



Univerzitet u Novom Sadu,
Prirodno – matematički fakultet,
Departman za fiziku

Prognoza količine padavina ARW i NMM modelom za period 14-16.05.2014.

-diplomski rad-

Mentor: dr Zorica Podraščanin

Kandidat: Tatjana Radišić

Novi Sad, septembar 2015.

Svom mentoru, dr Zorici Podraščanin zahvaljujem se na predloženoj temi, podršci i pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se članovima komisije, prof. dr Agneš Kapor i prof Branislavi Lalić na korisnim savetima i sugestijama.

Hvala mojim koleginicama i kolegama koji su učinili da vreme studiranja bude ispunjeno prijateljstvom i radošću.

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj porodici na beskrajnoj ljubavi i podršci tokom studiranja, bez kojih ovo ne bih uspela.

Sadržaj:

1. Uvod.....	4
1.1 Sinoptička situacija	5
1.2 Globalni numerički modeli za prognozu vremena	10
1.3 Regionalni numerički modeli za prognozu vremena	11
1.4 Problem bočnih graničnih uslova u regionalnim modelima	12
2. Materijal i metode	14
2.1 WRF model	14
2.1.1 WRF- NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model).	14
2.1.2 WRF-ARW (Advanced Research WRF).	15
2.2 Merenje padavina	16
3. Rezultati i diskusija.....	17
4. Zaključak.....	33

1. UVOD

Srbiju su 2014. godine zahvatile obimne poplave kakve se ne pamte u poslednjih 130 godina. U Srbiji i susednim zemljama proglašena je vandredna situacija. Poplave su izazvale veliku materijalnu štetu, gubitke ljudskih života, uništenje stočnog fonda i degradaciju životne sredine. Štete koje su nastale mogle su biti veće da nije bilo pravovremenog upozorenja stručnjaka, gde se posebno ističe MeteoAlarm i HidroAlarm Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Glavni uzrok obilnih padavina je veoma sporo premeštanje dubokog ciklona preko Balkanskog poluostrva. U slivnim područjima Srbije i Bosne i Hercegovine prethodio je vlažan period, tlo je bilo zasićeno vodom, a obilne padavine su povećale nivoe podzemnih i površinskih voda što je uslovilo eroziju i klizišta.

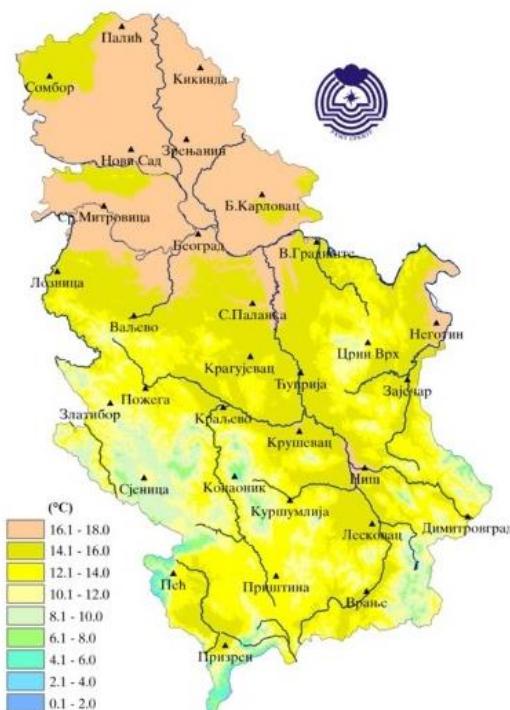
Za potrebe ovog rada, objavljene su simulacije numeričkih modela za prognozu vremena ARW (Advanced Research WRF) i NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) za period 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine kada su bili prevaziđeni dnevni maksimumi u količini padavina na prostoru Srbije. Numerički modeli su puštani sa istim domenom, rezolucijom i fizičkim karakteristikama kao modeli kojima se prave svakodnevne prognoze na sajtu departmana za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu (<http://www.df.uns.ac.rs/dfprog/prognoza.php>). Oba modela su inicirana sedam dana unapred, zatim šest dana . . . sve do jednog dana ranije kako bi se videlo da li mogu na datom domenu i sa izabranim podešavanjima da prognoziraju izuzetno veliku količinu padavina koja je pala tokom posmatranog perioda. U radu su upoređene prostorne raspodele količine padavina dobijene iz numeričkih modela za prognozu vremena, ARW i NMM, kao i izlazi iz modela sa izmerenim vrednostima na meteorološkim stanicama u Loznicama, Valjevu i Sremskoj Mitrovici.

1.1 Sinoptička situacija - Bilten Republičkog hidrometeorološkog zavoda za mesec maj 2014. godine

Maj mesec 2014. godine u Srbiji bio je prosečno topao i sa količinom padavina koja je bila iznad proseka. Nadmašeni su dnevni maksimumi količine padavina u tri grada: Valjevo, Loznica i Beograd, od početka rada tih Glavnih meteoroloških stanica. Prva tri dana maja meseca područje Balkana bilo je prekrivno slabogradijentnim ciklonalnim poljem i relativno hladnom vazdušnom masom. Vreme je bilo promenljivo oblačno i nestabilno sa pljuskovima uz povremene grmljavine. Trećeg dana maja meseca iznad zapadnog Mediterana došlo je do produbljavanja doline i formiranja ciklona koji se premeštao dalje ka istoku preko područja Srbije. U prizemlju je bilo polje niskog vazdušnog pritiska. Međutim, prolaskom ciklona na visini, došlo je do severozapadnog strujanja i porasta pritiska u prizemlju. To je uslovilo da vreme bude pretežno oblačno sa kišom uz obilne padavine, na nekim mestima. U periodu od 6. do 11. maja jača uticaj grebena iz zapadnog Sredozemlja, uz porast geopotencijala i priliv toplijeg vazduha. Od 12. do 14. maja na području Srbije došlo je do pada geopotencijala i produbljivanja doline, kada se zadržalo sunčano i toplo vreme. Tokom 15. i 16. maja ciklon, koji se stacionirao nad našim područjem, se odseca. U tom periodu Srbiju su zahvatile katastrofalne poplave koje su donele gubitke ljudskih života i stoke, uništile domove, zaustavile funkcionisanje cele zemlje i mnoge druge probleme koji će se tek javiti kao posledica ove nepogode. Uticaj ovog snažnog ciklona osetio se sve do 18. maja. Od 19. do 24. maja nad područjem Balkana vreme je bilo pretežno sunčano i toplo, jer je došlo do postepenog porasta geopotencijala i jačanja termobaričkog grebena iz Sredozemlja. Međutim od 25. maja do kraja meseca došlo je do slabljenja termobaričkog grebena, pada geopotencijala i priliva svežije vazdušne mase što je dovelo do promenljivog i oblačnog vremena uz lokalne pljuskove sa grmljavinom.

Temperatura vazduha

Srednja temperatura vazduha za maj bila je u intervalu od 5,9°C na Kopaoniku do 17,2°C u Beogradu (Slika 1.1). Prema metodi percentila¹, tokom maja 2014. godine srednja temperatura vazduha na teritoriji Srbije bila je u kategoriji normalno (Slika 1.2).



Slika 1.1: Prostorna raspodela srednje mesečne temperature u (°C) tokom maja 2014. godine



Slika 1.2: Prostorna raspodela srednje mesečne temperature određene metodom percentila u toku maja 2014. godine

Srednja maksimalna temperatura vazduha bila je u intervalu od 9,6°C na Kopaoniku do 22,5°C u Nišu. Metodom percentila određeno je da je srednja mesečna maksimalna temperatura vazduha u Srbiji bila u kategoriji normalno. U Leskovcu je 26. maja zabeležena najviša maksimalna dnevna temperatura vazduha od 30,3°C što predstavlja jedini registrovani tropski dan². Na Paliću je

¹ n-ti percentil neke veličine je ona vrednost posmatrane veličine ispod koje se nalazi n procenata podataka prethodno poredanih u rastući niz.

² **Tropski dan** je po definiciji dan sa maksimalnom dnevnom temperaturom vazduha iznad 30°C i više stepeni.

zabeležen topotni talas³ za period od 22. do 26. maja. U Velikom Gradištu, Negotinu, Zaječaru, Kruševcu, Čupiji i Nišu registrovano je jedanaest letnjih dana⁴. Srednja minimalna temperatura vazduha je tokom maja meseca bila u intervalu 2,5°C na Kopaoniku do 12,5°C u Beogradu. Metodom percentila određeno je da je srednja mesečna minimalna temperatura vazduha u većem delu Srbije bila u kategoriji normalno. Osim u Negotinu, Zaječaru, Nišu i Požegi gde je bila u kategoriji toplo. Kopaonik i Sjenica beleže najniže minimalne dnevne temperature vazduha tokom 5. i 6. maja. Tokom ovog meseca broj mraznih dana⁵ bio je u intervalu od 2 u Sjenici do 6 na Kopaoniku, što je za jedan dan više od prosečnog broja mraznih dana za ovaj mesec.

Padavine

Tokom maja meseca 2014. godine u Srbiji je registrovana količina padavina u intervalu od 92,8 mm u Kuršumliji do 317,6 mm u Valjevu (Slika 1.3). U Beogradu je zabeleženo 278,5 mm što je skoro četiri puta više od prosečne majske sume padavina. U periodu od 14. do 16. maja registrovana je najveća količina padavina (od 26,3 mm u Kuršumliji do 213,2 u Loznici). U zapadnom i centralnom delu Srbije evidentirana je najveća trodnevna suma padavina (preko 100 mm) što je više od prosečnih vrednosti za ovaj mesec (Slika 1.4). Metodom percentila utvrđeno je da je količina padavina u većem delu Srbije bila u kategoriji ekstremno kišno i veoma kišno, osim u Kruševcu, Kuršumliji i Dimitrovgradu gde je bila u kategoriji kišno Ako posmatramo dnevne maksimume padavina u toku maja, možemo primetiti da su istorijski maksimumi dnevnih količina padavina za ovaj mesec prevaziđeni 15. maja 2014. godine na pet stanica prikazanih u Tabeli 1.1.

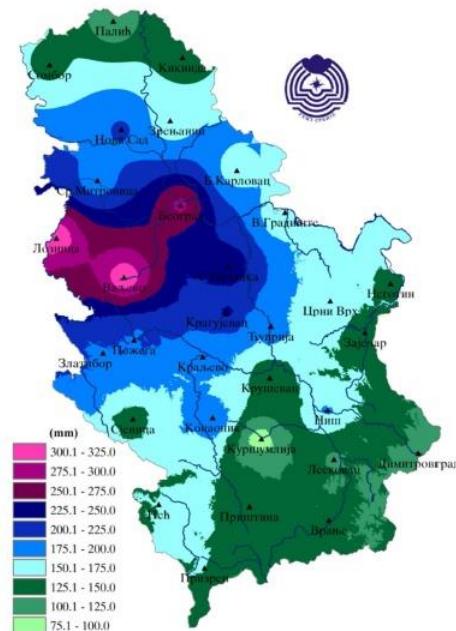
Od početka merenja (za Beograd od 1888. godine, ostale stanice od 1925. godine) do maja 2014. godine na devet Glavnih meteoroloških (GM) stanica zabeležena je najveća ukupna istorijska mesečna suma padavina (Tabela 1.2). Na GM stanicama Loznica, Valjevo i Beograd majske sume padavina su od tri do skoro četiri puta veće od prosečnih vrednosti za ovaj mesec. U Somboru je bilo 11 dana sa padavinama dok je u Valjevu bio 21 dan, što je sedam dana više od prosečnog broja dana sa padavinama za maj. U Tabeli 1.3 prikazani su prevaziđeni istorijski

³ **Topotni talas** je prema metodi percentila, period tokom koga je maksimalna dnevna temperatura vazduha u domenu veoma toplo i ekstremno toplo, 6 i više dana.

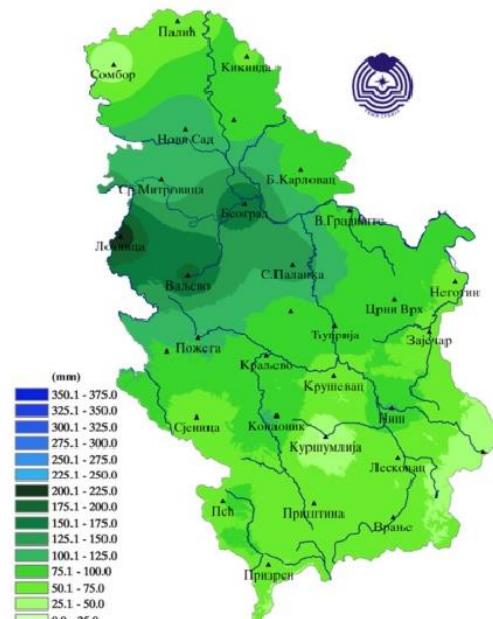
⁴ **Letnji dan** je po definiciji dan sa maksimalnom dnevnom temperaturom vazduha od 25°C i višom.

⁵ **Mrazni dan** je po definiciji dan sa minimalnom dnevnom temperaturom vazduha manjom od 0°C.

maksimumi dvodnevnih suma padavina za periode rada Glavnih meteoroloških stanica u Srbiji. Prikazane tabele i slike u ovom radu su preuzete iz mesečnog biltena Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije (*Mesečni bilten RHMZ*).



