

Branko MICEV*, Dušan PAVIĆEVIĆ*

INFORMATIČKA TEHNOLOGIJA I NJENA PRIMJENA U PRAKSI U HMZ CG

Sažetak: U radu će biti opisane oblasti u kojima Hidrometeorološki zavod Crne Gore primjenjuje informaciono komunikacione tehnologije i numeričke metode. To su automatska mjerenja i akvizicija podataka, sistemi skladištenja podataka i upravljanje podacima, numeričko modeliranje, satelitska i radarska meteorologija, hidrografski premjer i okeanografska mjerenja.

1. UVOD

U radu su opisane primjene informaciono komunikacionih tehnologija u Hidrometeorološkom zavodu Crne Gore. Rad je podijeljen u pet sekcija koje se odnose na osnovne aktivnosti koje provodi Hidrometeorološki zavod Crne Gore, a gdje se koriste informaciono komunikacione tehnologije i numeričko modeliranje:

1. Automatska mjerenja i akvizicija podataka
2. Sistemi za skladištenje i upravljanje podacima
3. Numeričko modeliranje, satelitska i radarska meteorologija
4. Hidrografski premjer i okeanografska mjerenja HMZCG.

U drugoj sekciji obrađena su automatska mjerenja i akvizicija podataka koju vrši HMZ CG. U trećoj sekciji obrađeni su numerički meteorološki modeli. U sekciji četiri prikazani su osnovni hardverski i softverski resursi zavoda koji se koriste u prognostici, dok su zaključni komentari dati u sekciji pet.

2. AUTOMATSKA MJERENJA I AKVIZICIJA PODATAKA

Mreža meteoroloških i hidroloških stanica na kojima se vrše meteorološka mjerenja opremljena je automatskim meteorološkim stanicama koje na najsavremeniji način mjere i putem GPRS-a dostavljaju numeričke podatke web serveru u HMZ. Raspored mreže automatskih meteoroloških stanica je prikazan na slici 1. Ima ih

* Hidrometeorološki zavod Crne Gore (HMZ CG)

AUTOMATSKA MJERENJA I AKVIZICIJA PODATAKA

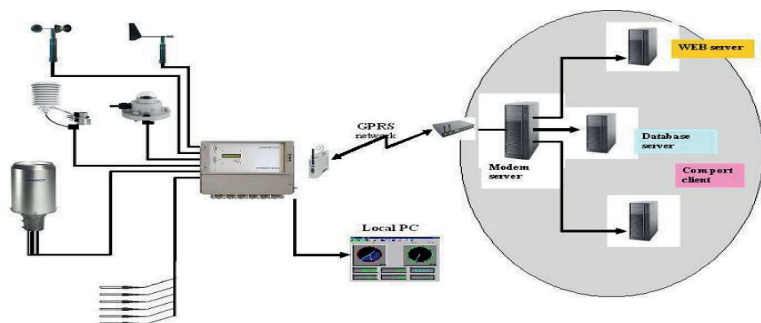
- Mreža automatskih meteoroloških stanica (AWS)
 - 9 AWS – proizvođač Lambrecht, Njemačka, po 7 senzora, GPRS komunikacija
 - 3 AWS – OTT Hydrometrie, 3 senzora, GSM komunikacija



Slika 1. Mreža automatskih meteoroloških stanica Hidrometeorološkog zavoda Crne Gore

ukupno 12, od kojih su 9 proizvođača Lambercht, Njemačka, sa po sedam senzora i GPRS komunikacijom, dok su tri proizvođača OTT Hydrometrie, sa po tri senzora i GSM komunikacijom. Ovi uređaji automatski mjere i putem GRPS-a ili GSM-a automatski, u zadatim vremenskim intervalima, šalju numeričke podatke na web server. Na taj način podaci su dostupni on-line i imaju visoku operativnu upotrebljivost. Pohranjeni podaci se automatski preuzimaju od programa za proračune. Funkcionisanje automatske meteorološke stanice prikazano je na slici 2. Mjerenje

