

O DOSTUPNOSTI I POUZDANOSTI PODATAKA PRI PRIMENI HIDROLOŠKIH MODELA U REALNOM VREMENU

Marija IVKOVIĆ i Julijana NAĐ

Republički hidrometeorološki zavod Srbije
marija.ivkovic@hidmet.gov.rs i julijana.nadj@hidmet.gov.rs

REZIME

Poboljšanje dostupnosti i verodostojnosti ulaznih informacija je ključni problem od koga zavisi valjanost hidroloških modela za primenu u realnom vremenu. U prethodne tri godine u okviru FP7 DRIHM projekta razvijan je distribuirani HBV model vremenskog koraka od jednog sata prema specifičnim zahtevima projekta kao i za operativnu primenu u najavi poplavnih talasa. Nakon formiranja neophodne strukture modela i interfejsa, model pilot sliva reke Kolubara je kalibrisan u cilju najave ekstremnih hidroloških pojava. Problemi u tom procesu ogledali su se u dostupnosti malog broja padavinskih i temperaturnih podataka u realnom vremenu i kratki istorijski nizovi. Neadekvatne količine padavina i njihova raspodela uslovile su dublju analizu dostupnosti drugih izvora količina i raspodele padavina na slivu. Razmatrana je mogućnost korišćenja PAC produkata radara na Fruškoj Gori i njihova pouzdanost u ekstremnim uslovima. Kalibracija modela na jednom izvanrednom hidrološkom događaju kao što su majske poplave 2014. godine u slivu reke Kolubare bila je izazov jer su bila prisutna velika izlivanja vode iz korita reka, kao i zadržavanje određene zapremine vode u akumulaciji Stubo-Rovni i kopovima RB Kolubara. Takođe, velike vode su odnele dva limnigrafa (na hidrološkim stanicama Valjevo i Draževac) pa su podaci o vodostajima bili nepouzdana. Vrednosti parametara modela kalibrisani su poređenjem zapremina i maksimalnih vrednosti proticaja talasa na deonicama gde prirodni režim toka nije bio znatno poremećen.

Ključne reči: WFLOW_HBV model, radar, kalibracija, poplave, maj 2014

1. UVOD

U operativnoj hidrološkoj praksi u Republičkom hidrometeorološkom zavodu koristi se semidistribuirani HBV

model, vremenskog koraka od jednog dana, kalibrisan za više rečnih slivova u Srbiji. Modeli zbog svojih karakteristika ne mogu da daju dovoljno jasne i precizne informacije o trenutku nailaska poplavnog talasa kao ni o njegovoj zapremini. Za simulaciju naglih promena proticaja na slivovima bujičnog karaktera neophodno je koristiti modele sa što finijim vremenskim korakom kako bi te nagle promene model mogao adekvatno da isprati. Kompleksnost topografije slivova bujičnog karaktera, takođe zahteva primenu i prostorno distribuiranog hidrološkog modela.

Uvođenjem u operativnu praksu WFLOW_HBV distribuiranog hidrološkog modela vremenskog koraka od jednog sata značajno će se unaprediti kvalitet informacije o nailasku poplavnih talasa. Tačnost hidrološkog modela u najvećoj meri zavisi od kvaliteta ulaznih podataka tj. raspodele količina padavina i temperatura vazduha osmotrenih na slivu, pa je iz tog razloga urađena analiza dostupnosti i kvaliteta podataka o padavinama u realnom vremenu na pilot slivu reke Kolubara na slučaju ekstremne hidrološke situacije iz maja 2014. godine.

2. DISTRIBUIRANI WFLOW_HBV MODEL

Model WFLOW_HBV [9] je prostorno distribuirani hidrološki model koji simulira proces transformacije padavina u oticaj, i koji je modifikacija HBV-96 modela razvijenog u švedskom hidrometeorološkom institutu (SMHI) [1]. Model koristi PCRaster [5] sistem za dinamičko modeliranje distribuiranih sistema. Za razliku od originalne verzije modela WFLOW_HBV kao rutinu za transformaciju talasa koristi metod kinematskog talasa. Transformaciju padavina u oticaj simuliraju tri glavne rutine koje manipulišu padavinama, kontrolišu vlažnost zemljišta i formiraju zapreminu talasa.

Padavine na slivu se u zavisnosti od temperature vazduha dele na kišu ili sneg i kao takve ulaze u rutinu za akumulaciju i topljenje snega ili direktno u rutinu zemljišne vlage. Pojam „vlažnost tla“ u modelu podrazumeva vlagu u tlu od površine do kraja zone korenog sistema. Voda koja infiltrira u ovu rutinu popunjava skladište vlage ukoliko njen maksimalni kapacitet nije premašen ili nastavlja svoje kretanje naniže. Dva linearna rezervoara u modelu simuliraju brzi potpovršinski i bazni oticaj. Proces kapilarnog penjanja i intercepcije takođe su modelirani.