Slika 1.3: Prostorna raspodela mesečne količine padavina u milimetrima



Slika 1.4: Prostorna raspodela trodnevne sume padavina u periodu od 14. maja do 16. maja 2014. godine u Srbiji na osnovu podataka sa GMS

Tabela 1.1: Istoriski maksimumi dnevnih količina padavina za 15.05.2014. godine.

GMS stanica	Dnevni maksimum količine padavina maj 2014	Datum dnevne količine padavina 2014	Majske dnevne količine padavina	Datum dnevne količine padavina
Loznica	110,0	15	82,0	24 1937
Valjevo	108,2	15	77,5	25 1926
Beograd	107,9	15	68,7	21 1927
S.Palanka	95,3	15	59,1	22 1967
S.Mitrovica	69,1	15	53,5	26 1934

Tabela 1.2: Istoriski maksimumi ukupnih suma dnevnih količina padavina.

GSM stanica	Suma količina padavina od 01-31.05.2014. godine	Prosek za maj	Najveća majska suma	Godina najveće majske sume
Novi Sad	201,9	57,0	175,7	1987
Loznica	314,6	82,7	218,6	1938
S.Mitrovica	189,0	58,2	184,9	1939
Valjevo	317,6	88,1	213,2	1957
Beograd	278,5	70,7	191,7	1900
Kragujevac	227,0	73,8	169,7	1970
S.Palanka	238,2	69,9	164,7	1929
Zlatibor	195,6	100,0	172,5	1956
Požega	199,4	86,0	177,9	1980

Tabela 1.3: Istoriski maksimumi dvodnevnih sumi padavina.

Meteorološka stanica	Novi rekord	Datum	Stari rekord	Datum
GMS Beograd (1936-2014)	152,3	15-16.05.2014.	136,4	14-15.06.1994.
GMS Valjevo (1950-2014)	152,1	15-16.05.2014.	128,6	28-29.08.1985.
GMS Novi Sad (1949-2014)	118,1	15-16.05.2014.	113,5	09-10.06.2005.
GMS Loznica (1952-2014)	162,6	15-16.05.2014.	121,6	19-20.06.1956.
GMS Niš (1941-2014)	100,4	15-16.05.2014.	87,9	31.8-01.09.1963.

1.2 Globalni numerički modeli za prognozu vremena

Numerička prognoza vremena je računarska simulacija atmosferskih procesa koja kreće sa stanovišta da se, znajući trenutno vremensko stanje, razvoj procesa može predstaviti matematičkim formulacijama fizičkih zakona. Zakonitosti se predstavljaju sistemom nehomogenih parcijalnih nelineranih diferencijalnih jednačina koja nemaju tačna analitička rešenja nego se rešavaju metodom linearizacije čime se sistem svodi na sistem homogenih lineranih parcijalnih diferencijalnih jednačina koje se rešavaju na dva načina. Jedan način je spektralni metod, koji koriste globalni modeli, a drugi način je metod konačnih razlika koji je karakterističan za regionalne modele. Domen integracije predstavljen je 3D mrežom tačaka u kojima se određuju vrednosti atmosferskih parametara. Počevši od trenutnog stanja, za svaku tačku u vremenskom koraku, rešava se sistem jednačina za određene parametre. Korak u vremenu zavisi od horizontalne rezolucije i numeričkog metoda koji se koristi za rešavanje sistema jednačina.

U numeričkoj prognozi vremena koriste se globalni modeli, koji pokrivaju celu planetu i regionalni koji su za ograničenu geografsku oblast. Za bolje predstavljanje atmosferskih procesa i bolju prognozu, neophodna je veća rezolucija modela. Rezoluciju numeričkog modela određuju vremenske pojave, koje se žele prikazati i ograničenja u računarskim resursima kao i vremenu potrebnom za operativni rad modela. Na primer, dimenzije polja niskog ili visokog atmosferskog pritiska su reda veličine 1000 km, dok su dimenzije olujnih oblaka reda veličine nekoliko

kilometara. Jedan od načina da se reši ovaj problem je korišćenje numeričkih modela visoke rezolucije za ograničenu oblast, dok se početni i bočni granični uslovi uzimaju iz globalnih modela (grublja rezolucija).

Danas postoje dva globalna modela, koja rade prognozu za čitavu Zemlju i to su ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) model i GFS (The Global Forecast System) model. Oba modela su sa niskom rezolucijom. ECMWF je evropski centar za srednjoročnu prognozu i predstavlja nezavisnu međuvladinu organizaciju koju podržavaju 34 države. Specijalizovan je za globalne numeričke prognoze za dve nedelje unapred, ali može da proizvede i prognoze do godinu dana unapred. Na podatke ovog centra imaju pravo nacionalne meteorološke službe i države članice. GFS je globalni numerički model koji se koristi u US NWS (National Weather Service). Ovaj model se pušta četiri puta dnevno, praveći prognoze do 16 dana unapred, ali sa smanjenom prostornom rezolucijom posle deset dana. Tačnost prognoze opada s vremenom, kao i kod svakog numeričkog modela (posle petog dana ne može se sa sigurnošću potvrditi tačnost prognoze). GFS model je spektralni model⁶ sa približnom horizontalnom rezolucijom od 13 km za prvih 10 dana i 27 km za 16 dana. Vertikalna rezolucija modela je podeljena na 64 sloja. GFS podaci nisu zaštićeni autorskim pravima i dostupnim su svima. Zbog toga, ovaj model služi kao osnova za prognozu brojnih privatnih, komercijalnih i stranih kompanija.

1.3 Regionalni numerički modeli za prognozu vremena

Regionalni modeli su modeli visoke rezolucije jer prekrivaju manju oblast i jasno uočavaju orografiju i specifičnosti datog regiona. Glavni cilj ovih modela je da se što bolje prognozira stanje atmosfere u toj oblasti. Definisani su za procese sinoptičkih i podsinoptičkih razmara kretanja. Ovi modeli su zavisni od bočnih graničnih uslova. Bočni granični uslovi su neophodni kako bi se obezbedila komunikacija između atmosfere unutar oblasti integracije i atmosfere izvan ove oblasti. Na osnovu rezultata regionalnih modela prave se prognostičke karte za kratkoročnu prognozu vremena.

⁶ **Spektralni metod** – je metod visoke numeričke tačnosti; broj tačaka je relativno mali što smanjuje potrošnju računskog vremena. Spektralni metod prepostavlja rešenje kao linearnu kombinaciju kontinualnih funkcija koje su u opštem slučaju različite od nule u celom domenu rešenja.

1.4 Problem bočnih graničnih uslova u regionalnim modelima

Pokazalo se da su bočni granični uslovi (BGU) modela za ograničenu oblast od velikog značaja za razvoj prognostičkih polja. Prilikom korišćenja BGU javljaju se greške na granicama modela ali njihovi uzroci su različiti. Recimo numeričke tehnike koje se koriste za spajanje dve mreže stvaraju greške koje se prenose dalje na računsku mrežu modela za ograničenu oblast. Kao rešenje ovog problema najpre treba pokušati razumeti njihovu prirodu i maksimalno ublažiti negativan uticaj BGU na kvalitet prognoze. Problemi koje stvaraju BGU potiču od sledećih faktora:

- BGU se definišu pomoću prognoza ili analiza. Horizontalno, vertikalno i vremensko razlaganje je grublje od onog sa kojim radi model za ograničenu oblast i neophodno je izvršiti interpolaciju⁷ na finu mrežu za svaki vremenski korak, a to dovodi do slabljenja kvaliteta rešenja modela.
- Ako je razlaganje modela koji obezbeđuju BGU isto kao i kod modela za ograničenu oblast, tj. ako se pretpostavi da ne postoji greška interpolacije od grube prema finoj računskoj mreži, BGU mogu sadržati grešku koja je posledica drugih slabosti.
- BGU mogu proizvesti nerealne gravitaciono-inercijalne modove na mreži modela za ograničenu oblast.
- Šeme za parametrizaciju fizičkih procesa mogu biti različite u modelu za ograničenu oblast i modelu sa grubljom rezolucijom koji obezbeđuje BGU.

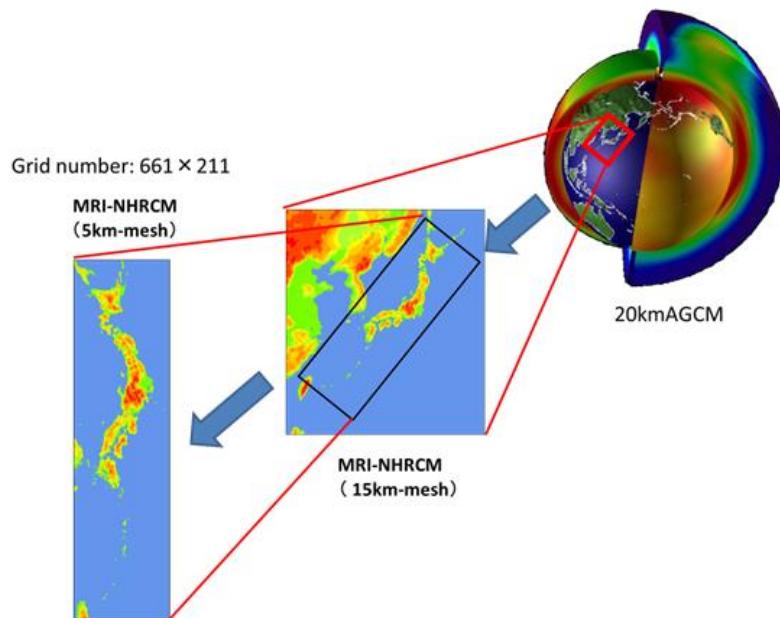
Jedno od rešenja problema bilo bi pomeranje bočnih granica modela daleko od oblasti koja nas interesuje, tako da se uticaj BGU održava u prihvatljivim granicama tokom integracije. Adekvatna veličina oblasti integracije je proizvoljna, zasniva se na probama i pokušajima kao i ograničenjima računarskih resursa. Opšti uslov je da je greška BGU prihvatljiva ako je uporediva sa ostalim faktorima grešaka: početnim uslovima, numeričkim aproksimacijama i parametrizacijom fizičkih procesa (*Lazić, 2010*).

Kao bočni granični uslovi mogu se koristiti polja istog regionalnog modela sa lošijom rezolucijom, takav postupak se naziva nesting (umetanje). Nesting obično znači da se obe (ili

⁷ **Interpolacija**- u numeričkoj analizi se ovaj izraz koristi za postupak kojim se između dve poznate vrednosti neke funkcije umeće neka nova, obično jednostavnija, funkcija tako da ova vrednost ne odstupa od date za više od neke željene granice.

više) oblasti istovremeno integrišu. Na osnovu ovog principa, možemo određivati na dva načina BGU:

1. Jednosmerni (one way nesting) – gde se polja pripremaju iz prethodne integracije modela sa lošijom rezolucijom.
2. Dvosmerni (two way nesting) – kada se model sa lošijom i boljom rezolucijom izvršavaju istovremeno.



Slika 1.4: Primer nesting-a u japanskom klimatskom modelu

2. MATERIJAL I METODE

2.1 WRF model

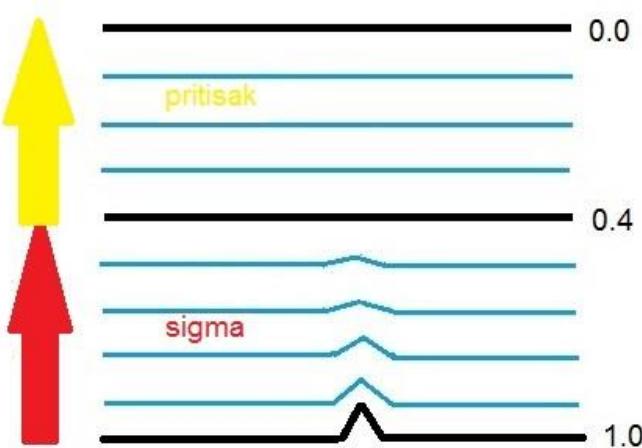
WRF (The Weather Research and Forecasting) je model nove generacije sistema numeričkog predviđanja vremena mezo razmara, dizajniran da se koristi u atmosferskim istraživanjima i za potrebe operativne prognoze. Poseduje dva dinamička jezgra ARW (Advanced Research WRF) (*ARW Version 3 Modeling System's User's Guide, 2014*). i NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) (*NMM Version 3 Modeling System's User's Guide, 2014*) za simulaciju atmosferskih promena.