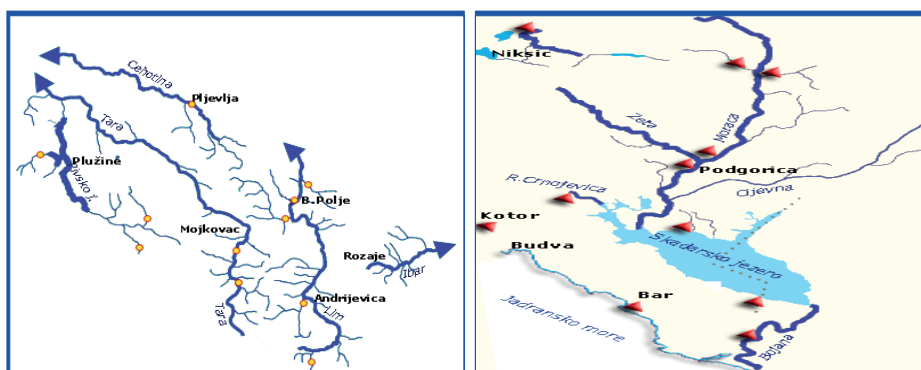
AUTOMATSKA MJERENJA I AKVIZICIJA PODATAKA Automatic Weather Station u HMZ



Slika 2. Automatska meteorološka stanica u HMZ i njeno povezivanje

AUTOMATSKA MJERENJA I AKVIZICIJA PODATAKA

- Mreža automatskih hidroloških stanica (AHS)
 - 44 AHS - OTT Hydrometrie, Njemačka, GSM komunikacija



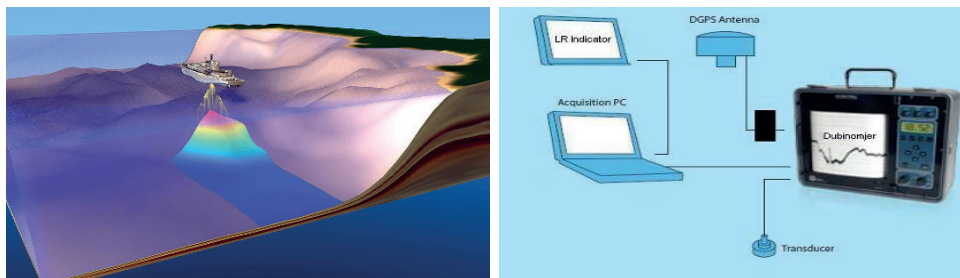
Slika 3: Mreža automatskih hidroloških stanica HMZCG

i praćenje meteoroloških parametara na glavnim meteorološkim stanicama vrši se pomoću automatskih meteoroloških stanica.

Za mjerenje i praćenje stanje nivoa voda na riječnim i jezerskim sistemima i nivoa mora koriste se automatske hidrološke stanice i automatski mareograf za nivo

HIDROGRAFSKI PREMJer I OKEANOGRAFSKA MJERENJA HMZCG

- Elementi batimetrijskog sistema:
 - ultrazvučni dubinomjer ugrađen na brodu, GPS prijemnik, hidrografsko-navigacijski software HYPACK, personalni računar (lap top), monitor za kormilara



Slika 4: Elementi batimetrijskog sistema

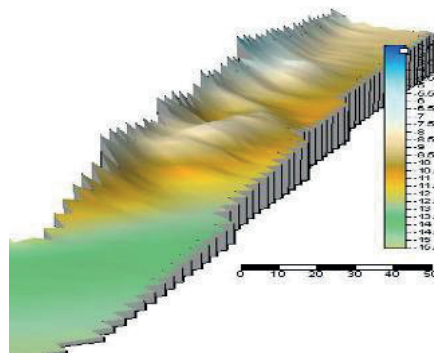
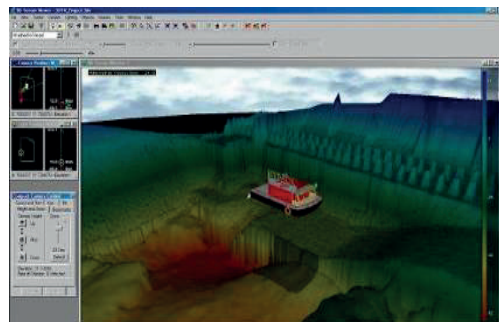
mora. Trenutno HMZCG raspolaže sa 44 automatske hidrološke stanice proizvođača OTT Hydrometrie sa GMS komunikacijom (slika 3).