Model reke Kolubare formiran je za slivnu površinu do HS Draževac na mreži 250x250m. Vremenska rezolucija modela je jedan sat. Statičke mape modela pripremljene su korišćenjem SRTM DEM-a [3]. Podaci o vrsti vegetacije na analiziranim slivovima preuzeti su iz Corine Land Cover (2000) [2].

3. DOSTUPNI PODACI O RASPODELI KOLIČINA PADAVINAMA U REALNOM VREMENU

U operativnom radu ali i za proces kalibracije i verifikacije modela [6], kao ulazne podatke WFLOW_HBV modelu neophodno je obezbediti prostorno raspodeljene, časovno akumulirane padavine i temperature vazduha u realnom vremenu. Takve informacije je moguće dobiti interpolacijom merenja na automatskim kišomerinim stanicama (AWS) i iz PAC produkta (Precipitation Accumulation) RAINBOW [4] softvera instaliranog na radarima u Srbiji. Kako u Srbiji jedna automatska kišomerna stanica pokriva površinu od 1870 km² neophodno je analizirati dostupnost i kvalitet podataka u realnom vremenu, posebno u oblastima gde su česte poplave bujičnog karaktera.

Na teritoriji pilot sliva reke Kolubare, u realnom vremenu, časovni podaci dostupni su na AWS Majinović, Štavica, GMS Valjevo i na AWS Sopot, Stragari i Velika Ivanča smeštenim na obližnjim slivovima. Kao drugi izvor raspodele količine padavina su časovni PAC produkti sa radara Fruška Gora, koji sliv reke Kolubare pokriva u celosti.

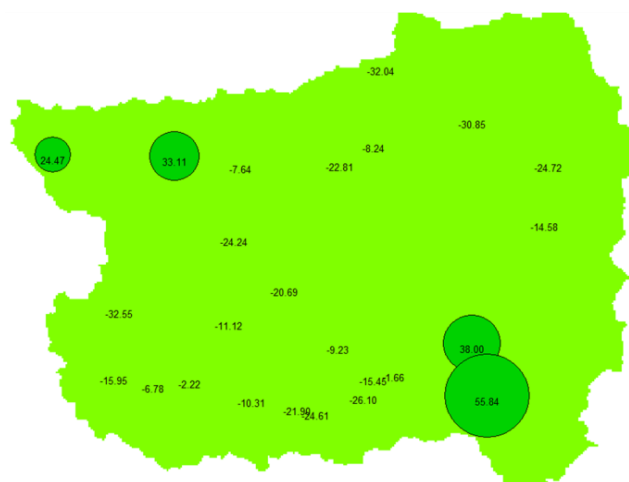
4. ANALIZA KVALITETA PODATAKA O RASPODELI KOLIČINE PADAVINA U REALNOM VREMENU

Automatski kišomeri nisu ravnomerno raspoređeni na slivu reke Kolubare, pa je važno proveriti koliko padavine dobijene interpolacijom izmerenih vrednosti mogu verno da predstavljaju stvarnu raspodelu količine padavina.

Verifikacija raspodele rađena je poređenjem sa merenjima na svim dostupnim padavinskim stanicama (PS) na slivu i oko njega. Na slivu reke Kolubara dostupne su dnevne količine padavina na 25 padavinskih stanica. Poređeni su podaci za 13. i 14. maj 2014. godine, jer su za ta dva dana postojali i PAC i podaci sa PS i AWS.

4.1 AWS

Uoprednom analizom količina padavina izmerenih na PS i padavina registrovanih na AWS na bliskim lokacijama, veća količina padavina izmerena je na padavinskoj stanici Majinović za 31,05% i na stanici Sopot za 7,55% u odnosu na padavine registrovane na AWS, dok su na padavinskoj stanici Štavica izmerene manje količine padavina za 39% kao i na Velikoj Ivanči za 60% u odnosu na količine registrovane na AWS.



Slika 1. Odstupanja (%) suma interpolisanih padavina sa AWS za 13. i 14. maj 2014. od vrednosti izmerenih na padavinskim stanicama

Mali broj AWS uslovio je primenu IDW metode za interpolaciju padavina. U literaturi se za interpolaciju padavina predlažu i druge metode ali one u našim uslovima nisu primenljive jer nemamo dovoljan broj AWS koje se postavljaju kao minimalan broj stanica da bi se metoda promenila. Nakon interpolacije na mrežu hidrološkog modela, poređenje sa padavinama izmerenim na padavinskim stanicama pokazalo je značajna negativna odstupanja od osmotrenih suma na delovima sliva koji nije pokriven sa AWS u proseku za 18%, ali i na stanicama Koceljeva, Donje Crniljevo na podslivu reke Tamnava i Liplje i Štavica na podslivu reke Ljig gde je AWS zabeležio više kiše za prosečno 38% nego na PS (slika 1). Nedostatak AWS stanica na slivu uslovio je

ovako nepovoljnu raspodelu padavina, i zato je bilo neophodno analizirati druge izvore padavinskih podataka.