2.1.1 WRF - NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model)

WRF – NMM model je jedna od nekoliko verzija numeričkog modela za prognozu vremena koji je stvarao stručnjak sa prostora Srbije, prof. Zaviša Janjić. Karakteristike ovog jezgra: potpun sistem jednačina (hidrostatičke i nehidrostatičke), adekvatno smanjenje računskog vremena kad se koristi niža prostorna rezolucija, korišćenje metoda u kojima su šumovi maksimalno prigušeni. Vertikalna koordinata je hibridna sigma (*Philips, 1957*), koja adekvatno prati orografiju terena i njen uticaj koji postoji do određene visine, na kojoj je vrednost pritiska približno 420 mbar, a zatim se kao vertikalna koordinata koristi pritisak (Slika 2.1). Sigma koordinata je bazirana na hidrostatičkom pritisku π , njene vrednosti se nalaze u intervalu od 1 do 0, a računa se na sledeći način:

$$\sigma = \frac{\pi - \pi_t}{\pi_s - \pi_t} \quad (2.1)$$

π - hidrostatički pritisak, π_t - pritisak na gornjoj granici atmosfere, π_s - prizemni pritisak.



Slika 2.1: Vertikalna sigma- π hibridna koordinatna

U horizontalnom pravcu, pri numeričkom izračunavanju meteoroloških polja koristi se metod mreže tačaka i to Arakavina (Arakawa) polurazmaknuta E mreža (*NMM Version 3 Modeling System's User's Guide, 2014*).

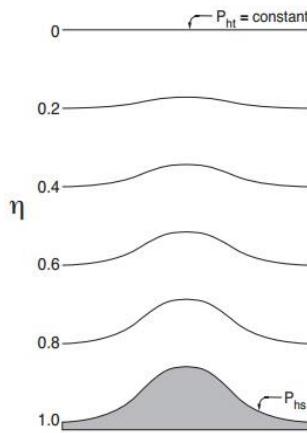
2.1.2 WRF - ARW (Advanced Research WRF)

Ovo jezgro WRF modela se bazira na nehidrostatičkim jednačinama u Ojlerovom sistemu. Jednačine se rešavaju numerički, metodom konačnih razlika⁸ na razmaku Arakavinoj (Arakawa) C mreži. U toj mreži se komponente veta U,V,W računaju na granicama elementarne 3D mreže, a sve ostale skalarne veličine kao srednjaci. Vertikalna koordinata η (*Laprise, 1992*) je hidrostatička koordinata pritiska koja prati teren, formulisana na sledeći način:

$$\eta = \frac{p_h - p_{ht}}{\mu} \quad \text{gde je} \quad \mu = p_{hs} - p_{ht} \quad (2.2)$$

p_h - hidrostatička komponenta pritiska, p_{ht} - pritisak na gornjoj granici modela, p_{hs} - pritisak na površini, na dnu modela. Vertikalna koordinata uzima vrednosti od 1 na površini do 0 na gornjoj granici modela, što se može videti na slici (Slika 2.2) (*ARW Version 3 Modeling System's User's Guide, 2014*).

⁸ **Metod konačnih razlika-** numerička metoda koja se zasniva na diskretizaciji diferencijalnih jednačina prevođenjem na jednačine sa konačnim razlikama



Slika 2.2: ARW vertikalna koordinata.

2.2 Merenje padavina

Padavine su produkti vodene pare, u čvrstom i tečnom agregatnom stanju, u vazduhu koji padaju na zemljinu površinu ili se formiraju pri Zemljinoj površini. (Mihailović i sar., 2008). Formiraju se u debelim slojevima oblaka tipa *Stratocumulus* (Sc), *Altocstratus* (As) ili *Nimbostratus* (Ns) a kišu redovno produkuje *Cumulonimbus* (Cb) a ponekad i *Cumulus* (Cu). Oblaci s padavinama su uglavnom vezani za ciklone i frontalne prodore vlažnog vazduha. Problem koji nastaje prilikom posmatranja padavina je taj što su različitog intenziteta i trajanja.

U ovom radu posmatrane su dnevne količine padavine izmerene od 14.05 do 16.05.2014. godine na tri GM stanice: Lozniča, Valjevo i Sremska Mitrovica. Dnevna količina padavina za određeni dan predstavlja sumu padavina od 06 UTC prethodnog dana do 06 UTC posmatranog dana (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Istorija mesečna suma padavina u toku maja meseca na tri GMS.

GSM stanica	Suma količina		Najveća majska suma	Godina najveće majske sume
	padavina od 01-31.05.2014.	Prosek za maj godine		
Lozniča	314,6	82,7	218,6	1938
Valjevo	317,6	88,1	213,2	1957
S.Mitrovica	189,0	58,2	184,9	1939

3. REZULTATI I DISKUSIJA

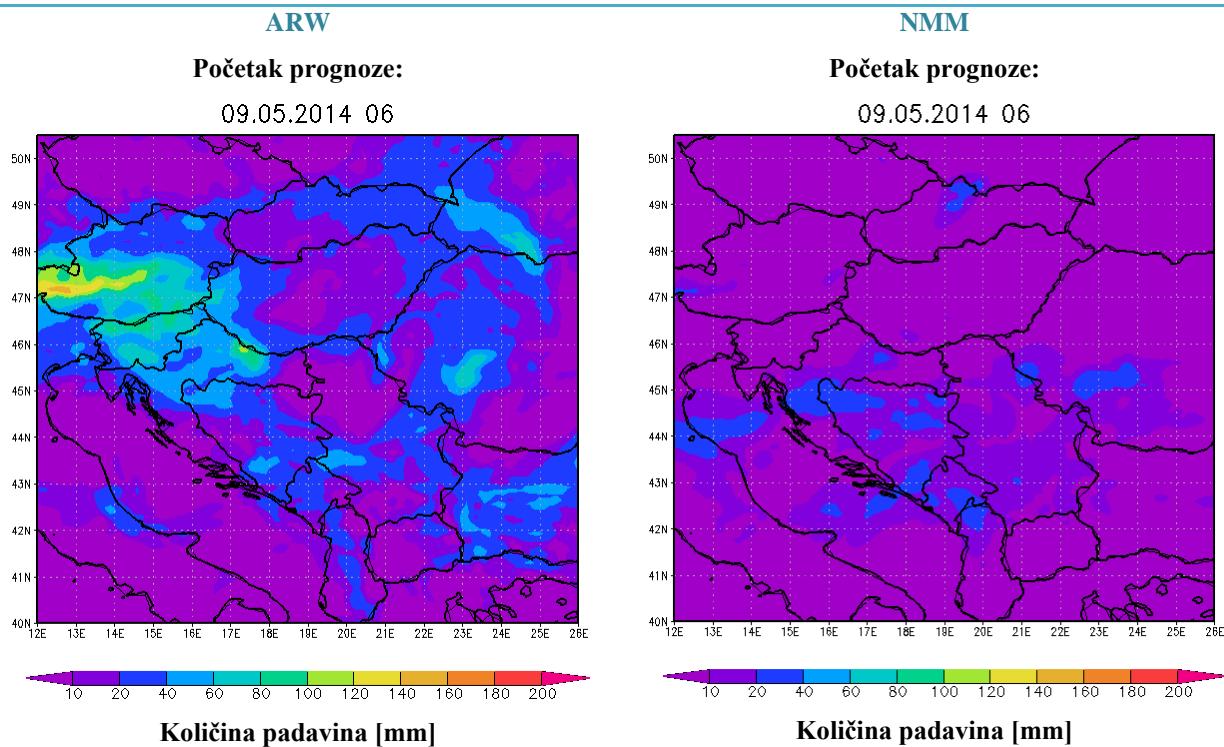
Koristeći ARW i NMM numerički model za prognozu vremena prognozirana je dnevna količina padavina za 14.05 , 15.05 i 16.05.2014. Modeli su puštani sa početnim uslovima i bočnim uslovima dobijenih iz prognoza globalnog modela od 09.05, 10.05, 11.05, 13.05, 14.05 i 15.05. Model je pokrenut u 06 UTC. Za početne i granične uslove koristili smo GFS prognoze. Ovi podaci su javno dostupni na <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>. Modelske domene, rezolucija modela i fizičke osobine su iste kao kod modela koji prave svakodnevne prognoze na <http://www.df.uns.ac.rs/dfprog/prognoza.php>. Karakteriste modela kao što su domen, projekcija i rezolucija date su u Tabeli 3.1. Fizičke karakteristike modela opisane su u Tabeli 3.2.

Tabela 3.1: Karakteristike ARW i NMM numeričkih modela.

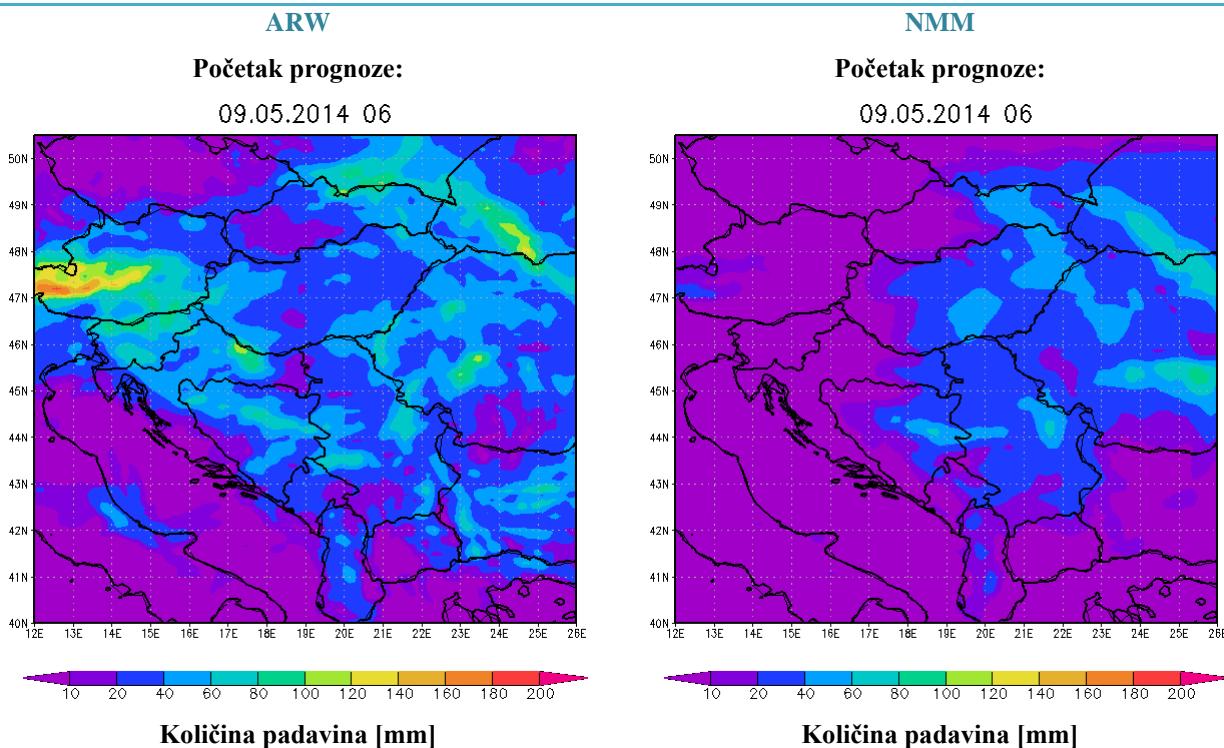
Model/Karakteristike	Domen (broj tačaka)	Projekcija	Referentne g. širina i g. dužina	Rezolucija (korak u mreži)
ARW	151×151	Lambertova	45,25° 19,85°	10km
NMM	120×120	Rotirana g. širina- g. dužina	45,25° 17,81°	0,09°

Tabela 3.2: Fizičke šeme korišćene u ARW i NMM numeričkom modelu.

