



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

| | |
|--------------|------------|
| ПРИМЉЕНО: | 23.09.2009 |
| ОРГАНИЗ.ЈЕД. | БРОЈ |
| Ф603 | 9/1113 |

Savremene tehnike numeričke prognoze vremena – Ansambl prognoza

- diplomski rad -

Mentor: Prof. Dr Milica Pavkov Hrvojević

Kandidat: Lazar Stanić

Novi Sad, 2009.

*Diplomski rad posvećujem malobrojnim
meteoroložima Univerziteta u Novom Sadu.*

*Zahvaljujem se porodici i
prijateljima na podršci.*

*Veliku profesionalnu zahvalnost i
strpljenje iskazujem Mr Iliji Arseniću,
bez koga bi ovaj diplomski rad bio
imaginaran pojam.*



Lazar Stanić, septembar 2009.

SADRŽAJ:

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 4 |
| 2. ASIMILACIJA I ANALIZA PODATAKA | 7 |
| 2.1. 3D- var (Trodimenzioni promenljivi sistem za asimilaciju podataka)..... | 7 |
| 2.2. 4D- var (Četvorodimenzioni promenljivi sistem za asimilaciju podataka)..... | 10 |
| 3. GENERISANJE POREMEĆAJA | 11 |
| 3.1. Izvori perturbacija | 11 |
| 3.1.1. Odstupanja početnih uslova u ansamblu | 11 |
| 3.1.1.1. Opseg odstupanja | 12 |
| 3.1.2. Perturbovanje prognostičkog modela..... | 12 |
| 3.1.3. Odstupanja graničnih vrednosti..... | 13 |
| 3.2. Primena perturbacija..... | 14 |
| 3.2.1. ECMWF : Metod singularnog vektora | 14 |
| 3.2.2. NCEP : Račun perturbacija preko Briding ciklusa (Breeding Cycle) | 14 |
| 3.2.3. CMC : Perturbacija osmatranja preko višestrukih ciklusa analize | 15 |
| 4. KRATAK OPIS KORIŠĆENOG MODELA ZA PROGNOZU VREMENA (WS ETA)..... | 16 |
| 4.1. Osnovne karakteristike Workstation ETA modela..... | 16 |
| 4.2. Dinamika modela | 17 |
| 4.2.1. Horizontalna mreža tačaka | 17 |
| 4.2.2. Vertikalna koordinata | 18 |
| 5. STATISTIČKI I GRAFIČKI METODI U OBRADI IZLAZA IZ ANSAMBL PROGNOZE | 21 |
| 5.1. Raspodela verovatnoće | 21 |
| 5.1.1. Teorijske raspodele verovatnoće | 21 |
| 5.1.2. Gausova- normalna raspodela | 21 |
| 5.2. Srednje vrednosti | 22 |
| 5.2.1. Aritmetička sredina | 22 |
| 5.2.2. Medijana | 23 |
| 5.2.3 Mod (Modus)..... | 24 |
| 5.3. Mera odstupanja - Standardna devijacija | 25 |
| 5.4. Rangiranje podataka pomoću kvantila | 25 |
| 5.4.1. Najčešće korišćeni kvantili (kvartili i decili) | 26 |
| 6. INTERPRETACIJA ANSAMBL PROGNOZE..... | 27 |
| 6.1. Metodi pregleda izlaza iz ansambl prognoze | 28 |
| 6.1.2. Dvodimenzione mape | 28 |
| 6.1.2.1. Proizvodi aritmetičke sredine i odstupanja | 28 |
| 6.1.2.2. Špageti dijagrami | 30 |
| 6.1.2.3. Prognoza verovatnoća | 31 |
| 6.1.2.4. Verovatnoća pojave ekstrema–Indeks ekstremnih vrednosti prognoze | 32 |
| 6.1.3. Lokalni grafikoni | 33 |
| 6.1.3.1. Grafikoni u obliku perjanice | 33 |
| 6.1.3.2. Boks grafikoni (EPSgrami) | 34 |
| 7. NUMERIČKE SIMULACIJE..... | 35 |
| 7.1. Proces dobijanja ansambl prognoze | 35 |
| 7.2. Rezultati numeričkih simulacija | 36 |
| 7.2.1. Simulacija 1. Ansambl prognoza ukupne količine padavina sa varijacijama u početnim uslovima - vлага u zemljištu od 0 do 10 cm dubine | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 7.2.2. Simulacija 2. Ansambl prognoza ukupne količine padavina sa varijacijama u rezoluciji mreže | 37 |
| 7.2.3. Simulacija 3. Ansambl prognoza putanje centra tropskog ciklona – uragan Feliks (septembar 2007.) | 39 |
| 8. ZAKLJUČAK..... | 44 |
| LITERATURA | 45 |

1. UVOD

Prognostičari su oduvek razumevali značaj ispitivanja više numeričkih prognoza vremena, radi proizvođenja prognoze koja bi bila što pouzdanija za javnost. Jedan od načina na koji su to radili je poređenje više različitih NPV- a (numerička prognoza vremena). Poredili su izlaze iz globalnih modela sa izlazima iz regionalnih ili su poredili modele iz različitih prognostičkih centara. Takođe su pokušavali i višestrukim run- ovanjem istog modela (numeričkom integracijom modela na računaru), analizirajući kako različiti početni uslovi utiču na izlaze iz modela. Kasnije će detaljnije biti objašnjen pomenuti uticaj početnih uslova .

1963. godine Edvard Lorenc (Edward Lorenz) je došao do takozvane fundamentalne teorije predvidljivosti: *Atmosfera ima konačnu granicu predvidljivosti, čak iako je prognostički model perfektan i ako su početni uslovi savršeno poznati.* Dakle, prognostičke sposobnosti jednog atmosferskog modela zavise ne samo od početnih uslova, nego i od karakteristika samog modela. Najmanja greška u postavci prognostičkog modela ili u početnim uslovima dovodi do porasta veličine grešaka, što neizbežno vodi do smanjivanja u pouzdanosti same prognoze vremena. Od tog vremena, pa sve do danas, pouzdanost numeričke prognoze se neprekidno poboljšavala shodno razvoju kako numeričkih modela za prognozu vremena, tako i razvoju kompjutera koji su korišćeni u svrhu prognoze. Bitan napredak u pouzdanosti numeričke prognoze vremena je napravljen kroz činjenicu da se haotična priroda atmosfere može umesto jednim prognostičkim modelom opisati sa više modela koji su dobijeni ili varijacijom početnih uslova ili varijacijom samog prognostičkog modela. Ovakva pristup je doveo do takozvane ansambl prognoze koja je operativno prvi put izvedena 1992. godine, u kooperaciji NCEP- a (National Center for Environmental Prediction) i ECMWF- a (the European Centre for Medium- Range Weather Forecasts).

Ansambl prognoza je metod numeričke prognoze vremena pomoću kojeg se generiše reprezentativni uzorak mogućih budućih stanja atmosfere. Kreće se od stanovišta da greške malih razmara u analizi (osmotreno stanje atmosfere), mogu dovesti do velikih razlika u evoluciji sistema velikih sistema, kao što su na primer cikloni. Uvodeći male perturbacije u početne uslove, u ansambl prognozi se startuje veći broj numeričkih prognoza sa istim modelom, pri čemu veličina uvedenih perturbacija mora biti u skladu sa greškom koja se pravi prilikom osmatranja tih početnih uslova. Pored toga ansambl prognoza se može dobiti i perturbacijom samog prognostičkog modela, koristeći promene u dinamici, fizičkim parametrizacijama, numeričkim metodama i horizontalnoj ili vertikalnoj rezoluciji. Dakle, ansamblom se naziva skup članova iz više numeričkih modela za prognozu vremena koji su

dobijeni na osnovu istih početnih uslova ili skup članova iz jednog numeričkog modela za prognozu vremena sa setom promenjenih početnih uslova. Pri tom se pod članom ansambla podrazumeva pojedinačna prognoza unutar ansambl sistema.

Danas se ansambl prognoza operativno radi širom sveta, a najpoznatije i najčešće se koriste one iz :

- ECMWF (the European Centre for Medium- Range Weather Forecasts - Nemačka);
- NCEP (National Center for Environmental Prediction – Sjedinjene Američke Države);
- Met Office (Velika Britanija);
- Meteo France (Francuska);
- MSC (Meteorological Service of Canada – Kanada);
- Japanska meteorološka agencija;
- The Bureau of Meteorology (Australija);
- The Chinese Meteorological Agency (Kina);
- The Korean Meteorological Agency (Južna Koreja);
- CPTEC (Brazil).

Prilikom izrade ansambl prognoze koriste se razni statistički i grafički alati za kombinovanje rezultata pojedinih članova ansambla. Ovakvo obrađeni rezultati daju prognostičarima novi, bolji nivo informacija, koji će im pomoći da razviju inteligentniju primenu NPV- a u prognostičkim procesima. Osnovne prednosti ansambl prognoze u odnosu na pojedinačnu prognozu se mogu videti u tabeli 1.

U ovom diplomskom radu će u kratkim crtama biti opisana teorija koja predstavlja pozadinu ansambl prognoze vremena. Biće opisani koraci ansambl prognoze: asimilacija podataka, analiza, generisanje poremećaja, startovanje modela i statistička i grafička obrada izlaza iz modela za numeričku prognozu vremena. Kao eksperimentalni deo biće predstavljeni rezultati tri načina izrade ansambl prognoze:

1. varijacije u početnim uslovima;
2. varijacije prostorne rezolucije modela;
3. varijacije termina analize.

| KARAKTERISTIKA | POJEDINAČNA PROGNOZA | ANSAMBL PROGNOZA |
|---------------------------------------|---|---|
| <i>Odstupanja u početnim uslovima</i> | <p>Sistem za asimilaciju podataka je napravljen tako da minimizira greške u početnim uslovima, koristeći razne oblike podataka. Odstupanja su implicitno (ali nekompletno) izračunate na osnovu relativnog obračuna svakog dela osmotrenih podataka i kontrolne vrednosti (model first guess – vrednost promenljive koja predstavlja pretpostavku ili vrednost iz prethodne prognoze).</p> <p>Može proceniti grešku u početnim uslovima preko satelita ili drugih osmatranja, ali ne može eksplicitno proceniti njen kasniji uticaj na NPV.</p> | <p>Odstupanja u početnim uslovima mogu se uzeti u obzir pri definisanju najizraženijih potencijalnih grešaka (npr. najbrže rastućih) u kasnjem uticaju na prognostički model, i svesti ih na prihvatljive perturbacije početnih uslova.</p> |
| <i>Predvidljivost atmosfere</i> | <p>Ne može se odrediti iz pojedinačnog modela. Može se nepotpuno zaključiti iz stepena održivosti između uzastopnih pokretanja modela.</p> | <p>Može biti procenjena iz stepena porasta opsega članova ansambl prognoze. Veličina ansambla i adekvatne perturbacije početnih uslova su bitni za postizanje adekvatnog opsega ansambla i mere predvidljivosti.</p> |
| <i>Dinamička odstupanja modela</i> | <p>Samo jedan numerički model se može koristiti.</p> | <p>Može se koristiti više prognostičkih modela.</p> |
| <i>Fizička odstupanja modela</i> | <p>Samо jedan set fizičkih parametrizacija se može koristiti.</p> | <p>Razne kombinacije fizičkih parametrizacija se mogu koristiti.</p> |

Tabela 1. Prednosti ansambl prognoze u odnosu na pojedinačnu prognozu

2. ASIMILACIJA I ANALIZA PODATAKA

Sistem za asimilaciju podataka kombinuje sve dostupne informacije o atmosferi u datom vremenskom periodu, kako bi proizveo što bolju procenu stanja atmosfere. Izvori informacija koji se koriste u asimilaciji podataka su :

- meteorološka osmatranja;
- prethodne prognoze;
- greške prethodnih prognoza;
- fizički zakoni.

2.1. 3D- var (Trodimenzionalni promenljivi sistem za asimilaciju podataka)

Kako bi se bolje shvatila suština sistema za asimilaciju podataka, pogledajmo prvo jedan jednostavan primer o temperaturi unutar jedne prostorije sa klima uređajem. Prema karakteristikama prostorije i snazi klime pretpostavimo da bi temperatura sobe trebala biti $T_k = 18^\circ\text{C}$ (tzv. kontrolna temperatura). Ovaj podatak ne može biti najtačniji jer postoje dodatni slučajni uticaji kao što su otvaranje vrata, nesavršenost klime,... Zbog toga se definiše greška (standardna devijacija) ove temperature, i neka ona iznosi $\sigma_k = 1^\circ\text{C}$. S druge strane, pretpostavimo da imamo termometar u prostoriji koji očitava temperaturu $T_o = 20^\circ\text{C}$ (tzv. osmotrena vrednost). Termometar ne pokazuje tačnu vrednost već se tačna vrednost nalazi u nekom intervalu temperatura oko očitane vrednosti. Ova činjenica se može opisati uvođenjem standardne devijacije termometra, koja u ovom primeru ima vrednost $\sigma_o = 0,5^\circ\text{C}$. Iz rečenog je očigledno da je stvarna vrednost temperature bliža osmotrenoj vrednosti. Očekivana vrednost temperature se dobiti izračunavanjem otežane srednje vrednosti datih temperatura preko izraza:

$$S = \frac{\sigma_o^2 \cdot T_k + \sigma_k^2 \cdot T_o}{\sigma_o^2 + \sigma_k^2}, \quad (1)$$

što u našem slučaju daje rezultat od $19,6^\circ\text{C}$ za temperaturu vazduha u prostoriji. Ovo rešenje se može predstaviti i preko sledeće formule:

$$S = T_k \cdot O + T_o \cdot K, \quad (2)$$

gde je S promenljiva koja nas interesuje (u našem slučaju temperatura), a veličine O i K su statističke težine definisane kao:

$$O = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_o^2 + \sigma_k^2}, \quad (3)$$

$$K = \frac{\sigma_k^2}{\sigma_o^2 + \sigma_k^2}. \quad (4)$$

Otežana srednja vrednost \bar{x} se u opštem slučaju izračunava po formuli:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad (5)$$

gde je x_i i- ta vrednost promenljive, w_i i- ta vrednost težinske funkcije, a N ukupan broj podataka (merenja). Težinska funkcija svakog w_i rezultata se računa po formuli:

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad (6)$$

gde je σ_i^2 kvadrat standardne devijacije. Očekivana srednja vrednost se sada može izračunati i za N članova preko formule:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2}}. \quad (7)$$

