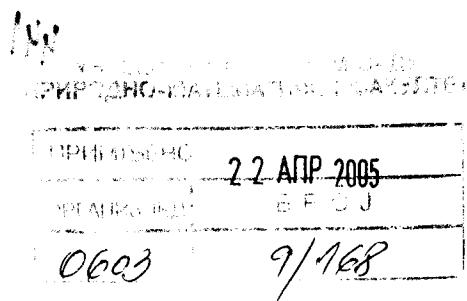




UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**Ana Ćirišan**

**Zavisnost uspešnosti prognoze košave od  
horizontalne i vertikalne rezolucije  
prognostičkog ETA modela**

**DIPLOMSKI RAD**

**Novi Sad 2005.**

*Ovaj rad radjen je u Centru za meteorologiju i modeliranje životne sredine Univerziteta u Novom Sadu i na Fizičkom fakultetu u Beogradu – smer meteorologija.*

*Najiskrenije se zahvaljujem svom mentoru dr Agneš Kapor, a posebno dr Borivoju Rajkoviću na izvanrednoj stručnoj pomoći i svesrdnoj podršci prilikom izrade ovog rada. Takođe se zahvaljujem dr Draganu Nikoliću i mr Iliji Arseniću na njihovim stručnim savetima i pomoći.*

# Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Osnovni pojmovi o košavi</b>	<b>2</b>
2.1	Definicija košave . . . . .	2
2.2	Osnovne karakteristike košave . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Kratak opis korišćenog modela za prognozu vremena</b>	<b>4</b>
3.1	Osnovne karakteristike ETA modela . . . . .	4
3.2	Horizontalna mreža tačaka . . . . .	5
3.3	Vertikalna koordinata . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Numeričke simulacije</b>	<b>9</b>
4.1	Proces dobijanja prognoze . . . . .	9
4.2	Dekodiranje . . . . .	9
4.3	Izrada topografije . . . . .	10
4.4	Horizontalna i vertikalna interpolacija . . . . .	11
4.5	Formiranje graničnih uslova . . . . .	11
4.6	Formiranje tabela za računanje zračenja i formiranje konstanti i pomoćnih nizova . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Poredjenje rezultata sa različitim horizontalnim i vertikalnim rezolucijama</b>	<b>12</b>
5.1	Prognoza za standardnu rezoluciju . . . . .	12
<b>6</b>	<b>Poredjenje prognoza sa 32 i 64 vertikalna novoa pri horizontalnoj rezoluciji od 0.25 x 0.25 stepeni</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Prelazak na 0.125 stepeni u horizontalnom pravcu sa 32 vertikalna novoa i poredjenje sa standardnim slučajem</b>	<b>27</b>
<b>8</b>	<b>Prelazak na 0.125 stepeni u horizontalnom pravcu sa 64 vertikalna novoa i poredjenje sa standardnim slučajem</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>Poredjenje rezultata prognoze sa merenim vrednostima</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>Zaključak</b>	<b>50</b>

---

## Uvod

U dosadašnjoj praksi postojao je problem uspešnog prognoziranja intenzivnog, prizemnog istočnog odnosno jugoistočnog vetra košave. Posebno je rešavanje tog problema bilo bitno za Surčinski aerodrom, s obzirom da je položaj Beograda, na ušću Save u Dunav, u zimskim danima posebno podložan obrazovanju magle, koja znatno smanjuje mogućnosti poletanja i sletanja aviona. Uspešnost prognoziranja dana sa košavom utiče na normalizaciju vazdušnog saobraćaja, jer pod uticajem snažnog slapovitog lokalnog vetra poput košave, dolazi do rasterivanja magle.

Takođe je interesantna činjenica da, iako duva na ograničenom prostoru, često se dešava da je njen uticaj slabiji u južnom Banatu i Smederevu, a da u Vršcu duva s velikim intenzitetom. Košava nastaje usled uspostavljanja gradijenta pritiska od istočne ili jugoistočne Evrope, gde je u hladnjem delu godine ustaljen Sibirski anticiklon, prema zapadnom Mediteranu, kada dodje do formiranja ciklona u toj oblasti. Na osnovu toga bi zastupljenost košave trebala biti podjednaka u svim oblastima njenog uticaja, ali očigledno nije tako. Razlog tome je prisutna orografija našeg podneblja, koja ima značajan uticaj na pravac i jačinu dejstva košave i čiji uticaj mi ovde uzimamo u razmatranje u modelu za prognozu vremena.

U zavisnosti od horizontalne i vertikalne rezolucije modela, kao i pod uticajem različitog prikaza orografije Vojvodine, Podunavlja i Srbije, posmatraćemo i poređiti različite prognoze košave. Cilj rada je prognoziranje intenziteta košave što približnije osmatranjima. Ispitivanje se vrši za 25. i 26. decembar 2004. godine, dane koje je okarakterisala snažna košava. Nakon poređenja rezultata preko karata, koje ćemo dobiti kao krajnji rezultat postupka prognoze, da bi se što bolje uverili u njihovu uspešnost, uporedićemo rezultate prognoze i sa merenim vrednostima vetra, tzv. sinopima.



---

## Osnovni pojmovi o košavi

### 2.1 Definicija košave

Košava je hladan istočni i jugoistočni vетар, srednjeg do jakog intenziteta, koji duva u Srbiji, Rumuniji i Bugarskoj. Prouzrokovani je interakcijom sinoptičke situacije i orografije Karpati i Balkanskih planina. Duva iz područja Ukrajine i severnog dela Crnog mora preko Vlaške nizije i Južnih Karpati, kada se uspostavi gradijent pritiska usmeren od istočne ili jugoistočne Evrope prema zapadnom Mediteranu. U Srbiji duva u Podunavlju i Istočnoj Srbiji i to najčešće u jesen, zimi i u rano proleće, dostižući brzinu i do 70 km/h. Većinom duva pri zemljinoj površini, do visine od 2 km, na mahove snažnim udarima, donoseći hladno i suvo vreme. Po prestanku košave (koja traje nekad i po više dana ili nedelja) obično nastaje kraći ili duži period kiša ili snega. Inače sama reč košava je turcizam, nastala od reči kos-brz i hava-vazduh, u prevodu: vazduh koji trči.

### 2.2 Osnovne karakteristike košave

Sledeći kriterijumi definišu dan sa košavom:

1. postojanost pravca vetra u sva tri klimatološka termina(07, 14, 21 po lokalnom vremenu)
2. brzina vetra veća od 1.0 m/s
3. zastupljenost jedne od sledećih sinoptičkih situacija: ciklon iznad zapadnog Mediterana, pri čemu imamo južnu, jugoistočnu, tzv. toplu košavu ili centar anticiklona u istočnoj Evropi, pri čemu nastaje istočni vетар, tzv. hladna košava.

Najčešće košava duva dva do tri dana. Najduži zabeležen period tokom kog je neprestano duvala je 31 dan(14.01.-13.02.1972.). Javljujući se u naletima, ponaša se kao čistač atmosfere, noseći sa sobom dane bez padavina i sa slabom oblačnošću.

Utvrđeno je da pod uticajem košave dolazi do odstupanja od srednje vrednosti nekih meteoroloških elemenata: temperature, pritiska vodene pare, relativne vlažnosti, oblačnosti ... i to sve u zavisnosti od tipa košave i godišnjeg doba. Takodje je ispitivana i čestina naleta košave, i utvrđeno je da dolazi do njenog smanjenja sa povećanjem brzine veta ili povećanjem visine.

---

## Kratak opis korišćenog modela za prognozu vremena

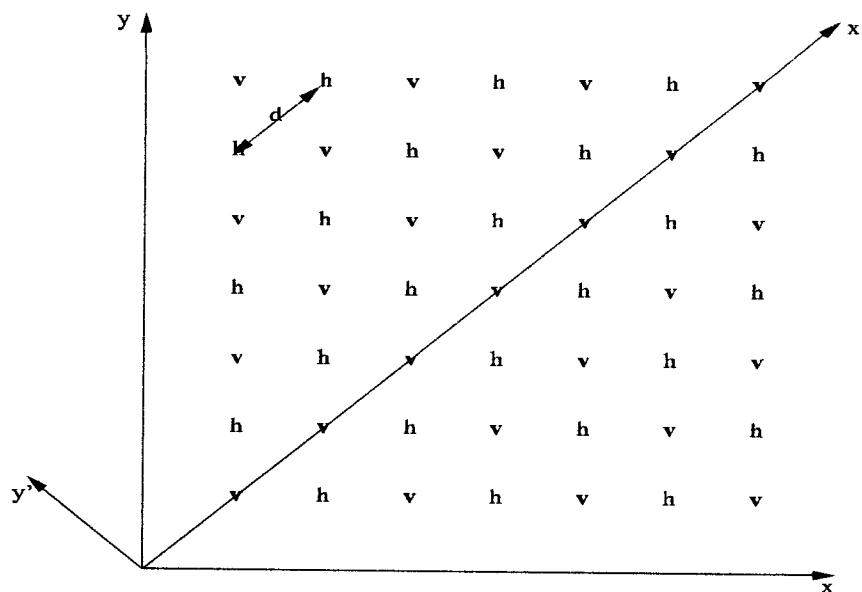
Razvoj ETA modela započeo je 1972. godine saradnjom Saveznog hidrometeorološkog zavoda i Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu. Po skraćenom nazivu institucija u okviru kojih je razvijen, model je dobio naziv HIBU(Hydrometeorological Institute and Belgrade University). Izvršioci najvećeg dela istraživačkih poslova u izradi modela su Zaviša Janjić i Fedor Mesinger.

Nova verzija modela razvijena je u saradnji Instituta za meteorologiju Univerziteta u Beogradu i Nacionalnog meteorološkog centra SAD-a iz Vašingtona. Ime ETA model je dobio po svojoj vertikalnoj koordinati(eta). Danas se ETA model koristi u više od 20 meteoroloških institucija širom sveta, kako za operativnu prognozu vremena, tako i u istraživačke svrhe.

ETA model je regionalni model za numeričku prognozu stanja atmosfere u tom regionu. Region je ograničena oblast atmosfere kako u horizontalnom tako i u vertikalnom pravcu. To je model za kratkoročnu prognozu vremena do tri dana unapred, za procese sinoptičkih i podsinoptičkih razmera. Orografija i druge specifičnosti regiona su detaljno predstavljene.

### 3.1 Osnovne karakteristike ETA modela

- Model za ograničenu oblast.
- Model mreže tačaka.
- Definisan na polurazmaku Arakavinoj E mreži (Arakawa and Lamb 1977).
- Ima ugradjenu specijalnu tehniku za sprečavanje razdvajanja rešenja (Mesinger 1973; Janjić 1974,1979)
- Vertikalna koordinata je  $\eta$  (eta) koordinata, kao generalizacija  $\sigma$  (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.

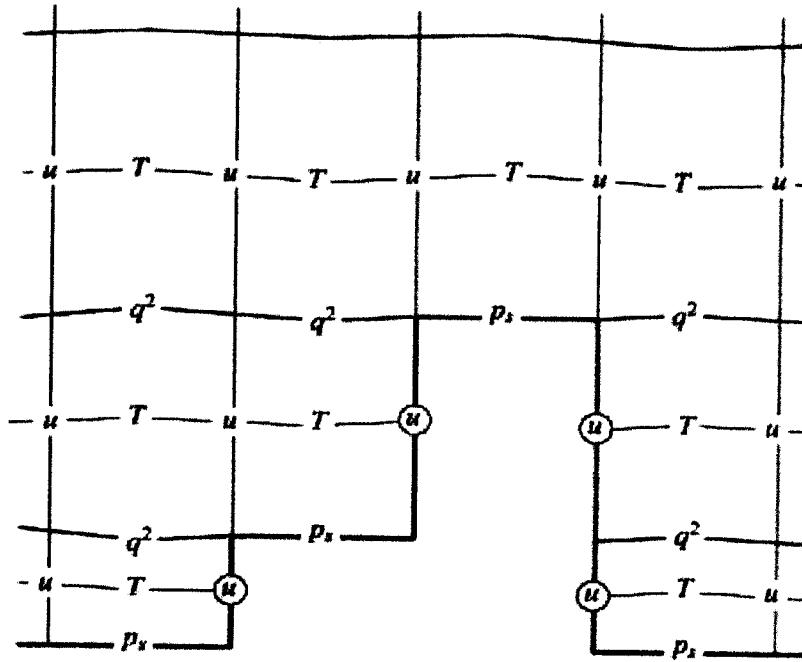


Slika 3.1: Raspored tačaka na tzv. E mreži

- U horizontalnoj advekciji model ima ugradjenu kontrolu nelinearne kaskade energije (Janjić 1984).
- Vremensko diferenciranje je eksplisitno sa rascepljivanjem (Mesinger 1977, Janjić 1979).
- Za planetarni granični sloj se koristi Mellor-Jamada parametrizaciona šema nivoa 2.5 (Vager and 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 turbulencije 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).
- Uključene su padavine velikih razmara i konvektivna šema Bets-Milera i Janjića (Betts 1986, Betts and Miller 1986, Janjić 1990, 1994).
- Šema za zračenje je GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory).

### 3.2 Horizontalna mreža tačaka

Horizontalna mreža tačaka koja se koristi u modelu je polurazmaknuta Arakavina (Arakawa and Lamb 1977) E mreža (slika 3.1).



Slika 3.2: Skica raspodele vertikalnih novoa u modelu

U h tačkama definisani su temperatura, prizemni pritisak, specifična vlažnost i turbulentna kinetička energija, dok v tačke označavaju u i v komponente brzine.

$\Delta x$  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" sekut u centru oblasti integracije modela.

### 3.3 Vertikalna koordinata

Vertikalna eta ( $\eta$ ) koordinata (Mesinger 1984) je definisana

$$\eta = \frac{p - p_T}{p_S - p_T} \eta_S \quad (3.1)$$

gde je

$$\eta_S = \frac{p_{rf(z_S)} - p_T}{p_{rf(0)} - p_T} \eta_S \quad (3.2)$$

Prikazana je na slici 3.2

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

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

gde su

$$p_{rf(0)} = 1013.25 \text{ hPa}, \quad T = 288 \text{ K}, \quad \Gamma = 6.5 \text{ K/1000 m}, \quad R = 287.04 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Prizemne visine  $z_s$

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

dozvoljavaju uzimanje samo diskretnih vrednosti. Tako planine bivaju konstruisane od trodimenzionalnih "kutija" nad tačkama mreže (stepenasta prezentacija). Pritisak  $p_{rf(0)}$  u jednačini (3.2) može da se zameni sa  $p_{rf(z_b)}$ , gde  $z_b$  pretstavlja osnovnu visinu definisana tako da uključuje blage nagibe prizemne topografije.

Na slici 3.2 su šematski prikazane planine dobijene korišćenjem  $\eta$  koordinate, i vertikalna diskretizacija. Na sredini slojeva su definisane komponente vетра ( $u, v$ ), temperatura ( $T$ ) i specifična vlažnost ( $q$ ). Geopotencijal ( $\Phi$ ), vertikalna brzina ( $\dot{\eta}$ ) i turbulentna kinetička energija ( $Q_2$ ) su definisani na dodirnim površinama slojeva, odnosno na eta površinama. Prizemni pritisak ( $p_s$ ) je definisan na Zemljinoj površini.

Za razliku od sigma, 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. Obzirom da su vertikalne promene temperature veće nego horizontalne, one imaju dominantan 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. 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 izmedju 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 nula.

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 linearom interpolacijom sa vremenom od globalnih prognoza u 6-časovnim intervalima. Na taj način oblast integracije nije izolovana od okoline, već se kroz bočne granice vrše prilivi/odlivи mase, vlažnosti ... iz ograničene oblasti.