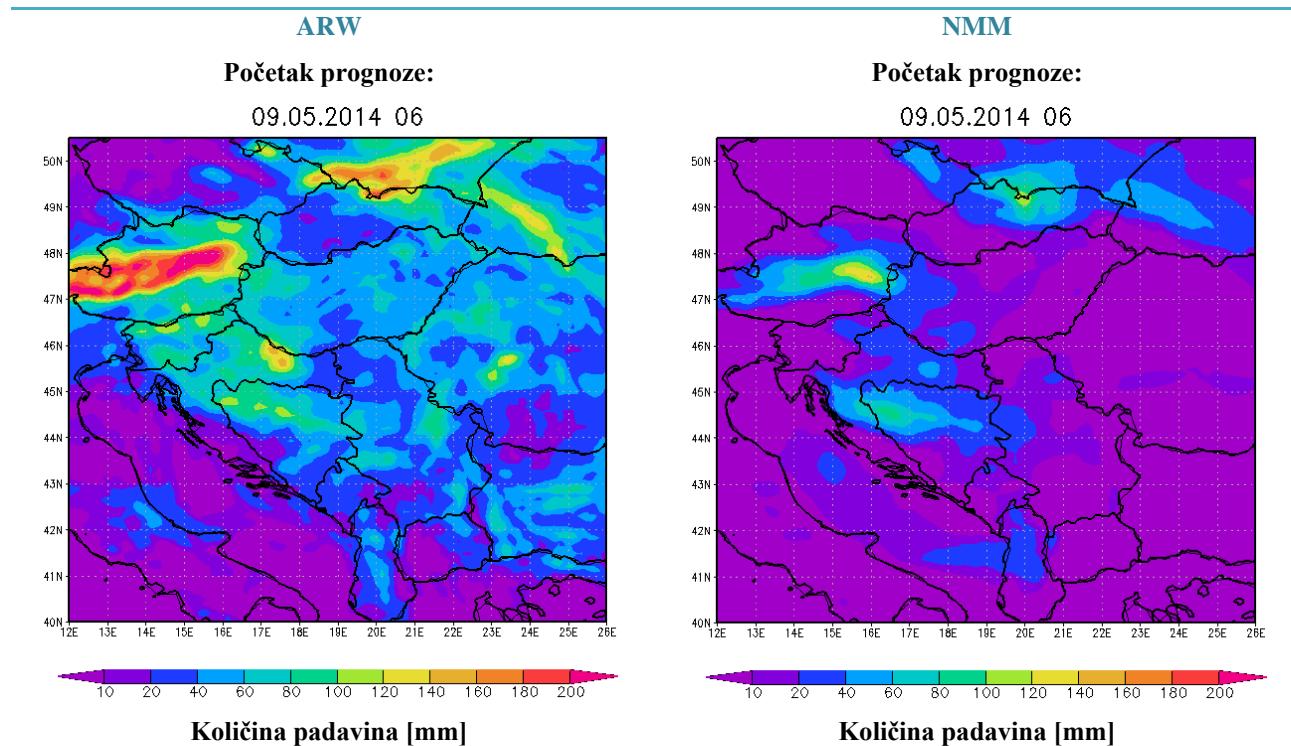
Model/ Karakteristike	Mikrofizika	Površinski sloj	Zemljište	Planetarni granični sloj	Kumulusna parametrizacija
ARW	WRF Single- Moment 3- class scheme (Hong, i sar., 2004)	MM5 similarity (Paulson, 1970)	Noah Land surface model (Tewari, i sar., 2004)	Yonsei University scheme (Hong, i sar., 2006)	Kain-Fritsch scheme (Kain, 2004)
NMM	Eta microphysics (Ferrier, 1994)	Eta similarity (Janic, 1996)	Noah Land surface model (Tewari, i sar., 2004)	Mellor- Yamada- Janjić scheme (Janic, 1994)	Betts-Miller-Janjić scheme (Janic, 1994)



Slika 3.1: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 14.05.2014. sa početkom 09.05.2014. u 06 UTC

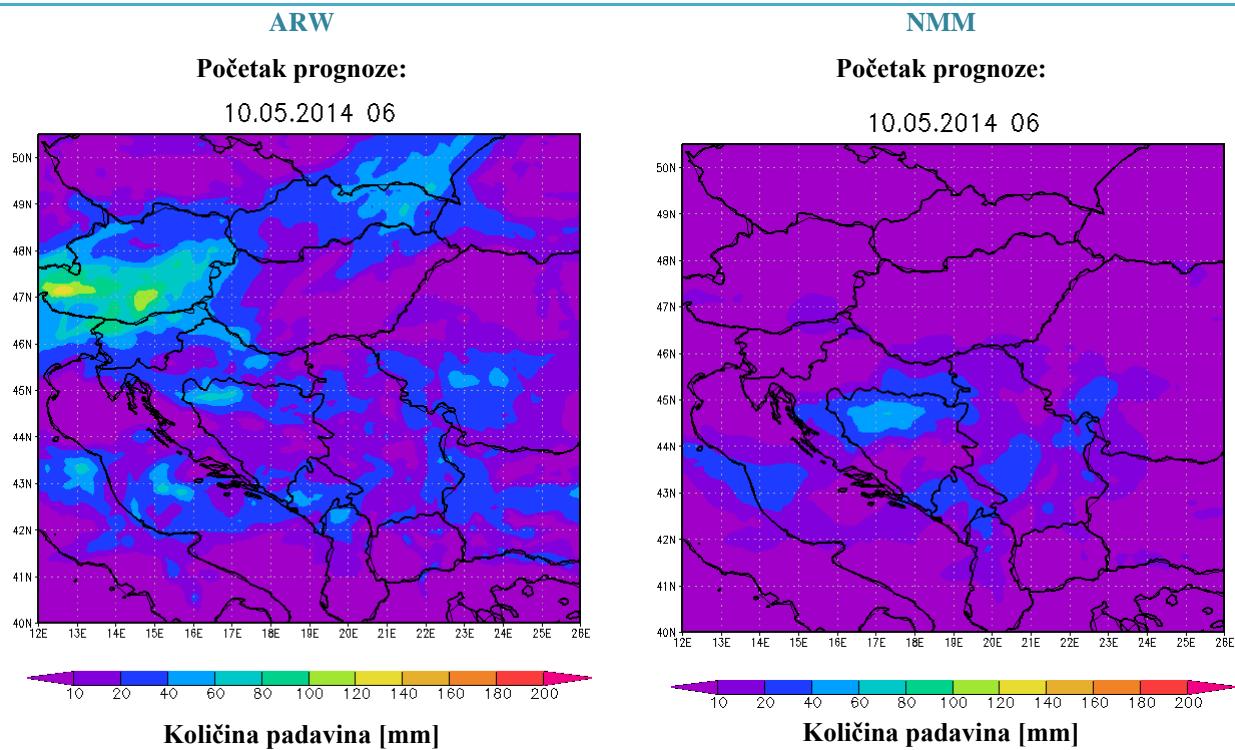


Slika 3.2: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05.2014. sa početkom 09.05.2014. u 06 UTC

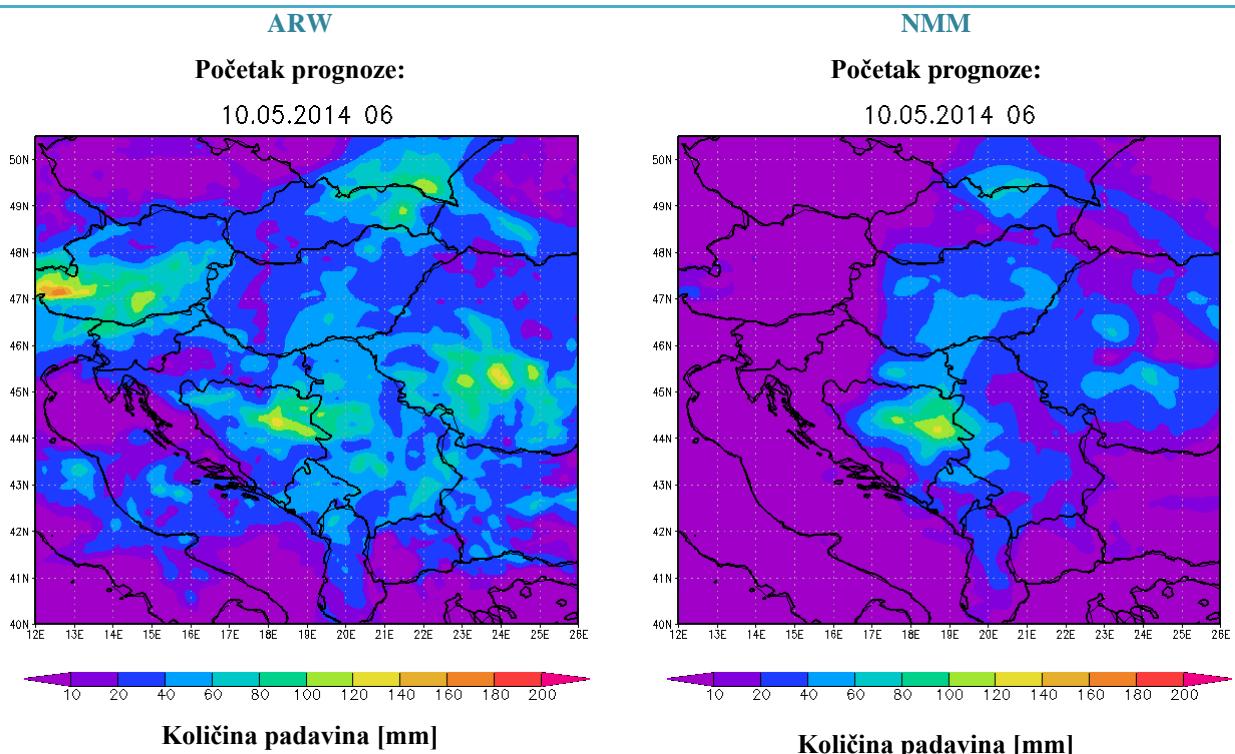


Slika 3.3: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 09.05.2014. u 06 UTC

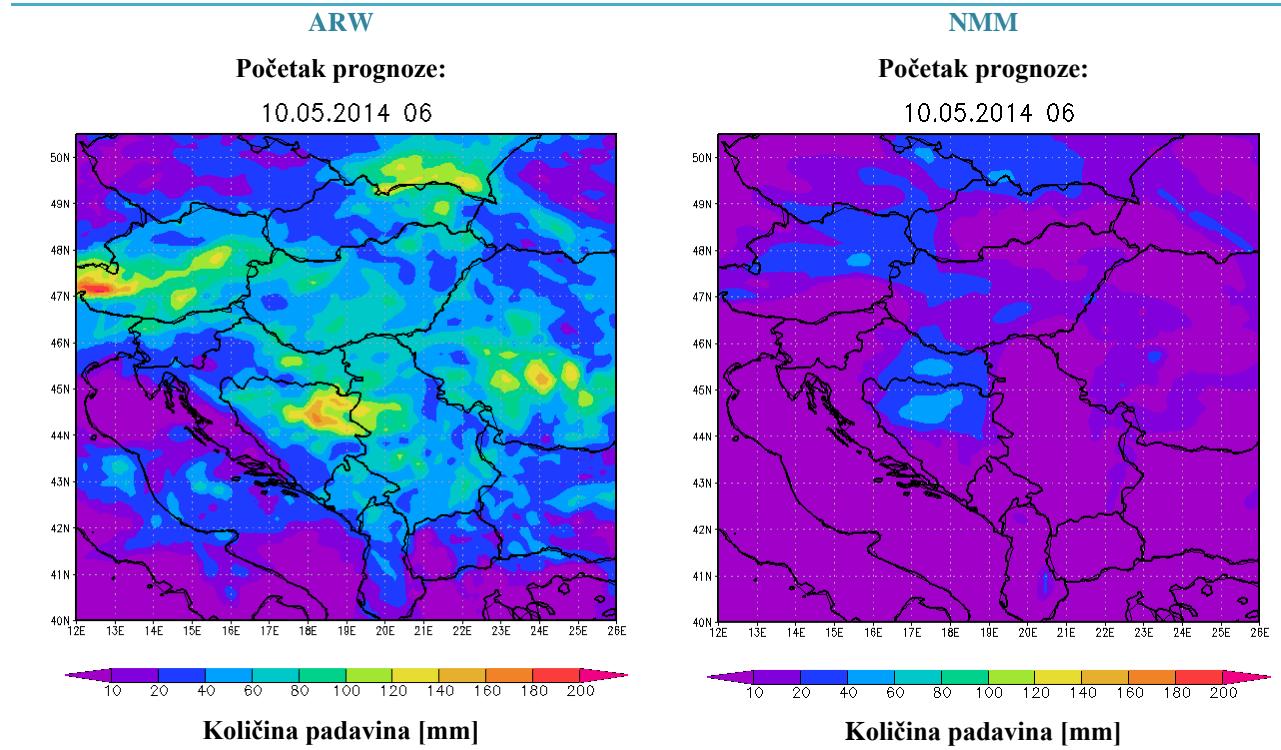
Na slikama 3.1, 3.2 i 3.3 prikazane su dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom sa početnim uslovima od 09.05.2014. godine za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine, redom. Dnevna količina padavina za određeni dan predstavlja sumu padavina od 06 UTC prethodnog dana do 06 UTC posmatranog dana (na isti način se meri na klimatološkim stanicama). Sa slika se vidi da ARW i NMM model različito prognoziraju prostornu raspodelu padavina. ARW model predviđa veće količine padavina na teritoriji Srbije tokom sva tri posmatrana dana. Oba modela prognoziraju najveću količinu padavina za 15.05.2014. godine. Istog dana NMM model ne predviđa padavine na prostoru Austrije i Slovenije, koje predviđa ARW modela.