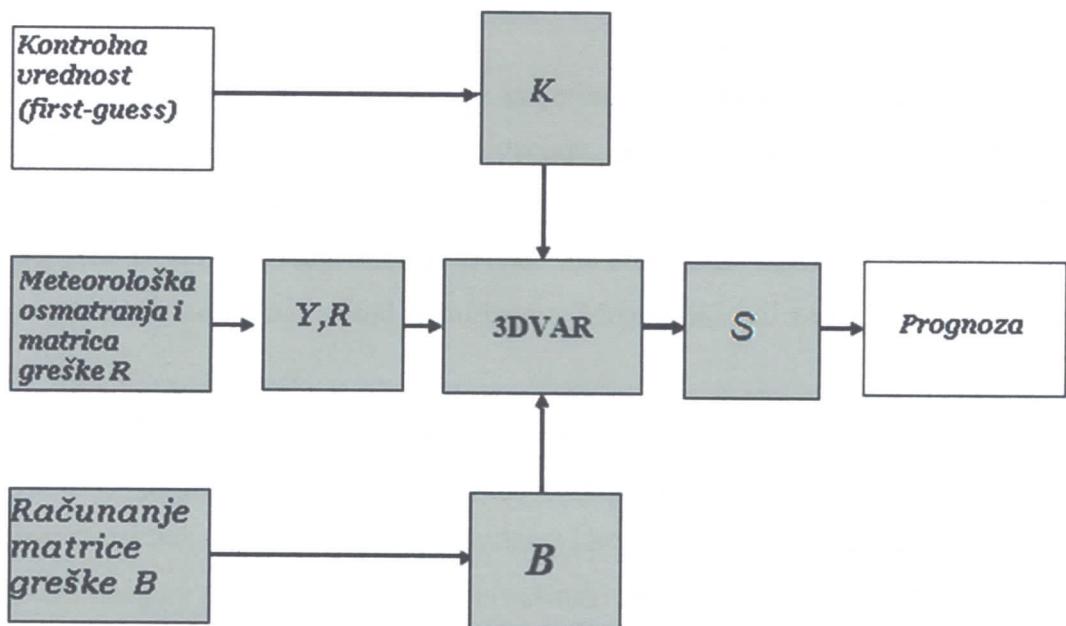
Većina objektivnih meteoroloških tehniki za analizu se dalje razvija od ovog prostog pristupa određivanja otežane srednje vrednosti.

Osnovni cilj 3D- var analize je da napravi optimalnu procenu pravog stanja atmosfere u terminu analize. U osnovi ova tehnika se svodi na određivanje minimuma tzv. kost- funkcije date izrazom:

$$J(S) = \frac{1}{2} \left[(K - S)^T B^{-1} (K - S) + (Y - H(S))^T R^{-1} (Y - H(S)) \right], \quad (8)$$

gde je S traženo stanje atmosfere, K kontrolno stanje, Y osmotreno stanje atmosfere, B matrica greške kontrolnog stanja, R matrica greške osmotrenog stanja, H neki operator a $J(S)$ je kost-funkcija. U ovim analizama stanje atmosfere predstavlja N - dimenzioni vektor, gde je broj dimenzija jednak broju podataka (merenja), pri čemu su komponente tog vektora vrednosti atmosferske promenljive u tačkama u kojima je vršeno merenje. Očigledno se radi o vektorima sa ogromnim brojem dimenzija ($N \sim 10^6$). Kontrolno stanje atmosfere, K , se najčešće dobija iz prognoze vremena napravljene na osnovu prethodnih analiza. Matrica greške kontrolnog stanja, B , čije su dimenzije $N \times N$, odražava meru odstupanja prognoze od očekivanog stanja atmosfere. U krajnjoj liniji napredak ansambl prognoze vremena se očekuje u poboljšanju tehnika određivanja upravo ove matrice. Operator H može imati razna značenja, od prostorne interpolacije sa tačaka u kojima se nalaze osmatračke stanice na tačke pravilne mreže, pa sve do komplikovanih jednačina koje prevode informacije o temperaturi i vlažnosti vazduha u informacije o zračenju. Matrica, R , u sebi sadrži podatke o greškama osmotrenog stanja. Kost- funkcija predstavlja meru rastojanja traženog stanja (S) od osmotrenog (Y) i kontrolnog stanja atmosfere (K). Dakle, očekivano stanje atmosfere je ono za koje navedena kost- funkcija ima minimum. Postupak se radi diferenciranjem kost- funkcije, što će u našem primeru rezultovati istom vrednošću promenljive S kao i u pristupu koji je doveo do formule 2. Razlog što se uopšte i uvodi kost- funkcija je matematičke prirode, jer ona predstavlja moćan računski alat.

Ukratko, na osnovu jednačine 8. se nalazi očekivana srednja vrednost S , zatim se takva optimalna procena pravog stanja atmosfere u periodu analize dalje prosleđuje procesu prognoze vremena, što se slikovito može predstaviti preko slike 1.



Slika 1. 3D- var analiza

2.2. 4D- var (Četvorodimenzioni promenljivi sistem za asimilaciju podataka)

4D- var predstavlja nadogradnju 3D- var sistema za asimilaciju podataka. Ono što karakteriše 4D- var sistem je to da se vreme pojavljuje kao dodatni element. Cilj ovog sistema za asimilaciju je da pronađe vrednost tražene promenljive (S) u početnom trenutku dvanaestočasovnog intervala unutar kojeg se kost- funkcija minimizuje.

3. GENERISANJE POREMEĆAJA

Nekoliko metoda se može iskoristiti za generisanje poremećaja, ali sve podrazumevaju generisanje malih perturbacija, bilo u podacima, bilo u samom modelu za numeričku prognozu vremena. Svaki pojedinačni član unutar ansambla se dobija veštačkim pertubovanjem novih početnih uslova. Svaka meteorološka služba koja koristi ansambl prognozu je razvila sopstveni metod perturbacija. Mogući metodi za obuhvatanje pomenutih grešaka uključuju:

- perturbaciju početnih uslova koja se koristi u modelu;
- perturbaciju samog modela, koristeći promene u dinamici, fizičkim parametrizacijama, numeričkim metodama i horizontalnoj ili vertikalnoj rezoluciji;
- perturbaciju u graničnim uslovima (površinski ili bočni).

3.1. Izvori perturbacija

3.1.1. Odstupanja početnih uslova u ansamblu

Jasno je da stanje atmosfere u datom vremenu nije savršeno poznato kako zbog instrumentalnih grešaka unutar osmatračkog sistema tako i zbog retke i nehomogene mreže osmatračkih stanica. Svoj doprinos odstupanju početnih uslova ima i nesavršeni sistem za asimilaciju podataka (3D- var, 4D- var). Dakle, početni uslovi uvek sadrže grešku i neke od tih grešaka odlučujuće utiču na prognozu vremena.

Analiziranje početnih uslova može uzeti u obzir konačan broj vrednosti u okviru opsega odstupanja, što bi teorijski rezultovalo konačnim brojem mogućih razvoja prognoze.

Na osnovu ograničenih kompjuterskih resursa, problem postaje određivanje opsega odstupanja u početnim uslovima i određivanje koja pojedinačna odstupanja u tom opsegu će pokriti opseg mogućih rešenja, u vremenskom intervalu koji nas zanima.

3.1.1.1. Opseg odstupanja

Opseg odstupanja u početnim uslovima zavisi od sistema za asimilaciju podataka. Svaki sistem za asimilaciju je pod uticajem karakterističnih grešaka nastalih u osmatranju ili u samom modelu prognoze koji se koristi kao pozadinska prognoza ili prva iteracija. Kratkoročne prognoze i osmatranja se kombinuju da bi se minimizovale greške u početnim uslovima u okviru prognoze. Ovaj proces minimizuje, ali ne uklanja greške.

Kod ansambl prognoze koriste se odstupanja u početnim uslovima za stvaranje prognoze. Član ansambla koji se dobija polazeći od neperturbovane analize se naziva kontrolni član ili kontrola ansambla.

Dodatni izvor odstupanja u prognozi su odstupanja u formulisanju modela, uključujući doprinose od:

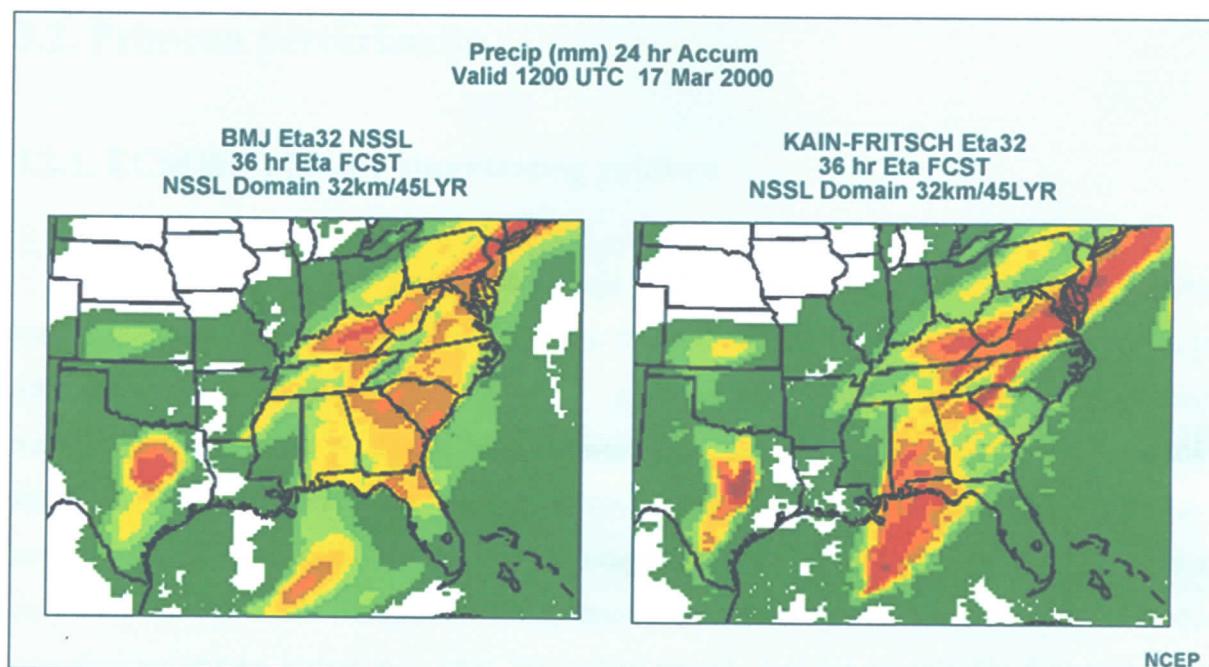
- dinamičke formulacije;
- fizičke parametrizacije.

Odstupanja u formulaciji modela takođe doprinose sistematskim odstupanjima i greškama koje nalazimo u svakom operativnom sistemu. Uticaj sistematskih odstupanja i grešaka na detaljnu prognozu zavisi od samog toka prognoze i početnih uslova.

3.1.2. Perturbovanje prognostičkog modela

Jedan od načina da se u obzir uzmu greške u formulaciji modela je izvršiti perturbaciju samog modela. Ovakve perturbacije mogu se uneti u aspekte dinamičke, numeričke ili fizičke formulacije modela.

Primer efekta perturbacije fizičke parametrizacije se može prikazati na 24 h prognozi količine padavina na grafikonu prikazanom na slici 2. Prognostički modeli se jedino razlikuju u parametrizaciji konvekcije (Bets Miler Janjić i Kain Frič šeme). Sa grafikona se jasno vide razlike u primeni različitih šema. Ove razlike ne samo da su uticale na količinu prognoziranih padavina, nego i na dinamički razvoj atmosfere, jer različite šeme produkuju različite vertikalne profile temperature, koje utiču na dinamički razvoj atmosfere.



Slika 2. – Grafikon 24 h prognoze količine padavina u slučaju korišćenja dve različite šeme za parametrizaciju konvekcije (BMJ i KF šeme)

3.1.3. Odstupanja graničnih vrednosti

Treća bitna kategorija opisivanja ansambla kroz procenu stepena nesigurnosti leži u proceni karakterističnih vrednosti promenljivih na donjoj i bočnim granicama oblasti. Vrednosti promenljivih na donjoj granici koje se mogu perturbovati su:

- površinska temperatura mora,
- vlažnost zemljišta,
- neke druge promenljive (npr. tip vegetacije ili tip zemljišta).

Perturbacije površinske temperature mora i vlažnosti zemljišta se ponekad koriste i za klimatsku ansambl prognozu.

Odstupanja vrednosti promenljivih na bočnim granicama oblasti se mogu perturbovati samo u onim regionalnim modelima koji su umetnuti (nestovani) u regionalne modele grublje rezolucije. Drugi način na koji se mogu vršiti perturbacije je upotreba graničnih uslova iz već odrđene globalne ansambl prognoze.

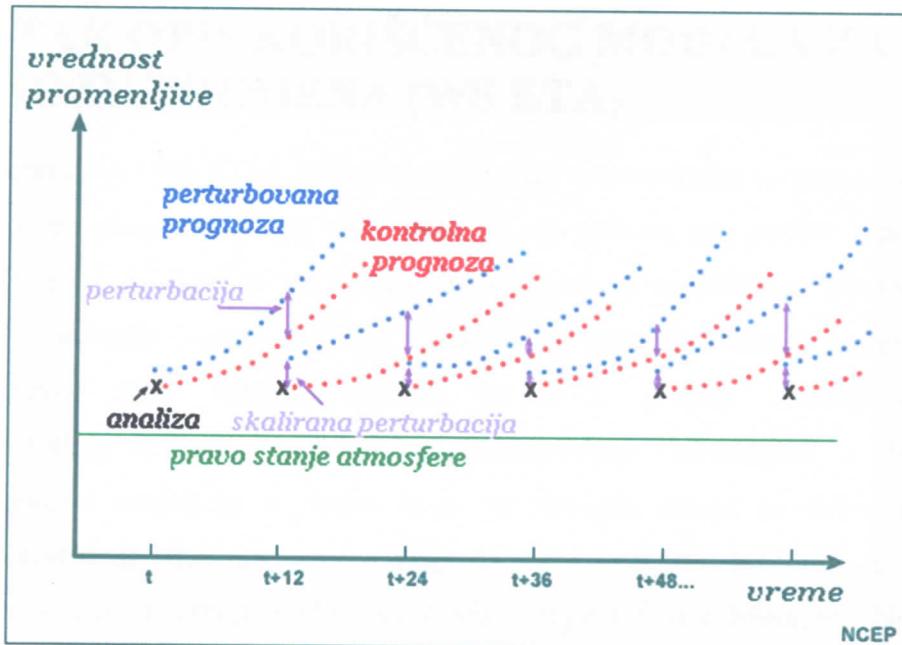
3.2. Primena perturbacija

3.2.1. ECMWF : Metod singularnog vektora

Metod singularnog vektora za perturbovanje početnih uslova se koristi u ECMWF- u. Ovaj metod daje poremećaje sa najbržim linearnim rastom tokom konačnog intervala vremena, po određenim kriterijumima i u određenoj geografskoj oblasti. Problem se prikazuje matematički, a rešenje se dobija uz aproksimaciju linearog porasta poremećenja u toku vremena. Ova pretpostavka je dovoljno dobra za male poremećaje, za period dan- dva unapred. Da bi se numerički odredio rast poremećaja, potrebno je imati prognostički model za linearu evoluciju malih poremećaja (tangentno- linearna verzija ECMWF modela). Za račun singularnog vektora, potreban je i tzv. Pridruženi model (Adjoint model). On daje tangentno-linearnu aproksimaciju osetljivosti nelinearnog problema. Pretpostavka linearnosti poremećaja ograničava interval na 48 h, što je neophodno za potrebe srednjoročne prognoze (10 dana). Upotrebljava se 25 singularnih vektora da bi se napravilo 50 perturbovanih početnih stanja za sistem ansambl prognoze.