Za mjerenje hidrografskih parametara vodenih sistema, tj. topografije dna i batimetrijska mjerenja, koristi se najsavremeniji uređaj ultrazvučni dubinomjer pomoću koga se vrše vrlo precizna i pouzdana batimetrijska mjerenja topografije. Navedeni ultrazvučni dubinomjer je ugrađen na brodu, posjeduje GPS prijemnik, hidrografsko-navigacioni softver HYPACK, personalni računar (laptop), kao i monitor za kormilara. Predmetni sistem je prikazan na slici 4. Na slici 5 prikazan je izgled hidrografsko-navigacijskog softvera Hypack 2010. koji omogućava realizaciju kompletnog projekta:

- planiranje profila premjera;
- definisanje načina mjerenja;
- povezivanje opreme u konfiguraciju (definisana komunikacija pojedinih senzora);
- realizovanje premjera odnosno akviziciju podataka i na kraju
- obradu podataka.

HIDROGRAFSKI PREMJE I OKEANOGRAFSKA MJERENJA HMZCG

- Hidrografsko-navigacijski software Hypack 2010 omogućava realizaciju kompletnog projekta:
 - planiranje profila premjera,
 - definisanje načina mjerenja,
 - povezivanje opreme u konfiguraciju (definisana komunikacija pojedinih senzora),
 - realizovanje premjera, odnosno akviziciju podataka i na kraju
 - obradu podataka.

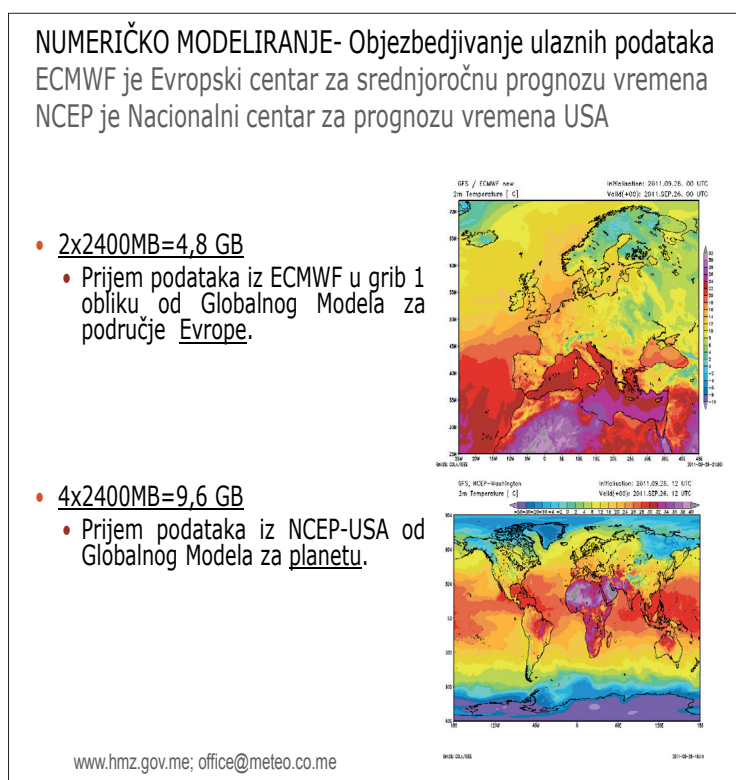


www.hmz.gov.me; office@meteo.co.me

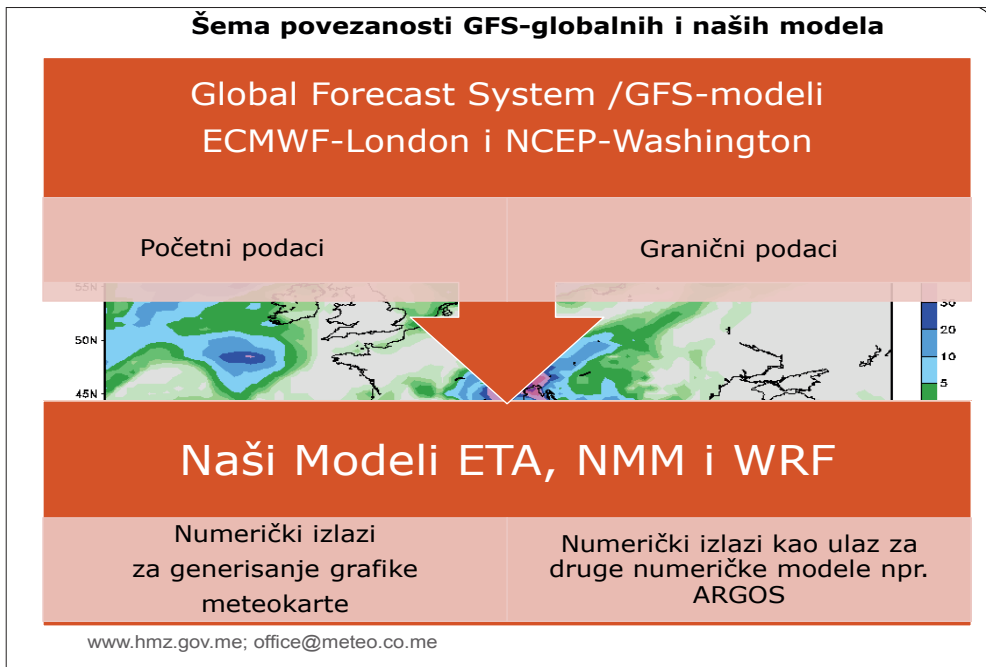
Slika 5: Hidrografsko navigacijski softver HYPACK 2010