# 4

---

## Numeričke simulacije

### 4.1 Proces dobijanja prognoze

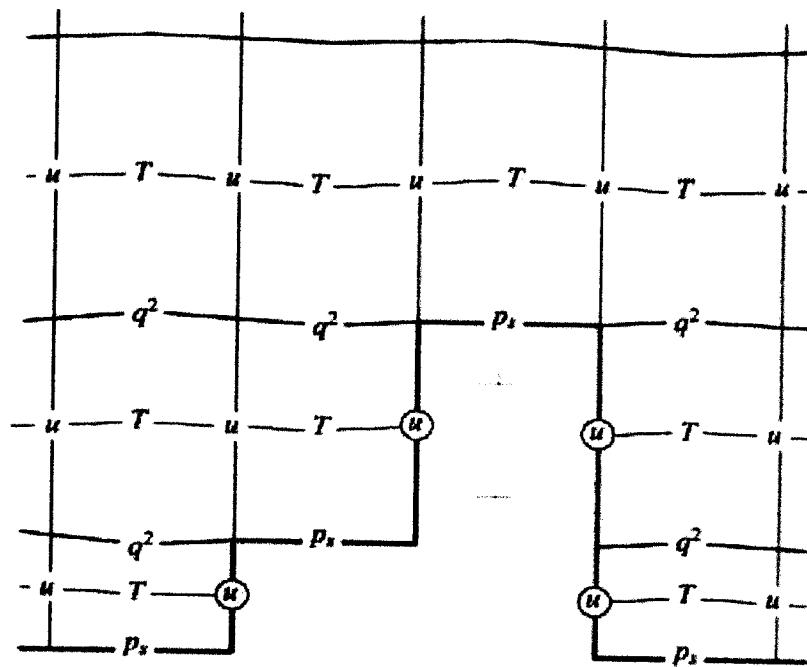
- Dekodiranje
- Izrada topografije
- Horizontalna interpolacija
- Vertikalna interpolacija
- Formiranje graničnih uslova
- Formiranje tabela za računanje zračenja
- Formiranje konstanti i pomoćnih nizova

### 4.2 Dekodiranje

Ulagani podaci za dekodiranje su analize američke službe, datoteke u grib formatu, koje predstavljaju binarni niz podataka. To su analize na latitudinalnoj-longitudinalnoj mreži sa prostornom rezolucijom od 1 stepena i 23 standardna nivoa pritiska. Zapis se vrši na svakih 6h.

Grib datoteke su najkompaktnija forma zapisa meteoroloških podataka. Zato mogu da sadrže veoma veliki broj podataka. Ipak, svaka takva datoteka sadrži oko 20 MB. Za 48 h prognozu treba 9 grib datoteka, dakle oko 180 MB. Ove datoteke sadrže veliki broj meteoroloških polja, medju njima i polja potrebna za prognozu, koja mi ovde koristimo: geopotencijal, temperaturu, u i v komponentu brzine i specifičnu vlažnost.

Dekodiranje je postupak izvlačenja određenih, nama potrebnih meteoroloških polja iz tih datoteka i njihovo ispisivanje u tzv. llsp (longitude, latitude, standard pressure levels) datoteke.



Slika 4.1: Skica raspodele vertikalnih novoa u modelu uz objašnjenje diskretizacije planina u modelu

### 4.3 Izrada topografije

Planine u modelu su formirane polazeći od datoteke tzv. usnavy. Rezolucija ove datoteke je 1/12 stepena, koja za umerene širine obuhvata oblast površine 6.8 km x 6.8 km.

Visina modelske tačke je srednjak svih usnavy tačaka u kvadratu  $dx \times dy$ . Time za rezoluciju 0.25, koja obuhvata površinu od oko 18 km x 18 km, ima oko 9 podataka iz usnavy baze podataka. Stvarne planine imaju veliku razliku izmedju podnožja i vrhova, pri čemu su često te doline veoma uzane. Kada se takva raspodela osrednji na površinu koja pripada tački u modelu, dolazi do uravnjavanja planina.

Ako predjemo na rezoluciju 0.125, koja odgovara oblasti od oko 9 km x 9 km, imaćemo 1 do 2 podatka uzetih iz usnavy baze podataka. To znači da će doći do mnogo slabijeg uravnavanja planina nego u prethodnom slučaju.

Vertikalna diskretizacija određuje visinu planina u modelu. Ako se visina usnavy planine nalazi u gornjoj polovini celije, videti 4.1, visina planine u modelu se podiže na višu koordinatnu površ, dok ako se nalazi u donjoj polovini celije, visina planine u modelu se srušta na nižu koordinatnu površ.

Kao i kod horizontalne interpolacije, kod ovog postupka generalno dolazi do sruštanja visina planina u odnosu na pravu visinu planina.

#### 4.4 Horizontalna i vertikalna interpolacija

Pri analizi dekodiranih podataka, program koji vrši horizontalnu interpolaciju je program anec. Potrebno je izvršiti bilinearnu interpolaciju podataka sa latitudinalne-longitudinalne mreže na mrežu modela. Takodje je potrebno izvršiti i vertikalnu interpolaciju sa standardnih nivoa pritiska na eta koordinatne površi. Ova interpolacija ide po logaritmu pritiska. To izvršava program pteta.

#### 4.5 Formiranje graničnih uslova

Pošto koristimo model za ograničenu oblast, potrebno je odrediti i granične uslove. To radi program dboco. Linearnom interpolacijom računaju se tendencije posmatranih meteoroloških polja koje se dešavaju na granicama modela u intervalu od 6h.

#### 4.6 Formiranje tabela za računanje zračenja i formiranje konstanti i pomoćnih nizova

Program za računanje zračenja formira tabele sa podacima o apsorpciji  $CO_2$  u dugotalasnom spektru zračenja.

Da bi se povećala efikasnost (brzina) modela program const računa sve konstante potrebne za prognozu(npr. koriolisov parametar . . . ), kao i nizove koji se ne menjaju sa vremenom.

---

## Poredjenje rezultata sa različitim horizontalnim i vertikalnim rezolucijama

Da bi se pokazala zavisnost upečnosti prognoze košave uradjena je serija prognoza sa različitim horizontalnim i vertikalnim rezolucijama. Početna rezolucija na neki način standardna prema mogućnostima računara je  $0.25 \times 0.25$  stepeni u x i y pravcu, a što se tiče vertikalne rezolucije uzima se 32 nivoa. Rezultati za ovakvu rezoluciju su prikazani na slikama 5.1 do 5.9.

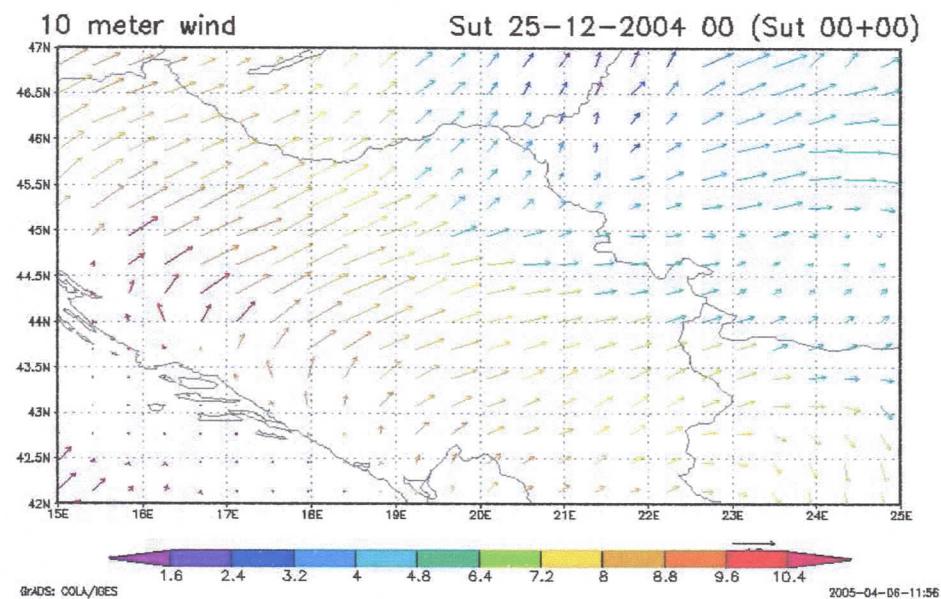
Nakon toga smo menjali kako vertikalnu tako i horizontalnu rezoluciju. Kao sledeći korak imali smo povećanje vertikalne rezolucije na 64 nivoa (udvostručavanje). Što se tiče horizontalne rezolucije, ona je takodje udvostručena u narednom slučaju. Poslednja prognoza je bila uradjena za udvostručenu i horizontalnu i vertikalnu rezoluciju. Dakle ukupno je uradjeno 4 prognoze.

Oblasti od našeg interesa su južni Banat, Podunavlje, zatim Negotinska krajina, južna i jugoistočna Srbija i deo centralne Srbije.

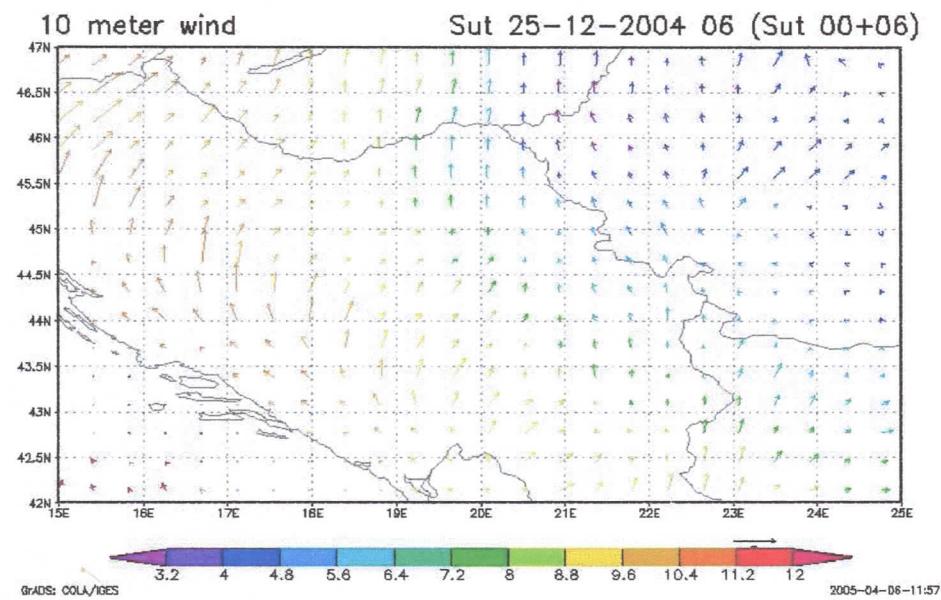
Posmatramo vетar na 10 m visine, pri čemu je intenzitet vetra okarakterisan dužinom strelica, dok boje reprezentuju odredjeni opseg temperature.

### 5.1 Prognoza za standardnu rezoluciju

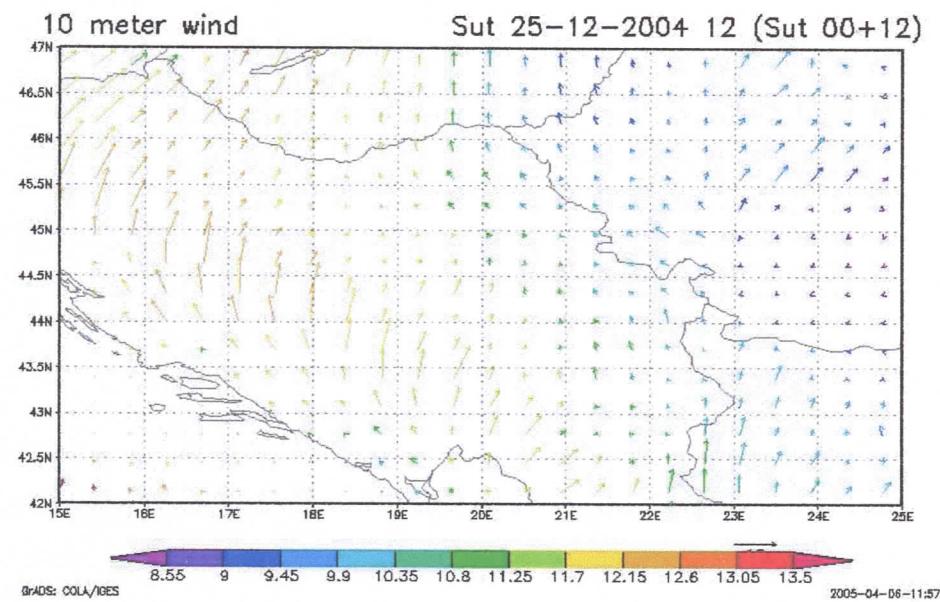
Kao što možemo videti sa slike 5.2, u najvećem delu Vojvodine se javio jači južni vетар, a blaga košava se primećuje u južnom Banatu, u okolini Vršca, kao i u istočnoj i južnoj Srbiji. U 12h prognoze po ovoj rezoluciji, košava se raširila po celoj zemlji, sa nešto jačim intenzitetom u okolini Zaječara. Do 30h njen intenzitet postepeno jača, kako se vidi sa slika 5.4, 5.5 i 5.6 i u centralnoj i južnoj Srbiji. Maksimum jačine, do 10 m/s, dostiže u 42h, 5.8, u već gore navedenim oblastima, a u 48h, 5.9, može se opaziti blagi pad njenog intenziteta.



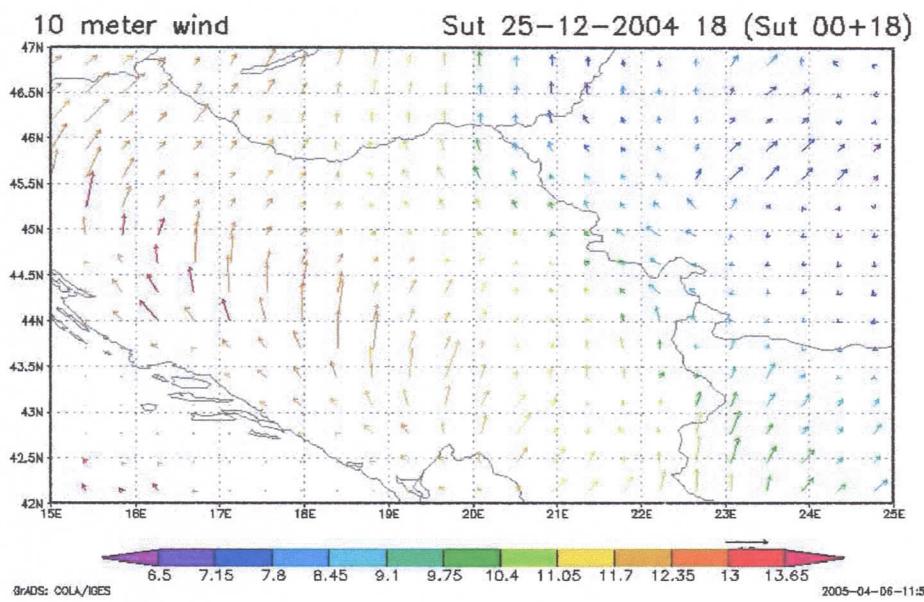
Slika 5.1: Početno polje brzine vetra u 00h



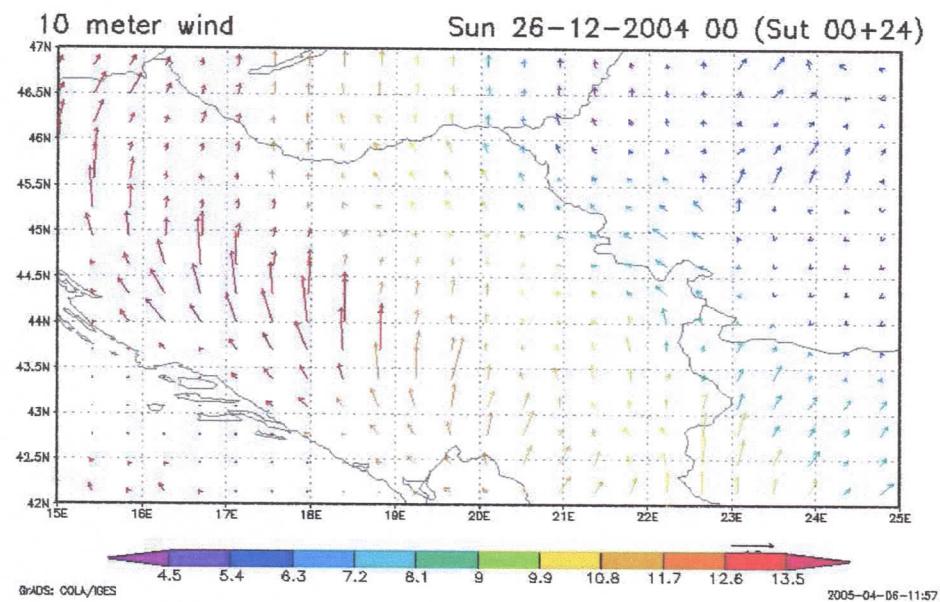
Slika 5.2: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 06h