3.2.2. NCEP : Račun perturbacija preko Briding ciklusa (Breeding Cycle)

Pojam briding ciklus se odnosi na činjenicu da ovaj metod stimuliše rast perturbacije početnih uslova onih članova ansambla koji imaju najveće poremećaje. Da bi se započeo ovaj ciklus, potrebno je dodati slučajne perturbacije na analizu početnih uslova u modelu. Na dalje, poremećaji preneti kroz kontrolnu prognozu (first- guess) skaliraju se u pravilnim vremenskim intervalima . Greške povezane sa početnim stanjem atmosfere rastu tokom analitičkog ciklusa, a dominantne greške postaju veće. Račun perturbacija preko briding ciklusa se može prikazati preko slike 3.



Slika 3.– Prikaz vršenja briding ciklusa u toku vremena

3.2.3. CMC : Perturbacija osmatranja preko višestrukih cilusa analize

U kanadskom meteorološkom centru se za ansambl prognozu koristi ciklus ansambla asimilacije podataka koji vrši nezavisne analize. Svaki ciklus asimilacije podataka koristi različite perturbacije u osmatranju i kontrolnoj prognozi. I jedne i druge perturbacije se crtaju u očekivanom opsegu osmatranja i grešaka modela (preko Monte Karlo pristupa). Očekuje se da ako postoji mnogo dostupnih podataka, da će taj opseg biti manji, i obrnuto. Ansambl analize se potom dodaju početnim uslovima za sistem ansambl prognoze.



4. KRATAK OPIS KORIŠĆENOOG MODELA ZA PROGNOZU VREMENA (WS ETA)

Workstation ETA (WS ETA) je regionalni model za numeričku prognozu vremena koji daje kratkoročnu prognozu do tri dana unapred, za procese sinoptičkih i podsinoptičkih razmara. WS ETA je razvijen od Nacionalnog centra za modeliranje životne sredine iz Sjedinjenih Američkih Država (NCEP) i predstavlja obrađenu verziju operativnog ETA modela. Razvoj ETA modela započeo je 1972. godine, saradnjom Saveznog hidrometeorološkog zavoda i Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu. Po skraćenom nazivu institucija u okviru kojih je razvijen, model je dobio naziv HIBU (Hydrometeorological Institute and Belgrade University). Izvršioci najvećeg dela istraživačkih poslova u izradi modela su Zaviša Janjić i Fedor Mesinger. Novija verzija modela razvijena je u saradnji Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu, Nacionalnog meteorološkog centra SAD- a iz Vašingtona i Laboratorije za geofiziku i dinamiku fluida (GFDL) iz Prinstona u SAD. Ime ETA model je dobio po svojoj vertikalnoj koordinati (eta). Danas se ETA model koristi u više od 20 meteorooloških institucija širom sveta, kako za operativnu prognozu vremena, tako i u istraživačke svrhe.

4.1. Osnovne karakteristike Workstation ETA modela

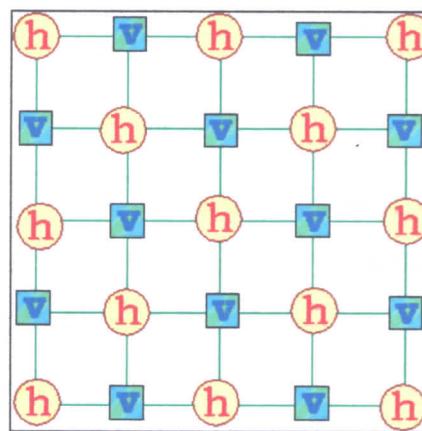
- WS ETA model se pojavljuje kao istraživački i operativni model za prognozu vremena 1999. godine.
- Regionalni model za numeričku prognozu stanja atmosfere u tom regionu (region je ograničena oblast atmosfere kako u horizontalnom tako i u vertikalnom pravcu).
- Model za ograničenu oblast.
- Model mreže tačaka.
- Definisan na polurazmknutoj Arakavinoj E mreži (Arakawa and Lamb, 1977).
- Ima ugrađenu specijalnu tehniku za sprečavanje razdvajanja rešenja (Mesinger, 1973; Janjić 1974,1979)
- Vertikalna koordinata je η (eta) koordinata, kao generalizacija σ (sigma) koordinate (Philips, 1957), sa stepenastom prezentacijom planina (Mesinger, 1984). Model se može koristiti i u jednom i u drugom modu bez ikakvih izmena u kodu.
- U horizontalnoj advekciji model ima ugrađenu kontrolu nelinearne kaskade energije (Janjić, 1984).

- Vremensko diferenciranje je eksplicitno sa rascepljivanjem (Mesinger, 1977, Janjić, 1979).
- Za planetarni granični sloj se koristi Mellor- Jamada parametrizaciona šema nivoa 2,5 (Vager, Zilitinkevitch, 1968; Zilitinkevitch, 1970; Mellor and Yamada, 1974; Janjić, 1990, 1994).
- Za „prizemni” sloj se koristi Mellor Jamada parametrizaciona šema 2 nivoa sa plitkim slojem dinamičke turbulentnosti na dnu (Janjić, 1990, 1994).
- Bočna difuzija je drugog reda sa difuzionim koeficijentom koji zavisi od deformacije polja strujanja i turbulentne kinetičke energije.
- Prizemni procesi, kao što su isparavanje, sneg, topljenje, hidrologija, i dr. su uključeni (Janjić, 1990, 1994 and OSU scheme).
- Uključene su padavine velikih razmera i konvektivna šema Bets- Milera i Janjića (Betts, 1986 and Miller, 1986, Janjić, 1990, 1994).
- Šema za zračenje je GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory).

4.2. Dinamika modela

4.2.1. Horizontalna mreža tačaka

Horizontalna mreža tačaka koja se koristi u modelu je polurazmagnuta Arakavina (Arakawa and Lamb, 1977) E mreža (slika 4.).

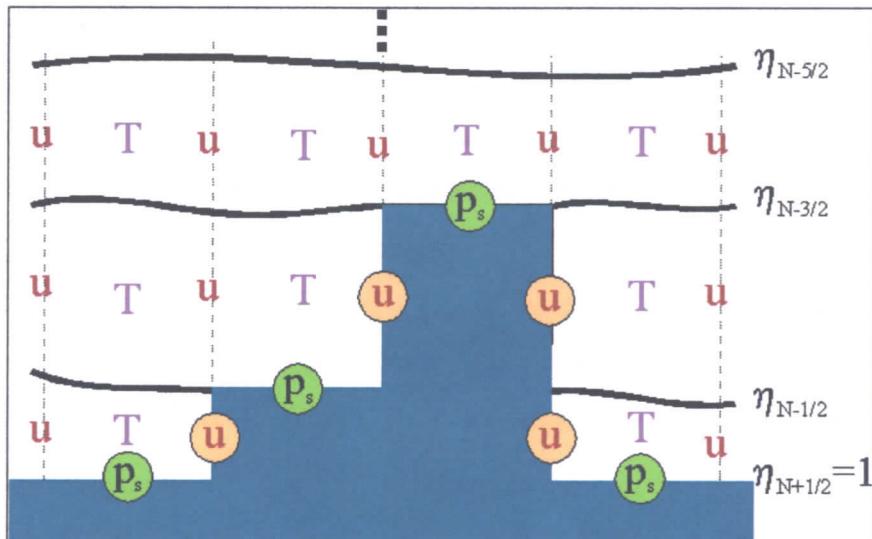


Slika 4. - Raspodela promenljivih na E mreži

U h tačkama definisani su, prizemni pritisak, temperatura, specifična vlažnost i turbulentna kinetička energija, dok v tačke označavaju u i v komponente brzine. Δx se razlikuje na severnom i južnom kraju oblasti. Da bi se dobila što uniformnija mreža tačaka i dostigao što

bliži uslov linearne stabilnosti, naročito u višim geografskim širinama, koristi se transformisani koordinatni sistem. Geografske koordinate su rotirane tako da se novi „ekvator” i „granični meridijan” seku u centru oblasti integracije modela.

4.2.2. Vertikalna koordinata



Slika 5. - Skica raspodele vertikalnih novoa u modelu

Vertikalna eta (η) koordinata (Mesinger, 1984) koja je i prikazana na slici 5. je definisana kao:

$$\eta = \frac{p - p_T}{p_S - p_T} \eta_S, \quad (9)$$

$$\text{gde je } \eta_S = \frac{p_{rf}(z_S) - p_T}{p_{rf}(0) - p_T}. \quad (10)$$

Ovde je p pritisak, indeksi T i S označavaju vrednosti na vrhu modela atmosfere i na Zemljinoj površini, z je geometrijska visina a $prf(z)$ je pogodno definisan pritisak kao funkcija visine z , gde npr. mogu biti korišćene sledeće relacije:

$$p_{rf}(z) = p_{rf}(0) \left[\frac{T - z\Gamma}{T} \right]^{\frac{g}{RT}}, \quad (11)$$

$$p_{rf}(z) = p_{rf}(0) \exp \left(-\frac{gz}{R\Gamma} \right), \quad (12)$$

gde su: $prf(0) = 1013,25 \text{ hPa}$, $T = 288 \text{ K}$, $\Gamma = 6,5 \text{ K/1000 m}$, $R = 287,04 \text{ J/kg K}$.

Prizemne visine z_s

$$z_s = \frac{T}{g} \left\{ 1 - \left[\frac{\eta_s(p_{rf}(0) - p_T) + p_T}{p_{rf}(0)} \right]^{\frac{R\Gamma}{g}} \right\}, \quad (13)$$

dozvoljavaju uzimanje samo diskretnih vrednosti. Tako planine bivaju konstruisane od trodimenzionalnih „kutija” nad tačkama mreže (tzv. stepenasta prezentacija). Pritisak $prf(0)$ u jednačini 13. može da se zameni sa $prf(zb)$, gde zb predstavlja osnovnu visinu definisanu tako da uključuje blage nagibe prizemne topografije.

Na slici 14. (strana 35.) su šematski prikazane planine dobijene korišćenjem η koordinate, i vertikalna diskretizacija. Na sredini slojeva su definisane komponente vetra (u , v), temperatura (T) i specifična vlažnost (q). Geopotencijal (Φ), vertikalna brzina ($\dot{\eta}$) i turbulentna kinetička energija (q^2) su definisani na dodirnim površinama slojeva, tj. na eta površinama. Prizemni pritisak (ps) je definisan na samoj Zemljinoj površini. Za razliku od sigma koordinatnog sistema, koordinatne površine kod eta koordinate su približno horizontalne.

Eta koordinata je uvedena da bi uklonila greške koje se pojavljuju pri računanju sile gradijenta pritiska, advekcije i bočne difuzije duž strmih, nagnutih terena. Kada je površina nagnuta, temperaturne promene na sigma površinama su više rezultat hidrostaticke promene temperature usled promene visine terena, nego usled horizontalnog gradijenta temperature. S obzirom da su vertikalne promene temperature veće nego horizontalne, one imaju presudan uticaj na izračunavanje gradijenta pritiska. To dovodi do većih vrednosti gradijenta pritiska nego što je realno, a to do još većih grešaka u temperaturi.

U Eta koordinatnom sistemu, realna topografija je prezentovana tzv. „siluetnim planinama” (Mesinger and Collins, 1987), gde vrednost površinskog terena zavisi od vertikalne rezolucije modela i visine planina. Iz tog razloga teren kod eta koordinata je predstavljen u obliku stepenica, dok je kod sigma koordinata gladak i kontinualan. S obzirom da je eta koordinata normalizovana na vrednost pritiska na nivou mora, ona je i približno horizontalna. Stoga se horizontalni gradijent pritiska tačnije izračunava, jer ne uvodimo grešku usled visinskih promena između dve tačke mreže.

Granični uslov na zidovima planina tzv. *unutrašnji granični uslov* je da su komponente brzine izjednačene sa nulom, što i olakšava prostorno diferenciranje. Fiktivne komponente brzine unutar planina su jednake nuli.

Horizontalno i vertikalno razlaganje se definišu unapred, u zavisnosti od veličine oblasti integracije i procesa koji se žele uključiti u razmatranje i u saglasnosti sa raspoloživim računarskim resursima i vremena za koje je potrebno imati rezultate. Problem koji se javlja u ETA modelu, kao i u svakom regionalnom modelu, je problem bočnih graničnih uslova. Vremenski promenljive bočne granične vrednosti svih prognostičkih promenljivih dobijaju se linearном interpolacijom sa vremenom od globalnih prognoza u šestočasovnim intervalima. Na taj način oblast integracije nije izolovana od okoline, već se kroz bočne granice, iz ograničene oblasti, vrše prilivi/odlivи mase, vlažnosti...

5. STATISTIČKI I GRAFIČKI METODI U OBRADI IZLAZA IZ ANSAMBL PROGNOZE

U ovom delu će biti objašnjeno nekoliko osnovnih statističkih i grafičkih pojmove sa kojima je potrebno upoznati se da bi se shvatili izlazi ansambl prognoze, uključujući statističke mere i njihovu primenu u prognozi. Ansambl prognoza koristi sve ove pojmove kako bi generisala izlaze u obliku koji je koristan prognostičarima.