3. NUMERIČKI METEOROLOŠKI MODELI

Numeričko modeliranje kreće sa stanovišta da se, znajući trenutno vremensko stanje, razvoj procesa može predstaviti matematičkim formulacijama fizičkih zakona [1–6]. Tako predstavljene zakonitosti (sistem parcijalnih nelinearnih diferencijalnih jednačina) se rešavaju metodom konačnih razlika upotrebom numeričkih modela i odgovarajućih šema-mreža tačaka za računanje diskretnih razlika. Počevši od trenutnog stanja, rješava se sistem jednačina za svaku tačku u određenoj oblasti i za svaki korak u vremenu. Prilikom rješavanja diferencijalnih jednačina koristi se metod iteracija, što je od fundamentalnog značaja u rješavanju ovih jednačina. Ove jednačine su četvorodimenzionalne sa tri prostorne i vremenskom koordinatom. Diferencijalne jednačine u kojima ne postoji koordinata vremena tj. ne postoji zavisnost od vremena, nazivaju se „dijagnostičkim” jednačinama. Diferencijalne jednačine koje imaju zavisnost od vremena i rješavaju se po vremenu, tj. dobijaju se vrijednosti funkcija u nekoj vremenskoj tački u budućnosti, nazivaju se „prognostičkim”. Globalni modeli pokrivaju cijelu planetu, a regionalni ograničenu oblast. Globalni numerički modeli imaju zadatak da obezbijede početne i granične uslove



Slika 6: Grafički prikazi podataka koji se dobijaju iz ECMWF (gore) i NCEP (dolje)



Slika 8: Šema povezanosti GFS-globalnih i naših modela

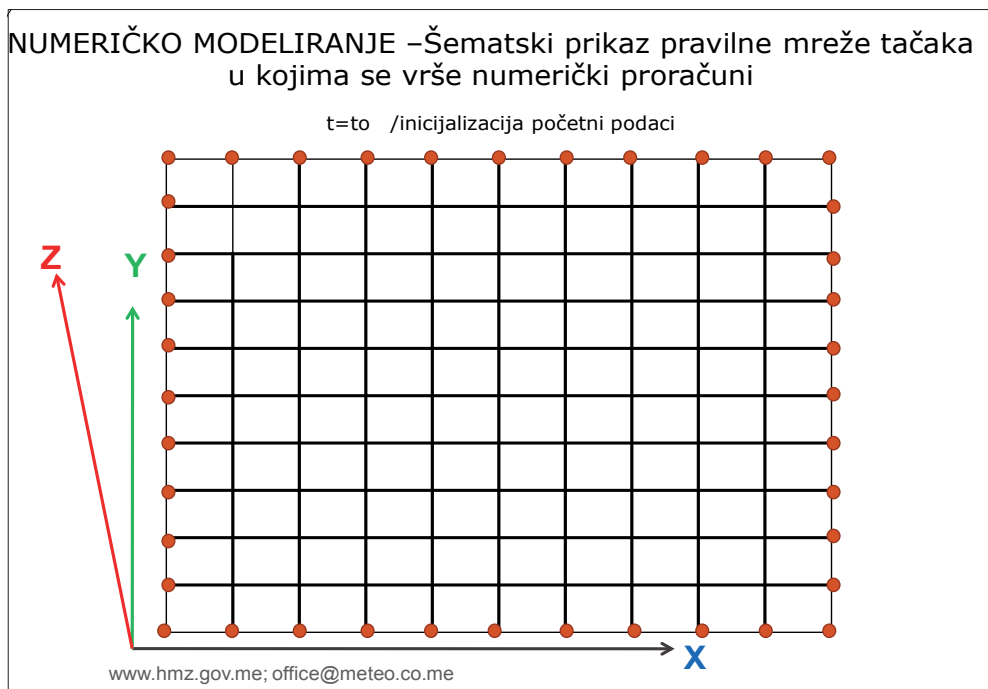
za hemisferske, regionalne, lokalne-mezo i mikro modele. Globalni model obezbeđuje Evropski centar za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF) i Nacionalni centar za prognozu vremena USA (NCEP). Podaci se iz ECWWMF-a dobijaju u grib 1 obliku za globalni model za područje Evrope (veličine 2 x 2400 MB=4.8 GB), dok se iz NCEP-USA dobja globalni model za planetu (veličine 4 x 2400=9.6 GB). Na slici 6 prikazan je izgled ovih modela.