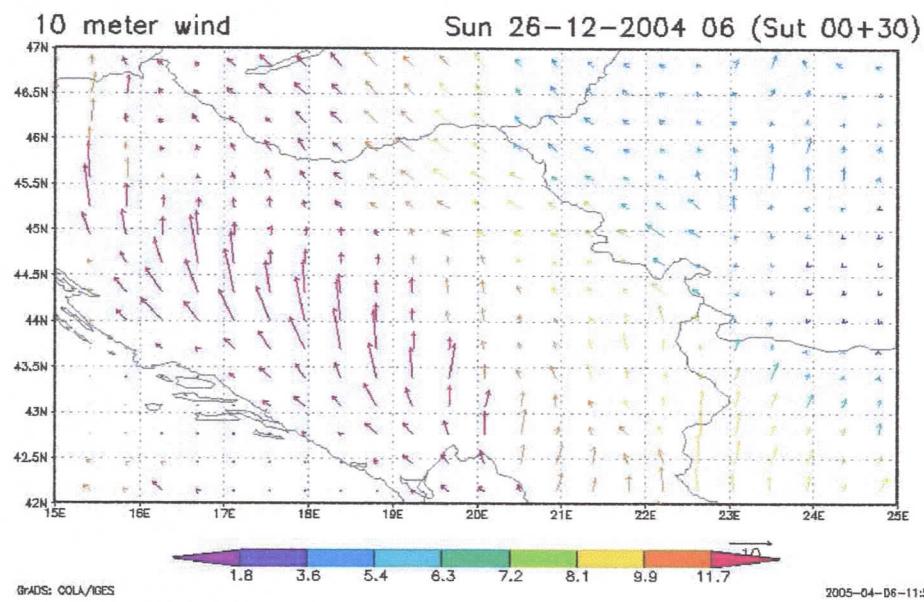
Slika 5.3: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 12h



Slika 5.4: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 18h

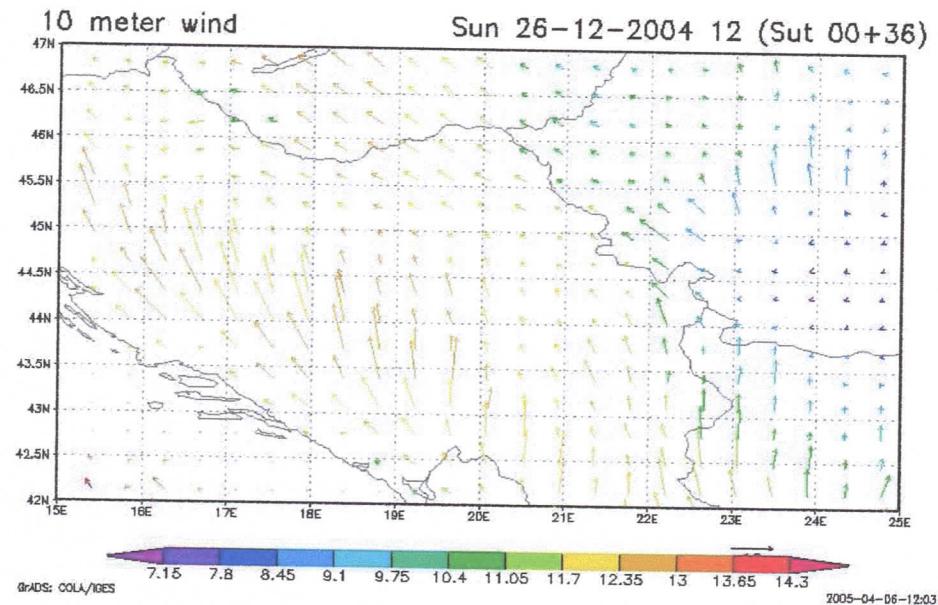


Slika 5.5: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 24h

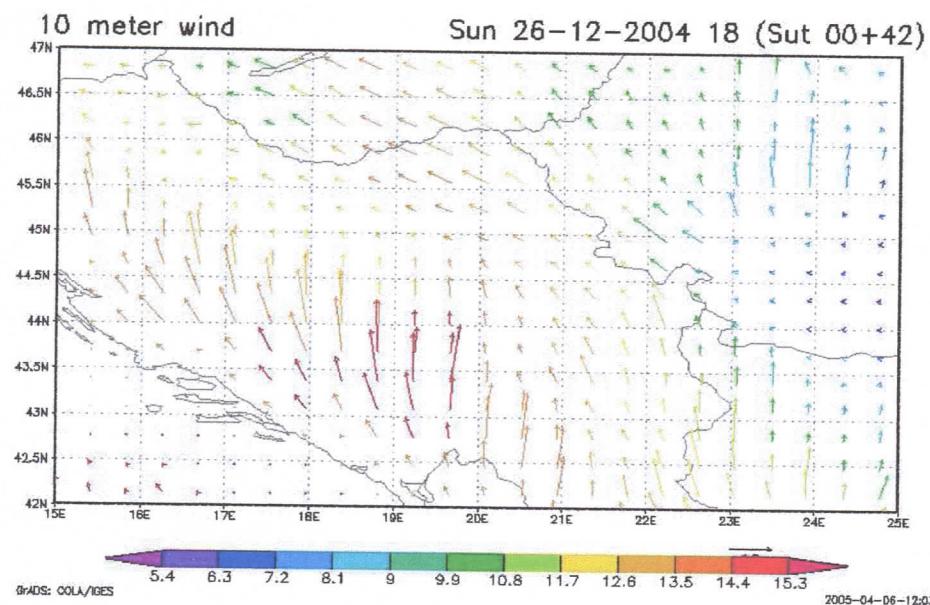


Slika 5.6: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 30h

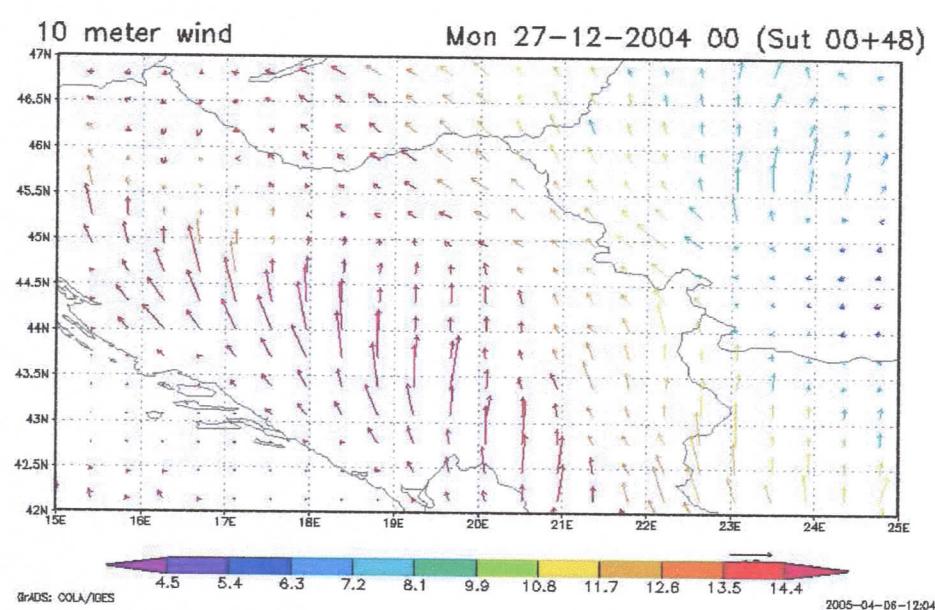




Slika 5.7: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 36h



Slika 5.8: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 42h



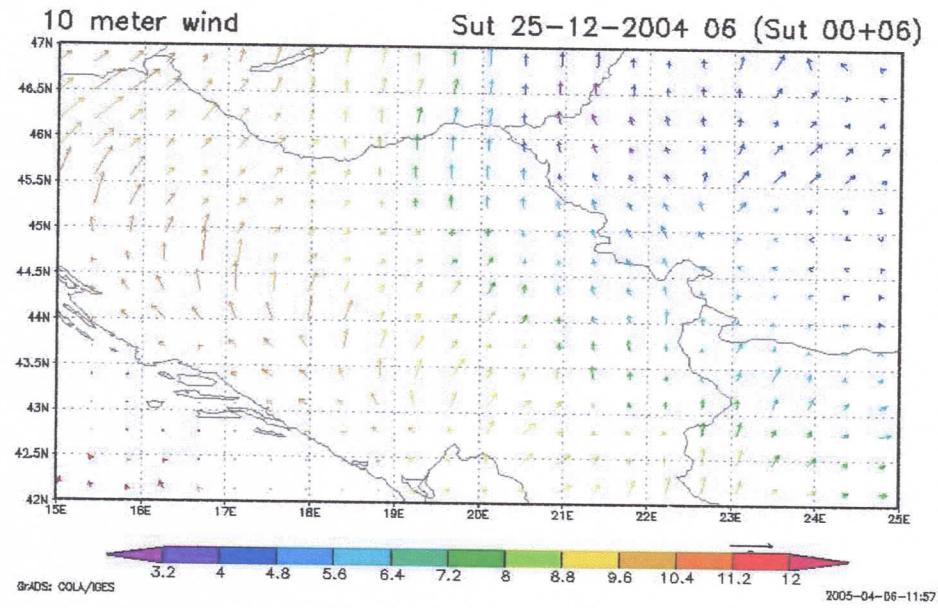
Slika 5.9: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 48h

---

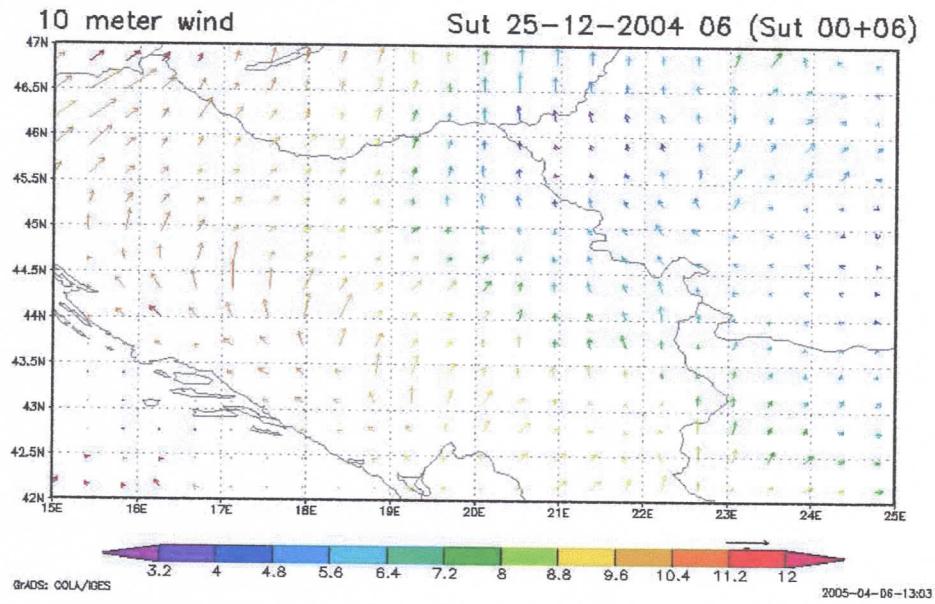
## Poredjenje prognoza sa 32 i 64 vertikalna novoa pri horizontalnoj rezoluciji od $0.25 \times 0.25$ stepeni

Pri udvostručavanju vertikalne rezolucije dobijamo prognoze kao sa slika 6.2 do 6.16. Ako te rezultate uporedimo sa standardnim slučajem, možemo uvideti da li se sa povećanjem vertikalne rezolucije dobija bolja prognoza intenziteta košave, bliskija osmotrenom, ili ne.

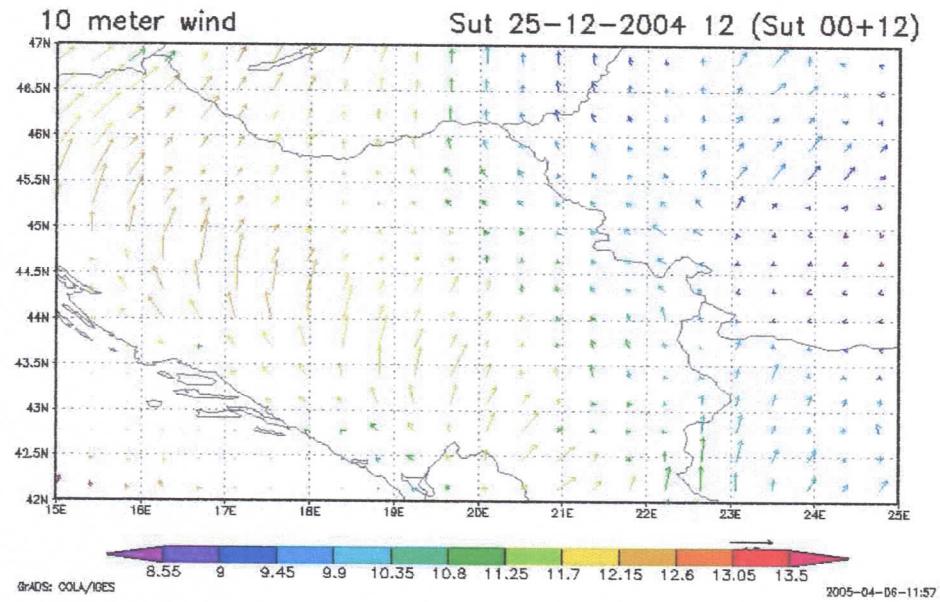
Poredjenjem prognoza sa 32 i 64 vertikalna nivoa u 6h, 12h, 18h i 24h, sa slika 6.1 i 6.2, 6.3 i 6.4, 6.5 i 6.6, 6.7 i 6.8 se vidi postojanje slabe košave, ali bez znatnih razlika u intenzitetu. Od 30h do 42h postepeno se intenzitet košave pojačava. Sada se mogu osmotriti blage lokalizovane razlike u intenzitetu košave na karti sa udvostručenom vertikalnom rezolucijom, u odnosu na standardan slučaj i to kako u južnom Banatu i Podunavlju, tako i u dolini Velike Morave, u centralnoj i jugoistočnoj Srbiji. U 42h košava dostiže maximalnu jačinu od oko 12 m/s u okolini Zaječara. Takodje, u 48h vidimo blago smanjenje intenziteta vetra i za ovu rezoluciju.