5.1. Raspodela verovatnoće

5.1.1. Teorijske raspodele verovatnoće

Distribucija verovatnoće opisuje frekvenciju pojavljivanja specifičnih vrednosti ili opsega vrednosti u određenom skupu podataka. Ako je uzorak reprezentativan i dovoljno velik, distribucija verovatnoće se može koristiti za procenu karakteristike celog niza podataka. Da bi se opisala raspodela verovatnoće podataka obično se koristi gustina verovatnoće koja opisuje gustinu verovatnoće svakog podatka unutar celog niza podataka. Na osnovu gustine verovatnoće možemo definisati srednje vrednosti, karakteristična odstupanja i opsege očekivanih vrednosti.

Neke promenljive mogu uzimati samo diskrete vrednosti, kao što su pojava ili nepojavljivanje određenih merljivih padavina u datom intervalu vremena. Teorijske diskrette raspodele verovatnoće se opisuju preko binomne, geometrijske i Poasonove raspodele. S druge strane, neke promenljive mogu uzeti bilo koje vrednosti u toku konačnog ili beskonačnog intervala. Oni se teorijski opisuju preko kontinualne raspodele verovatnoće (Gausova- normalna raspodela, beta, gama, i raspodela ekstremnih vrednosti).

5.1.2. Gausova- normalna raspodela

Gausova raspodela je najčešće korišćena raspodela prilikom statističke prezentacije podataka. Kod ove raspodele, u blizini srednje vrednosti se nalaze najfrekventnije osmotrene vrednosti, dok se ekstremne vrednosti, koje su daleko od srednje vrednosti, retko pojavljuju. Gustina verovatnoće normalne raspodele je data izrazom:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (18)$$

gde je x je vrednost slučajne promenljive, σ^2 je srednje kvadratno odstupanje vrednosti uzorka od aritmetičke sredine uzorka (disperzija, potkorena veličina standardne devijacije), a m je srednja vrednost (aritmetička sredina). O pomenutim statističkim veličinama više reći će biti kasnije. Srednja vrednost i standardna devijacija su dva statistička parametra koji potpuno opisuju normalnu raspodelu.

5.2. Srednje vrednosti

Nekoliko statističkih veličina se koristi za opisivanje teorijske distribucije podataka koji koriste pojam srednje vrednosti, središta ili centralne tendencije, njihovo odstupanje, kao i njihov oblik.

Kako definisati „sredinu” podataka? Broj statističkog merenja daje nam ideju gde je sredina u uzorku podataka, ali treba imati u vidu činjenicu da se koriste različiti koncepti određivanja sredine. Samim tim se mogu dobiti veoma različiti odgovori kada podaci ne podležu Gausovoj raspodeli.

5.2.1. Aritmetička sredina

Aritmetička sredina predstavlja sumu vrednosti podeljenu sa ukupnim brojem podataka i predstavlja se formulom:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (14)$$

gde je x_i i -ta vrednost promenljive, \bar{x} aritmetička sredina, a n ukupan broj podataka.

- primer

Posmatrajmo skup A od 10 članova, $A=\{1, 5, 5, 2, 5, 4, 8, 9, 7, 9\}$. Aritmetička sredina će biti:

$$\bar{x} = \frac{1+5+5+2+5+4+8+9+7+9}{10} = 5,5 .$$

5.2.2. Medijana

Medijana se definiše kao vrednost koji deli ceo skup podataka na dve jednake polovine. U jednoj polovini se nalaze podaci čije su vrednosti manje, a u drugoj podaci čije su vrednosti veće od medijane. Kod izračunavanja medijane potrebno je vrednosti poređati u rastući niz. Vrednost medijane se izračunava po formuli:

$$m = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}}, & n - neparno \\ \frac{x_n + x_{\frac{n+1}{2}}}{2}, & n - parno \end{cases}; \quad (15)$$

gde je x je vrednost promenljive, m je medijana, a n je ukupan broj podataka.

- primer

1) Posmatrajmo skup A od 10 članova $A=\{1, 5, 5, 2, 5, 4, 8, 9, 7, 9\}$. Vidimo da je ovo skup sa parnim brojem članova. Prvo je potrebno podatke poređati u rastući niz.

$$A_parno=\{1, 2, 4, 5, 5, 7, 8, 9, 9\}.$$

Medijana izračunata po formuli za paran broj podataka će biti srednja vrednost pete i šeste vrednosti skupa A_parno:

$$m = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n+1}{2}}}{2} = \frac{5+5}{2} = 5;$$

2) Posmatrajmo sada skup B od 11 članova $B=\{1, 5, 5, 2, 5, 4, 8, 9, 7, 9, 6\}$. Vidimo da je ovo skup sa neparnim brojem članova. Prvo je potrebno podatke poređati u rastući poredak

$$B_neparno=\{1, 2, 4, 5, 5, 6, 7, 8, 9, 9\}.$$

Medijana izračunata po formuli za neparan broj podataka će biti šesta po redu vrednost skupa B_neparno:

$$m = x_{\frac{n+1}{2}} = 5 .$$

5.2.3 Mod (Modus)

Najčešće osmotrena vrednost (najfrekventnija) koja se pojavljuje unutar celokupnog skupa podataka naziva se mod. Set podataka može sadržati nijedan, jedan, ili više modova.

- primer

1) Posmatrajmo skup A od 10 članova, $A=\{1, 5, 5, 2, 5, 4, 8, 9, 7, 9\}$. Najčešća osmotrena vrednost ili mod je :

$Mo=5$.

2) Posmatrajmo skup B od 10 članova, $B=\{1, 5, 5, 9, 5, 4, 8, 9, 7, 9\}$. Najčešća osmotrena vrednost ili mod je :

$Mo=5$ i 9 .

3) Posmatrajmo skup C od 10 članova, $C=\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$. U ovom skupu ne postoji mod.

Prednosti i nedostaci aritmetičke sredine, medijane i moda se mogu videti u tabeli 2.

| Statistička veličina | Prednosti | Nedostaci |
|----------------------------|--|---|
| Aritmetička sredina | <ul style="list-style-type: none"> • U obzir uzima sve podatke. • Za normalnu distribuciju predstavlja najstabilniju meru centralne tendencije kada uzima podatke za ceo uzorak . | <ul style="list-style-type: none"> • Ne predstavlja dobru reprezentaciju centralne tendencije prilikom crtanja distribucije. • Može biti pod jakim uticajem ekstremnih vrednosti. |
| Medijana | <ul style="list-style-type: none"> • Nije pod uticajem ekstremnih vrednosti. • Zgodna je za crtanje distribucija. | <ul style="list-style-type: none"> • Podaci moraju da se sortiraju. • Ne uzima u obzir sve podatke. |
| Mod | <ul style="list-style-type: none"> • Nije pod uticajem ekstremnih vrednosti. • Može se koristiti za numeričke podatke (npr. tip padavina). • Može pokriti pojavu višestrukih maksimuma. | <ul style="list-style-type: none"> • Ne uzima u obzir sve podatke. • Osetljiv je na to kako su podaci raspodeljeni. |

Tabela 2. Prednosti i nedostaci aritmetičke sredine, medijane i moda

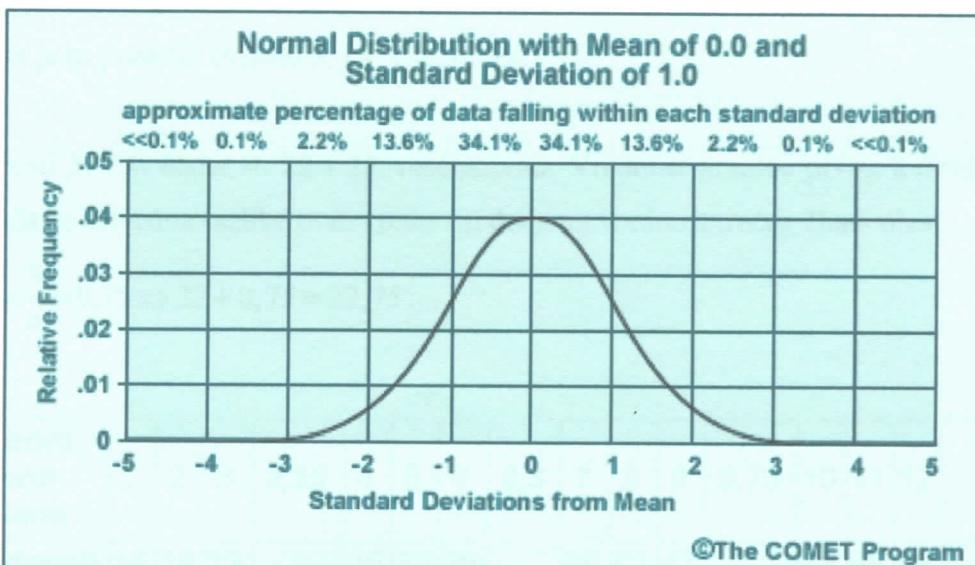
5.3. Mera odstupanja - Standardna devijacija

Mera odstupanja daje bolji uvid u opseg vrednosti koju podaci mogu uzimati. Standardna devijacija pretpostavlja da podaci imaju normalnu distribuciju. Ona se definiše kao kvadratni koren srednjeg kvadratnog odstupanja:

$$S_d = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (16)$$

gde je n ukupan broj vrednosti, x_i i- ta vrednost promenljive, \bar{x} aritmetička sredina svih vrednosti i S_d standardna devijacija.

Standardna devijacija se koristi da bi se prikazala mera rasturanja vrednosti podataka oko srednje vrednosti. Na slici 6. možemo videti da se približno 68 % podataka nalazi između ± 1 standardne devijacije, približno 95 % podataka se nalazi između ± 2 standardne devijacije, i oko 99,8 % između ± 3 standardne devijacije od aritmetičke sredine.



Slika 6. –Grafikon normalne raspodele

5.4. Rangiranje podataka pomoću kvantila

Drugi način za statističko opisivanje podataka je rangiranjem, tako da se može opisati relativna pozicija određene vrednosti unutar skupa svih vrednosti. Veličina koja opisuje ovu

poziciju naziva se kvantil. Kvantil daje procentualni broj uzoraka čije se vrednosti nalaze ispod neke određene vrednosti. Na primer, medijana je po definiciji 50- ti kvantil.

5.4.1. Najčešće korišćeni kvantili (kvartili i decili)

Prilikom primene kvartila, set podataka se deli u četiri grupe sa istim brojem podataka. Verovatnoća da se neki podatak nađe u nekom od kvartila je 25 %. Primena kvartila se može opisati setom podataka koji su prikazani u tabeli 3. Predstavljen je skup A od 13 članova, $A=\{60, 55, 47, 39, 30, 22, 14, 18, 25, 36, 42, 48, 58\}$. Članove je potrebno podeliti u 4 grupe sa istim brojem članova. Opisaćemo određivanje granice prvog kvartila, dok je slučaj sa ostalima analogan. Postupak određivanja granica prvog kvartila je sledeći:

1) Vrednosti članova treba poređati u rastući niz.

$$A=\{14, 18, 22, 25, 30, 36, 39, 42, 47, 48, 55, 58, 60\}.$$

2) Odredi se jedna četvrtina od ukupnog broja članova (25 %):

$$\frac{13}{4} = 3,25.$$

Vidimo da je to pozicija između 3. i 4. člana niza.

3) Vrednosti 3. i 4. člana su 22 i 25, respektivno. Vrednost granice prvog kvartila se onda dobija kada se četvrtina razlike ovih vrednosti doda na vrednost trećeg člana niza:

$$\frac{25-22}{4} = \frac{3}{4} = 0,75 \Rightarrow 22 + 0,75 = 22,75.$$

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|----|--------------|---------------|----|-------------|---------------|------------|--------------|-----------------|----|-------------|----|----|----|----|
| Redni broj člana | 1 | 2 | 3 | 3,25 | 4 | 5 | 6 | 6,5 | 7 | 8 | 9 | 9,75 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Vrednosti | 14 | 18 | 22 | | 25 | 30 | 36 | | 39 | 42 | 47 | | 48 | 55 | 58 | 60 |
| Granica kvartila | Prvi kvartil | | 22,75 | Drugi kvartil | | 37,5 | Treći kvartil | | 47,75 | Četvrti kvartil | | | | | | |

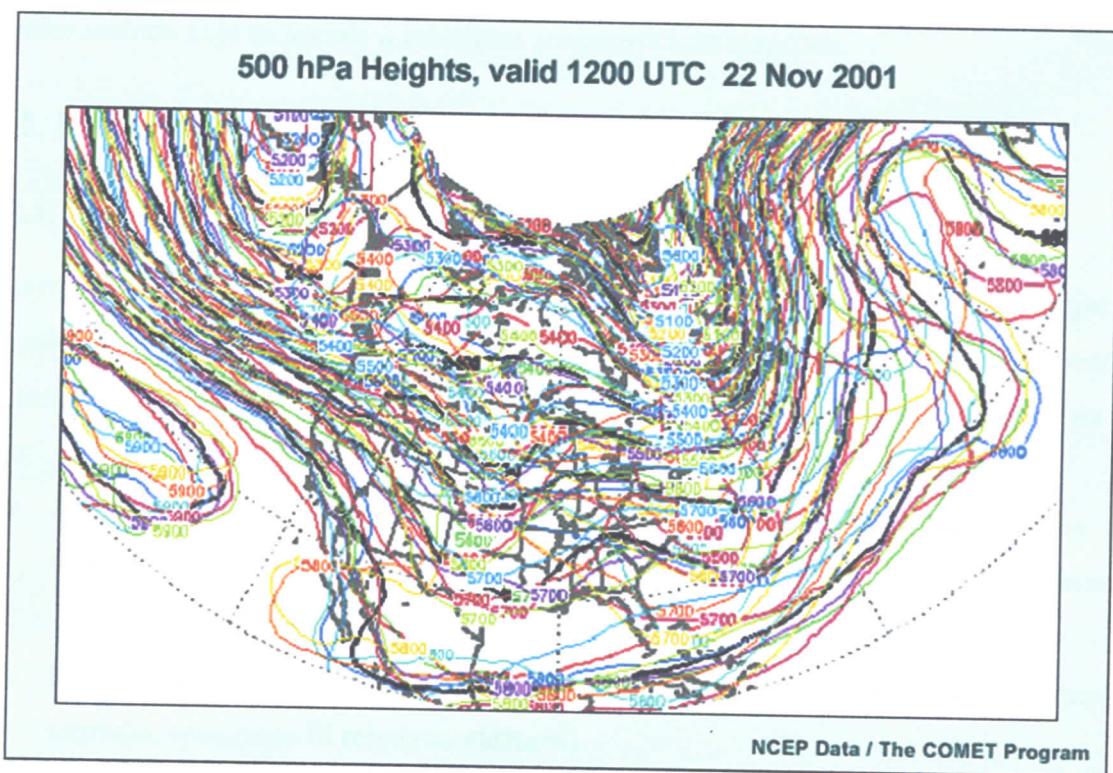
Tabela 3. – Primer određivanja kvartila

Prilikom primene decila, set podataka se deli u deset grupa sa istim brojem članova.