Prostorne razmjere – rastojanje od tačke do tačke pravilne mreže tačaka u kojima se računaju diferencijali iznosi od 1 km pa sve do 100 km. U HMZ Crne Gore su u operativnoj upotrebi ETA, NMM i WRF model. Na slici 8 prikazana je veza inicijalnih podataka sa modelima koji se koriste u HMZ Crne Gore.

Kao što je već rečeno, prvi korak u primjeni numeričkih metoda je svođenje problema rada sa meteorološkim podacima na konačne razlike. Za ovo je neophodno da se izvrši diskretizacija vremenske i tri prostorne koordinate u pravilnu mrežu tačaka kako je urađeno na slici 9.

Uprošćen primjer, analitički oblik jedne diferencijalne jednačine koja opisuje promjenu koncentracije zagađujućih materija u vazduhu (q) sa vremenom je dat sljedećim izrazima:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z}$$



Slika 9: Šematski prikaz pravilne mreže tačaka u kojima se vrše numerički proračuni

sa graničnim uslovom:

$$\frac{dq}{dt} = C$$

Uvrštavanjem ovog uslova u prvu relaciju dobijamo:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} = C$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = C - \left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} \right)$$

Dobijene diferencijalne jednačine se zatim putem konačnih razlika svode na sledeći oblik (uz proširenje funkcionalnih zavisnosti da obuhvate tri prostorne i vremensku koordinatu):

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = C - u(x, y, z, t) \frac{\Delta q}{\Delta x} - v(x, y, z, t) \frac{\Delta q}{\Delta y} - w(x, y, z, t) \frac{\Delta q}{\Delta z}$$

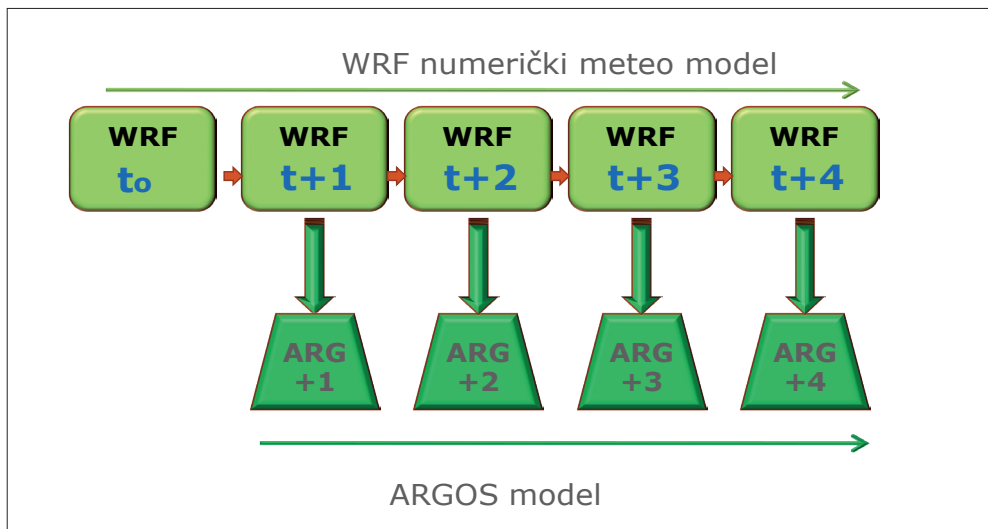
Konačno, diferencijalne jednačine koje se koriste za rješavanje prognostičkih problema se svode na sljedeću jednačinu sa konačnim razlikama:

$$q(x, y, z, t+1) = q(x, y, z, t) - u(x, y, z, t+1) \frac{q(x+1, y, z, t) - q(x, y, z, t)}{\Delta x} \dots$$