Slika 3.4: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 14.05.2014. sa početkom 10.05.2014. u 06 UTC

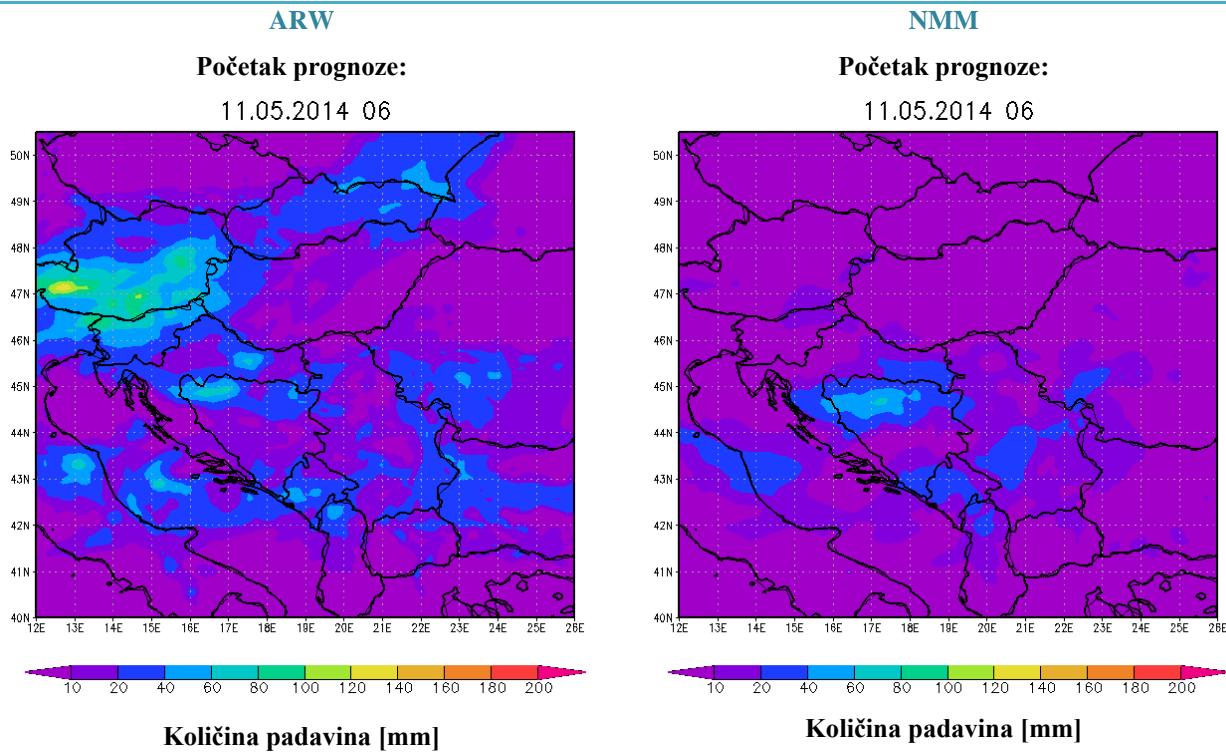


Slika 3.5.: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05.2014. sa početkom 10.05.2014. u 06 UTC

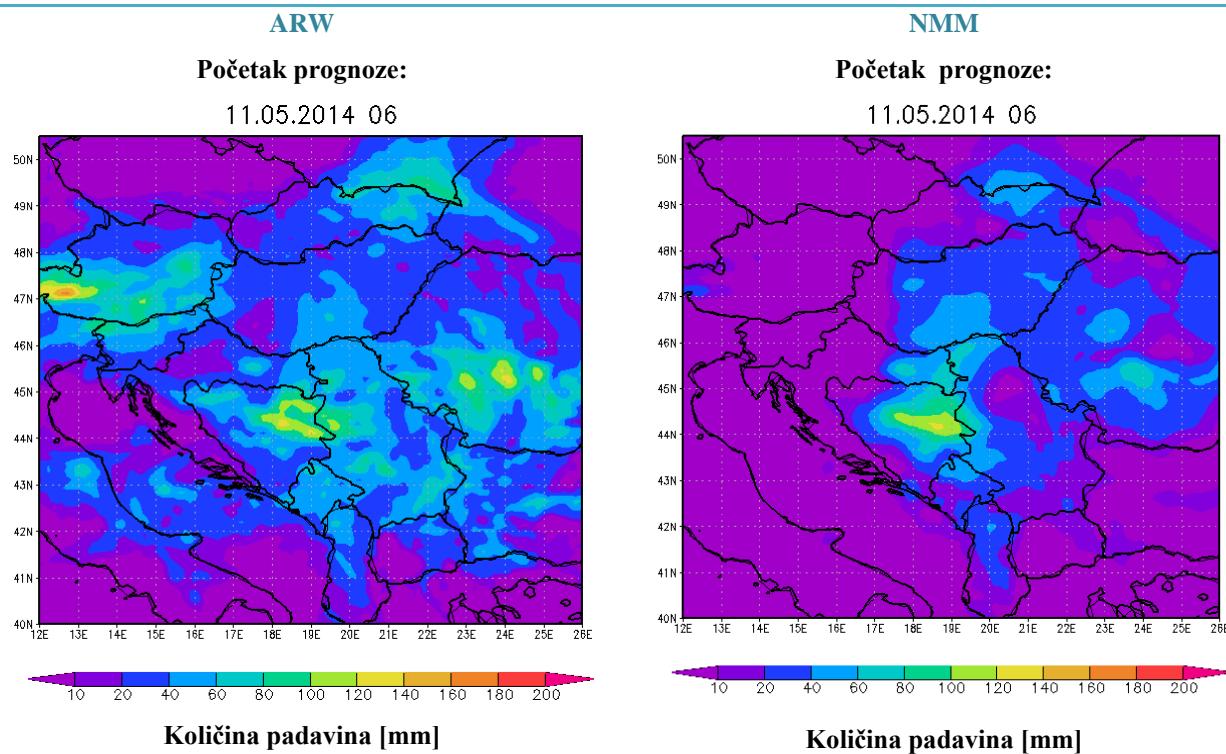


Slika 3.6: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 10.05.2014. u 06 UTC

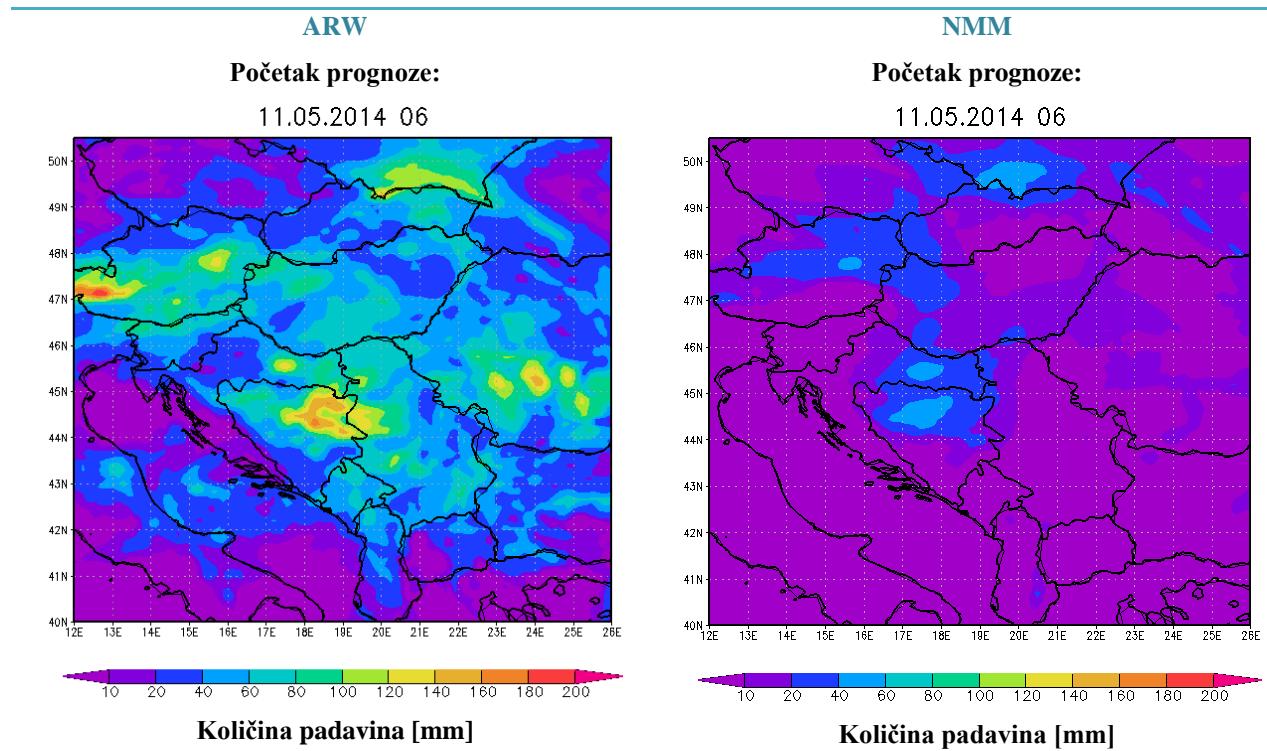
Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom prikazane su na slikama 3.4, 3.5 i 3.6 sa početnim uslovima od 10.05.2014. godine za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine, redom. Na ovim slikama se može bolje uočiti različita prostorna raspodela padavina prognozirana navedenim modelima, naročito na slici 3.6. Prognoza puštena ARW modelom sa početnim uslovima od 10.05.2014. predviđa veće količine padavina za 15.05 i 16.05 od prognoze puštene sa početnim uslovima od 09.05.2014. godine. ARW model i dalje predviđa veće količine padavina od NMM modela. Razlike u očekivanim količinama padavina još uvek su najveće iznad Austrije gde ARW model prognozira velike količine padavina, a NMM model ih prognozira jako malo ili ih uopšte ne prognozira.



Slika 3.7: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 14.05.2014. sa početkom 11.05.2014. u 06 UTC

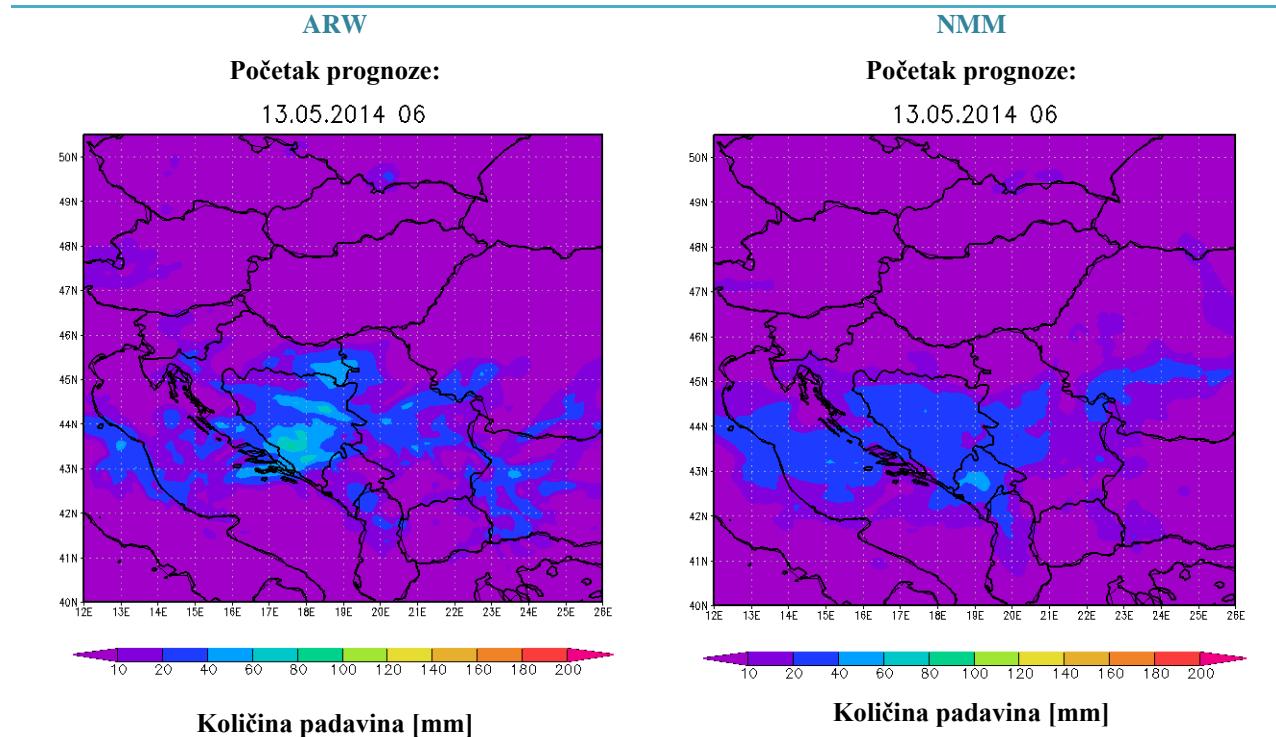


Slika 3.8: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05.2014. sa početkom 11.05.2014. u 06 UTC