Verovatnoća da se neki član nađe u nekom od decila je 10 %.

6. INTERPRETACIJA ANSAMBL PROGNOZE

Nijedan operativni prognostičar, posebno u situacijama ekstremnih vremenskih uslova, neće imati vremena da ispita detalje desetak ili više članova ansambla. Jedan od čestih problema pri korišćenju podataka iz ansambl prognoze jeste odabir članova ansambla za analizu. Prognostičari odustaju u pokušaju pri pomisli asimilacije velike količine izlaznih podataka sa kojima se mora imati posla. Na primer, grafikon na slici 7., koji prikazuje visine izobarskih površina od 500 hPa u intervalima od po 100 m za svih 11 članova ansambla. Čak i ako je svaki član ansambla predstavljen drugom bojom, sa grafika se teško mogu izvesti bilo kakvi zaključci.



Slika 7. – Neobrađeni grafikon visina izobarskih površina od 500 hPa u intervalima od po 100 m za 11 članova ansambla

Zbog takvih problema, velika količina informacija iz izlaza ansambla se redukuje u mnogo manji broj statističkih i grafičkih objekata. U okviru operativne meteorologije, proces generisanja alata za obradu produkata ansambl prognoze se stalno razvija, kako se razvija i sama prognoza vremena. Ansambl prognoza produkuje veliku količinu izlaznih podataka koji se moraju statistički obraditi kako bi se ekstrahovale najvažnije karakteristike, kao što su:

- srednja vrednost i odstupanje;
- distribucija verovatnoće izlaza iz prognoze;
- verovatnoća postizanja kritičnih vrednosti.

6.1. Metode pregleda izlaza iz ansambl prognoze

Izlazi iz ansambl prognoze se mogu predstaviti na dvodimenzionim mapama (na kojima se predstavlja polje vrednosti razmatrane veličine u datom trenutku) ili na lokalnim grafikonima (na kojima se posmatra vremenska promena razmatrane veličine sa vremenom). Ovakvi izlazi se mogu kasnije naknadno obrađivati, pa čak uzeti u obzir prilikom asimilacije podataka (3D-var, 4D-var). Različiti prognostički centri koriste različite metode. Ovde će biti predstavljeno nekoliko metoda koje se koriste u različitim prognostičkim centrima.

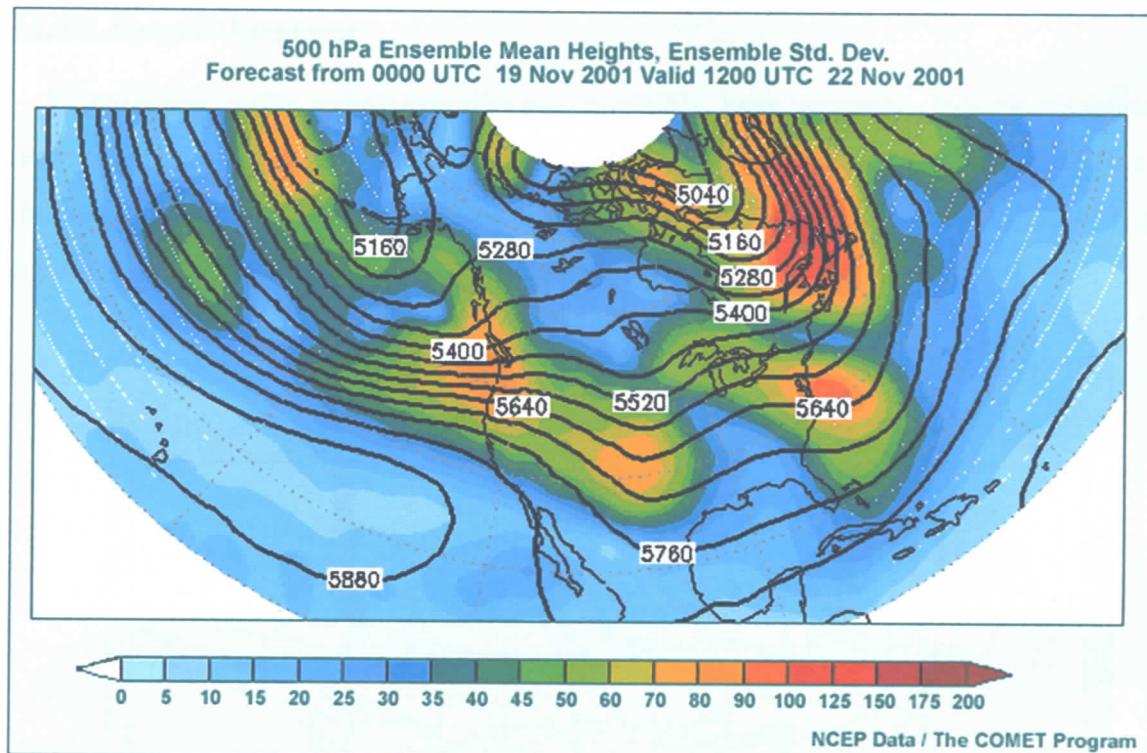
6.1.2. Dvodimenzione mape

6.1.2.1. Proizvodi aritmetičke sredine i odstupanja

Najzgusnutiji prikaz podataka u ansambl prognozi je preko standardne devijacije i aritmetičke sredine na dvodimenzionoj mapi. Podaci o odstupanjima na ovakvim mapama podrazumevaju normalnu raspodelu. Mnoge meteorološke promenljive se prikazuju na ovaj način:

- Površinska polja (pritisak na nivou mora, temperatura na 2 m visine, vetar na 10 m visine, specifična ili relativna vlažnost, količina padavina, eventualno parametri stabilnosti atmosfere);
- Polja na izobarskim površinama (geopotencijalna visina, brzina vetra, temperatura vazduha, specifična ili relativna vlažnost).

Primer na slici 8. pokazuje visine izobarske površine od 500 hPa gore opisanog ansambla na slici 7. Na izolinijama su predstavljene srednje vrednosti visina izobarskih površina, a različitim bojama su predstavljena odstupanja, osnosno standardna devijacija tih vrednosti. Očigledno, čitljivost ovakvog prikaza je neuporedivo bolja nego u slučaju grafikona sa slike 7.



Slika 8. – Obrađeni grafikon visina izobarskih površina od 500 hPa u intervalima od po 100 m za 11 članova ansambla (preko aritmetičke sredine i odstupanja)

Prednosti

Opisani grafikoni su dobar način za prezentovanje podataka iz ansambl prognoze. Može se zaključiti da što je manja standardna devijacija, veća je verovatnoća da će se prognozirano stanje atmosfere ostvariti.

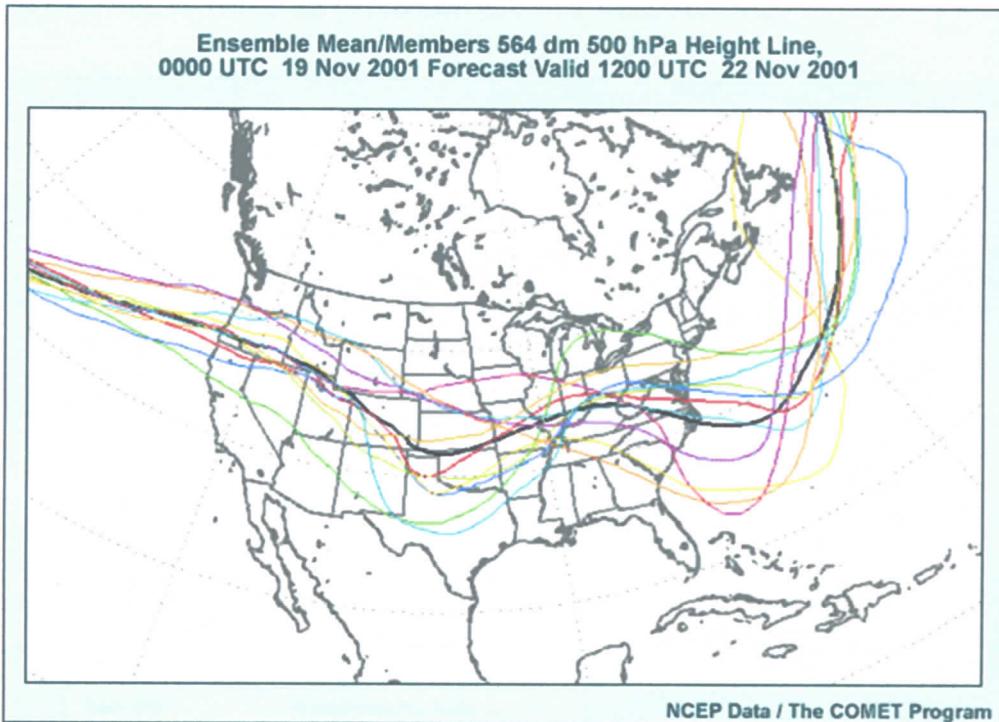
Ograničenja

Proračuni srednje vrednosti i standardne devijacije prepostavljaju da članovi ansambla imaju normalnu distribuciju sa maksimumom pojavljivanja u aritmetičkoj sredini ansambla. Teorija haosa govori da se, u fizičkim sistemima kao što je atmosfera (koja je jako osetljiva na početne uslove), često javlja grupisanje oko dva ili više prognostičkih rešenja. Kao rezultat ove činjenice imamo:

- ako se članovi ansambla grupišu oko dva ili više mogućih rešenja, aritmetička sredina (najverovatnije rešenje) i njen opseg mogu dovesti do grešaka u prognozi;
- interpretacija ovih statističkih mera, pogotovo kad postoji više mogućih rešenja, zahtevaju dodatne informacije o distribuciji pojedinih članova ansambla, kao što je npr. špageti dijagram.

6.1.2.2. Špageti dijagrami

Prognostičar može videti sve članove ansambla kroz upotrebu špageti dijagrama. Iz čitavog skupa podataka izabere se samo jedna (ili nekoliko) vrednosti određene veličine. Ovo čini prezentaciju relativno prostom, ali i dalje dozvoljava kvalitetan osećaj distribucije izlaza iz prognoze za oblasti iznad kojih su predstavljene izolinije.



Slika 9. – Špageti dijagram za visinu 5640 m izobarske površine od 500 hPa

Na grafikonu sa slike 9. vidimo špageti dijagram za visinu 5640 m izobarske površine od 500 hPa. Bojama su predstavljeni pojedini članovi ansambla, a crnom aritmetička sredina ansambla. Poređenjem špageti dijagrama sa produktima aritmetičke sredine i opsega, možemo videti koje poklapanje kontura daje najviše informacija.

Prednosti

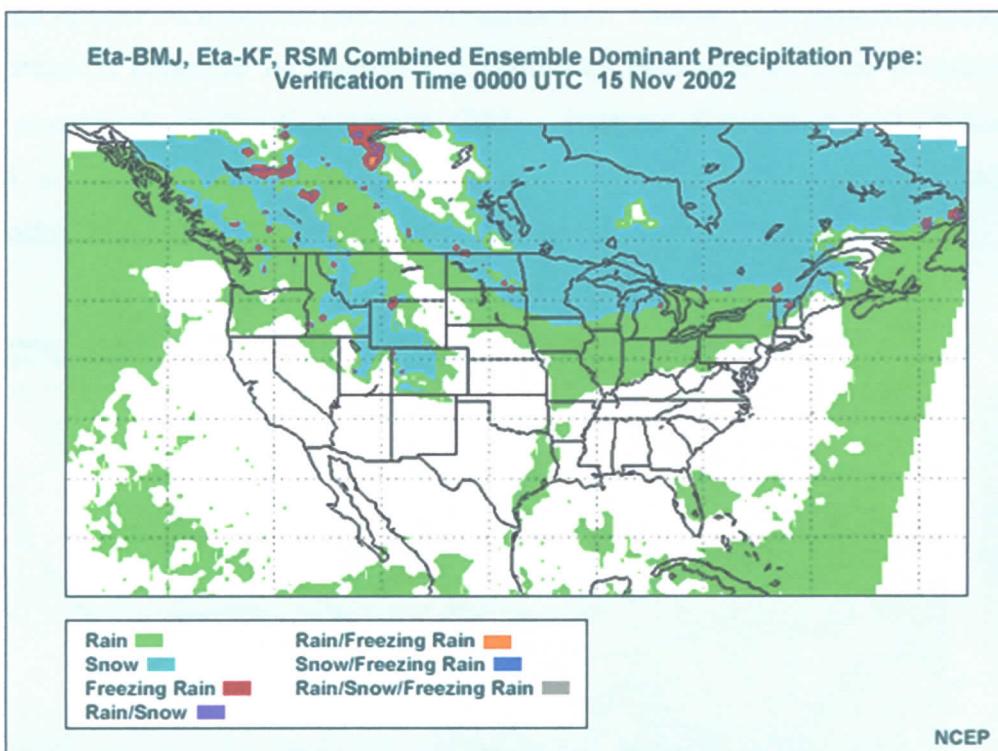
- Zgusnuta prezentacija podataka;
- Poznati su svi članovi ansambla;
- Mogućnost vizuelnog određivanja opsega rasipanja.

Ograničenja

- Nema potpune slike distribucije verovatnoće prognoze;
- Za dobru interpretaciju potrebne su dodatne informacije.

6.1.2.3. Prognoza verovatnoća

Ovi grafikoni su još jedan vid predstavljanja produkata ansambl prognoze na dvodimenzionim kartama. Najbolja promenljiva za predstavljanje na ovim grafikonima su padavine (tip ili količina). Grafikon sa slike 10. pokazuje dominirajući tip padavina, preuzet od NCEP prognoze malih razmara. Ukoliko se padavine ne predviđaju, oblast je bez boje, a ukoliko se predviđa, određeni tip je predstavljen određenom bojom.