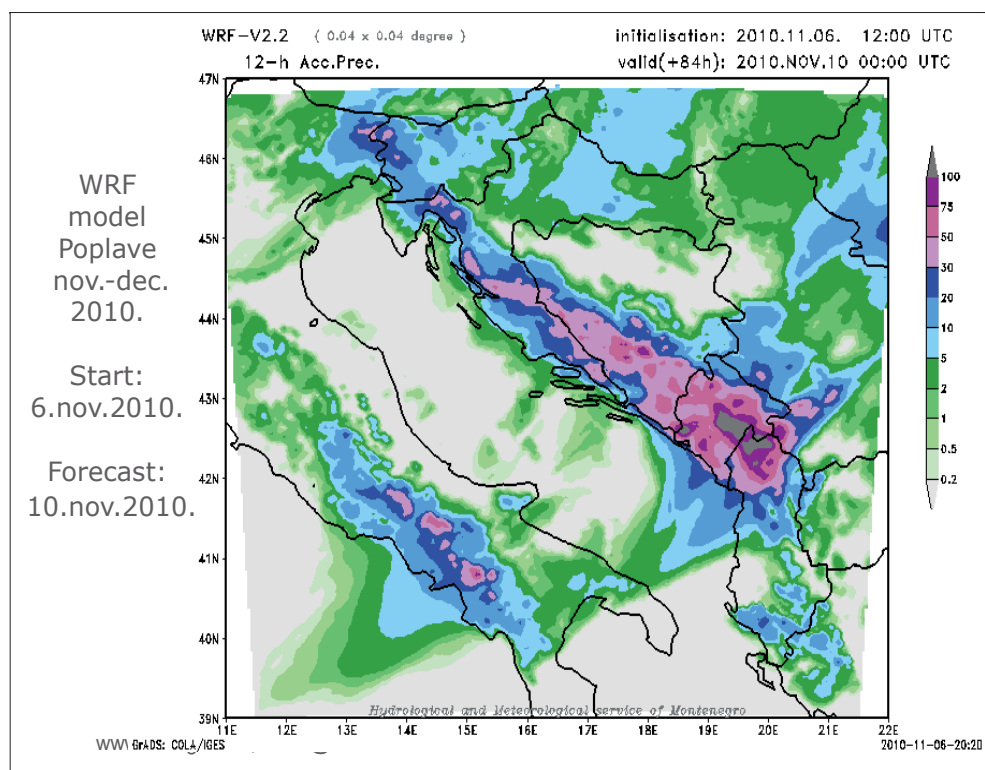
Dobijena forma je sada pogodna za numeričko izračunavanje i primjenu u numeričkom modeliranju. Broj navedenih jednačina u prognostičkom sistemu može biti ogroman.

Šematski prikaz kako se rezultati određenih numeričkih modela upotrebljavaju kao ulaz u druge numeričke modele za dalje numeričko rješavanje je dat na slici 10. To su tzv. ugnježdjeni modeli, kada jedan numerički model obezbjeđuje podatke drugom numeričkom modelu, tako da rezultati prvog numeričkog modela nakon prve iteracije predstavljaju ulazne podatke za drugi model koji će raditi prvu iteraciju. Nakon što prvi model završi kompletnu iteraciju kreće drugi model koji preuzima podatke iz prvog modela kao sopstveni ulaz. Takav jedan primjer je računanje koncentracije – advkecije, difuzije i disperzije opasnih materija. Nakon meteorološkog modela WRF koji obezbjeđuje prognostičke podatke o vjetru, stabilnosti atmosfere itd., tj. daje prognostičke vrijednosti parametara koji utiču na ponašanje opasnih materija u atmosferi, ARGOS model vrši proračun ponašanje materije, uzima te podatke i određuje ponašanje opasnih materija u budućem periodu od nekoliko dana tj. oko + 96 h.