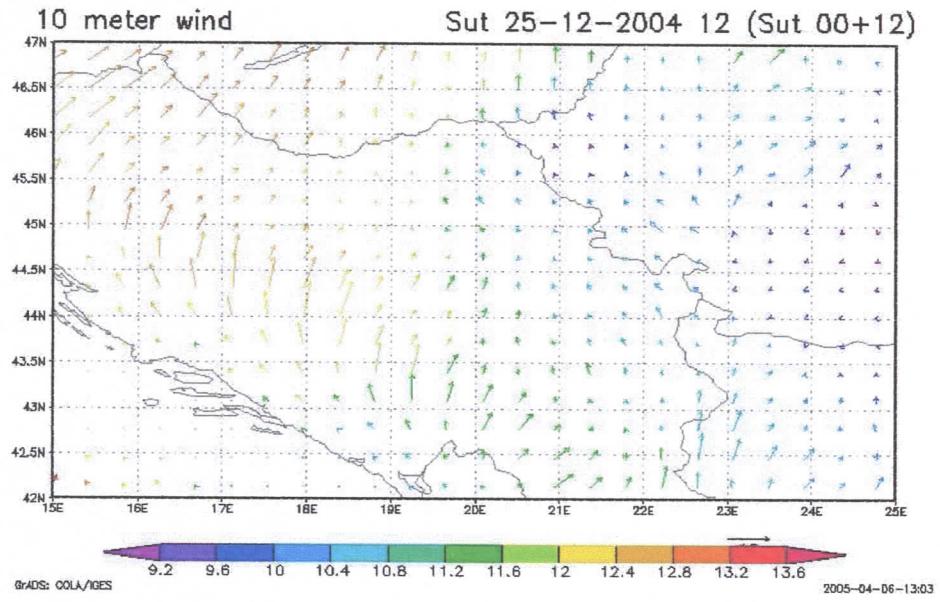
Slika 6.1: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 06h



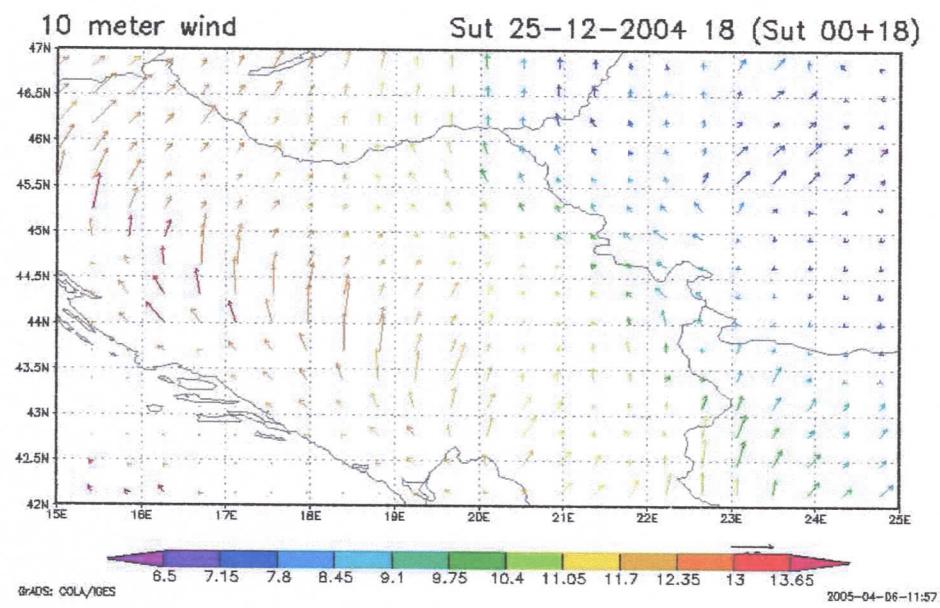
Slika 6.2: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 06h



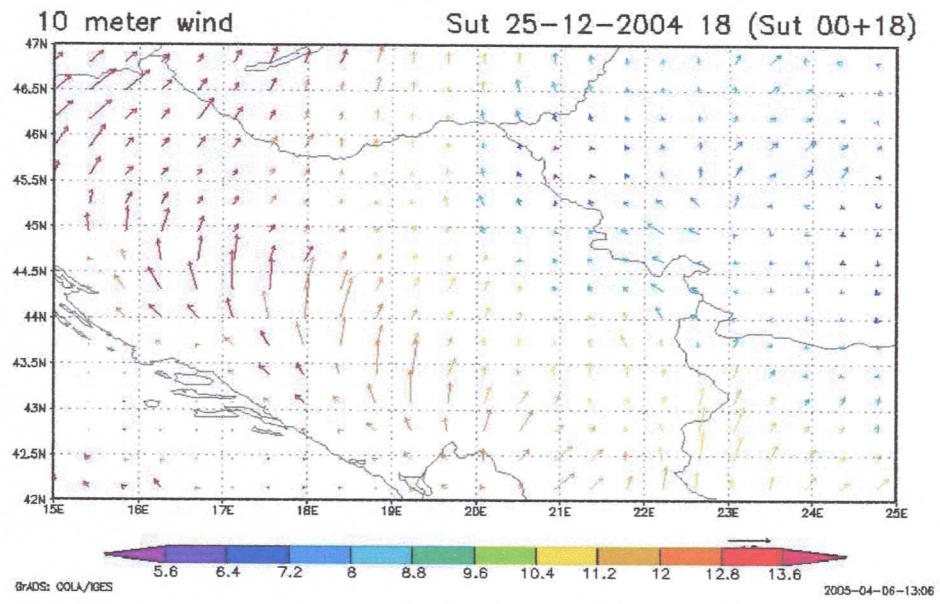
Slika 6.3: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 12h



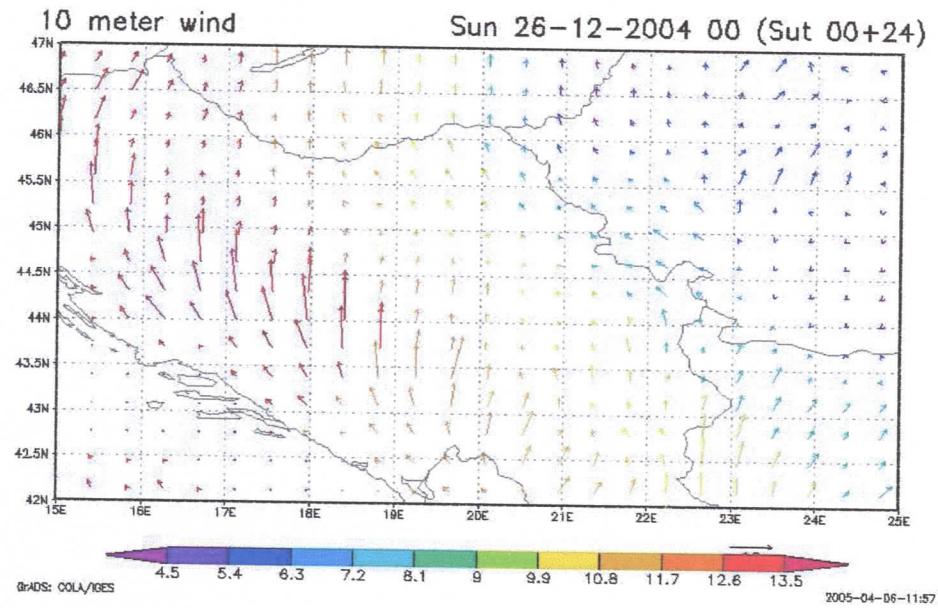
Slika 6.4: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 12h



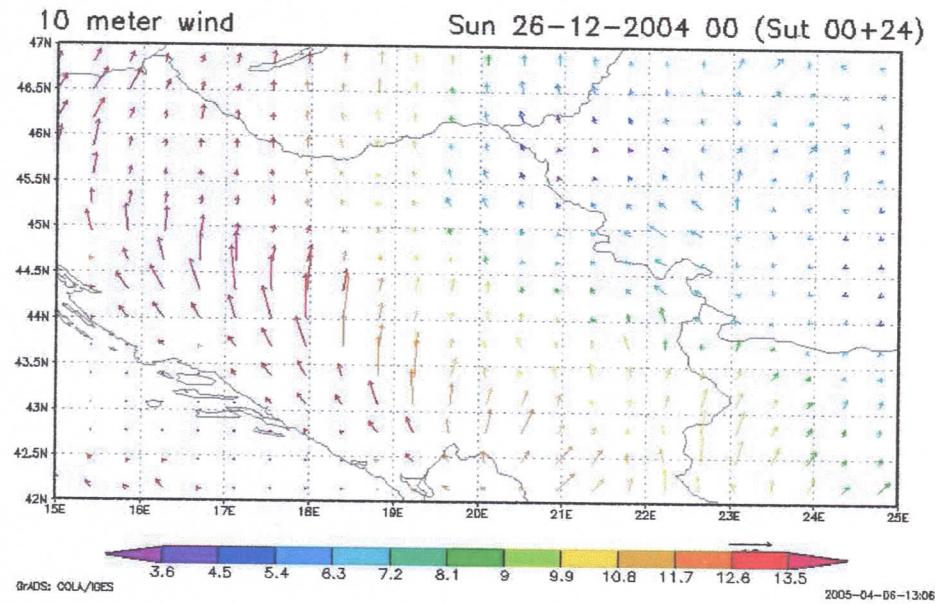
Slika 6.5: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 18h



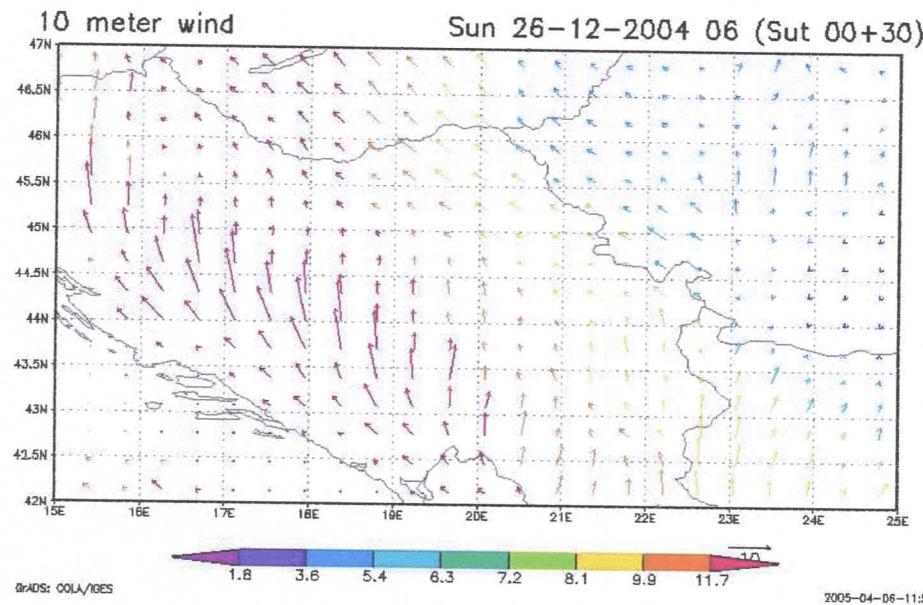
Slika 6.6: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 18h



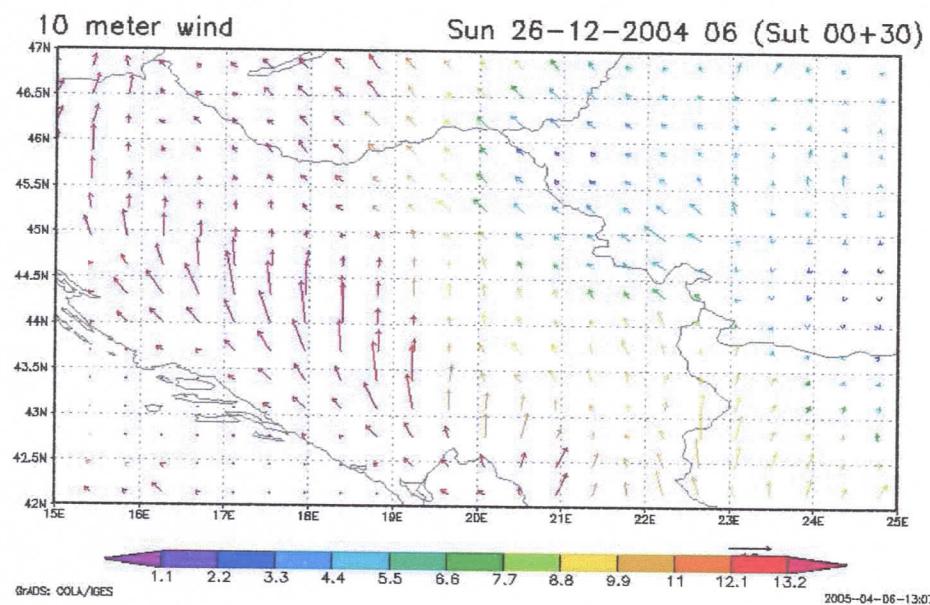
Slika 6.7: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 24h



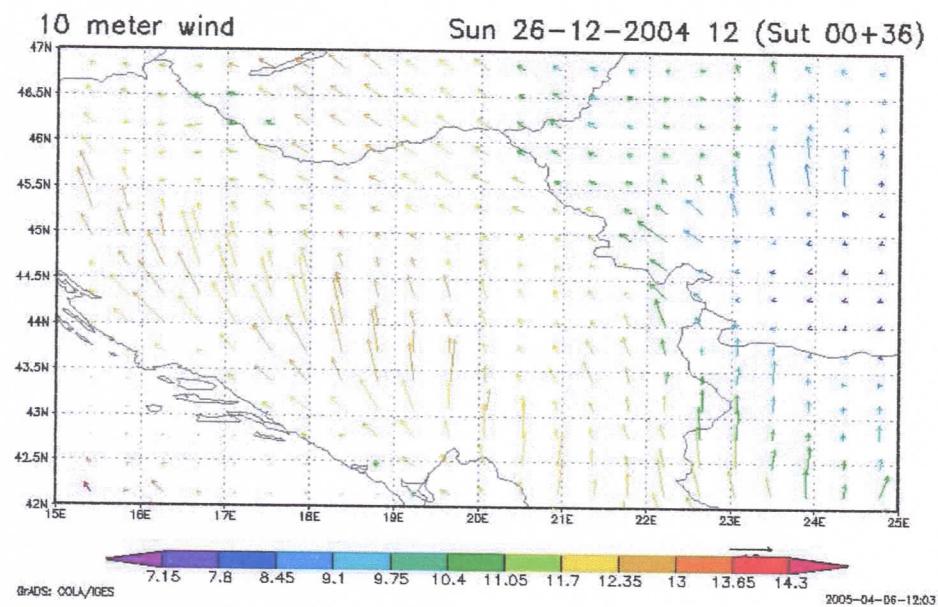
Slika 6.8: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 24h



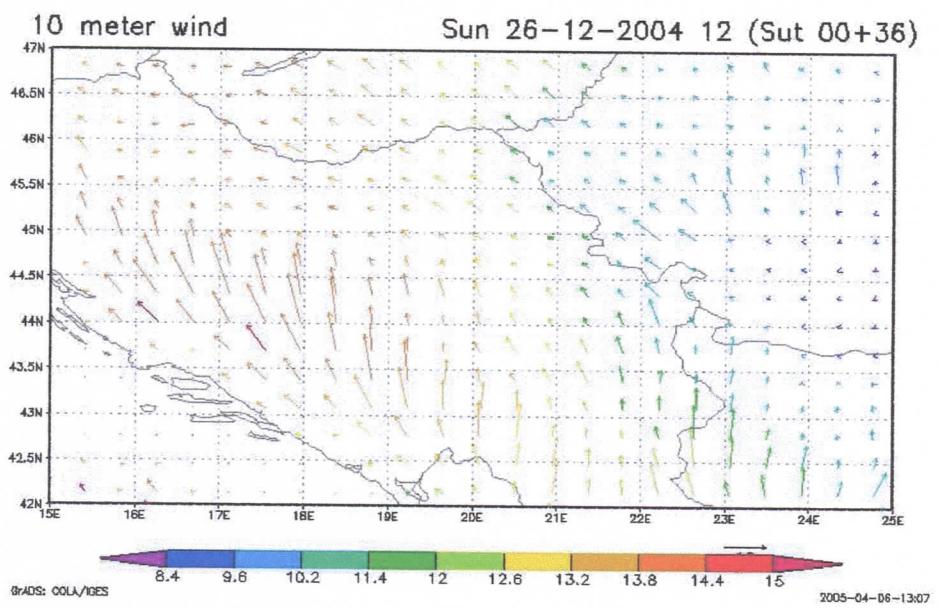
Slika 6.9: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 30h



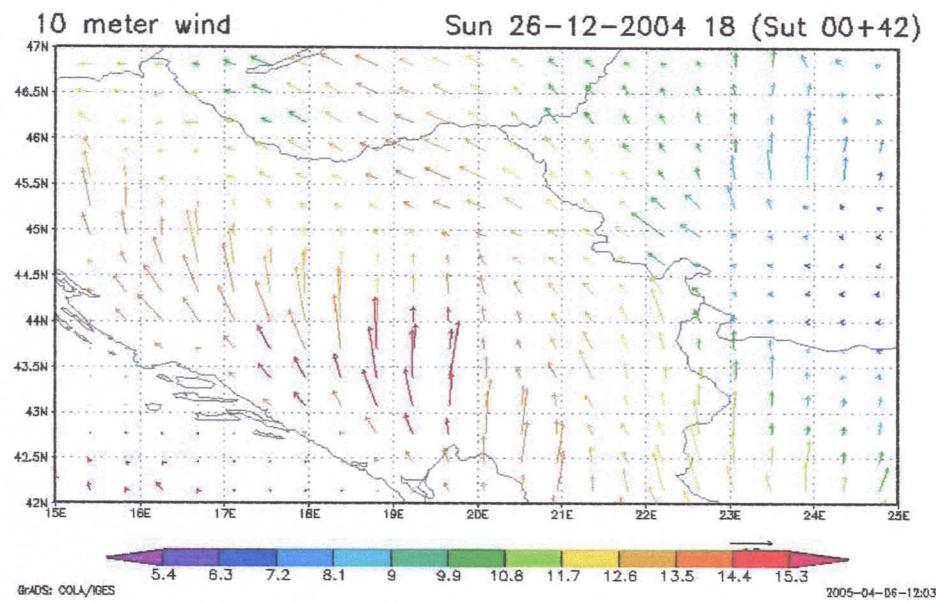
Slika 6.10: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 30h