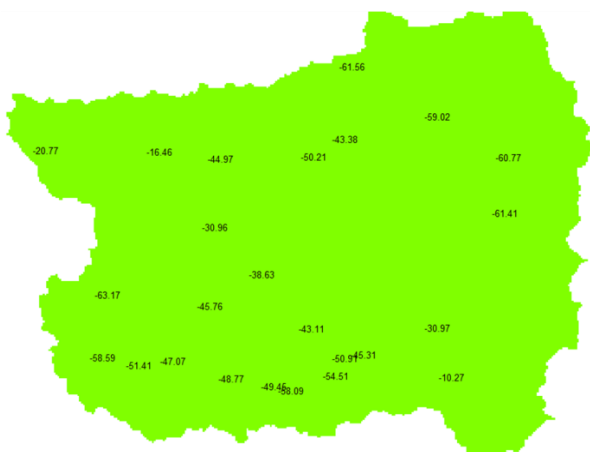
4.2 Radar

Tokom kišne epizode radio je radar na Fruškoj Gori pa su podaci o časovnim akumulacijama dostupni za skoro celu kišnu epizodu. Radar je, vazdušnom linijom, od najudaljenije tačke sliva na rastojanju od oko 120 km, pa se može tvrditi da radar bez veće greške usled Zemljine zakrivljenosti i slabljenja radarskog snopa biti u mogućnosti da da dobru procenu količine kiše koja je pala na sliv. Relacija koja se koristi za određivanje količine kiše (QPE) na ovom radaru je:

$$Z = 200 \cdot R^{1.6} \quad (1)$$

gde je Z faktor radarske reflektivnosti, a R padavine u mm h^{-1} . Ova relacija se zasniva na Marshall-Palmerovoj raspodeli veličine kapi [7], i u literaturi se preporučuje za primenu u proceni količina padavina iz slojaste oblačnosti ukoliko za određenu teritoriju i vrstu oblačnosti nisu određene posebne jednačine. Ovu Z-R relaciju koriste najveći broj meteoroloških službi.

Analiza raspodele padavina procenjenih radarom i poređenje sa podacima na PS pokazalo je značajno potcenjivanje količine padavina u rasponu od 10 do 61%, prosečno za 46% (slika 2).



Slika 2. Odstupanja (%) QPE (13. i 14. maj 2014., $Z = 200R^{1.6}$) od vrednosti sa PS

U cilju daljeg istraživanja mogućih uzroka ovako velikih odstupanja analizirani su različiti koeficijenti u Z-R relaciji koji bi mogli bolje opisati vezu faktora reflektivnosti i količine padavina. Takođe je razmotren i

potencijalni uticaj atenuacije radarskog signala koja bi se mogla javiti usled prolaska radarskog snopa kroz oblačnost.

4.2 Atenuacija

Kada se na putu radarskog snopa nađe široko rasprostranjena oblačnost javlja se slabljenje radarskog signala usled rasipanja i absorpcije elektromagnetnih talasa na tečnim i čvrstim česticama u atmosferi. Za talasnu dužinu radara Fruška Gora od 10 cm atenuacija je procenjena na oko 0.01 km^{-1} . Ukoliko radarski snop prolazi kroz više zona padavina poređanih u pravcu prostiranja snopa atenuacija može biti i višestruko veća.

Kako bi se ispitala mogućnost da je ova vrsta atenuacije razlog potcenjenih vrednosti QPE, vrednosti reflektivnosti su uvećane za +1, +2 i +3 dBZ i praćene su promene odstupanja u odnosu na vrednosti izmerene na automatskim stanicama. Na osnovu jednakosti (1) izračunate su količine padavina koje odgovaraju novim vrednostima reflektivnosti. Novodobijene vrednosti su verifikovane poređenjem sa vrednostima izmerenim na PS (tabela 1).

Smanjenje odstupanja ukazuje da bi ova vrsta smetnje mogla biti deo uzroka podcenjivanja količine padavina radarom, ali poređenje sa merenjima na PS i dalje ne daje dovoljno dobra slaganja.