Ovdje ćemo demonstrirati primjer iz prakse o izuzetno korisnim informacijama koje su dobijene kao rezultat primjene nauke i numeričkih modela u meteoro-



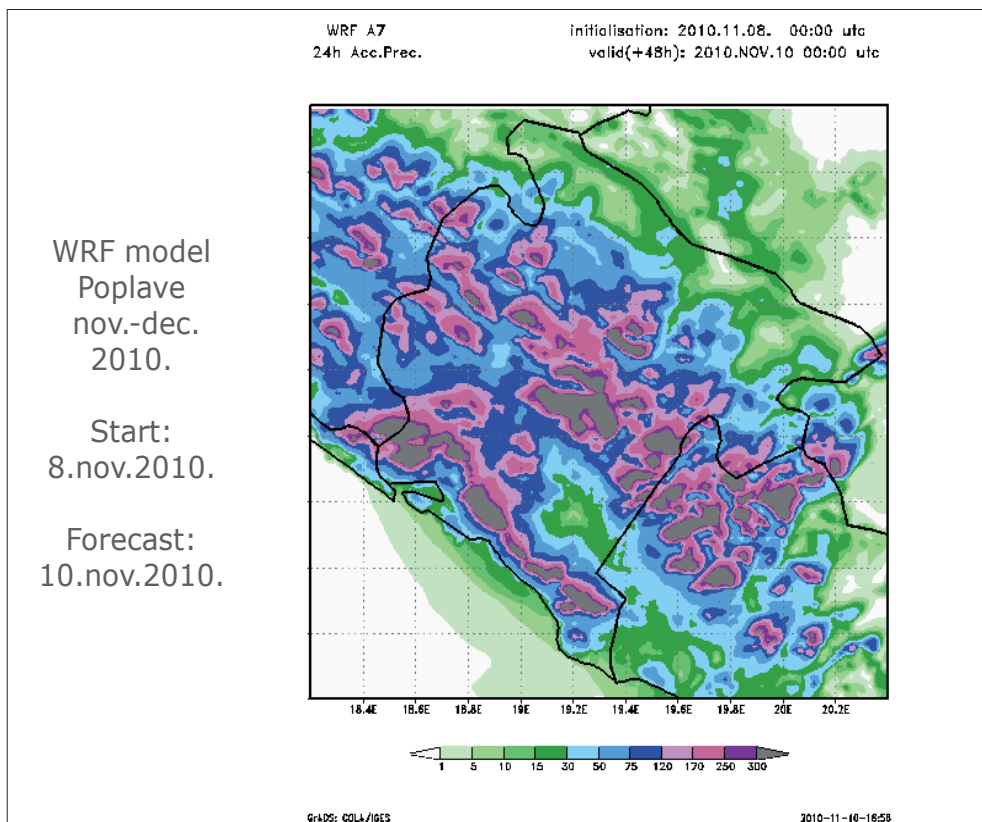
Slika 10: Ilustracija WRF numeričkog modela i ARGOS modela za prognozu kretanja polutanata u vazduhu



Slika 11: Numerički WRF model 6. 11. 2010 sa završnim datumom 10. 11. 2010. ukazuje na izuzetno obilne padavine

logiji. Na slici 11 prikazan je primjer veoma kvalitetnih prognostičkih rezultata za vrijeme poplava decembra 2010. dobijenih na osnovu numeričkog modela WRF koji je u operativnoj upotrebi u HMZ. Model startovan 6. 11. 2010. sa inicijalizacijom-početnim podacima od 06 h za region Balkana. Prognostička karta se odnosi na 10. 11. 2010. (valid time + 84). Dakle, model za 4 dana unaprijed daje izuzetno obilne nezapamćene količine padavina. WRF model startovan 8. 11. 2010. za područje Crne Gore, daje veoma preciznu i kvalitetnu prognozu količine padavina (slika 12). Model daje obilne padavine koje kumulativno za 24 h period iznose oko 300 milona litara na km². Karta se odnosi na 10. 11. 2010. Nakon ove situacije došlo je do poplava na riječnom basenu Lima. Bilo je poplavljeno naselje u Berinama i porušeni mostovi.

I ovog puta pokazalo se da su numerički modeli u meteorologiji i numeričko rješavanje diferencijalnih jednačina jedna od najznačajnijih naučnih dostignuća. Za konkretnu situaciju iz 2010. može se reći da je primjena nauke odigrala i humanu ulogu.