Slika 10. – Grafikon prognoze verovatnoće dominirajućeg tipa padavina

Prednosti

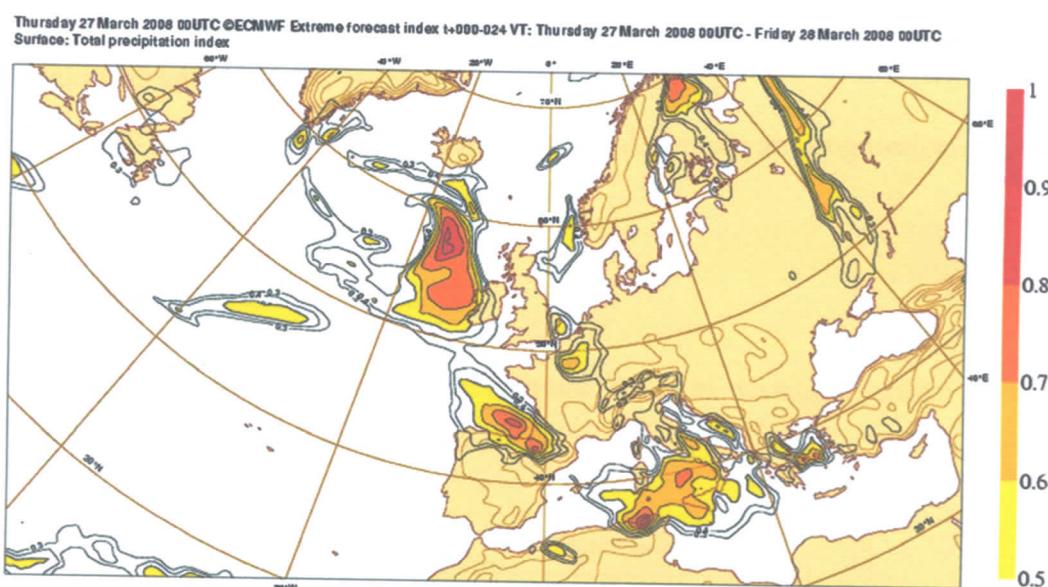
- Zgusnuta prezentacija podataka;
 - Daje najverovatnije izlaze iz ansambl prognoze.

Ograničenja

- Najverovatniji izlaz se ne mora pojaviti u svim članovima ansambla.

6.1.2.4. Verovatnoća pojave ekstrema - Indeks ekstremnih vrednosti prognoze

Produkti ansambl prognoze pokazuju verovatnoću pojave ekstremnih vrednosti određenih prognostičkih veličina. Na osnovu toga prognostičari mogu predvideti ekstremne vremenske događaje. Kolika je verovatnoća da se neki ekstremni događaj desi? Verovatnoća pojave ekstremne vrednosti se računa tako što se broj članova ansambla u kojima se pojavljuje razmatrana ekstremna vrednost podeli sa ukupnim brojem članova ansambla. Procena kritične vrednosti zavisi od trenutnih uslova. Na primer, količina padavina koja će usloviti pojavu poplave će zavisiti od trenutnih osobina zemljišta i dr. Takođe, verovatnoća prekoračenja ili mera odstupanja prognoze od modelske klimatološke raspodele se može predstaviti preko indeksa ekstremnih vrednosti prognoze (EFI – Extreme Forecast Index). Indeks uzima vrednosti od -1 kada su svi članovi ansambla manji, do 1 kada su svi članovi iznad klimatološke vrednosti.



Slika 11. Grafikon EFI indeksa temperature vazduha na 2 m visine

Na grafikonu sa slike 11., možemo videti primer EFI indeksa temperature na 2 m visine za teritoriju Evrope. Možemo zaključiti da se u oblastima u kojima EFI indeks ima vrednost blisku 1 (Severni Tunis, Biskajski zaliv i deo severnog Atlantskog okeana), može očekivati pojava ekstremnih događaja, u ovom slučaju temperature više od klimatološke vrednosti, jer svi članovi ansambla na to ukazuju.

Prednosti

- Zgusnuta prezentacija podataka;
- Fokusira se na važne kritične vrednosti koje su bitne za prognostičke promenljive.

Ograničenja

- Daje samo deo distribucije verovatnoće, što rezultira da se direktno ne prikazuje stepen odstupanja;
- Može sakriti manje verovatne rezultate, ukoliko se pojave, a mogu imati veliki značaj za javnost.

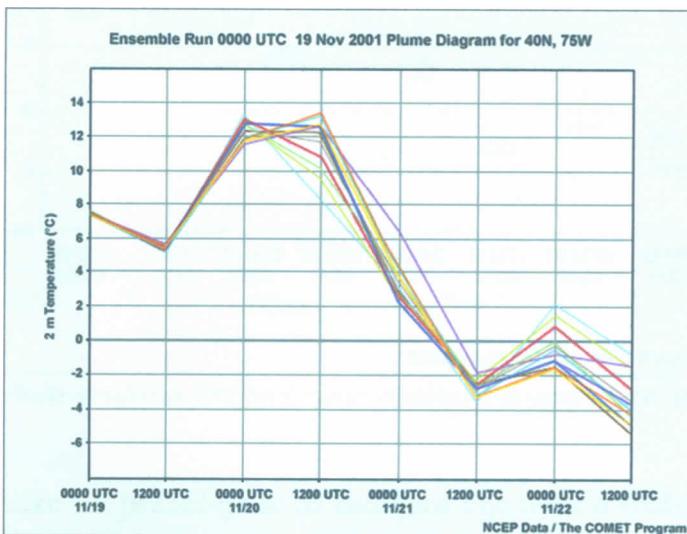
6.1.3. Lokalni grafikoni

Da bi se opisala ansambl prognoza u jednoj tački (lokalno ili u tački mreže), podaci se predstavljaju kao vremenske serije. Razlikuje se dva tipa prezentacije :

- grafikon u obliku perjanice, koji pokazuje vremenski razvoj prognostičkih veličina za svaki član ansambla i za aritmetičku sredinu ansambla;
- boks grafikoni, koji pokazuju ansambl srednjak i opseg za prognostičke promenljive, kao i njihove kvantile i ekstremne vrednosti.

6.1.3.1. Grafikoni u obliku perjanice

Sledeći primer pokazuje grafikon temperature na 2 m visine, u obliku perjanice za određeni period i određeno mesto (slika 12.).



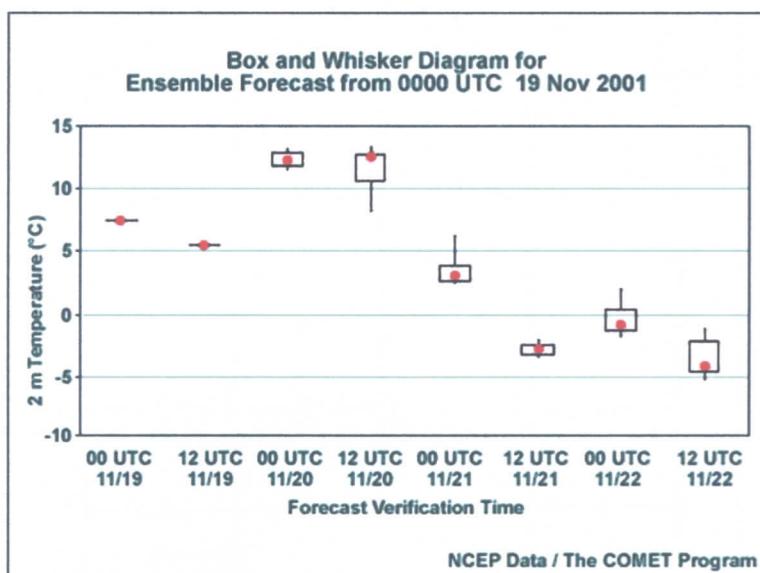
Slika 12. – Prognozirana vrednost temperature na 2 m visine predstavljena preko grafikona u obliku perjanice

Primećuje se da razlika između najviše i najniže temperature kod članova ansambla raste sa vremenom, pa tako za 36 h dostiže vrednost od 5°C. Dolazi i do pojave udruživanja članova, kao i kod špageti dijagrama. Ovakvi grafikoni su pogodni za kombinovanje sa horizontalnim grafikonima za pravljenje vremenskih serija određenih situacija sinoptičkih razmara.

6.1.3.2. Boks grafikoni (EPSgrami)

Situacija koja je opisana grafikonom u obliku perjanice, može se predstaviti i u obliku grafikona sa boksovima. EPSgrami su meteogrami sa prognozama određenih parametara svih članova ansambla. Podaci se opisuju pomoću medijane, kvartila i najmanje i najveće vrednosti podataka. Ovaj grafički prikaz podataka formira se na sledeći način:

- odredi se medijana;
- odrede se prvi i treći kvartil;
- odrede se ekstremi;
- na liniju se ucrtaju svi ovi podaci, oko kvartila se nacrtava pravougaonik, medijana se označi linijom ili tačkom, a vertikalni kraci se povuku od kvartila do ekstremnih vrednosti.



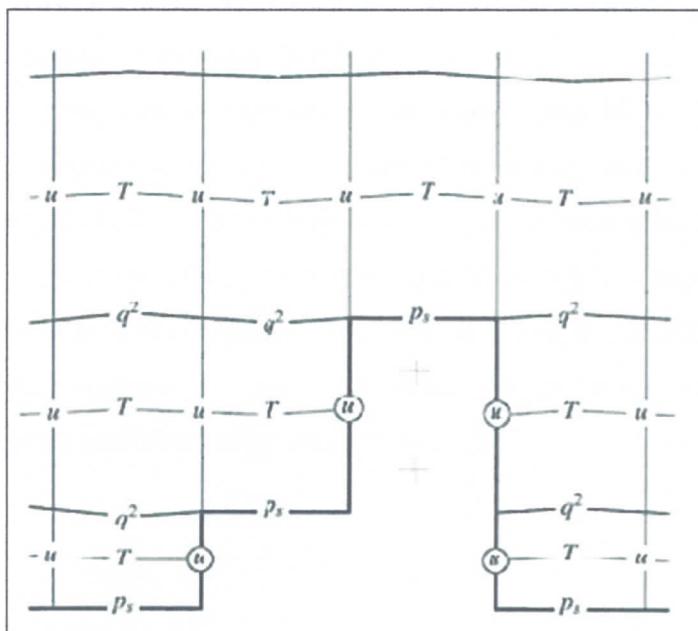
Slika 13. – Boks grafikon prognozirane vrednosti temperature na 2 m visine

Na grafikonu sa slike 13. primećuje se da medijana nije uvek u sredini boksa. To ukazuje da članovi ansambla nisu simetrično raspoređeni. Ovi dijagrami malo govore o aritmetičkoj sredini ansambla, ali direktno opisuju kvartile i medijanu.

7. NUMERIČKE SIMULACIJE

7.1. Proces dobijanja ansambl prognoze

Velika količina izmerenih meteoroloških podataka o stanju atmosfere se svakodnevno dobija sa satelita ili meteoroloških stanica koje se nalaze na kopnu ili moru. Ovi podaci postaju osnova za postavljanje prognoze vremena. Podaci se dalje distribuiraju u vidu velikih binarnih fajlova (do nekoliko stotina gigabajta). Ovi fajlovi su najčešće zapisani u takozvanom GRIB formatu. Ovaj naziv predstavlja skraćenicu od engleskih reči GRIBded Binary (Binarna Mreža). GRIB predstavlja format Svetske Meteorološke Organizacije (World Meteorological Organization- WMO), i služi za identifikovanje, skladištenje i razmenu meteoroloških podataka, na globalnom nivou. Ulazni podaci za dekodiranje su analize službe Sjedinjenih Američkih Država koje su zapisane u GRIB formatu. To su podaci zapisani na lat-lon mreži (mreža u kojoj su koordinatne linije meridijani i paralele) sa prostornom rezolucijom od 1 ili 0,5 stepeni i 29 ili 45 standardnih nivoa pritiska. Novi fajlovi se kreiraju na svakih 6 h. Dekodiranje je postupak izvlačenja određenih, nama potrebnih meteoroloških polja iz opisanih GRIB fajlova. Posle dekodiranja se pristupa procesu preprocesinga, u kojem se podaci iz lat-lon mreže prebacuju u modelsku mrežu.



Slika 14. – Određivanje visine planine u modelu

Topografija u modelu se formira upotrebor NCEP- ove (National Center for Environmental Prediction) globalne topografije. Prostorna rezolucija ove topografije za

umerene širine je 600 m x 600 m. Vertikalna diskretizacija određuje visinu planina u modelu. Ako se visina planine nalazi u gornjoj polovini čelije (videti sliku 14.), visina planine u modelu se podiže na višu koordinatnu površ, dok ako se nalazi u donjoj polovini čelije, visina planine u modelu se spušta na nižu koordinatnu površ. Kod ovog postupka generalno dolazi do spuštanja visina planina u odnosu na pravu visinu planina.

Posle postupka dekodiranja podataka, preprocesinga i izrade topografije vrši se run- ovanje modela tj. numerička integracija modela na računaru. Kasnije će na primerima biti objašnjen pojedinačni postupak za svaki određeni slučaj run- ovanja.

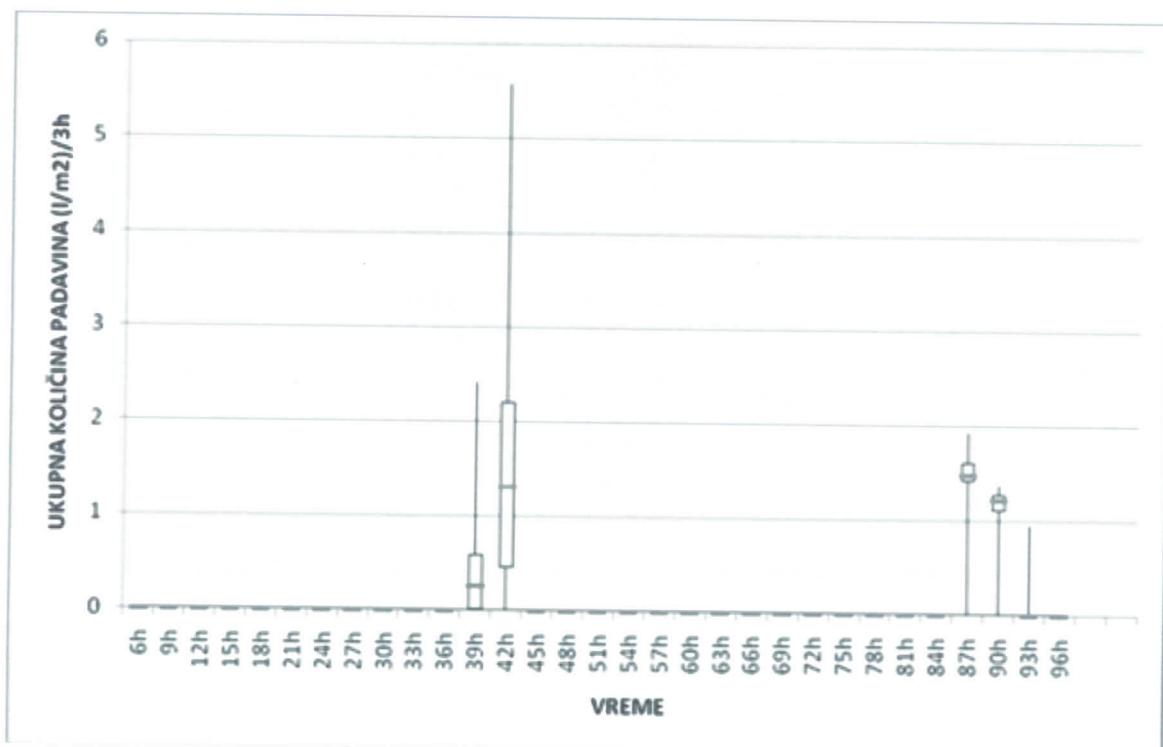
Posle procesa run- ovanja, radi se postprocessing, proces kojim se podaci iz modelske mreže prebacuju u format lat- lon, kako bi se lakše predstavili na mapama. Dalji proces izvlačenja i zapisivanja se vrši pomoću Fortran Power Station. Vizualizacija izlaza iz modela se obavlja pomoću programa Grid Analysis and Display System (GraDS) i Microsoft Excel.