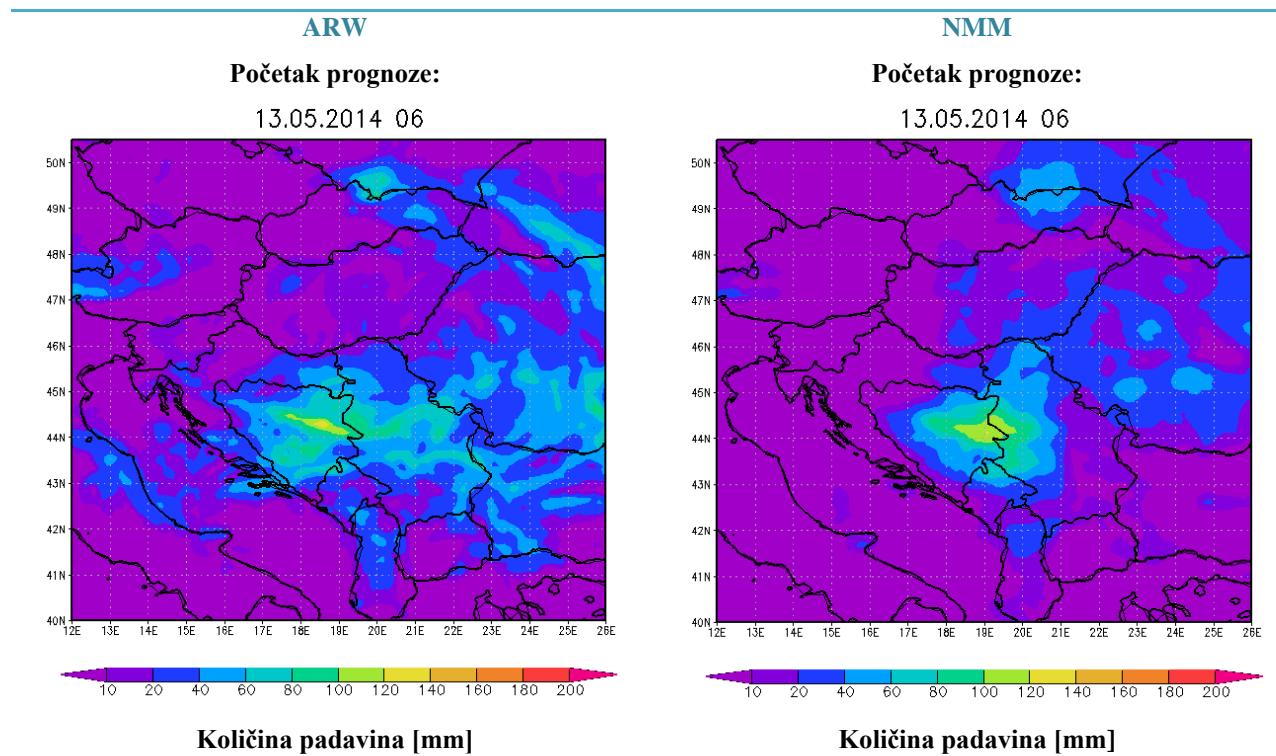


Slika 3.9: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 11.05.2014. u 06 UTC

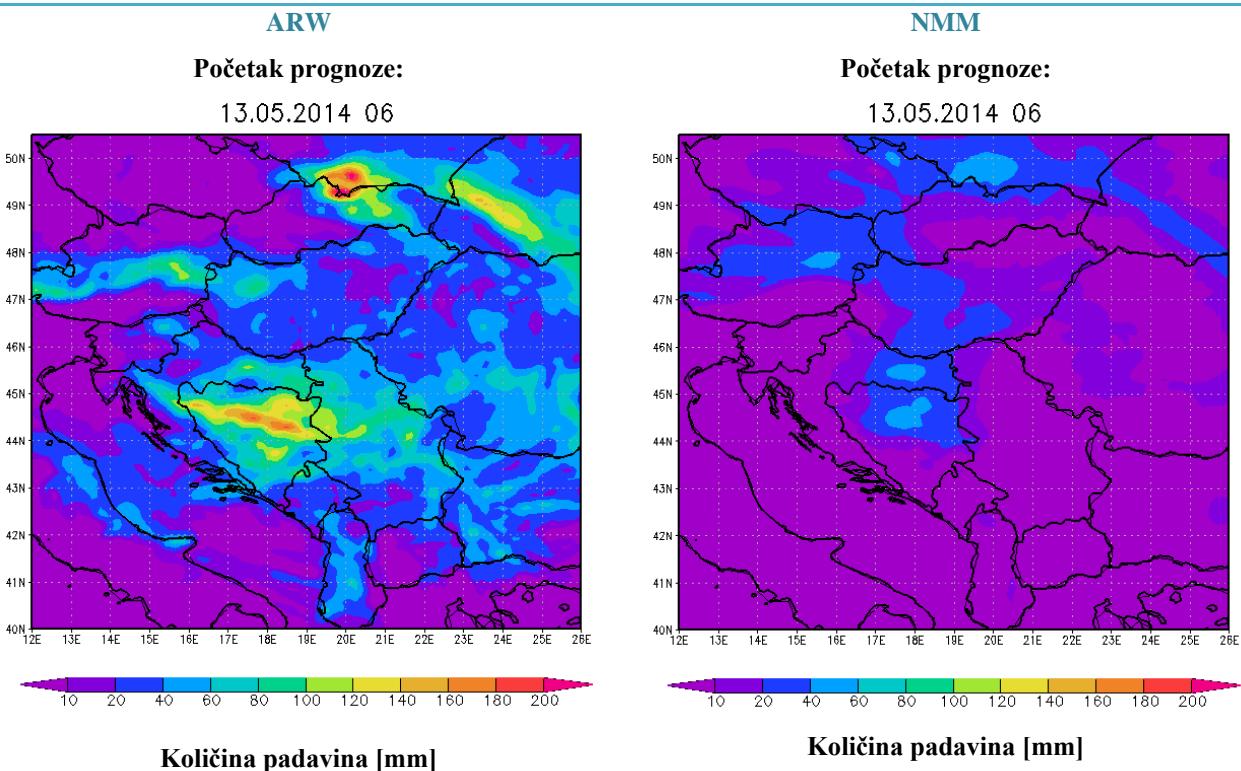
ARW i NMM modelom prognozirane su dnevne količine padavina sa početnim uslovima od 11.05.2014. godine za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine i prikazane su na slikama 3.7, 3.8 i 3.9. I ovde se može uočiti različita prostorna raspodela padavina. ARW model za sva tri dana predviđa veće količine padavina od NMM modela. Ponovo su najveće razlike u količini padavina iznad Austrije.



Slika 3.10: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 14.05.2014. sa početkom 13.05.2014. u 06 UTC

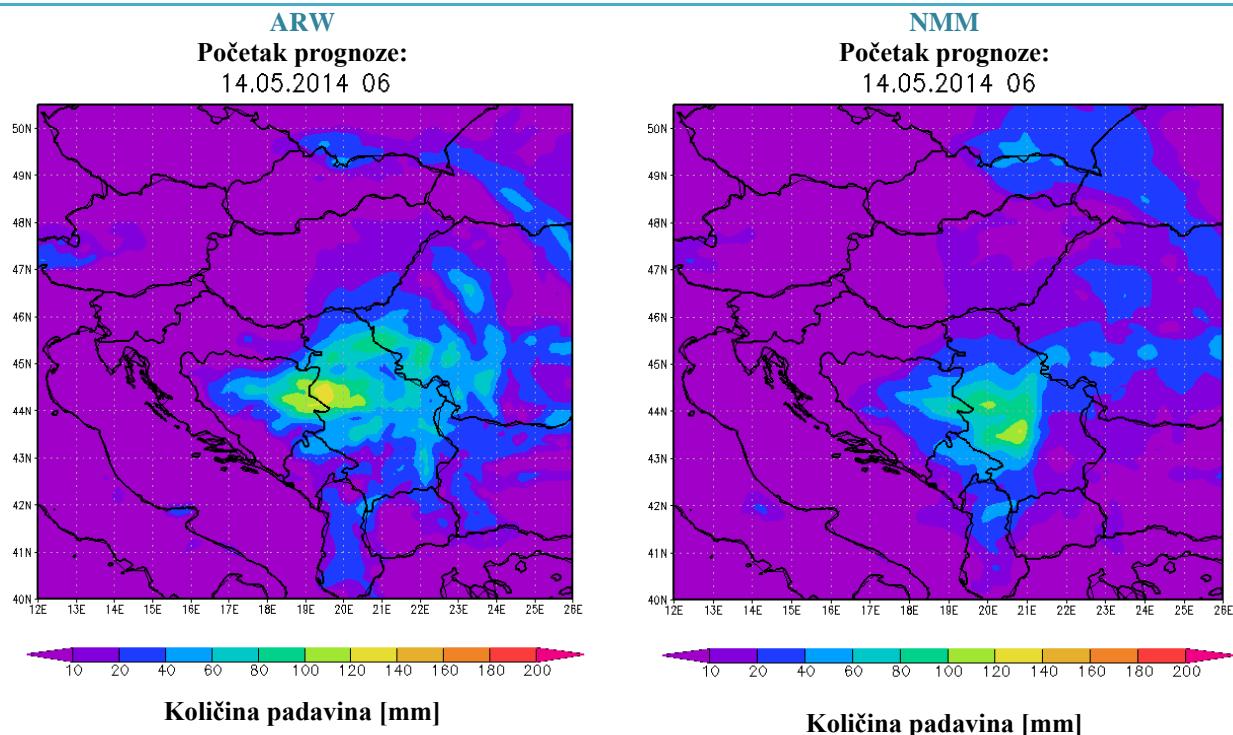


Slika 3.11: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05.2014. sa početkom 13.05.2014. u 06 UTC

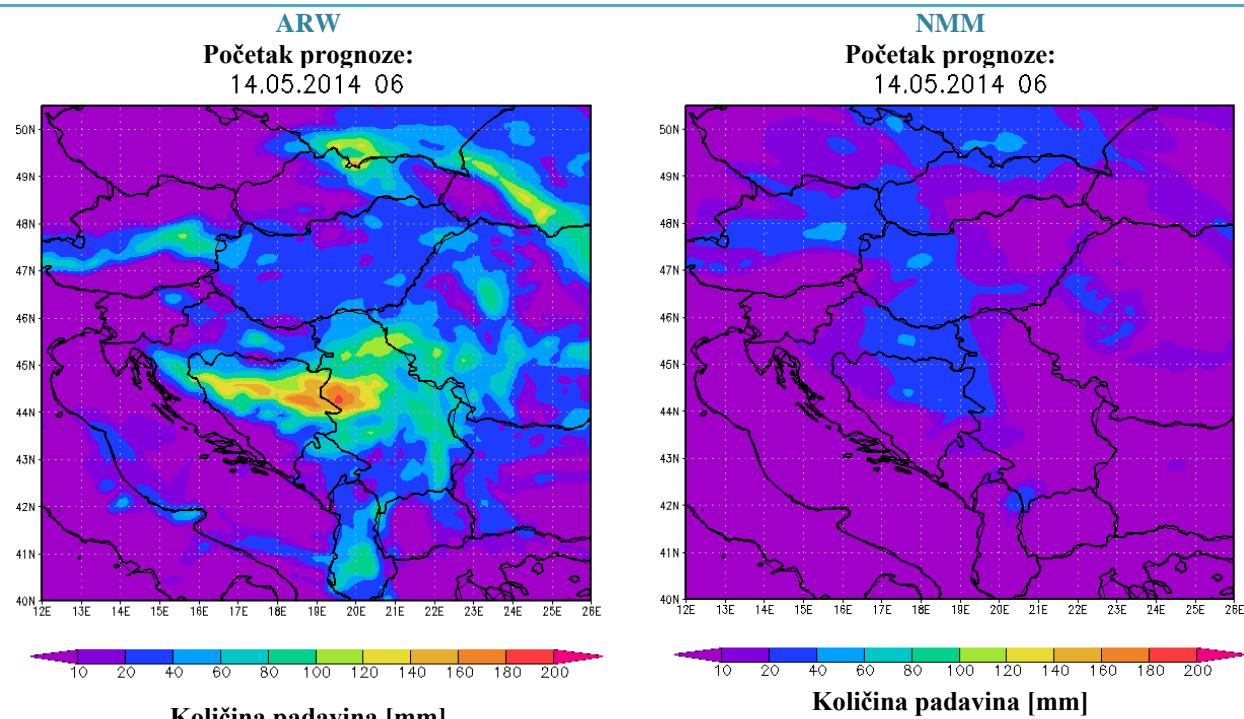


Slika 3.12: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 13.05.2014. u 06 UTC

Na slikama 3.10, 3.11 i 3.12 prikazane su dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine, redom sa početnim uslovima od 13.05.2014. godine. ARW model nastavlja sa prognozirama većih količina padavina od NMM modela. Prostorna raspodela padavina dobijena sa ARW i NMM modelom sada se manje razlikuje za 15.05 i 16.05.2014. godine. Velike količine padavina koje je predviđao ARW model iznad Austrije sada su znatno manje.