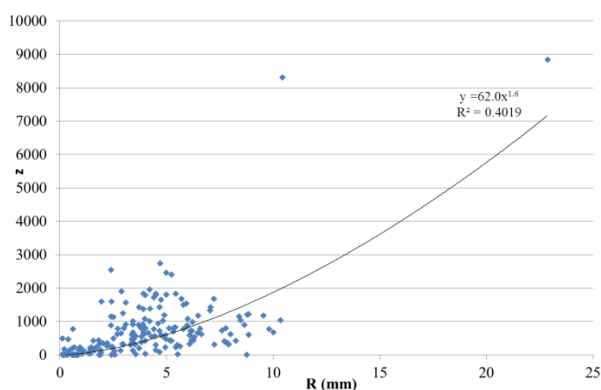
4.3 Korekcija Z-Rrelacije

Greške koje su posledica pogrešnog izbora koeficijentata u Z-R relaciji mogu biti značajne pri proceni količine padavina, posebno u ekstremnim uslovima kada postoji i najveća opasnost od bujičnih poplava. Vrednosti koeficijentata variraju od $Z = 31R^{1.71}$ kod orografskih do $Z = 486R^{1.37}$ kod pljuskovitih padavina. U toku analiziranog perioda kiša je padala umerenim, povremeno jakim intenzitetom. Ova činjenica daje osnov za tvrdjenje da se koeficijenti Z-R relacije trebaju tražiti između vrednosti $Z = 31R^{1.71}$ i $Z = 200R^{1.6}$ tj relaciju koja za niže vrednosti reflektivnost daje veće količine padavina [8].

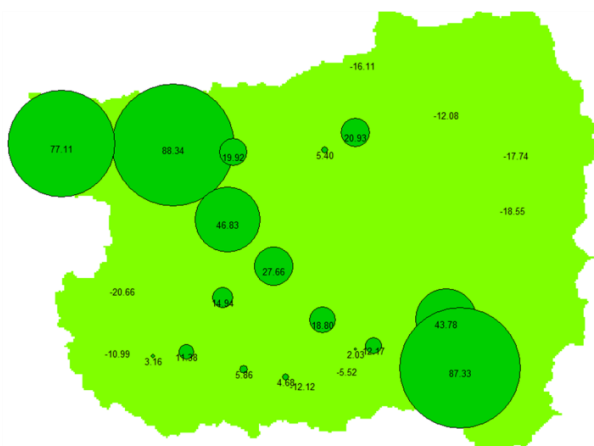
Primenom regresione metode na uzorku od 190 članova dobijena je nova relacija $Z=62.0R^{1.6}$ sa koeficijentom korelacije od $r=0,5865$ (slika 3). U slučaju da između veličina Z i R korelacija ne postoji, vrednost koeficijenta r bi bila $r_0=0,032$. Smatra se da je koeficijent korelacije zadovoljavajući ukoliko je šestostruko veći od vrednosti r_0 , što je ovde ispunjeno.

Tabela 1. Odstupanja dvodnevni sum padavina dobijenih povećanjem radarske reflektivnosti za +1,+2 i +3dBZ u odnosu na merenja na PS

Stanica:	+1 dBZ (mm)	Odstup. (%)	+2 dBZ (mm)	Odstup. (%)	+3 dBZ (mm)	Odstup. (%)	PS (mm)
Majinović	94,69	0,55	109,34	0,48	126,27	0,40	209,2
Sopot	72,07	0,66	83,23	0,60	96,11	0,54	139,7
Stragari	105,06	0,50	121,32	0,42	140,10	0,33	162,2
V.Ivanča	55,52	0,73	64,12	0,69	74,04	0,65	103,9
Valjevo	107,05	0,49	123,62	0,41	142,76	0,32	131,6
Prosečno:		0,58		0,52		0,45	

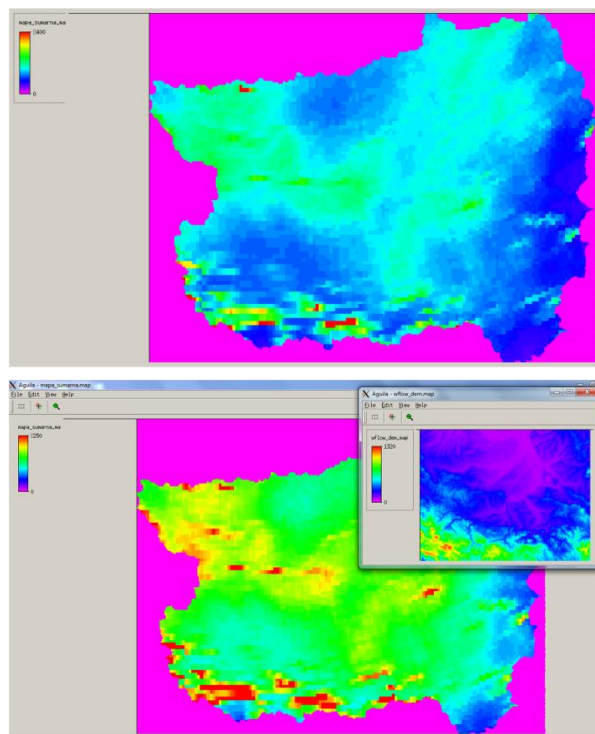


Slika 3. Relacija Z-R (period od 13. do 15. maja 2014. godine)

Slika 4. Odstupanja (%) QPE (13. i 14. maj 2014., $Z=62.0R^{1.6}$) od vrednosti sa PS

Koristeći novu Z-R relaciju dobijaju se količine padavina koje imaju bolja slaganja sa izmerenim vrednostima na PS od padavina dobijenih primenom jednačine (1) (slika 4). Značajno precenjivanje količina uočljivo je na mestu stanica Koceljeva, Donje Crniljevo, RC Valjevo, Lukavac, Liplje i Štavica. Upoređivanjem slike dvodnevni akumulirani padavina sa digitalnom

mapom terena teritorije na kojoj se sliv reke Kolubara nalazi (slika 5) uočava se da su veće količine padavina javljaju na lokacijama koje su više od 300 mmm. Ovo ukazuje na mogućnost pojave stalnih odraza.