7.2. Rezultati numeričkih simulacija

7.2.1. Simulacija 1. - Ansambl prognoza ukupne količine padavina za Novi Sad (19.85° igd, 45.33° sgš) sa varijacijama u početnim uslovima - vлага u zemljištu od 0 do 10 cm dubine

Na osnovu analize od 00 UTC 15. jula 2009. godine, vršena je prognoza vremena za narednih 96 h. Centar posmatrane oblasti je 21° igd, 45° sgš. Prostorna rezolucija mreže je 0.12222×0.105128 stepeni. Vremenski korak je 50 s.

Prvo je odradena prognoza sa postojećim podacima kako bi se dobio kontrolni član ansambla. Potom je menjana vrednost vlage u zemljištu, u sloju dubine od 0 do 10 cm. Ova promena se vrši u fajlu dutil.f, a promenljiva koja opisuje parametar stanja tla je sfcgrid. Vrednost vlage je menjana od 0.0 do 0.4 u koracima od po 0.02, čime se dobilo 20 članova ansambla. Posle run- ovanja svih članova ansambla, izvršena je statistička analiza rezultata. Izračunata je srednja vrednost i standardna devijacija za ovaj ansambl. Rezultati su predstavljeni preko boks grafikona prikazanog na slici 15.



Slika 15. – Grafikon ukupne količine padavina u toku vremena za simulaciju 1.

Na grafikonu sa slike 15. je predstavljena zavisnost ukupne količine padavina na svaka 3 h izražene u l/m^2 i vremena. Poredeći dobijene podatke sa kontrolnim članom i stanjem koje se stvarno zbilo u tom vremenskom periodu, možemo zaključiti sledeće. U periodu 39- 42 h od početka prognoze, ansambl prognoza pokazuje padavine, a padavina u tom periodu nije bilo. U periodu 87- 93 h su postojale padavine, i to ansambl prognoza dobro pokazuje.

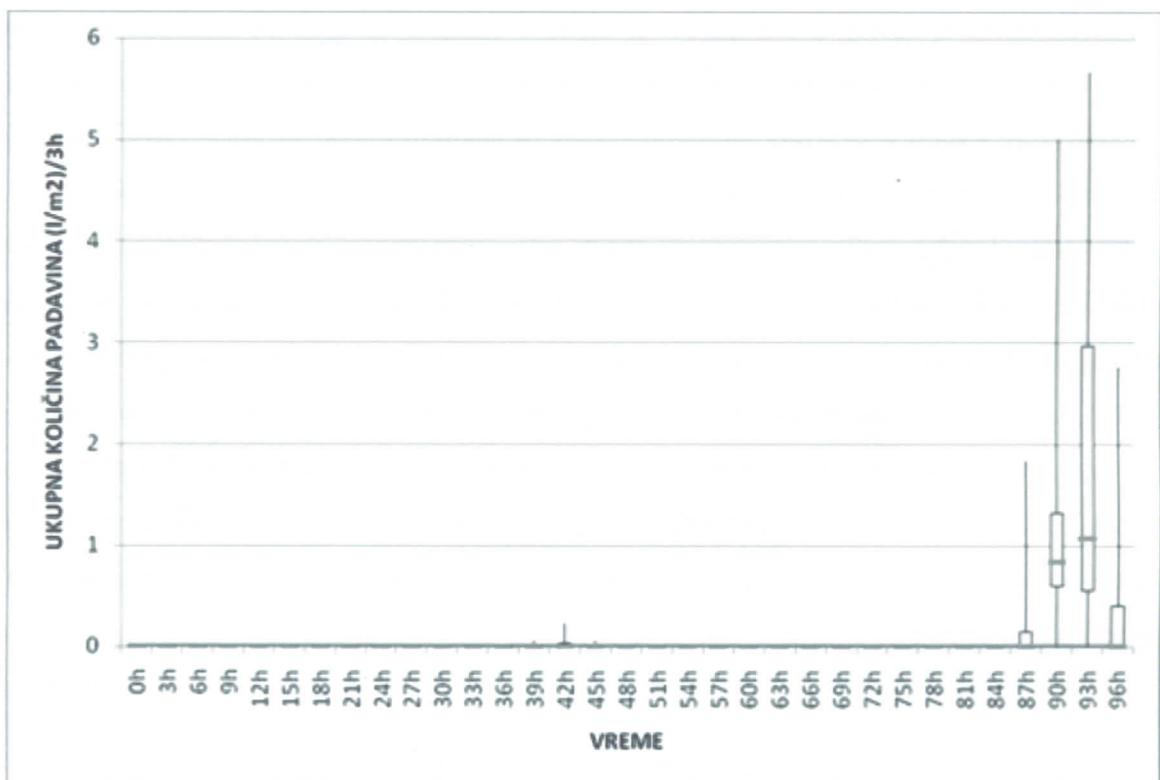
7.2.2. Simulacija 2. - Ansambl prognoza ukupne količine padavina za Novi Sad (19.85° igd, 45.33° sgš) sa varijacijama u rezoluciji mreže

Na osnovu analize od 00 UTC 15. jula 2009. godine, vršena je prognoza vremena za narednih 96 h. Centar posmatrane oblasti je 21° igd, 45° sgš. Vremenski korak je 50 s.

Prvo je odrđena prognoza sa postojećim podacima kako bi se dobio kontrolni član ansambla. Potom je menjana rezolucija mreže. Vrednost horizontalne rezolucije je uzimala vrednosti navedene u tabeli 4., čime se dobilo 11 članova ansambla. Posle run-ovanja svih članova ansambla, izvršena je statistička analiza rezultata. Izračunata je srednja vrednost i standardna devijacija za ovaj ansambl. Rezultati su predstavljeni preko boks grafikona prikazanog na slici 16.

| Parovi rezolucije | |
|--------------------------|-------------|
| DLMD | DPHD |
| 0.122222 | 0.105128 |
| 0.11 | 0.12 |
| 0.13 | 1.14 |
| 0.15 | 0.16 |
| 0.14 | 0.16 |
| 0.18 | 0.20 |
| 0.20 | 0.22 |
| 0.22 | 0.24 |
| 0.24 | 0.26 |
| 0.26 | 0.28 |
| 0.28 | 0.30 |
| 0.30 | 0.32 |

Tabela 4. - Parovi parametara rezolucije korišćeni u simulaciji 2.



Slika 16. – Grafikon ukupne količine padavina u toku vremena za simulaciju 2.

Na grafikonu sa slike 16. je predstavljena zavisnost ukupne količine padavina na svaka 3 h izražene u l/m^2 i vremena. Poredeći dobijene podatke sa kontrolnim članom i stanjem koje se stvarno zabilo, možemo zaključiti sledeće. U periodu 87- 96 h od početka prognoze postojale su padavine, i to je ansambl prognoza dobro potvrdila.

7.2.3. Slučaj 3. - Ansambl prognoza putanje centra tropskog ciklona sa varijacijama u upotrebi više analiza vremena za prognozu određenog termina – uragan Feliks (septembar 2007. godine)

Uragan je rotirajući sistem koji nastaje iznad toplog tropskog mora. Prepoznatljiv je po mirnom središtu koje se naziva oko. Uragani su tropski cikloni sa vетrom bržim od 119 km/h. Na severnoj hemisferi se vrte suprotno kazaljki na satu, a na južnoj u smeru kazaljke na satu. Lako se uočavaju na satelitskim snimcima, prepoznaju se po intenzivnom kružnom kretanju oko središta. Uragani mogu živeti i po nekoliko nedelja iznad tople vode, ali čim dođu iznad hladnijeg mora ili kopna, brzo gube snagu.

Nastaju kao skup grmljavinskih oluja iznad tropskih voda uz zadovoljene određene uslove u atmosferi i moru. Prvi i najvažniji uslov za razvoj uragana je temperatura površine mora koja mora biti viša od 26,5°C. Toplota i vlaga iz toplog mora glavni je izvor energije za uragan. Zbog toga uragani brzo oslabe kad zahvate tlo jer se više ne mogu „hraniti” vlagom i toplotom. Drugi uslov za razvoj uragana je visoka relativna vlažnost u donjoj atmosferi čime se smanjuje isparavanje unutar oblaka te se kondenzacijom oslobađa latentna toplota. Treći uslov za nastanak uragana je smicanje vetra. Kada je smicanje vetra slabo, kumulonimbusi rastu u vis i latentna toplota se oslobađa u vazduh direktno iznad oblaka i tako se poboljšava njihov vertikalni rast. Ali smicanje ne sme biti ni prejako jer se time latentna toplota potrebna za jačanje oluje raspršuje po većem području i ne utiče pozitivno na razvoj oblaka. Uragan može nastati iz grmljavinske oluje ili prilikom prelaska frontalne zone preko zagrejane površine vode. Ova faza se naziva rođenje uragana, a život im se sastoji od tri faze. Nakon što skup grmljavinskih oluja dosegne stepen tropске depresije potrebno je nekoliko dana da sakupi snagu za sledeći korak, tropsku oluju. Isto toliko vremena je potrebno da dosegne sledeću fazu, uragan.

Prognoziranje uragana uglavnom se svodi na prognoziranje njegove jačine (kategorije) i puta kojim će se kretati oko. Uragani se prate satelitima, a najvažniji podaci su oni prikupljeni preletima aviona kroz oko uragana. Ovi avioni imaju Doplerov radar i sonde koje mere temperaturu i vетар. Prognoze zavise od toga kako se dobro odredi mesto i jačina područja niskog pritiska i predviđanju kako će se ta područja menjati tokom života tropskog sistema. Prognostičari vrše analize modela ne bi li utvrđili tačan put kojim će uragan proći i do 5 dana unapred.



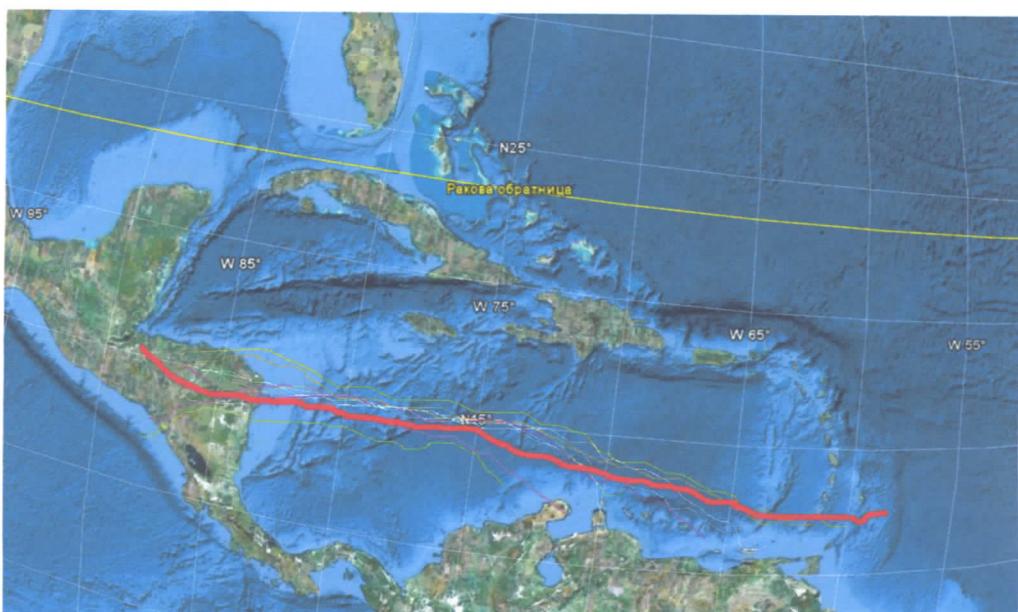
Slika 17. – Uragan Feliks viđen preko satelita

Uragan Feliks (slika 17.) je bio razoran uragan 5. kategorije (Safir- Simpsonova skala) koji je pogodio Centralnu Ameriku 2007. godine. Feliks je formiran 31. avgusta, 1. septembra je prešao preko Južnih Privetrenih ostrva pre nego što je dobio status uragana. Najjači udari veta su se desili 3. i 4. septembra i dostizali su brzinu od 280 km/h. 4. septembra Feliks je dotakao kopno kao uragan 5. kategorije na granici između Nikaragve i Honduras-a (slika 18.). Preko 160.000 ljudi je imalo posledice zbog ove razorne nepogode. 133 ljudska života su se završila zbog uragana Feliks. Totalna šteta je procenjena na 50,39 miliona američkih dolara. Zbog ovakvih katastrofalnih posledica veoma je bitno prognozirati tačan put kojim će se uragan kretati .