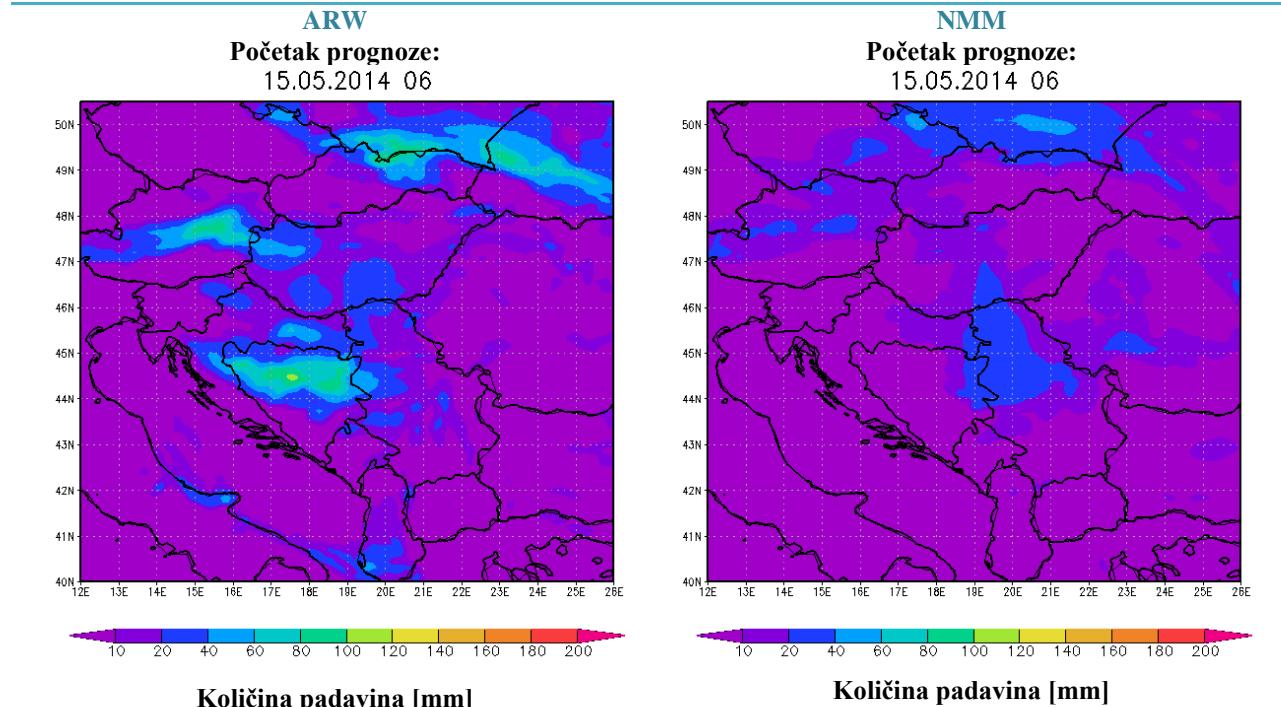


Slika 3.13: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05.2014. sa početkom 14.05.2014. u 06 UTC



Slika 3.14: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 14.05.2014. u 06 UTC

Slike 3.13 i 3.14 pokazuju dnevnu količinu padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 15.05 i 16.05.2014. godine sa početnim uslovima od 14.05.2014. godine. Količine padavina koje predviđaju ARW i NMM model za 15.05.2014. malo se razlikuju. Prostorna raspodela kao i maksimumi dnevnih padavina za 16.05 se dosta razlikuju kod oba modela.



Slika 3.15: Dnevne količine padavina prognozirane ARW i NMM modelom za 16.05.2014. sa početkom 15.05.2014. u 06 UTC

Na slici 3.15 prikazana je dnevna količina padavina prognozirana ARW i NMM modelom sa početnim uslovima od 15.05.2014. godine za 16.05.2014. godine. Prognoza napravljena ARW modelom se dosta razlikuje od prognoze NMM modela. Količina padavina predviđena ARW modelom još uvek je veća od količine padavina prognozirane NMM modelom.

Prognozirane dnevne količine padavina kod ARW modela više odstupaju od osmotrenih vrednosti što je duži vremenski period za prognozu (početni uslovi od 09.05 do 14.05). Kako se početni uslovi prognoze približavaju kritičnim datumima (15.05 i 16.05) predviđene dnevne količine padavina se smanjuju i dobijaju se vrednosti koje su bliže izmerenim. Za različite početne trenutke prognoze vremena dobijena je značajna razlika u prognoziranoj prostornoj raspodeli padavina. Mogu se uočiti dva maksimuma dnevne količine padavina sa početnim uslovima od 09.05, 10.05 i 11.05 iznad Alpa i zapadnog dela Bosne i Hercegovine. Na prognozama sa početnim uslovima od 13.05 i 14.05 maksimumi se vide u istočnom delu Bosne i

Hercegovine i u zapadnoj Srbiji. Kod NMM modela se tokom posmatranog perioda puštanja prognoze raspored dnevnih količina padavina slabo menja. Najveći maksimumi tokom svih prognoza su na području istočne Bosne i Hercegovine i zapadne Srbije, postoje samo male razlike u količini padavina.

Do sada je razmatrana prostorna raspodela padavina prognoziranih ARW i NMM modelom na izabranom domenu. U nastavku rada će simulirane dnevne količine padavina biti upoređene sa izmerenim vrednostima na tri GMS. Na slikama 3.16, 3.17 i 3.18 su prikazane izmerene i prognozirane dnevne količine padavina na GMS stanicama Loznica, Valjevo i Sremska Mitrovica, redom.

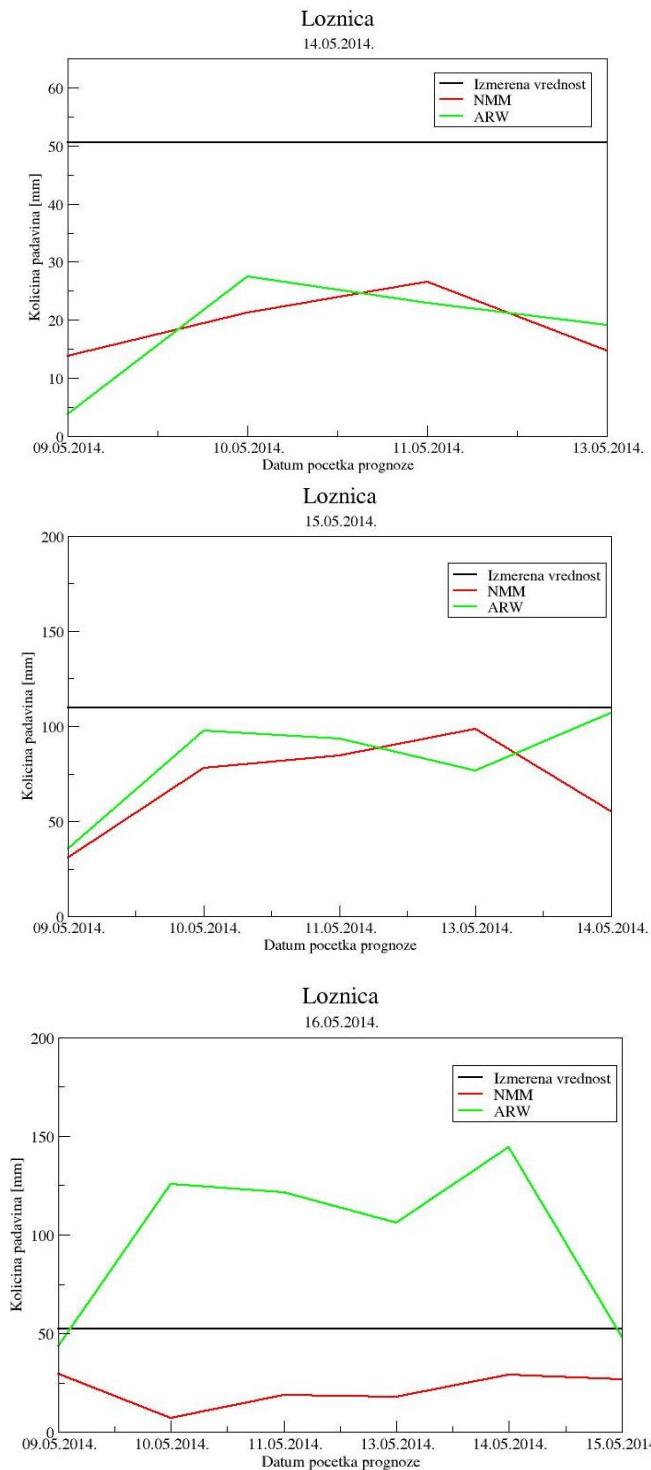
Količina padavina prognozirana ARW i NMM modelom za 14.05.2014. godine u Loznicu je manja od izmerene, bez obzira na vreme kada je prognoza počela. Za 15.05 modeli još uvek prognoziraju manju količinu padavina od izmerenih. Međutim, ARW model za 16.05 predviđa i do tri puta veće količine padavina od izmerenih vrednosti. NMM model ostaje dosledan svojim rezultatima.

Za Valjevo očekivana količina padavina ARW i NMM modelom za 14.05 i 15.05 je manja od izmerene vrednosti. Kako se početak prognoze približava prognoziranom vremenu tako se predviđena količina padavina približava izmerenoj vrednosti. To je više izraženo kod ARW modela koji za 16.05 prognozira mnogo veće količine padavina od NMM modela i izmerenih vrednosti.

ARW model za 14.05.2014. godine za Sremsku Mitrovicu prognozira veće količine padavina od izmerenih vrednosti. Kako se početak prognoze približava datumu prognoze tako se razlika između očekivane i izmerene vrednosti povećava. Za 15.05 količina padavina prognozirana NMM modelom manja je od izmerene a ARW modelom, u zavisnosti od starta prognoze, manja ili veća od izmerene. Oba modela za 16.05 se približavaju izmerenoj vrednosti kako se početak prognoze približava danu prognoze.

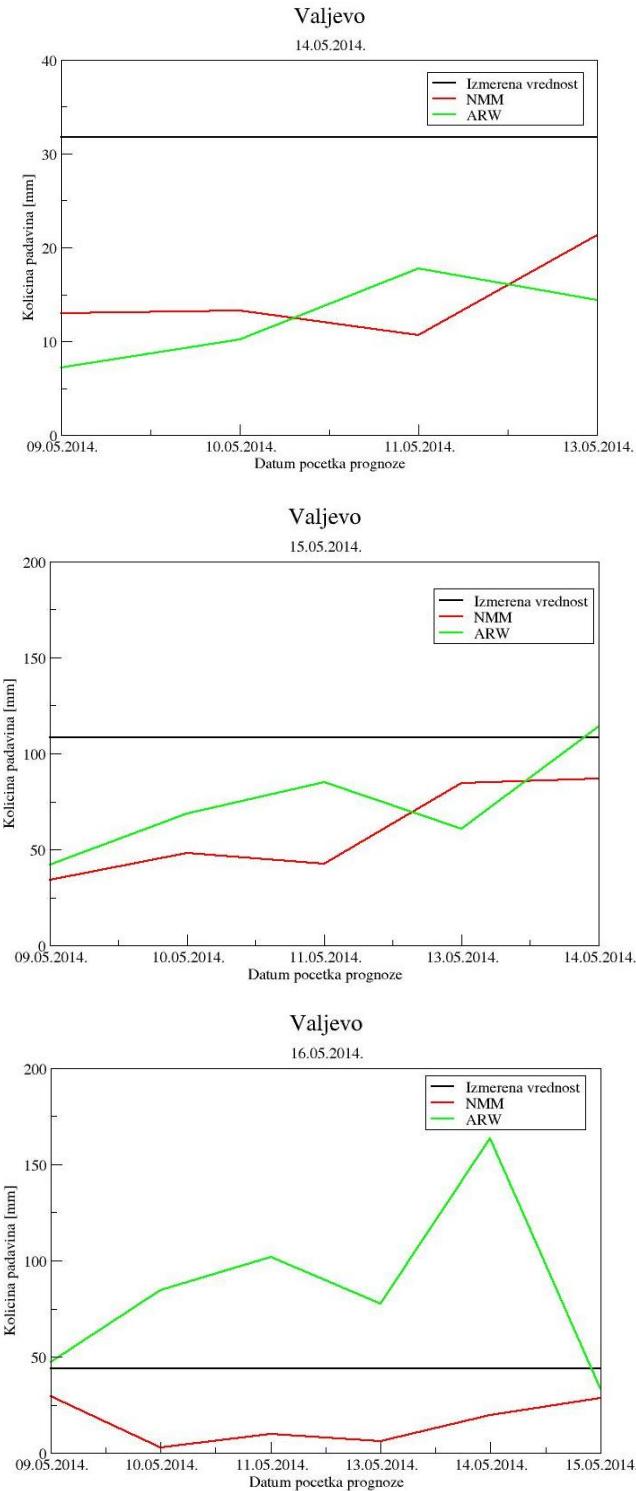
Na slici 3.19 prikazane su sume dnevnih količina padavina za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine prognozirane ARW i NMM modelom kao i izmerene vrednosti za Loznicu, Valjevo i Sremsku Mitrovicu. Trodnevna suma padavina predviđena NMM modelom je manja od izmerene vrednosti na sve tri stanice i ne pokazuje veliku zavisnost od datuma kada je prognoza počela. ARW model pokazuje veliku zavisnost od početka prognoze. Objasnjenje ovakvih