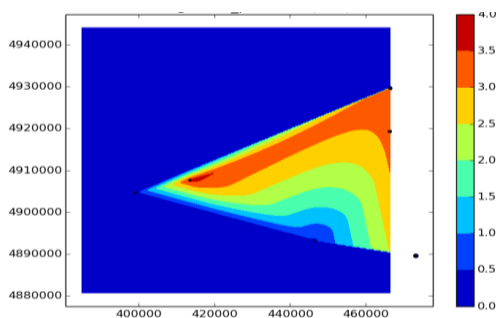
Slika 5. Dvodnevne akumulirane QPE ($Z=62.0R^{1.6}$) (gore), i dvodnevne akumulirane QPE veće od 250mm ($Z=62.0R^{1.6}$) sa digitalnom mapom terena u gornjem uglu (dole)

Ovakva odstupanja bi mogla biti takođe posledica i lošeg merenja na padavinskim stanicama jer i ovako imaju vrednosti dosta niže od izmerenih vrednosti na okolnim stanicama. Period od dva dana sigurno nije dovoljan za određivanje Z-R relacije za stratusnu oblačnost, već je za taj postupak neophodan dug niz podataka razvrstan

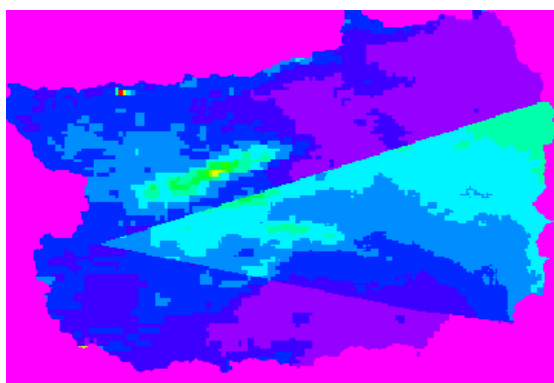
prema vrsti oblačnosti i obliku reljefa. Ovde je postupak primenjen samo radi uočavanja razlike u proceni količina padavina po dve Z-R relacije.

4.5 Korekcija radara sa registrovanim padavinama na AWS

Metod korekcije raspodele količina padavina dobijenih radarom ($Z=200R^{1.6}$) sa padavinama registrovanim na AWS je uobičajena metoda kojom se popravljaju informacije o količini i raspodeli kiše pale na sliv. Mreža tačaka sa informacijama o padavinama sa radara razlikuje se od mreže tačaka hidrološkog modela pa je neophodno interpolisati mrežu od 600x600m (Fruška Gora) na mrežu HBV modela koja je 250x250m. Razlike između QPE na pozicijama automatskih stanica i vrednosti padavina na AWS interpolisane su na mrežu hidrološkog modela (slika 6), a zatim su dodate količinama padavina sa radara (slika 7)[10].



Slika 6. Raspodela korekcija (mm)



Slika 7. Korekcija QPE podacima sa AWS

Usled malog broja AWS korekciju je moguće izvršiti delimično na centralnom i istočnom delu sliva. Nakon korekcije značajno su smanjene razlike između merenja na PS i padavina sa korigovane mape padavina, u tačkama mreže PS stanicama zahvaćenih ovom

korekcijom (tabela 2). Kako bi se uspešno primenila ova metoda neophodno je imati razvijenu mrežu AWS što se danas može reći za mali broj slivova.

Tabela 2. Promena odstupanja padavina nakon korekcije QPE sa AWS

Stanica	AWS (%)	Radar (%)	Radar AWS (%)
Valjevo	-11.11	-45.76	0.05
Lukovac	-20.69	-38.62	-12.98
Vruci	-15.45	-50.91	-3.17
Mionica	-9.22	-43.11	-8.65
Ljig	-1.66	-45.31	-15.90
Liplje	37.79	-30.96	17.36
Štavica	55.48	-10.27	-13.56
Sibnica	-27.42	-60.77	22.33

5. HIDROLOŠKA ANALIZA

Sve raspodele količina padavina dobijene u toku ove analize, korišćene su kao ulazne veličine za hidrološki model WFLOW_HBV. Analizirana su slaganja zapremina i oblik hidrograma jer su ti pokazatelji važni za kvalitetnu kalibraciju modela kao i za stvaranje dobrog slaganja osmotrenog i simuliranog proticaja na rečnom profilu pre izdavanja prognoze proticaja. Hidrogrami oticaja na odabranim profilima dobijeni korišćenjem informacija o padavinama sa automatskih stanica imaju dosta dobra slaganja sa osmotrenim hidrogramima oticaja. Na većem broju profila uzlazna grana simuliranih proticaja dobro prati podizanje talasa koje je registrovao limnigraf. Veća odstupanja javljaju se na profilima Belo Polje, Bogovađa i Zeoke, koji su posledica većih razlika u merenja padavina na AWS i PS.