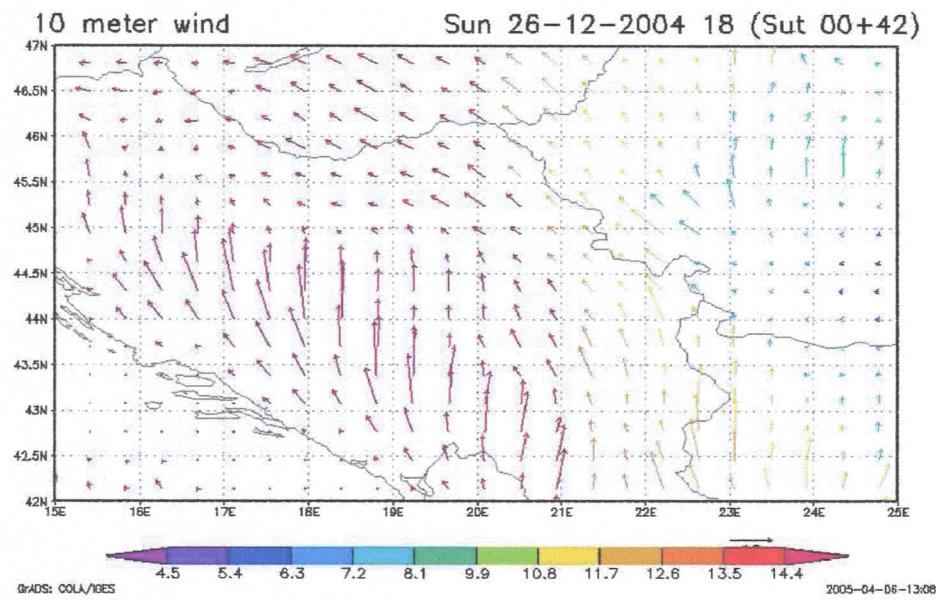
Slika 6.11: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 36h



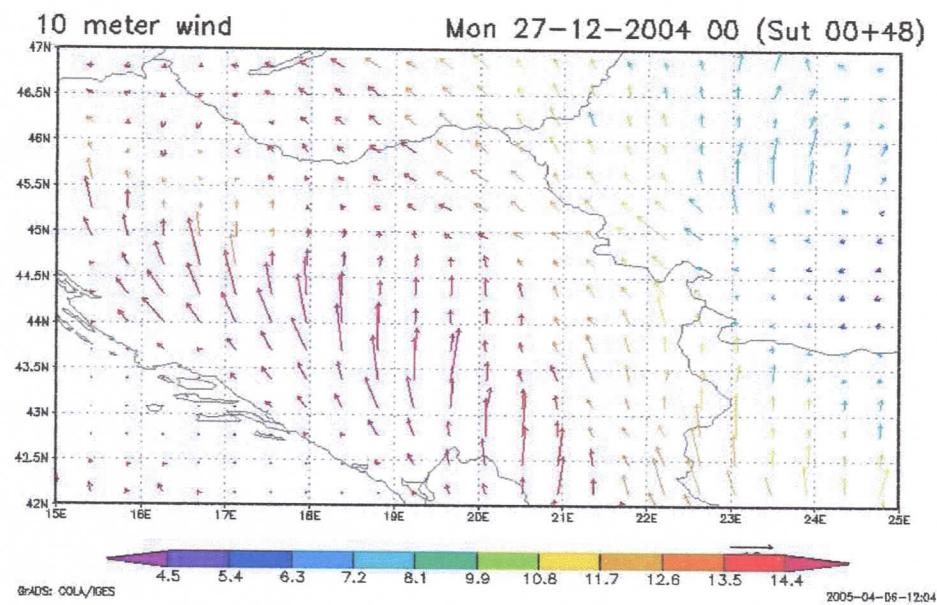
Slika 6.12: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 36h



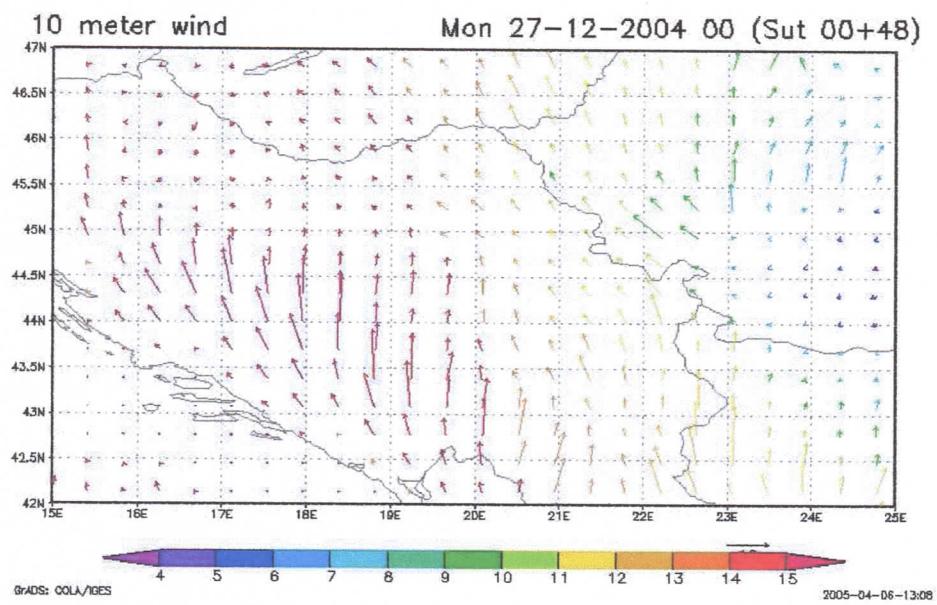
Slika 6.13: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 42h



Slika 6.14: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 42h



Slika 6.15: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 48h

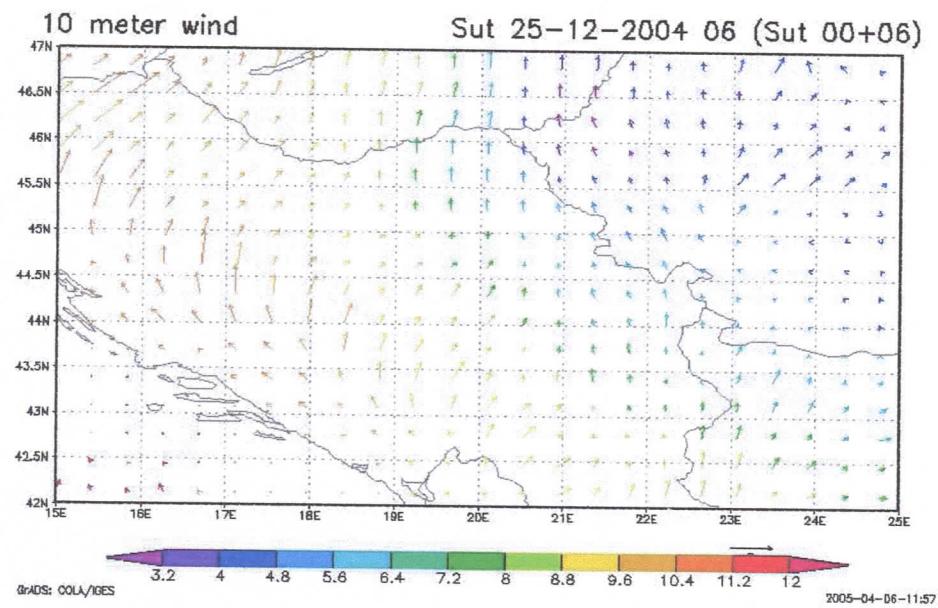


Slika 6.16: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 64 nivoa u 48h

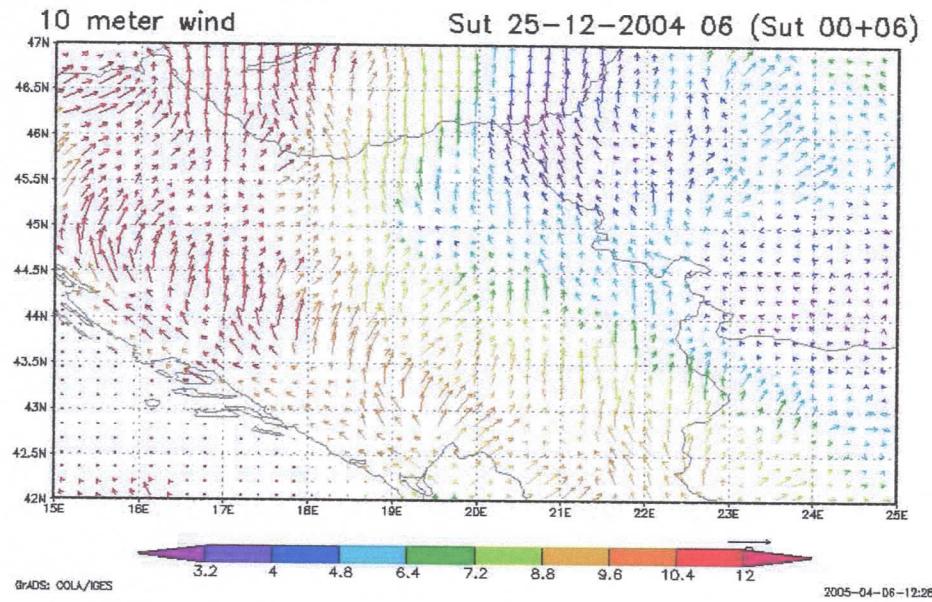
---

## Prelazak na 0.125 stepeni u horizontalnom pravcu sa 32 vertikalna novoa i poredjenje sa standardnim slučajem

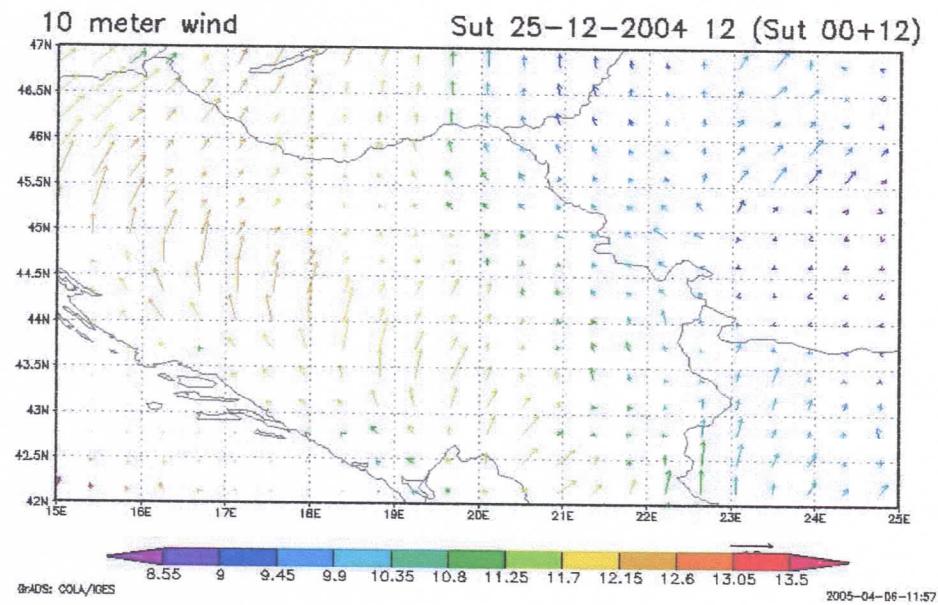
Već u 6h prognoze na karti sa većom horizontalnom rezolucijom se primećuje prisutnost jače košave u istočnoj i severoistočnoj Vojvodini, kao i u južnoj Srbiji, u odnosu na kartu sa manjom horizontalnom rezolucijom. Takođe, od 12h do 30h se u celoj Vojvodini, na karti manje rezolucije, vidi nešto jača, ravnomerno raspoređena košava, dok se na karti veće horizontalne rezolucije ističu mesta sa znatno jačom košavom i to u istočnom delu Vojvodine, naročito u okolini Vršca (što nije slučaj na karti manje horizontalne rezolucije), kao i u okolini Negotina, dolini Zapadne Morave i u južnoj Srbiji. Posebno se ta razlika ističe u satima maksimalnog dejstva košave, u 36h, 42h i 48h, gde su sad pored već navedenih oblasti jakom košavom, intenziteta i preko 12 m/s, zahvaćene još i centralna i zapadna Srbija, kao i Podunavlje.



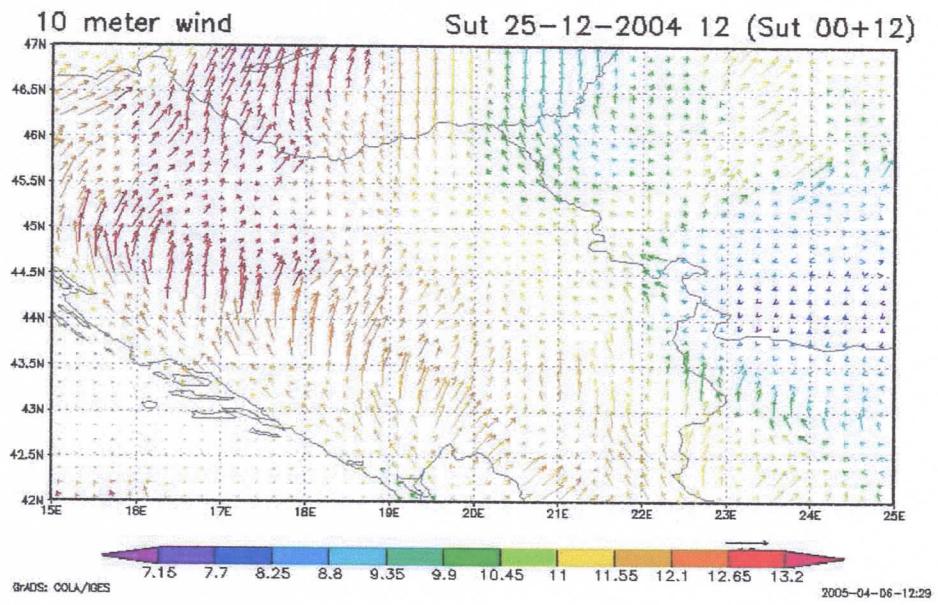
Slika 7.1: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 06h



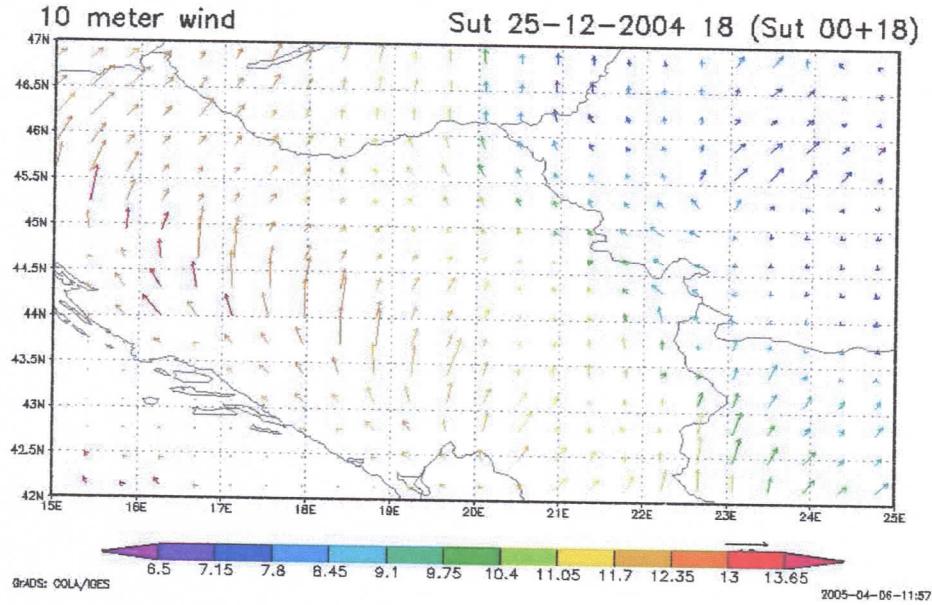
Slika 7.2: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 06h