Slika 12: Numerički model WRF pokrenut za područje Crne Gore 8. 11. 2011, na mapi su prikazane prognozirane količine padavina

4. HARDVERSKI I SOFTVERSKI KAPACITETI HMZ CG

HMZ Crne Gore trenutno raspolaže sa dva klastera (cluster) na kojima se izvršavaju prognostički proračuni. Cluster-I ima 4 čvora sa 8 CPU (procesora) po čvoru (Intel (R) Xeon (R) CPU, E 5440, 2.83 GHz, na OS Linux Ubuntu server 10.04 sa aplikacijama za numeričku prognozu vremena (modeli: ETA, NMM, WRF-V 2.2). Navedene aplikacije su Fortranske koje rade u višeprosesorskom – paralelnom režimu. Modeli se startuju na 8 procesora, jer trenutno ne posjedujemo switch koji bi mogao da isprati brzinu od 32 procesora CPU E 5440. Pored navedenih, na sistemu su instalirani prateći programi, aplikacije i biblioteke: PGF 90 (Fortranski i C++ kompajler), MPICH 2, GRADS, METVIEW, MAGICs ++, wgrib 2, wgrib, netcdf i druge aplikacije potrebne za rad jednog ovakvog složenog sistema. Cluster-II se sastoji od dva čvora sa dva procesora CPU XEON 3.4 GHz. Na njima je instaliran OS Linux Ubuntu 11.04., a na sistemu su instalirane sve potrebne prateće aplikacije. Osnovna uloga ovog klastera je backup prvog klastera za operativni rad, kao i

rad na istorijskim podacima sa modelima koji se koriste. Protok podataka za potrebe numeričkih modela je ogroman. Radi se o podacima koji predstavljaju početno stanje i granične vrijednosti. Da bi se numerički model startovao, tj. da bi krenulo numeričko rješavanje sistema diferencijalnih jednačina, potrebni su početni i granični-bočni uslovi. Ti početni i bočni podaci obezbjeđuju se iz globalnih modela. Ukupno oko 500 GB je protok podataka na mjesečnom nivou samo u downloadu, dok mjesečni upload ima trend porasta. Web server (linux Fedora 4.0) sa dva domena: <http://www.hmz.gov.me/> i <http://www.meteo.co.me/IP:195.66.163.23>. Sistem posjeduje liNWPWeb (Red Hat Enterprise 3.0) i ftp server (linux CentOS 5.0): <http://nwp.meteo.co.me/>, nwp.meteo.co.me na IP: 195.66.163.3.

Crna Gora je članica konzorcijuma ARGOS. Produkti našeg modela WRF-V 2.2 su u operativnoj upotrebi u ARGOS sistemu koji je instaliran u sektoru za vanredne situacije pri MUP. <http://nwp.meteo.co.me/argos/gribovi/oper00/>

5. ZAKLJUČAK

Primjena naučnih dostignuća i tehnologije u HMZ CG je veoma zastupljena. Najvažniji segment primjene naučnih dostignuća su numerički meteorološki modeli. Numeričko rješavanje matematičkih jednačina kojima se opisuju fizičko-meteorološki procesi je vrlo specifično i skoro jedinstveno. Jedinstveno jer se traže rješenja jednačina po vremenu tj. u budućnosti. Diferencijalne jednačine kojima se opisuju fizički procesi u atmosferi i interakcija atmosfere sa Zemljom i sa Kosmosom su veoma složene. Njihova analitička rješavanja su skoro nemoguća. Numeričkim metodama te jednačine su postale rješive pod određenim uslovima. Obzirom da se radi o vrlo specifičnim metodama i sa vrlo složenim nelinearnim diferencijalnim jednačinama, njihovo uspješno numeričko rješavanje predstavlja jedno od najvećih naučnih dostignuća u ovoj oblasti.

LITERATURA

- [1] Fedor Mesinger, Dinamička meteorologija, analitička rešenje i numeričke metode, 1976, Beograd.
- [2] Fedor Mesinger, Numerical integration of the primitive equations with a floating set of computation points.
- [3] Marjan Čadež, Uvod u dinamičku meteorologiju, 1959, Beograd.
- [4] Đuro Radinović, Analiza vremena, 1969, Beograd.
- [5] Đuro Radinović, Prognoza vremena – numeričke metode, 1980, Beograd.
- [6] Slobodan Plazinić, Tehnička meteorologija, 1985, Beograd.