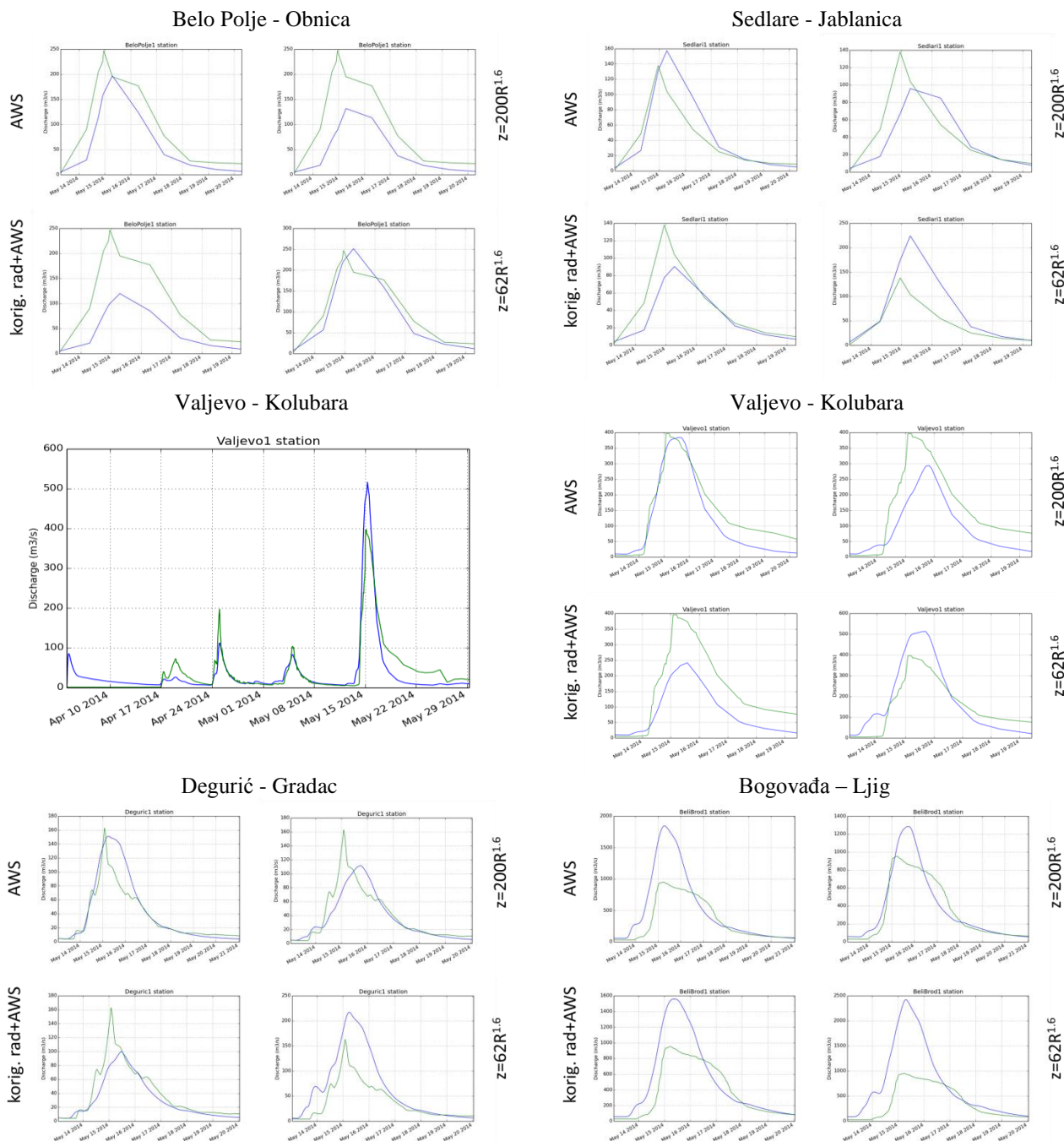
Značajno manje količine padavina određene radarom uslovile su niže vrednosti zapremina talasa na svim profilima. U toku analize podataka sa PS uočeno je značajno odstupanje merenja na padavinskim stanicama Donje Crniljevo i Koceljeva, na slivu reke Tamnave HS Koceljeva, i na stanicama Liplje i Štavica, sliv reke Ljig HS Bogovađa, od merenja na okolnim PS i AWS. Nasuprot tome, uočeno je dobro slaganje sa radarskim padavinama (slika 9). Dobro slaganje uzlazne grane hidrograma simuliranog i osmotrenog hidrograma na profilima Bogovađa i Koceljeva govori u prilog tome da je radar dobro odredio vremensku i prostornu raspodelu kiše i da odstupanja nisu posledica pogrešnog merenja, kako je u prvi mah izgledalo (slika 8).

