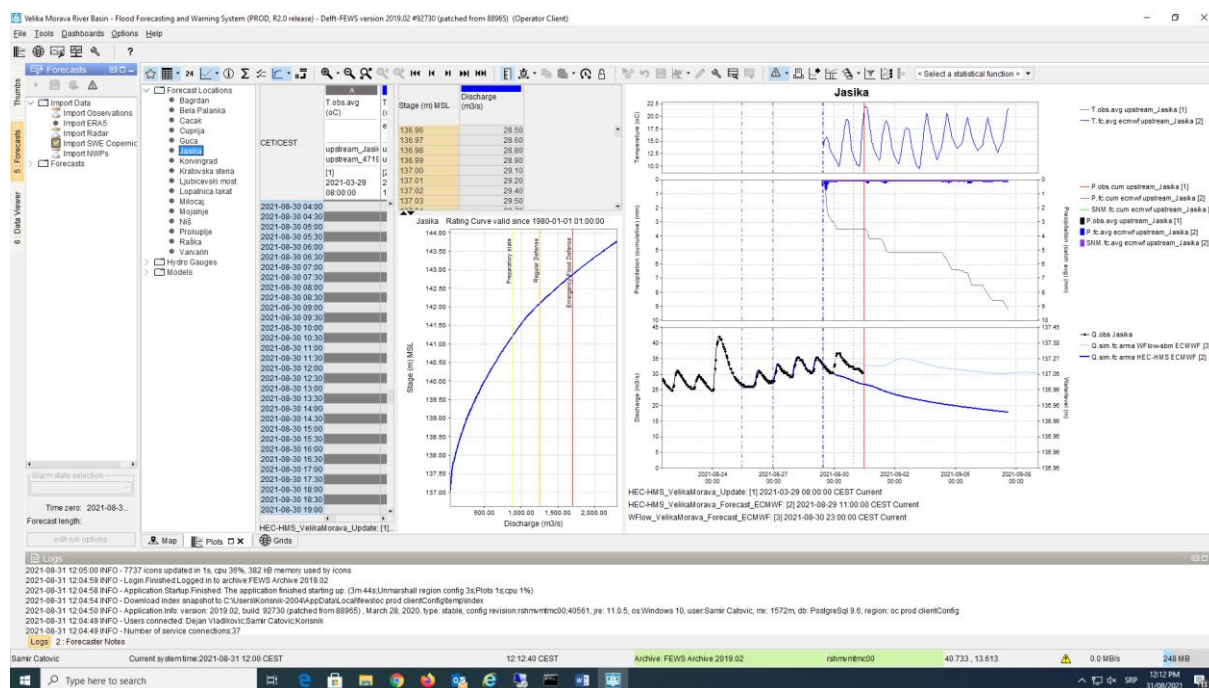
Table 8. HEC-HMS – model assessment

Stanica / hid.godina	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	PROSEK	2014-2018
Raška-Ibar	0.847	0.816	0.382	0.742	0.697	/
Lop. Lakat-Ibar	0.809	0.823	0.050	0.727	0.602	/
Guča-Bjelica	0.455	0.397	0.216	0.565	0.408	0.503
K. stena-Z.Morava	0.722	0.599	0.073	0.583	0.494	0.605
Miločaj-Z.Morava	0.661	0.392	0.449	0.732	0.559	0.634
Jasika-Z.Morava	0.699	0.865	0.388	0.619	0.643	0.736
B.Palanka-Nišava	0.720	0.869	0.631	0.598	0.705	0.755
Niš-Nišava	0.871	0.766	0.681	0.700	0.755	/
Prokuplje-Toplica	0.705	0.642	0.628	0.751	0.682	0.713
Korvingrad-J.Morava	0.602	0.578	0.520	0.674	0.594	/
Mojsinje-J.Morava	0.286	0.650	-0.568	-0.930	-0.141	0.181
Varvarin-V.Morava	0.860	0.825	0.467	0.562	0.679	/
Bagrdan-V.Morava	0.853	0.815	0.530	0.774	0.743	/
Ljub.most-V.Morava	0.797	0.813	0.498	0.751	0.715	/
PROSEK	0.706	0.704	0.353	0.561	0.581	/
PROSEK (bez Guče)	0.739	0.708	0.424	0.675	0.637	/

## 3 Operativna upotreba

Operativno praćenje i korišćenje produkata MoravaFFWS platforme u Odseku za prognozu voda, hidrološke najave i upozorenja RHMZ-a počela je tokom aprila 2020. godine (Slika 3.). Koristeći ovu platformu hidrološki prognostičar ima na raspolaganju veliki broj meteoroloških i hidroloških podataka i prognoza potrebnih za dobijanje jasne slike o stanju na vodotocima i hidrološkim izgledima na slivovima Zapadne, Južne i Velike Morave. Posle logičke kontrole pristiglih aktuelnih podataka o padavinama, temperaturama, vodostajima i proticajima, pristupa se pregledu prognoza dva hidrološka modela HEC-HMS i Wflow\_sbm sa ulaznim podacima iz četiri numerička prognostička modela: ECMWF (dva puta dnevno za narednih deset dana), ECMWF ansambl (dva puta dnevno za narednih deset dana), DWD ICON-EU (četiri puta dnevno za narednih pet dana) i WRF Serbia (dva puta dnevno za naredna tri dana). Takođe, vrlo je koristan prostorni kvantitativni pregled prognoziranih temperatura, padavina, topljenja snega i proticaja za definisani prognozni period od 3 do 10 dana, što u značajnoj meri pomaže prognostičaru u definisanju konačne prognoze.