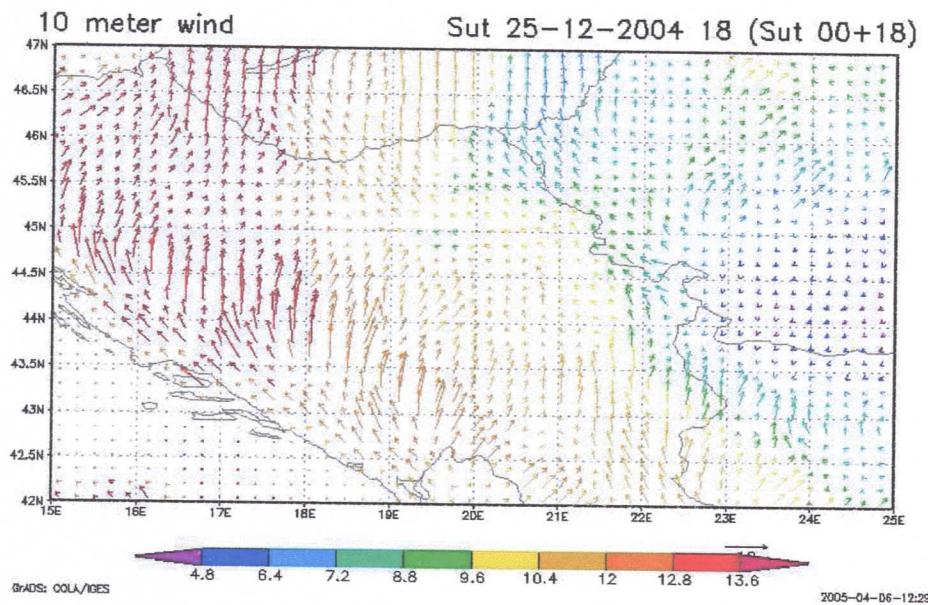
Slika 7.3: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 12h



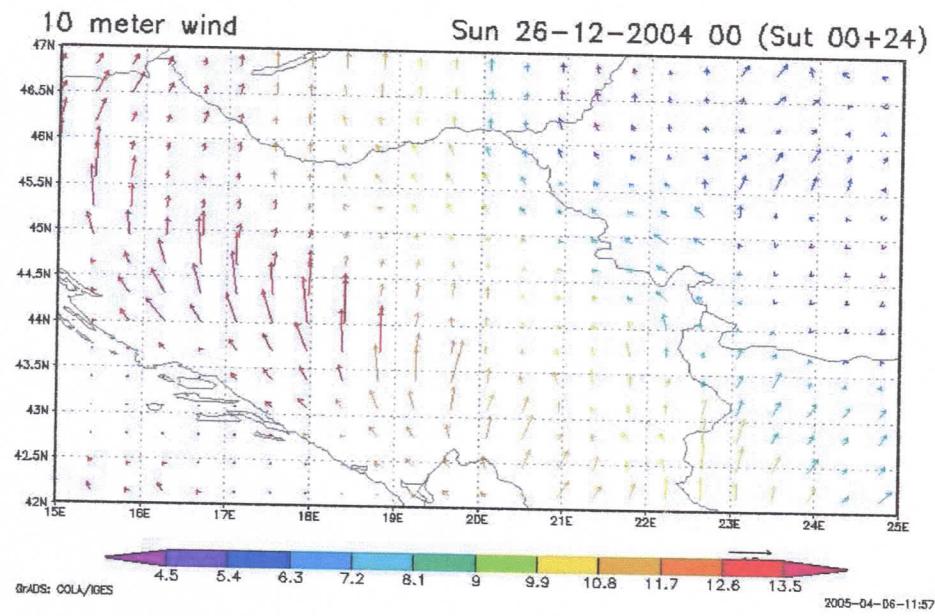
Slika 7.4: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 12h



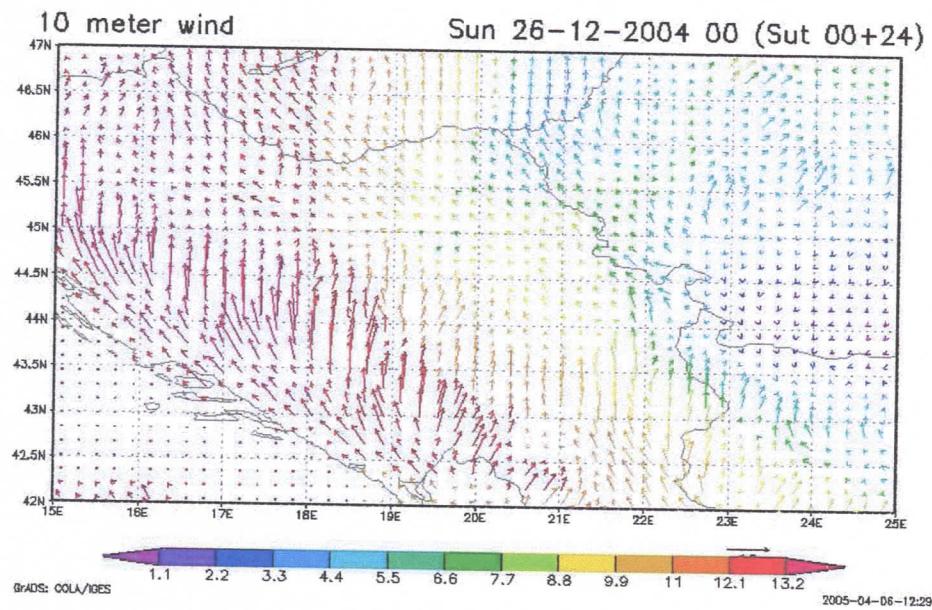
Slika 7.5: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 18h



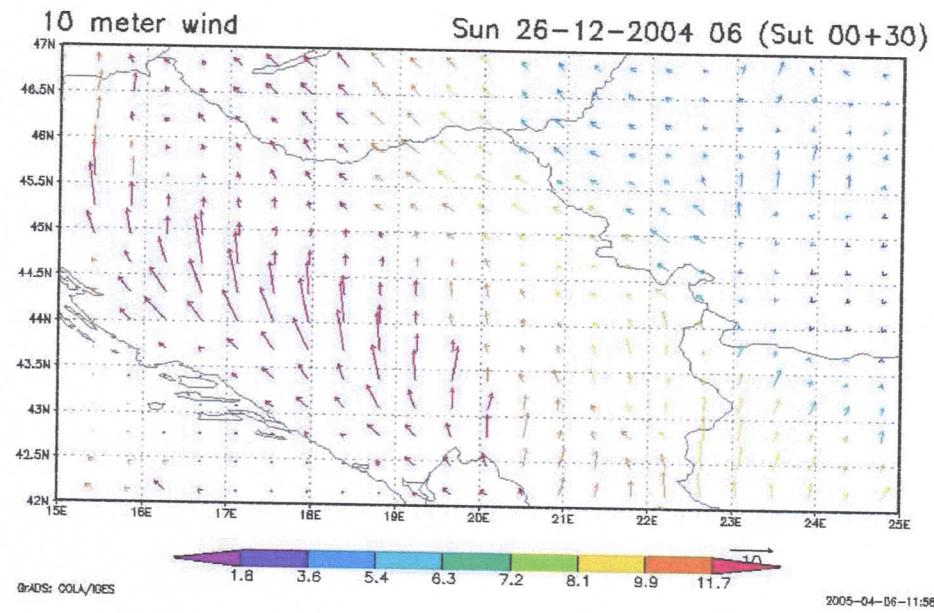
Slika 7.6: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 18h



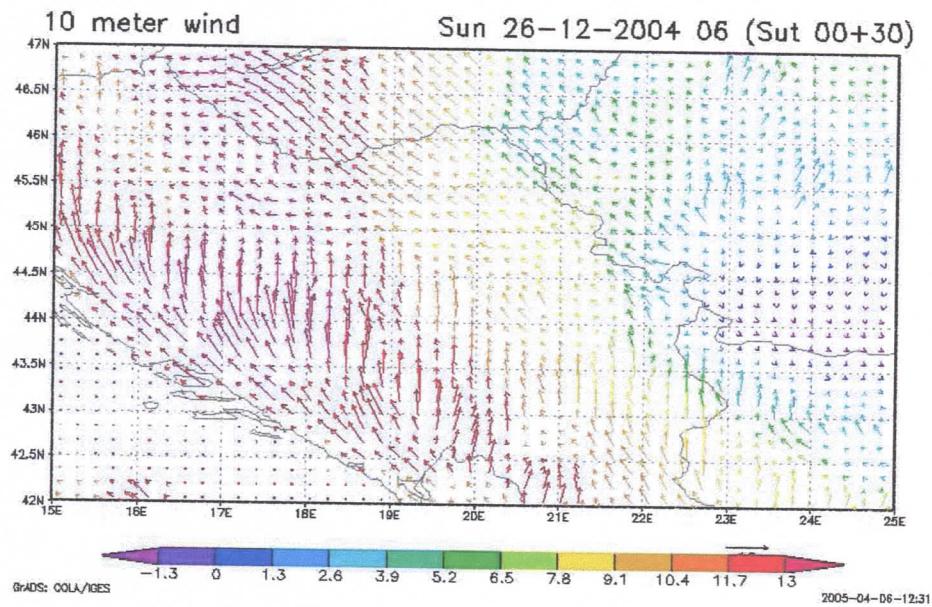
Slika 7.7: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 24h



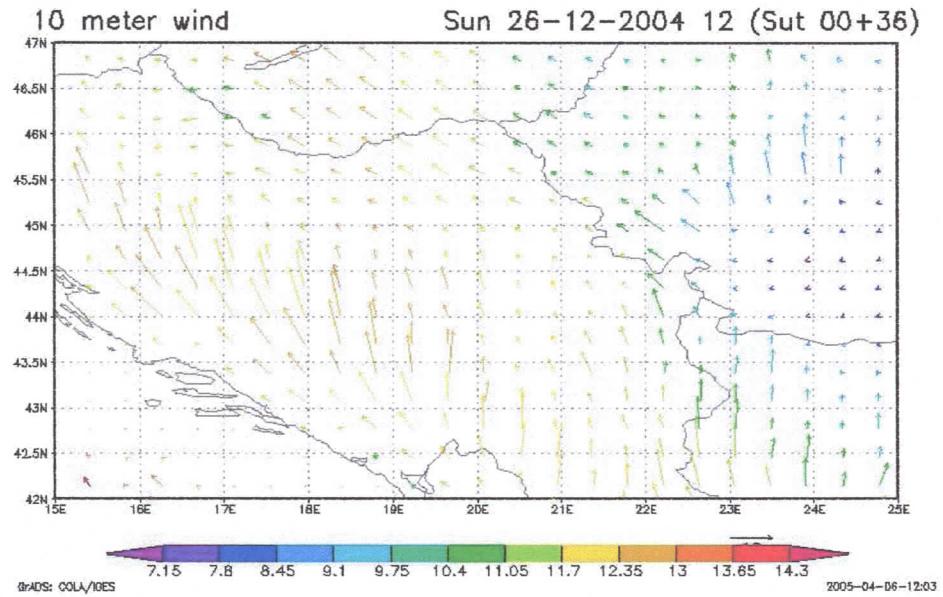
Slika 7.8: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 24h



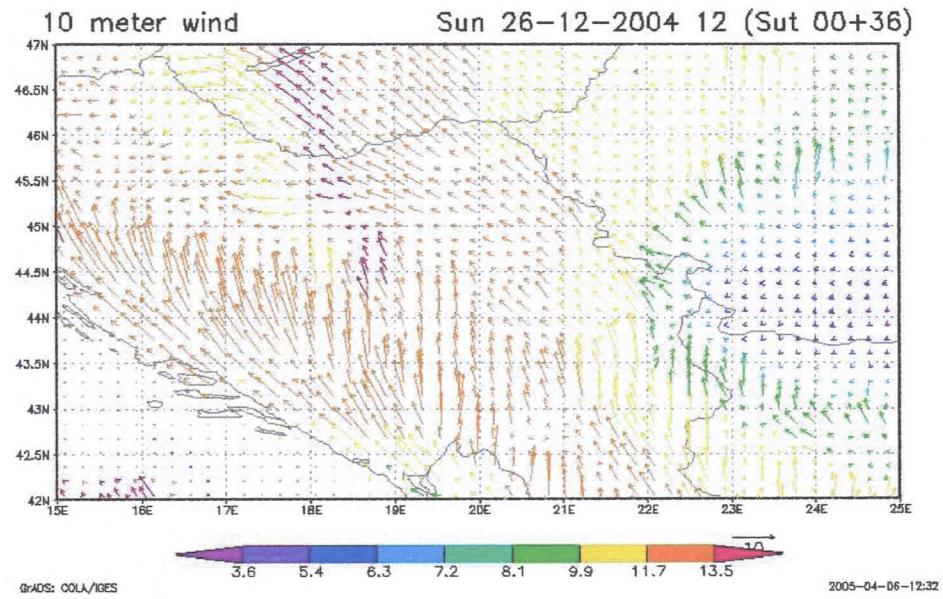
Slika 7.9: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 30h



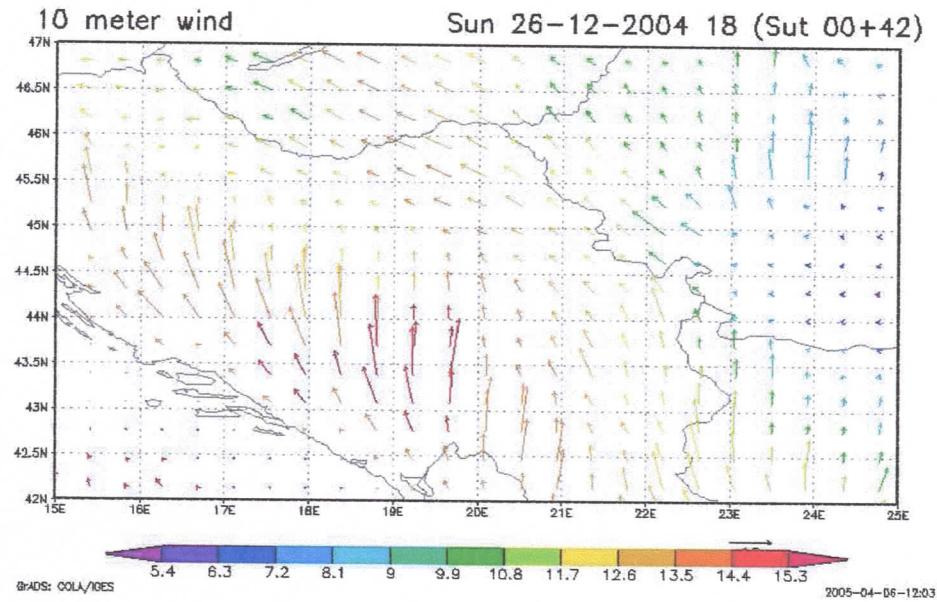
Slika 7.10: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 30h