Korekcije QPE sa podacima sa AWS u ovom slučaju nije doneo značajne korekcije u zapreminama i obliku

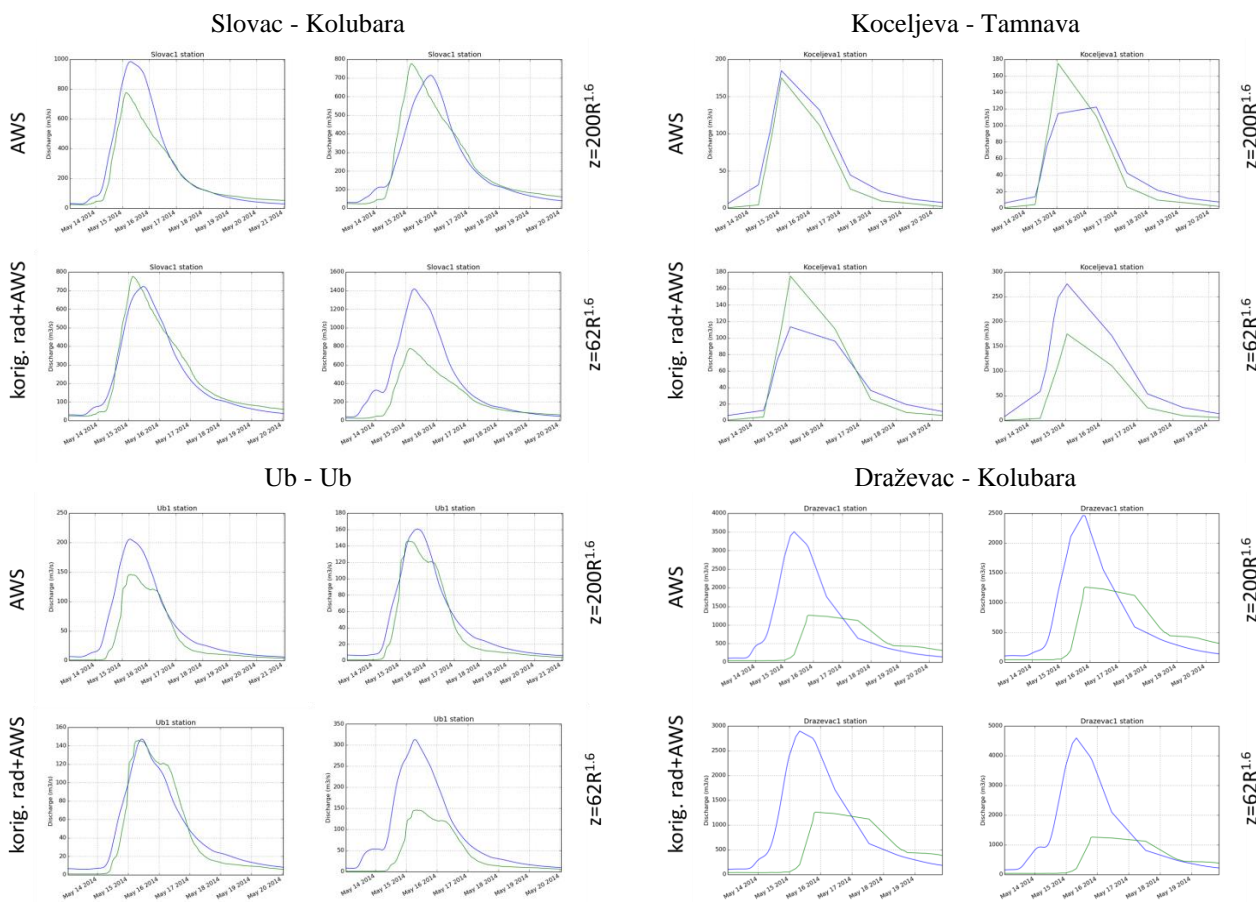
hidrograma zbog malog broja AWS na slivu kao i zbog razlika u merenju na AWS i PS na bliskim lokacijama.

Sa novom Z-Rrelacijom na južnim i zapadnim delovima sliva postali su uočljivi stalni odrazi koji su podigli

vrednosti padavina i usloveli visoke vrednosti proticaja na tim delovima sliva reke Kolubara. Ovom korekcijom dobijena su prihvatljivi rezultati koji se ogledaju u dobrim slaganjima zapremina i obliku hidrograma.