Loznica



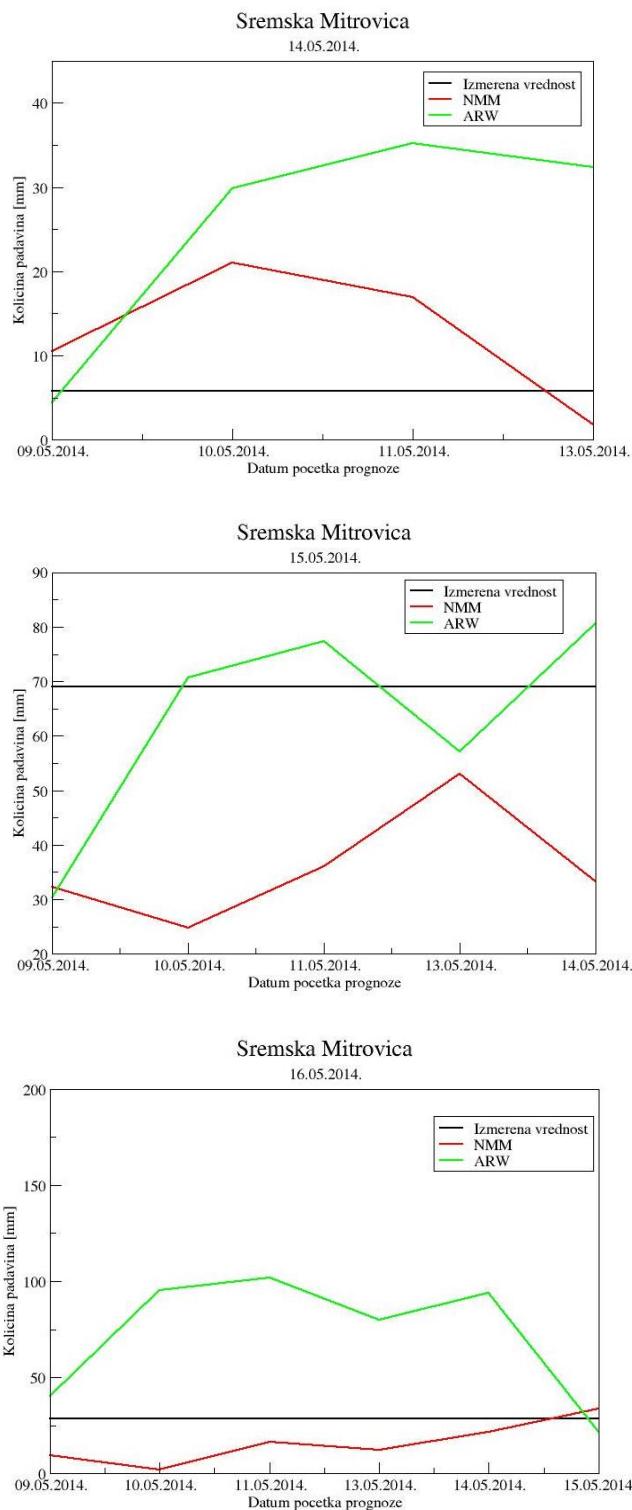
Slika 3.16: Prognozirane i izmerene količine padavina za period 14-16.05.2014. grad Loznica

Valjevo

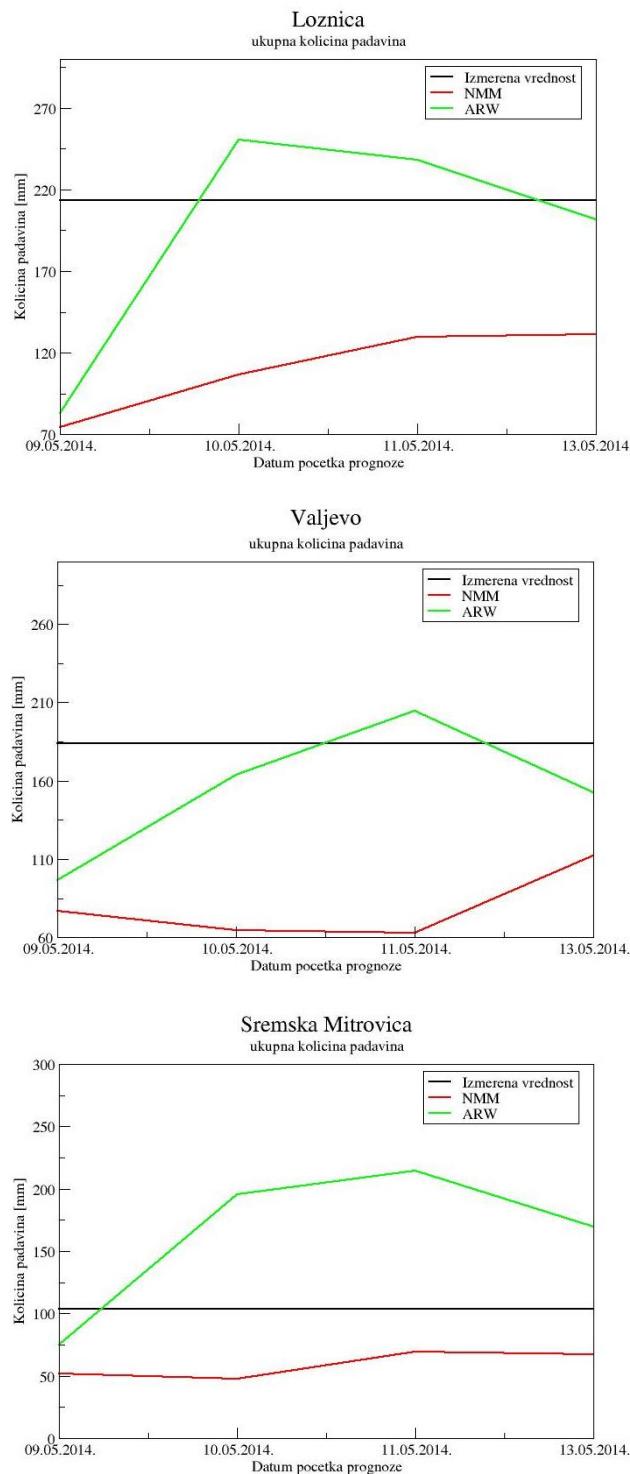


Slika 3.17: Prognozirane i izmerene količine padavina za period 14-16.05.2014. grad Valjevo

Sremska Mitrovica



Slika 3.18: Prognozirane i izmerene količine padavina za period 14-16.05.2014. grad S.Mitrovica



Slika 3.19: Ukupna količina padavina za period 14-16.05.2014. godine simulirana ARW, NMM modelom i izmerena vrednost za Loznicu, Valjevo i Sremsku Mitrovicu

rezultata nalazi se u različitim aproksimacijama i parametrizaciji fizičkih procesa koji su korišćeni u modelima.

4. ZAKLJUČAK

Poplave razarajućih razmara koje su pogodile Srbiju u maju 2014. godine posledica su snažnog i prostranog ciklona sa centrom iznad Balkanskog poluostrva i Panonske nizije. Ciklon, poznat po imenu „Tamara“, odstupio je od uobičajene putanje prema Crnom moru, pa se topao i vlažan vazduh iz Sredozemlja sudario sa hladnim sa severa i uzrokovao nezapamćene kiše koje su dovele do poplava, bujica i erozije. U ovakvim situacijama veoma je važna blagovremena i precizna prognoza padavina, naročito u bujičnim slivovima. S obzirom na to da atmosfera i hidrosfera ne poznaju granice neophodna je saradnja susednih zemalja, kako bi se ovakve situacije mogle što ranije predvideti i ublažiti moguće negativne efekte.

Na osnovu količina padavina prognoziranih numeričkim modelima ARW i NMM sa početnim uslovima od 09.05, 10.05, 11.05, 13.05, 14.05 i 15.05 za 14.05, 15.05 i 16.05.2014. godine za prostor Balkana zaključili smo da su korišćeni numerički modeli na vreme uočili i prognozirali veliku količinu padavina. Međutim, postoje odstupanja u rezultatima i između samih modela i izmerenih vrednosti. ARW model prognozira veću količinu padavina od NMM modela i pokazuje veliku zavisnost od datuma starta prognoze, za razliku od NMM modela. Jedan od razloga odstupanja modela jesu različite parametrizacije fizičkih procesa koju koriste modeli.

Literatura:

1. Ferrier, B. S., 1994: A double- moment multiple- phase four- class bulk ice scheme. Part I: Description. *J. Atmos. Sci.*, 51, 249-280.
2. Hong, Song-You, Jimy Dudhia, and Shu-Hua Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 103–120.
3. Hong, Song-You, Yign Noh, Jimy Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, 2318–2341.
4. Janic, Z. I., 1996: The surface layer in the NCEP Eta Model. *Eleventh conference on numerical weather prediction, Norfolk, VA, 19-23 August 1996. Amer Meteor Soc, Boston, MA*, pp 354-355.
5. Janjic, Zavisa I., 1994: The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927-945.
6. Kain, John S., 2004: The Kain–Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181.
7. Laprise R., 1992: The Euler Equations of motion with hydrostatic pressure as an independent variable, *Mon. Wea. Rev.*, 120, 197–207.
8. Lazić, L, „Prognoza vremena“ Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, Institut za meteorologiju, Beograd (2010).
9. Mesečni bilten RHMZ, Odeljenje za klimatske analize i prognoze, informisanje i obuku, Beograd 2014: Mesečni bilten za Srbiju Maj 2014.godine <http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/latin/Maj.pdf> (stranici pristupljeno 28.10.2014.).
10. Mihailović, D.T, Lalić, B. i Arsenić, I., „Praktikum iz meteorologije“ Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad (2008).

11. National Centre for Atmospheric Research (NCAR), 2014: ARW Version 3 Modeling System's User's Guide, NCAR, Boulder, Colo, USA, 423 pp.
12. National Centre for Atmospheric Research (NCAR), 2014: NMM Version 3 Modeling System's User's Guide, NCAR, Boulder, Colo, USA, 213 pp.
13. Paulson, C. A., 1970: The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 857–861.
14. Phillips, N. A., 1957: A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. *J. Meteor.*, **14**, 184-185.
15. Tewari, M., F. Chen, W. Wang, J. Dudhia, M. A. LeMone, K. Mitchell, M. Ek, G. Gayno, J. Wegiel, and R. H. Cuenca, 2004: Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. *20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction*, pp. 11-15.

Biografija



Tatjana Radišić je rođena 10. avgusta 1991. godine u Sremskoj Mitrovici. Osnovnu školu „Sremski front“ kao i Gimnaziju opšteg smera završila je u Šidu. Po završetku srednje škole, 2010. godine upisala je Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, smer fizika-meteorologija na Departmanu za fiziku. Osnovne studije završila u septembru 2015. godine.

UNIVERZITET U NOVOM SADU

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Diplomski rad

VR

Autor: Tatjana Radišić

AU

Mentor: dr Zorica Podraščanin

MN

Naslov rada: Prognoza količine padavina ARW i NMM modelom za period
14-16.05.2014.

NR

Jezik publikacije: srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja: Srbija

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2015

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,
Novi Sad

MA

Fizički opis rada: (poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)
(4/42/15/6/24/0/0)

FO

Naučna oblast: Fizika

NO

Naučna disciplina: Meteorologija

ND

Predmetna odrednica/ ključne
reči: Količina padavina, ARW model, NMM model

PO**UDK**

Čuva se: Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena: nema

VN

Izvod:

IZ

Prošle godine Srbiju su zahvatile obimne poplave, koje su prouzrokovale veliku materijalnu štetu, gubitke ljudskih života, uništenje stočnog fonda i degradaciju životne sredine. Glavni uzrok obilnih padavina bilo je neuobičajeno sporo premeštanje dubokog ciklona preko Balkanskog poluostrva. Ako se osrvnemo na poslednjih par godina i pogledamo kakva nam je vremenska situacija, primetiću se da se sve više dešavaju prirodne nepogode. U tu svrhu, za bolje predviđanje i analiziranje vremenskih uslova pomažu nam meteorološki modeli (GFS, ECMWF, WRF-NMM, WRF-ARW, ETA, ALADIN...). Svrha ovog rada je poređenje dva numerička modela ARW i NMM u period poplava, te odlučiti koji od njih daje bolje i tačnije prognoze.

Datum prihvatanja teme od NN

veća:

DP

Datum odbrane:

28. 09. 2015.

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Prof. dr Agneš Kapor

član:

dr Branislava Lalić

član:

dr Zorica Podraščanin

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph publication

DT

Type of record: Textual printed material

TR

Content code: Final paper

CC

Author: Tatjana Radišić

AU

Mentor/comentor: dr Zorica Podraščanin

MN

Title: Forecasting the amount of precipitation using ARW and NMM
model for period 14-16.05.2014.

Language of text: Serbian (Latin)

LT

Language of abstract: English

LA

Country of publication: Serbia

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2015

PY

Publisher: Author's reprint

PU

Publication place: Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića
4, Novi Sad

PP

Physical description: 4/42/15/6/24/0/0

PD

Scientific field: Physics

SF

Scientific discipline: Meteorology

SD

Subject/ Key words: Precipitation amount, ARW model, NMM model

SKW

UC

Holding data: Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note: none

N

Abstract:

AB

Last year my country was affected by large floods, which caused extensive damage, loss of human lives, the destruction of livestock and environmental degradation. The main cause of heavy rainfall was unusually slow moving deep cyclones over the Balkans. We noticed that in last couple of years more natural disasters occur. For better forecasting and analyzing weather conditions, weather models (GFS, ECMWF, WRF-NMM, WRF-ARW, ETA, Aladin,...) are helping us. In this paper, by analyzing different models, we improved our forecast. The purpose of this study was to compare two models, ARW and NMM during floods, and decide which of them gives us better and more accurate forecast.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on: 28. 09. 2015.

DE

Thesis defend board:

DB

President: Prof. dr Agneš Kapor

Member: dr Branislava Lalić

Member: dr Zorica Podraščanin