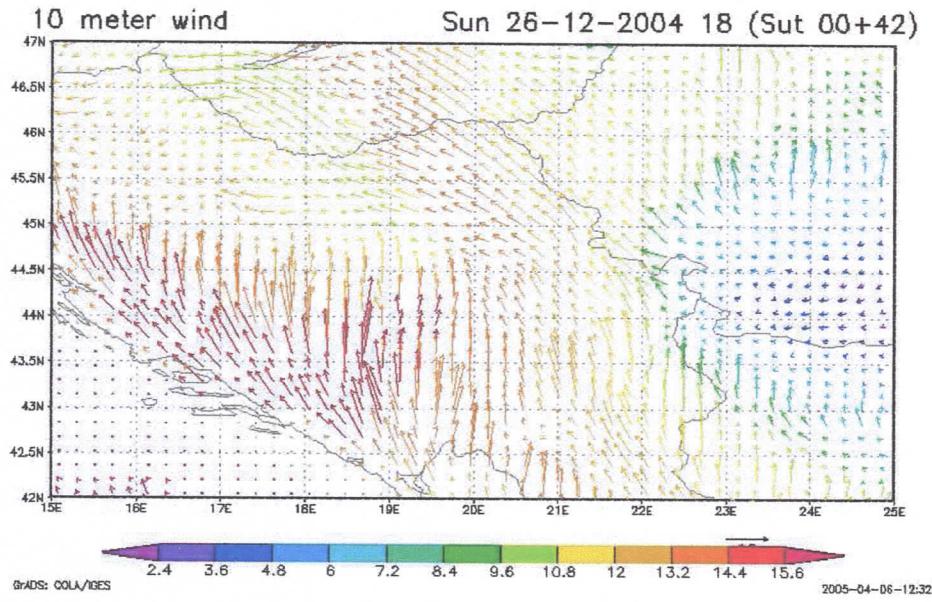
Slika 7.11: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 36h



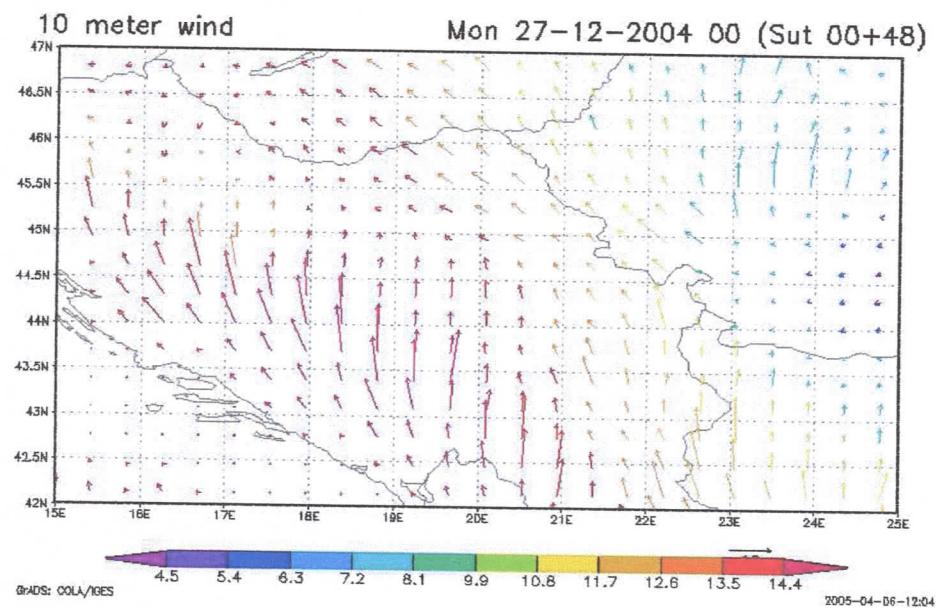
Slika 7.12: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 36h



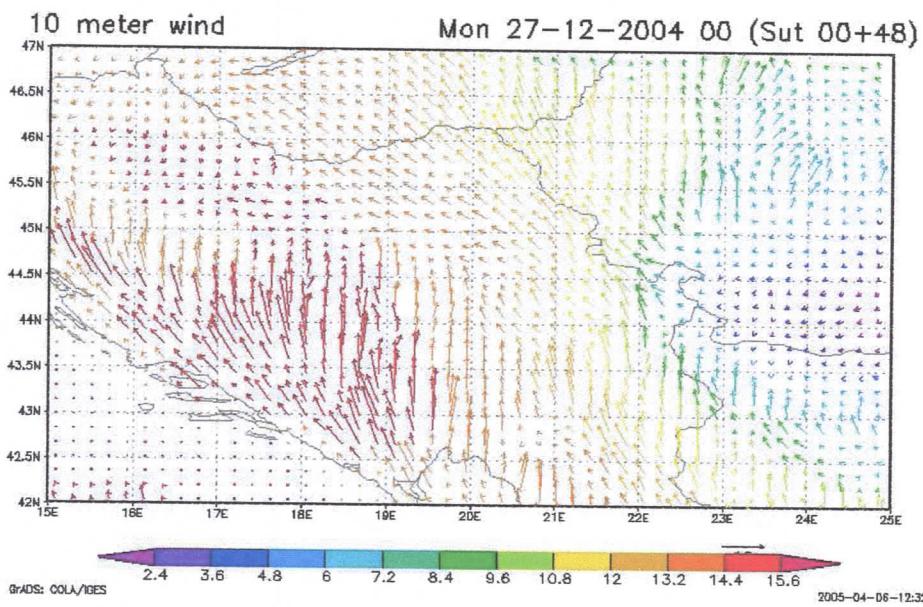
Slika 7.13: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 42h



Slika 7.14: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 42h



**Slika 7.15:** Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 48h

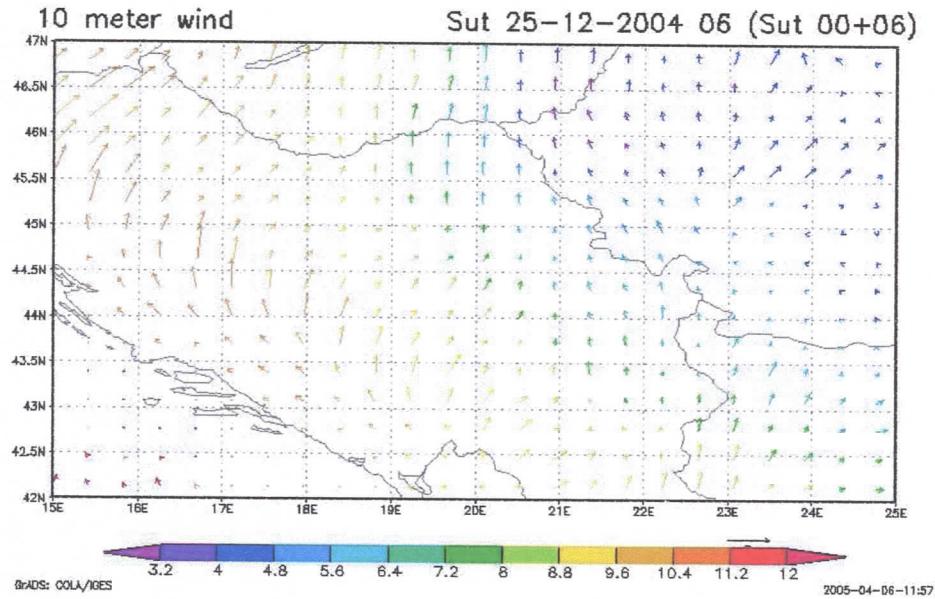


**Slika 7.16:** Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 32 nivoa u 48h

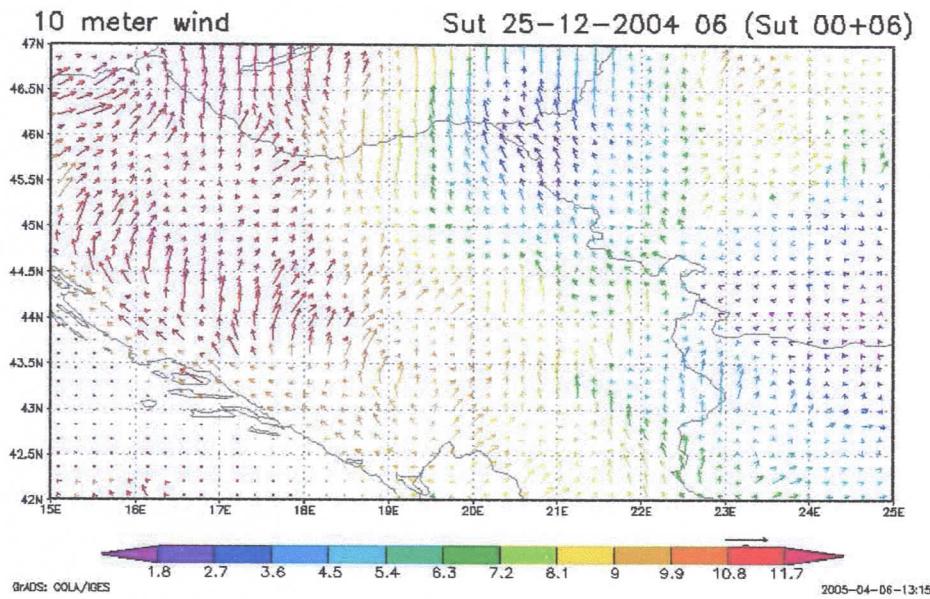
---

## Prelazak na 0.125 stepeni u horizontalnom pravcu sa 64 vertikalna novoa i poredjenje sa standardnim slučajem

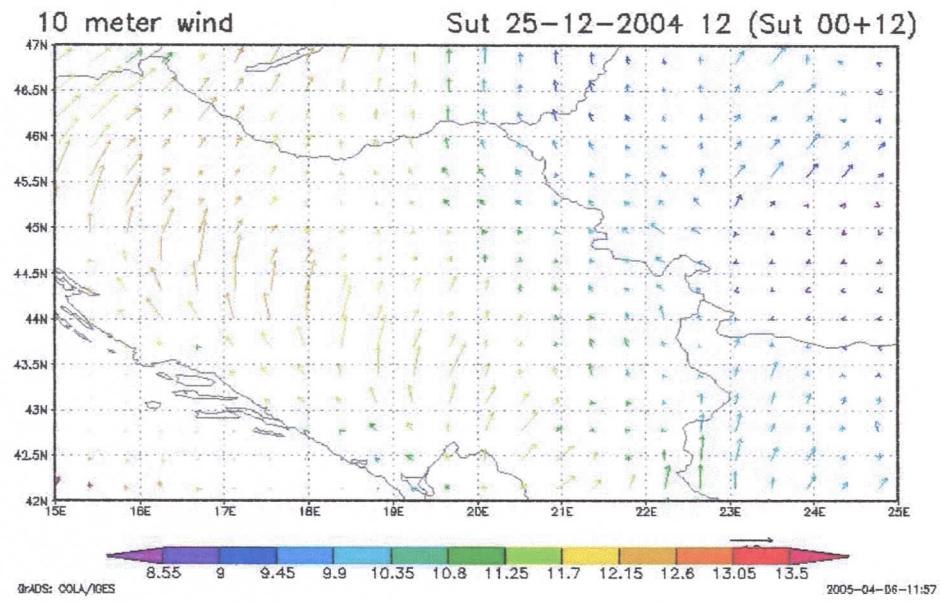
Kao što se može videti sa slika 8.3 i 8.4, već u 12h prognoze vidimo jaču košavu na karti veće horizontalne rezolucije, i to u najvećem delu Vojvodine (Banatu i Bačkoj), u okolini Ćuprije, Paraćina i Kruševca, kao i u južnoj Srbiji u odnosu na kartu sa manjom horizontalnom rezolucijom. Slična situacija je i u 18h i 24h prognoze. Na karti 8.10 se može primetiti jaka košava u okolini Vršca i u Šumadiji, kao i u već navedenim oblastima, u odnosu na kartu 8.9. U 36h dolazi do znatnog povećanja intenziteta košave. Zahvatila je i Podunavlje i veći deo centralne Srbije. Rezolucija 0.125 prikazuje mnogo jače intenzitete košave sa maximumom u 42h, i intenzitetom i preko 12 m/s. Već u 48h prognoze dolazi do blagog pada intenziteta košave, ali je i dalje uočljiva velika razlika izmedju prognoze sa udvostrućenom i horizontalnom i vertikalnom rezolucijom i standardnog slučaja.



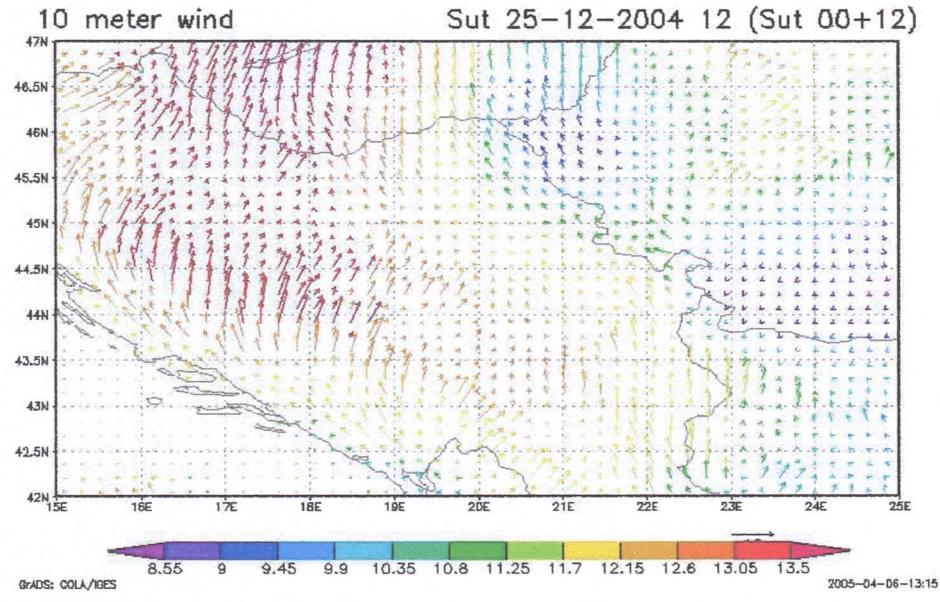
Slika 8.1: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 06h



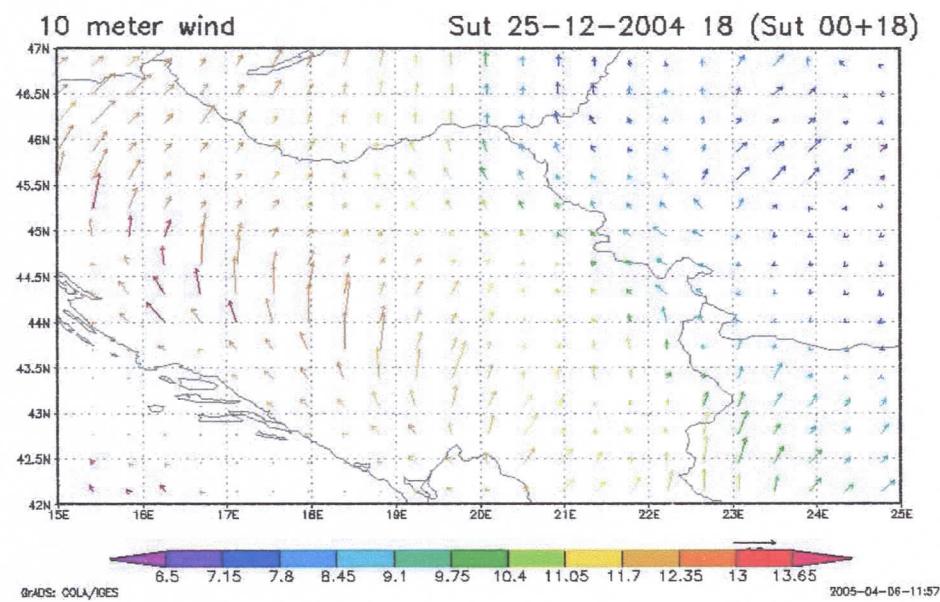
Slika 8.2: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 06h