Slika 8. Osmotreni hidrogrami na hidrološkim stanicama (zeleno) i hidrogrami dobijeni WFLOW-HBV modelom (plavo)



Slika 9. Osmotreni hidrogrami na hidrološkim stanicama (zeleno) i hidrogrami dobijeni WFLOW-HBV modelom (plavo)

6. ZAKLJUČAK

Hidrološki model WFLOW_HBV je prvi distribuirani hidrološki model koji se uvodi u operativni rad u Republičkom hidrometeorološkom zavodu Srbije sa ciljem izdavanja hidroloških prognoza. Kao takav model zahteva raspodeljene podatke o količina padavina i temperatura na slivu koje je moguće obezbediti sa automatskih kišomernih stanica i radara. Ovi izvori informacija o padavinama na slivu do sada nisu korišćeni kao ulaz u hidrološke modele, pa njihova dostupnost i pouzdanost nije analizirana.

Automatske kišomerne stanice su dobar i pouzdan izvor informacija ukoliko se na sliv postavi dovoljan broj stanica i ukoliko se one redovno održavaju. Daljinska detekcija padavina radarom je takođe dobar izvor informacija jer su količine padavina prostorno raspodeljene. Početni nedostaci koji su uočeni zahtevaju investicije u kalibracije radara, ali i neinvesticione mere koje bi se

počele preduzimati sa nastavkom saradnje zaposlenih u radarskoj meteorologiji i hidrologiji.

LITERATURA

- [1] Bergstrom S., Forsman A. (1973): Development of a conceptual deterministic rainfall-runoff model, *Nordic Hydrology*, 4, pp. 147-170
- [2] EEA (2000): CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000, Technical report No. 40, European Environment Agency
- [3] Farr T.G. et al. (2007): The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, 45, p. RG2004
- [4] GematronikGmb: Rainbow Product Manual, Version 3.4, Document Release 4.2 (2001-05-02)
- [5] Karssenber D., Schmitz O., Salamon P. De Jong, K. Bierkens, M.F.P. (2009): A software framework

- for construction of process-based stochastic spatio-temporal models and data assimilation. *Environmental Modelling and Software* 25 (2009): 489-502
- [6] Lawrence D., Haddeland I., Langsholt E. (2009): Calibration of HBV hydrological models using PEST parameter estimation, Report 01, Oslo
- [7] Marshall, J.S., R.C., Langille, and W. McK. Palmer (1947): Measurement of rainfall by radar. *J. Meteor.*, 4, 186-192
- [8] Radinović Đ., Kostić A. (1997): Radarsko merenje padavina u Srbiji, studija, Republički hidrometeorološki zavod Srbije
- [9] Schellekens J. (2012): Home OpenStreamsDeltares public wiki, <http://publicwiki:deltares.nl/display/OpenS/Home>
- [10] Wilson, J. W. (1970): Integration of Radar and Rainage Data for Improved Rainfall Measurement. *J. Appl. Meteor.*, 9, 489-497

AVAILABILITY AND RELIABILITY OF REAL-TIME DATA IN HYDROLOGICAL MODELING

by

Marija IVKOVIĆ

Republic hydrometeorological service of Serbia, marija.ivkovic@hidmet.gov.rs

Julijana NAĐ

Republic hydrometeorological service of Serbia, julijana.nadj@hidmet.gov.rs

Summary

Improving the availability and reliability of the input information is a key issue on which the validity of the hydrological models that runs in real-time depends. In the last three years under FP7 DRIHM project distributed WFLOW_HBV model, with a time step of one hour, was adapted according to the specific requirements of the project parallel with a version to be used operationally for early flash flood warning. Once the necessary model structure and interface had been put in place, the model of the pilot river basin Kolubara was calibrated for issuing early warnings of the extreme hydrological phenomena. Main problems faced in this process were concerned with availability of sufficient real-time and historical precipitation and temperature data. Inadequate number of stations with precipitation data and their spatial distribution motivated a deeper analysis of other available sources of precipitation information. Possibility of using PAC products from the radar located at the Fruška Gora hill and their reliability

under extreme weather conditions was examined. Calibration of the HBV model by using available data of the extraordinary hydrological flood event that occurred in May 2014 represented a great challenge. Huge volume of water spilled into the river plains causing water accumulation in the Stubo-Rovni and unexpected inundation of the Kolubara coal mines. In addition, flood wave had broken and flashed away two water level recorders (at the hydrological stations Valjevo and Draževac) and water level data become unreliable during the most important period. The model parameters were calibrated by comparing volume and maximum discharge of the flood hydrograph at the river reaches where the natural flow regime was not significantly disturbed.

Keywords: WFLOW_HBV model, radar, calibration, floods, maj 2014

Redigovano 17.11.2015.