Na osnovu dosadašnjeg iskustva, rezultati simulacija su bili mnogo tačniji prilikom korišćenja HEC-HMS modela, nego Wflow\_sbm modela, posebno sa desetodnevnom ECMWF i petodnevnom DWD ICON-EU prognozama. Ilustracije radi, tokom četiri velika talasa ove godine (sredina januara, početak februara, sredina i kraj marta 2021.) u uslovima kombinovanih padavina i intenzivnog topljenja snega, HEC-HMS model je davao jasne i tačne naznake početka i završetka epizode, kao i vrednosti vrha talasa u granicama dozvoljenih odstupanja, posebno za gornje tokove Zapadne i Južne Morave. Na osnovu toga RHMZ je poslao blagovremena i tačna upozorenja o dostizanjima/prevazilaženjima granica redovne, odnosno vanredne odbrane od poplava na prognostičkim profilima na Zapadnoj, Južnoj i Velikoj Moravi.



Slika 3. MoravaFFWS – operativna upotreba

Figure 3. MoravaFFWS - operational use

## 4 Naredni koraci

Imajući u vidu karakteristike kvalitetnog hidrološkog prognostičkog sistema, može se konstatovati da MoravaFFWS predstavlja zadovoljavajuću platformu koja integriše raspoložive podatke, produkte i modele, daje raznovrsne informacije i dovoljno je fleksibilna za integrisanja novih podataka, produkata i modela (nove hidrološke i meteorološke stanice, novu produkti numeričke vremenske prognoze, podaci sa radara itd).

Prema preporukama Svetske meteorološke organizacije publikovanim u „Manual on flood forecasting and warning“ (WMO, 2011), ne postoje striktna pravila u pogledu obezbedjenja vremena za preduzimanje mera odbrane od poplava - „lead time“. MoravaFFWS koristi meteorološke prognoze kao ulaz za izvršavanje (ranovanje) hidroloških modela, a zatim i hidrauličkog modela i kao rezultat se dobijaju vodostaji i protoci vode u prognostičkim profilima. Pod uslovom da su ulazni podaci u realnom vremenu verifikovani, tačnost hidroloških prognoza zavisi od 3 glavna faktora: tačnosti meteoroloških prognoza, tačnosti korišćenih hidrološki i hidrauličkih modela i raspoloživosti podataka o upravljaju akumulacijama. Takodje treba imati u vidu da na tačnost prognoza uticaj imaju i potrebno vreme proračuna, karakteristike, kvalitet i stabilnost korišćenih modela. Tokom realizacije projekta zaključeno je da poboljšanja treba da budu fokusirana na: implementaciji odgovarajućeg hidrauličkog modela, obezbedjenju podataka u realnom vremenu za sve aktivne i planirane hidrološke i meteorološke stanice, korišćenju meteoroloških stanica sa grejačima za merenje padavina tokom cele godine, eventualno uspostavljanje hidroloških stanica neposredno nizvodno od akumulacija i naknadnu rekalkulaciju hidroloških modela nakon instalacija novih stanica.

U skladu sa projektnim zadatkom, cilj projekta je bio kreiranje hidroloških modela kao podrške za hidrološko prognoziranje integrisanih u operativnu platformu. Konsultant je tokom projekta razvio, kalibrisao i verifikovao semi-distribuirani model HEC-HMS i potpuno distribuirani model Wflow\_smb. Takodje, izvršena je integracija modela u produkciono i test okruženje MoravaFFWS. Na osnovu analiza kroz testiranje tokom implementacije projekta i tokom korišćenja sistema u postprojektnom periodu, došlo se do novih saznanja u pogledu performansi sistema i identifikovanih nedostataka, koja bi trebala da budu osnov za buduća poboljšanja. Sprovedena je analiza nedostataka (gap analyses) koja detaljno opisuje tehničke aspekte identifikovanih nedostataka i daje preporuke za njihovo rešavanje. U fokusu analize su primarno bili podaci i procesi od kojih zavisi blagovremeno i tačno izdavanje hidroloških prognoza: hidrološki i meteorološki podaci, hidrološki i hidraulički modeli, FEWS platforma, obuka osoblja, podrška i održavanje sistema.