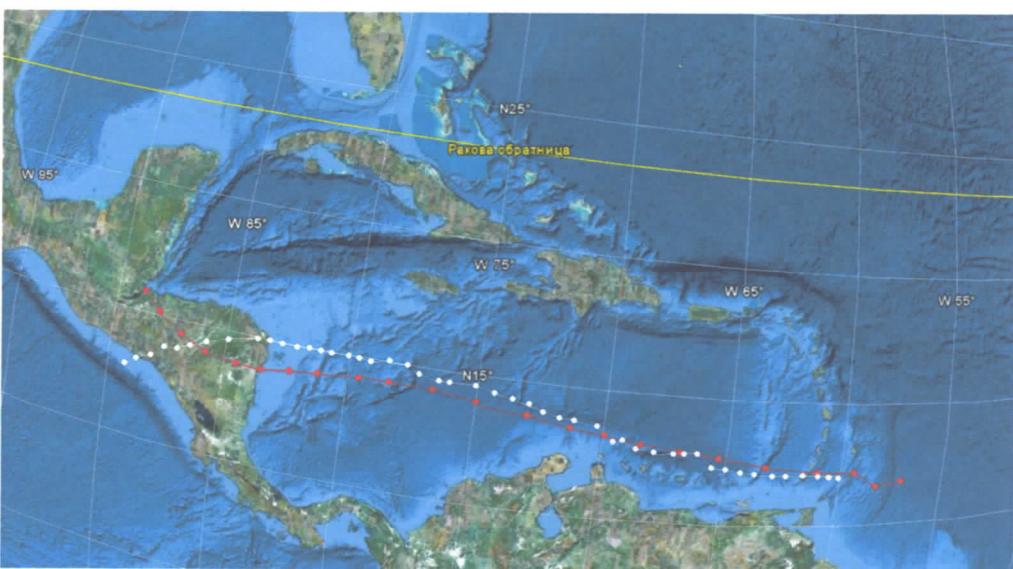
Slika 18. - Putanja centra tropskog ciklona – uragan Feliks (osmotreni član)

Ova ansambl prognoza je urađena po principu da se za prognozu određenog termina koriste analize vremena iz različitih prethodnih termina. Na primer, termin 00 UTC 2. septembra 2007. godine je prognoziran na osnovu ansambla koji je dobijen od analiza iz četiri prethodna termina (00 UTC 1. septembra 2007., 06 UTC 1. septembra 2007., 12 UTC 1. septembra 2007., 18 UTC 1. septembra 2007.). Stoga, svaki termin prognoze je imao različit broj članova ansambla. Centar posmatrane oblasti je 75° zgd, 15° sgš. Vremenski korak je 40 s. Ukupno ova ansambl prognoza se sastojala od 9 članova. Posle run-ovanja svih članova ansambla, izvršena je statistička analiza rezultata. Izračunata je srednja vrednost i standardna devijacija putanje centra tropskog ciklona za ovaj ansambl, kao i putanja centra. Rezultati su predstavljeni na slikama 19. i 20.



Slika 19. - Osmotreni član i 9 članova ansambl prognoze putanje centra tropskog ciklona

Ukoliko se pogleda slika 19., na kojoj su predstavljeni osmotreni član i 9 članova ansambl prognoze putanje centra tropskog ciklona, ne može se izvući jasan zaključak o tačnosti ove ansambl prognoze. Zbog toga se pristupilo određivanje aritmetičke sredine i standardne devijacije za članove ansambla.



Slika 20. - Osmotreni član i aritmetička sredina svih članova ansambl prognoze putanje centra tropskog ciklona

Na slici 20. su predstavljeni osmotreni član i aritmetička sredina svih članova ansambl prognoze putanje centra tropskog ciklona. Vidimo da je poklapanje ansambl prognoze i stanja koje se zapravo zbilo prilikom uragana Feliks, u početnim terminima veoma dobro, dok daljim razvojem prognoze dolazi do razilaženja. Međutim, ukoliko se pogleda vrednost standardne devijacije iz tabele 5., vidi se da vrednost osmotrenog člana upada u oblast koja je pokrivena standardnom devijacijom aritmetičke sredine svih članova ansambla. Veliko razilaženje dve putanje na samom kraju se može objasniti malim brojem podataka u tim terminima prognoze, kao i činjenicom da se uragan raspada kada dosegne kopno.

| Datum/ termin | Standardna devijacija po geografskoj dužini | Standardna devijacija po geografskoj širini | Datum/ termin | Standardna devijacija po geografskoj dužini | Standardna devijacija po geografskoj širini |
|------------------|--|--|------------------|--|--|
| | | | | 3.sep 08 | 0,485913 |
| 1.sep 02 | | | 3.sep 10 | 0,416667 | 0,674434 |
| 1.sep 04 | | 0 | 3.sep 12 | 0,433013 | 0,572822 |
| 1.sep 06 | 0 | 0 | 3.sep 14 | 0,618017 | 0,541667 |
| 1.sep 08 | 0,353553 | 0,176777 | 3.sep 16 | 0,661438 | 0,5 |
| 1.sep 10 | 0,707107 | 0 | 3.sep 18 | 0,583333 | 0,475073 |
| 1.sep 12 | 0,353553 | 0,288675 | 3.sep 20 | 0,5 | 0,485913 |
| 1.sep 14 | 0 | 0,5 | 3.sep 22 | 0,440959 | 0,53033 |
| 1.sep 16 | 0,288675 | 0,381881 | 4.sep 00 | 0,650854 | 0,586302 |
| 1.sep 18 | 0 | 0,25 | 4.sep 02 | 0,697217 | 0,638738 |
| 1.sep 20 | 0,25 | 0,288675 | 4.sep 04 | 0,546453 | 0,674434 |
| 1.sep 22 | 0 | 0,540062 | 4.sep 06 | 0,612372 | 0,71807 |
| 2.sep 00 | 0,408248 | 0,570088 | 4.sep 08 | 0,46398 | 0,764898 |
| 2.sep 02 | 0,273861 | 0,447214 | 4.sep 10 | 0,5 | 0,856957 |
| 2.sep 04 | 0 | 0,41833 | 4.sep 12 | 0,612372 | 0,75 |
| 2.sep 06 | 0 | 0,4306 | 4.sep 14 | 0,559017 | 0,830202 |
| 2.sep 08 | 0 | 0,408248 | 4.sep 16 | 0,5 | 0,930763 |
| 2.sep 10 | 0,204124 | 0,485198 | 4.sep 18 | 0,618017 | 0,955612 |
| 2.sep 12 | 0,316228 | 0,727847 | 4.sep 20 | 0,333333 | 0,910014 |
| 2.sep 14 | 0,393398 | 0,400892 | 4.sep 22 | 0,416667 | 0,866025 |
| 2.sep 16 | 0,267261 | 0,537299 | 5.sep 00 | 0,559017 | 0,81968 |
| 2.sep 18 | 0,393398 | 0,900769 | 5.sep 02 | 0,5 | 0,988776 |
| 2.sep 20 | 0,417261 | 0,632985 | 5.sep 04 | 0,678101 | 0,885775 |
| 2.sep 22 | 0,46291 | 0,608716 | 5.sep 06 | 0,458063 | 0,954158 |
| 3.sep 00 | 0,443203 | 0,92515 | 5.sep 08 | 0,65192 | 0,57735 |
| 3.sep 02 | 0,390868 | 0,662749 | 5.sep 10 | 0,288675 | 1,089725 |
| 3.sep 04 | 0,433013 | 0,693472 | 5.sep 12 | 0,288675 | 1,06066 |
| 3.sep 06 | 0,707107 | 0,666667 | 5.sep 14 | 0 | 0,68592 |

Tabela 5. – Standardna devijacija za 3. simulaciju ansambl prognoze

8. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu je opisana teorija koja predstavlja pozadinu ansambl prognoze vremena. Opisani su koraci ansambl prognoze: asimilacija podataka, analiza, generisanje poremećaja, startovanje modela i statistička i grafička obrada izlaza iz modela za numeričku prognozu vremena. Kao eksperimentalni deo u ovom radu su opisana tri primera upotrebe ansambl prognoze. Dve na primeru ukupne količine padavina, menjajući početne uslove i rezoluciju modela, i jedna na primeru upotrebe svih analiza, za prognozu određenog termina, na primeru praćenja putanje centra tropskog ciklona.

Prva prognoza je predvidela padavine kada ih je zaista i bilo, ali je i pokazala padavine kada ih nije bilo. To se može opisati nesavršenošću modela za prognozu vremena. Druga prognoza je dala veoma dobre rezultate. Treća prognoza je dala prilično dobre rezultate, s obzirom na činjenicu da je ponašanje uragana veoma komplikovano predvideti. Kao zamerka se može navesti činjenica da je prognozirani uragan udario u kopno 200 km severnije nego što je Feliks dosegao kopno (mada je i ovo veoma prihvatljiv rezultat), jer je ova informacija od velike važnosti za pripremu lokalnog stanovništva za odbranu od nepogode.

Ansambl prognoza se jednim delom sastoji od veštačkog uvođenja početnih uslova. Dakle, principi ansambl prognoze u osnovi nisu fizički. Međutim, ova prognoza daje veoma prihvatljive rezultate, čime se njena upotreba u meteorologiji može opravdati. Pored toga, ansambl prognoza daje i mogućnost procene verovatnoće pojave, kao i procenu greške prognostičke vrednosti, što kod determinističke prognoze nije moguće.

LITERATURA

- [1] Kalnay, E., 2003: Atmospheric modeling, data assimilation and predictability, Cambridge
- [2] Ćirišan, A., i Ruman, A., An example of meteorological field forecast obtained by the single level nesting for use in ecological modelling
- [3] Ćirišan, A., 2005., Zavisnost uspešnosti prognoze košave od horizontalne i vertikalne rezolucije prognostičkog ETA modela, Diplomski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku
- [4] Betts, A. K., 1986: A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 112, 677-692.
- [5] Betts, A. K., and M. J. Miller. 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column test using GATE wave, BOMEX, ATEX, and Arctic air-mass data sets. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 112, 693-709.
- [6] Janjic, Z. I., 1979: Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contrib. Atmos. Phys.*, 52, 69-84.
- [7] Kain, J.S., and J.M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain- Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models. *Meteor. Monogr.*, No. 24, Amer. Meteor. Soc., 165-170.
- [8] Lozanov-Crvenković, Z., 2007.. Statistika u farmaciji, Medicinski fakultet, Novi Sad
- [9] www.wikipedia.org
- [10] www.ncep.noaa.gov
- [11] www.ecmwf.int
- [12] www.cmet-serbia.if.ns.ac.yu

BIOGRAFIJA



Lazar Stanić je rođen 3. aprila 1985. godine u Rumi. Završio je Osnovnu školu „Veljko Dugošević“ i Gimnaziju prirodno-matematičkog smera „Stevan Pužić“ u Rumi. Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, smer Fizika, meteorologija i modeliranje životne sredine, upisao je 2004. 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: | Lazar Stanić |
| AU | |
| Mentor: | Prof. Dr Milica Pavkov Hrvojević |
| MN | |
| Naslov rada: | Savremene tehnike numeričke prognoze vremena – Ansambl prognoza |
| NR | |
| Jezik publikacije: | srpski (latinica) |
| JP | |
| Jezik izvoda: | Srpski |
| JI | |
| Zemlja publikacije: | Srbija |
| ZP | |
| Uže geografsko područje: | Vojvodina |
| UGP | |
| Godina: | 2009. |
| GO | |
| Izdavač: | autorski reprint |
| IZ | |
| Mesto i adresa: | Novi Sad, Trg D. Obradovića 4 |
| MA | |

| | |
|---|---|
| Fizički opis rada: FO | (8 / 50 / 0 / 5 / 20/ 0 / 0) (broj poglavlja / strana / lit. citata / tabela / slika / grafika / priloga) |
| Naučna oblast: NO | Fizika |
| Naučna disciplina: ND | Meteorologija |
| Predmetne odrednice, Ključne reči: PO UDK | Ansambl prognoza, numerička prognoza vremena |
| Čuva se: ČU | Biblioteka departmana za fiziku, Prirodno – matematički fakultet, Novi Sad |
| Važna napomena: VN | nema |
| Izvod: IZ | U ovom radu su opisani koraci ansambl prognoze: asimilacija podataka, analiza, generisanje poremećaja, startovanje modela i statistička i grafička obrada izlaza iz modela za numeričku prognozu vremena. Kao eksperimentalni deo u ovom radu su opisana tri primera upotrebe ansambl prognoze. |
| Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP | 16. septembar 2009. |
| Datum odbrane: DO | 29. septembar 2009. |
| Članovi komisije: KO | (Naučni stepen / ime i prezime / zvanje / fakultet) |
| Predsednik: | Dr Borivoj Rajković, vanredni profesor, Fizički fakultet, Beograd |
| Mentor: | Dr Milica Pavkov Hrvojević, redovni profesor, PMF, Novi Sad |
| Član: | Dr Imre Gut, redovni profesor, PMF, Novi Sad |

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCES
KEY WORDS DOCUMENTATION**

| | |
|----------------------------|---|
| Accession numer: | |
| ANO | |
| Identification number: | |
| INO | |
| Document type: | Monograph documentation |
| DT | |
| Type of record: | Textual printed material |
| TR | |
| Contents code: | Graduation thesis |
| CC | |
| Author: | Lazar Stanić |
| AU | |
| Mentor: | Ph. D. Milica Pavkov Hrvojević |
| MN | |
| Title: | Modern Technics of Numerical Weather Prediction - Ensemble Forecast |
| TI | |
| Language of text: | Serbian (Latin) |
| LT | |
| Language of abstract: en/s | Serbian (Latin) |
| LT | |
| Country of publication: | Serbia |
| CP | |
| Locality of publication: | Vojvodina |
| LP | |
| Publication year: | 2009 |
| Y | |
| Publisher: | Author's reprint |
| U | |
| Publication place: | Novi Sad, Trg D. Obradovića 4 |
| P | |

| | |
|----------------------------------|---|
| Physical description: | (8 / 50 / 0 / 5 / 20 / 0 / 0) |
| PD | |
| Sciantific field: | Physics |
| SF | |
| Sciantific discipline: | Meteorology |
| SD | |
| Subject key words: | Ensemble Forecast, Numerical Weather Prediction |
| SKW | |
| UC | |
| Holding data: | Departman of Physics, Faculty of Science and Mathematics, Trg D. Obradovića 4, Novi Sad |
| HD | |
| Note: | none |
| N | |
| Abstract: | In this work are described steps of ensemble forecast: data assimilation, analysis, uncertainty generation, model runs and statistical and graphical generation of model output. As experimental part, in this work are described 3 simulation of ensemble forecast application. |
| AB | |
| Accepted of Scientific board on: | 16. September 2009. |
| AS | |
| Defended: | 29. September 2009. |
| DE | |
| Thesis defend board: | (degree / name and surname / title / faculty) |
| DB | |
| President: | Ph. D. Borivoj Rajković, Full Professor, Faculty of Physics, Beograd |
| Mentor: | Ph. D. Milica Pavkov Hrvojević, Full Professor, PMF, Novi Sad |
| Member: | Ph. D. Imre Gut, Full Professor, PMF, Novi Sad |