### 4.1 Hidrološki i meteorološki podaci

U sistemu je definisana 91 hidrološka stanica, od kojih 45 obezbeđuju podatke o vodostaju, a 42 podatke o protoku vode u realnom vremenu. Ukupan broj meteoroloških stanica iznosi 266, od tog broja 152 realizuje izveštavanje u realnom vremenu. Analiza nedostaka je pokazala da treba: povećati gustinu meteoroloških padavinskih stanica (naročito na slivu Ibra), poboljšati kvalitet mreže meteoroloških stanica nabavkom stanica sa grejačem i odgovarajućom vezom za prenos podataka u realnom vremenu, povećati vremensku rezoluciju meteoroloških stanica tako da dostavljaju podatke na časovnom nivou, obezbediti podatke o ekvivalentu vode u snegu (za potrebe modula otapanja snega) i vlažnosti zemljišta, u toku priprocesa izvršiti prostornu validaciju podataka o padavinama, obezbediti prenos hidroloških podataka u realnom vremen za stanice neposredno nizvodno od akumulacija (Batrage, Šengolj, Bivolje, Vranjska Banja, Dragušnica i Borač) i za 11 definisanih akumulacija obezbediti podatke o ispuštanju ili operativna pravila.

### 4.2 Hidrološko i hidrauličko modeliranje

Preporuke za poboljšanje uključuju: ažuriranje modula za modeliranje otapanja snega i rada akumulacija, ažuriranje početnog stanja modela, implementaciju automatske asimilacije podataka i ažuriranje parametara modela nakon unapredjenje mreža hidroloških i meteoroloških stanica.

Sistem koristi hidrološke rutine za propagaciju vodnog talasa u rečnom koritu (Muskingam i kinematski talas), koje nisu odgovorajuće za široke nizvodne deonice, tako da su rezultati na odgovarajućim prognostičkim profilima predimenzionisani. U skladu sa tim, preporučuje se: implementacija hidrauličkog modela za čitav sliv ili za nizvodne deonice od značaja. Korišćenjem hidrauličkog modela omogućava se: provera krivih protoka u profilima hidroloških stanica, informacija o vodostaju u svakom računskom poporečnom preseku i proračun plavnih zona. Bitni preduslovi za implementaciju hidrauličkog modela su: obezbediti podatke o rečnom koritu i priobalnom terenu, objektima u rečnom koritu, mostovima i topografiji terena. Preporuka je da se hidraulički model razvije na sledećim deonicama: od hidrološke stanice Miločaj nizvodno oko 200 km, od hidrološke stanice Korvingrad nizvodno oko 200 km i na celom neposrednom slivu Velike Morave (od ušća Zapadne i Južne Morave do hidrološke stanice Ljubičebški most).

### 4.3 FEWS platforma

Preporučuje se implementacija sledećih raspoloživih modula: automatsko ažuriranje stanja modela korišćenjem OpanDA platforme, modul za predviđanje neizvesnosti korišćenjem ARMA paketa i mogućnost kreiranja i slanja prognostičkih izveštaja.

### 4.4 Obuka osoblja, podrška i održavanje sistema

Raspoloživ budžet projekta nije predvideo obuku osoblja, a predložena je obuka za različite korisnike sistema: prognostičare, osoblje zaduženo za razvoj modela, konfiguraciju i administraciju sistema. Imajući u vidu da su zaposleni u RHMZ neposredno pre implementacije ovog projekta učestvovali u implementaciji slične platforme na slivu reke Save, nije bilo potrebe da se ponavljaju obuke. Za održivo korišćenje sistema u postprojektnom periodu takodje treba predvideti sredstva za obuku, podršku i održavanje.

## 5 Zaključak

Projekat MoravaFFWS je započeo u avgustu 2019. godine i trebalo je da bude završen do kraja decembra 2019. Zbog velikog opsega i složenosti zadatka, krajem decembra 2019. odobreno je produženje projekta bez troškova do kraja marta 2020. godine. Pojava i naglo širenje pandemije korona virusa početkom marta 2020. u Evropi, dovelo je do ozbiljne prepreke za blagovremeni završetak projekta i konsultantskom timu i RHMZ-u kao korisniku, onemogućivši organizaciju završne radionice u RHMZ-u.

Važnost projekta je izuzetna za RHMZ kao korisnika, ali i za druge korisnike hidroloških prognoza, posebno za sektor koji se bavi kontrolom poplava i aktivnostima odbrane od poplava.

Hidrološki modeli koji su razvijeni tokom projekta daju zadovoljavajuće rezultate imajući u vidu ograničenja u ulaznim podacima (nedovoljan broj hidroloških i meteoroloških stanica u realnom vremenu) i druge faktore koji utiču na performanse modela. Korišćenjem platforme značajno se povećava broj profila hidroloških stanica za koje mogu da izdaju numeričke hidrološke prognoze, omogućava kvalitetnija procena neophodnih akcija za donosiocce odluka u oblasti odbrane od poplava, a samim tim i eliminacija ili umanjeње eventualne štete od poplava.

## Literatura

1. Klaas-Jan van Heeringen, Mihailo Andjelić, Damir Bekić (2020) Velika Morava Flood Forecasting and Warning System – Final Report,
2. WMO-No. 1072 2011 edition (2011) Manual on Flood Forecasting and Warning