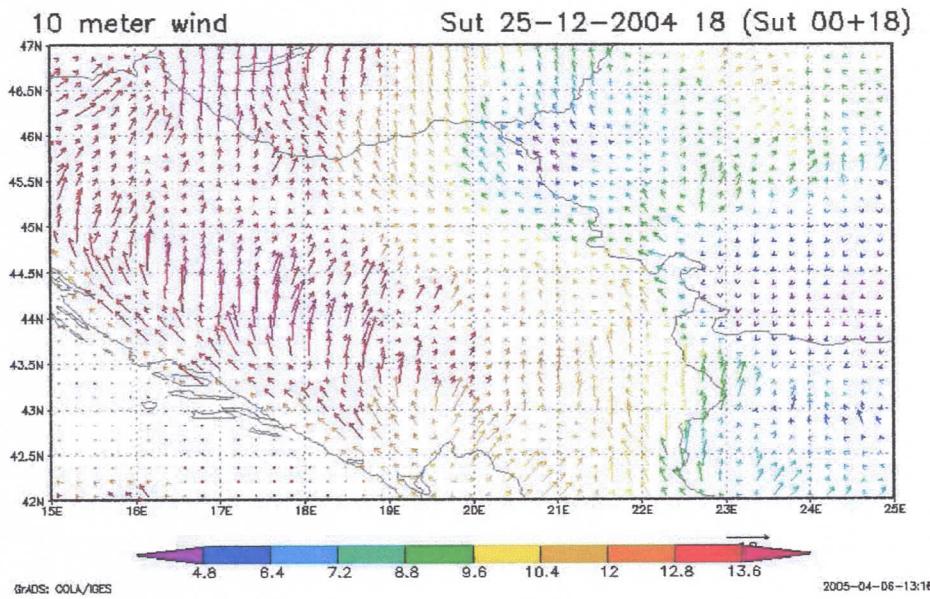
Slika 8.3: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 12h



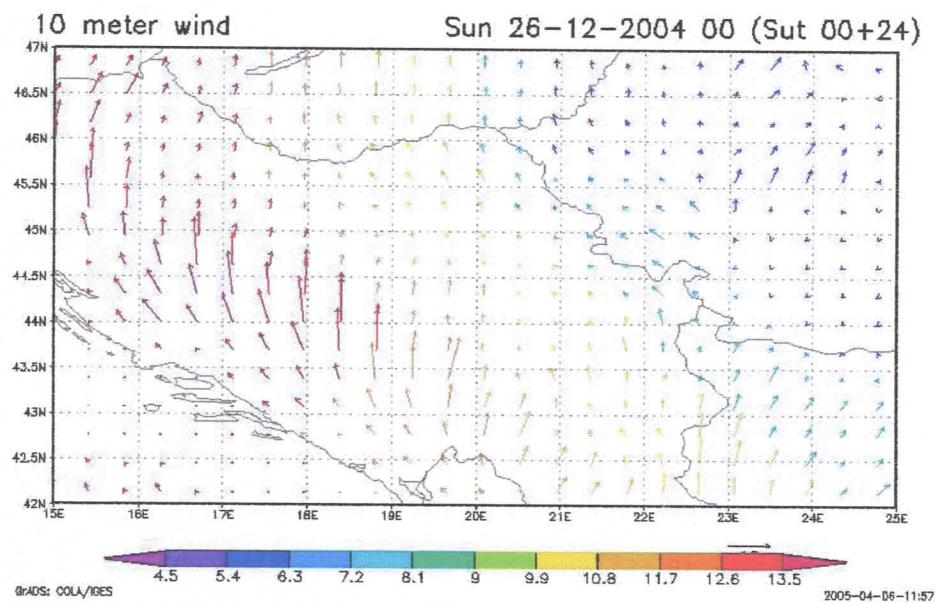
Slika 8.4: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 12h



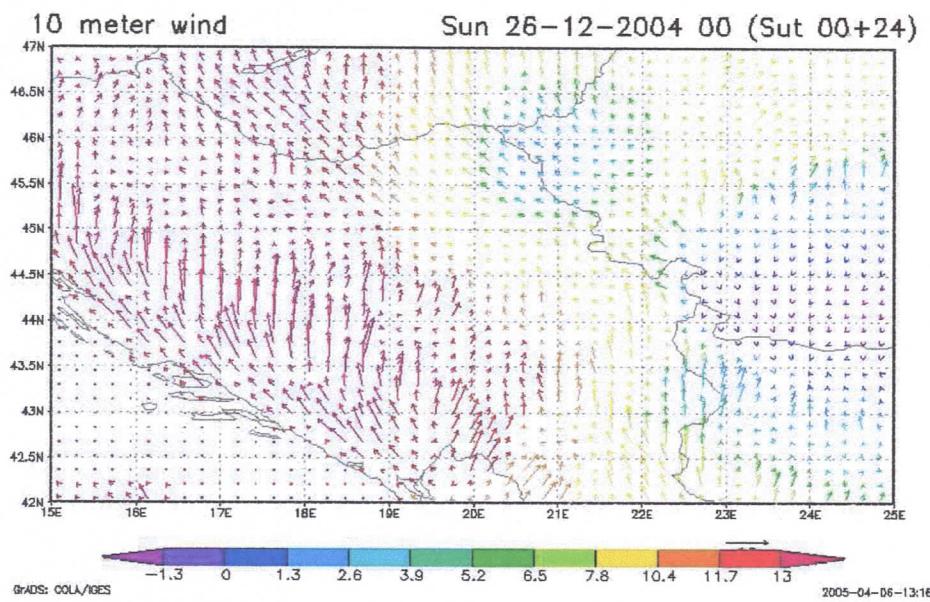
Slika 8.5: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 18h



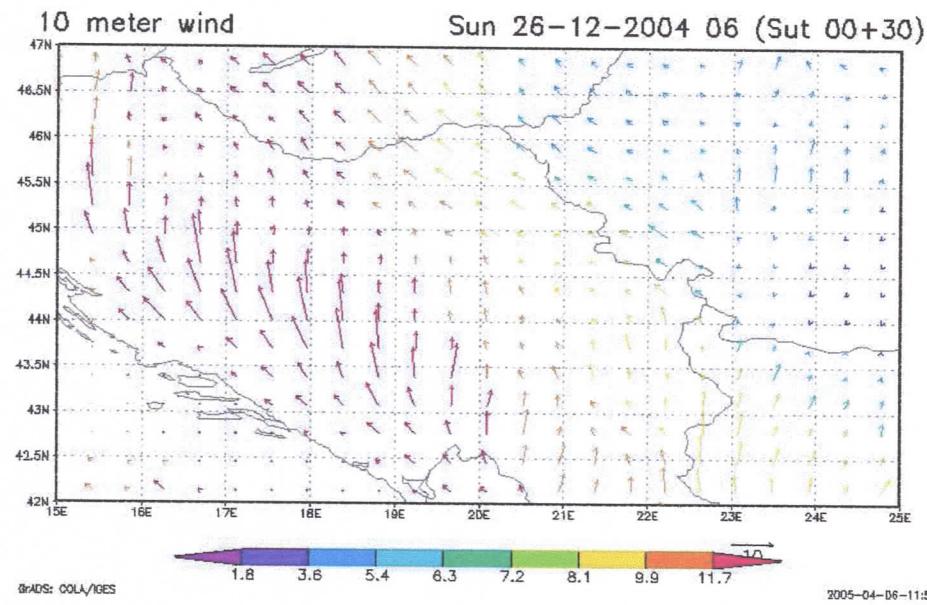
Slika 8.6: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 18h



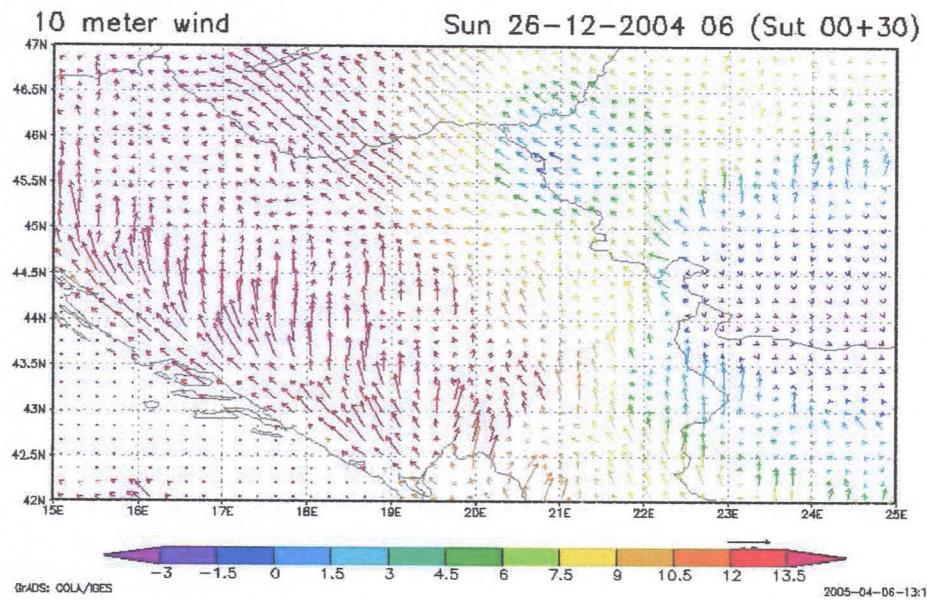
**Slika 8.7:** Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 24h



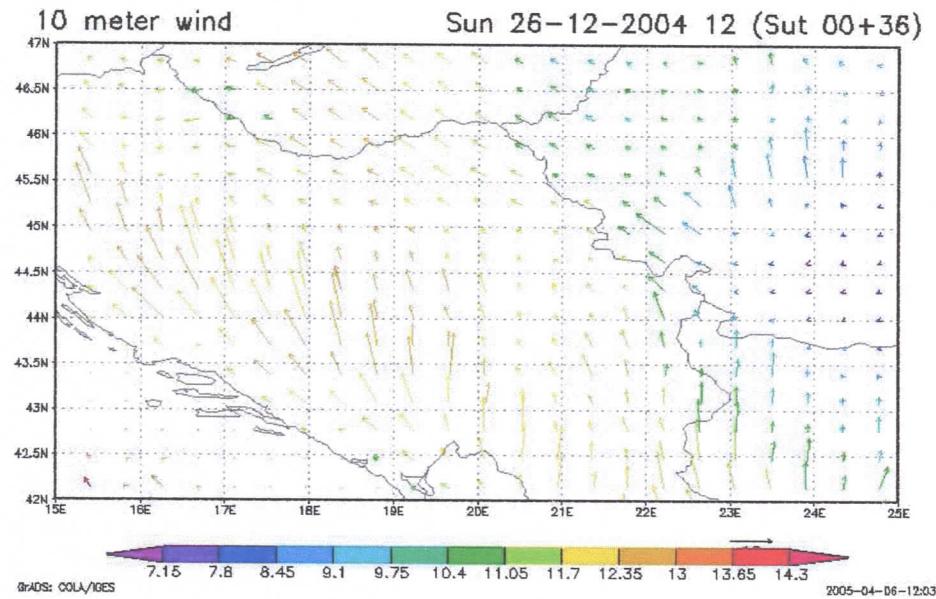
**Slika 8.8:** Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 24h



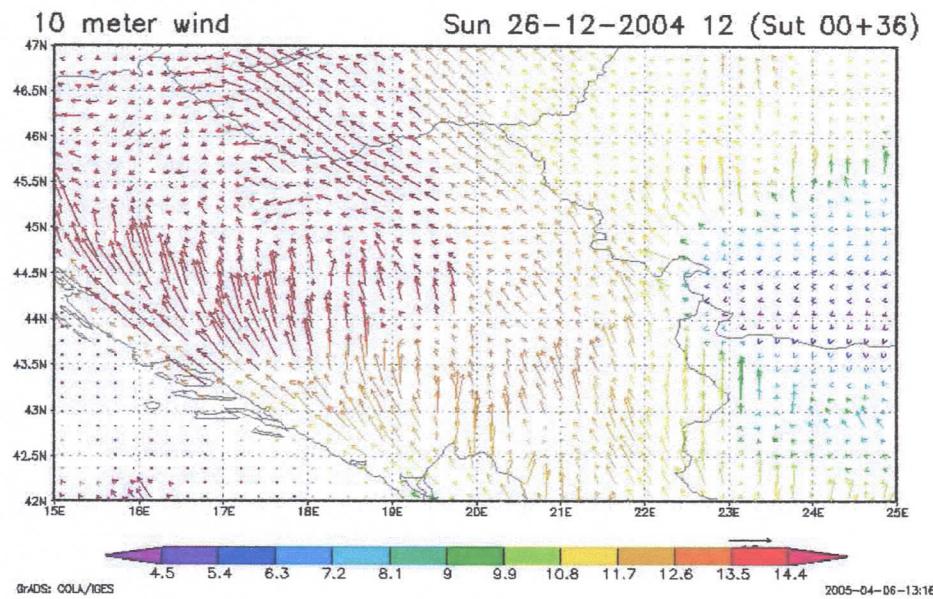
Slika 8.9: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 30h



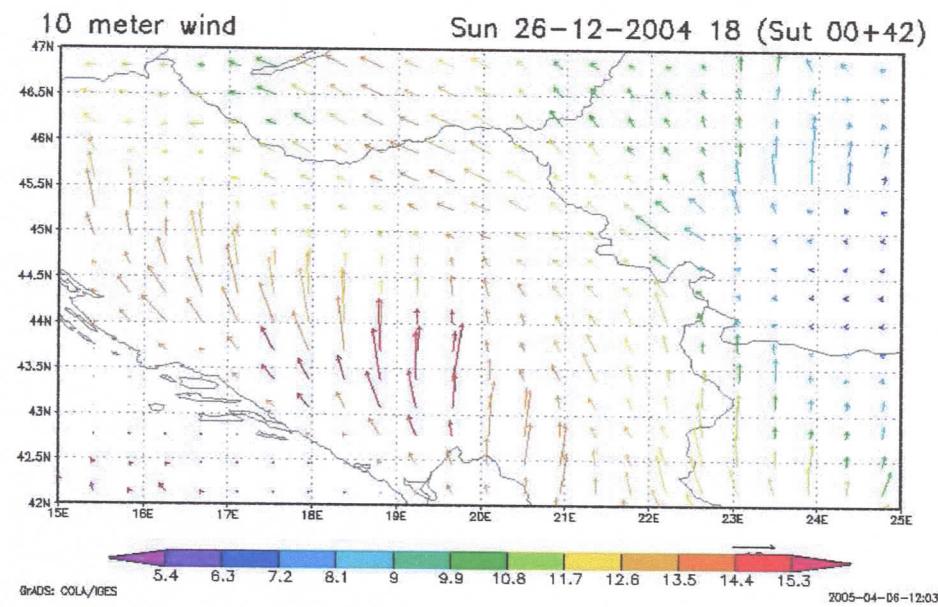
Slika 8.10: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 30h



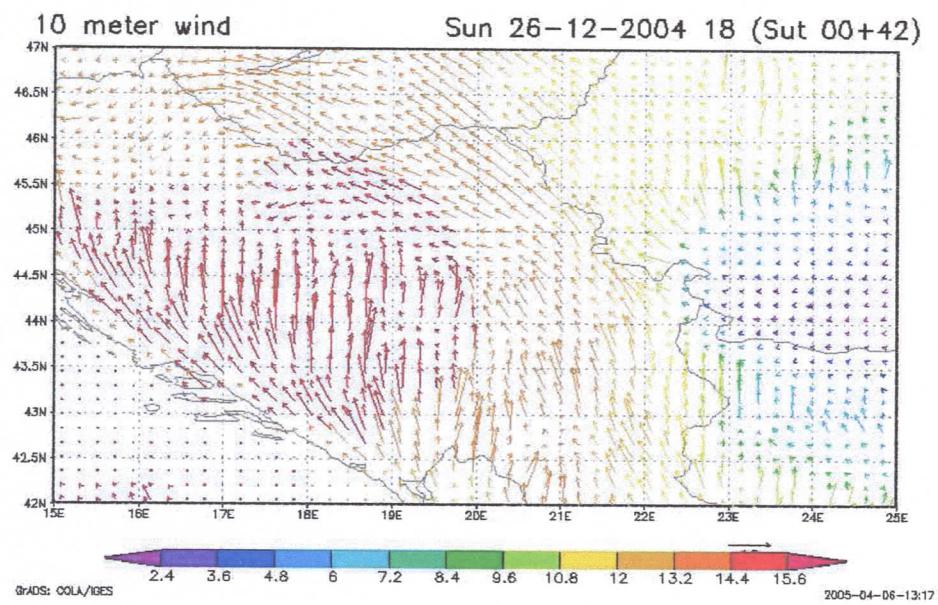
Slika 8.11: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 36h



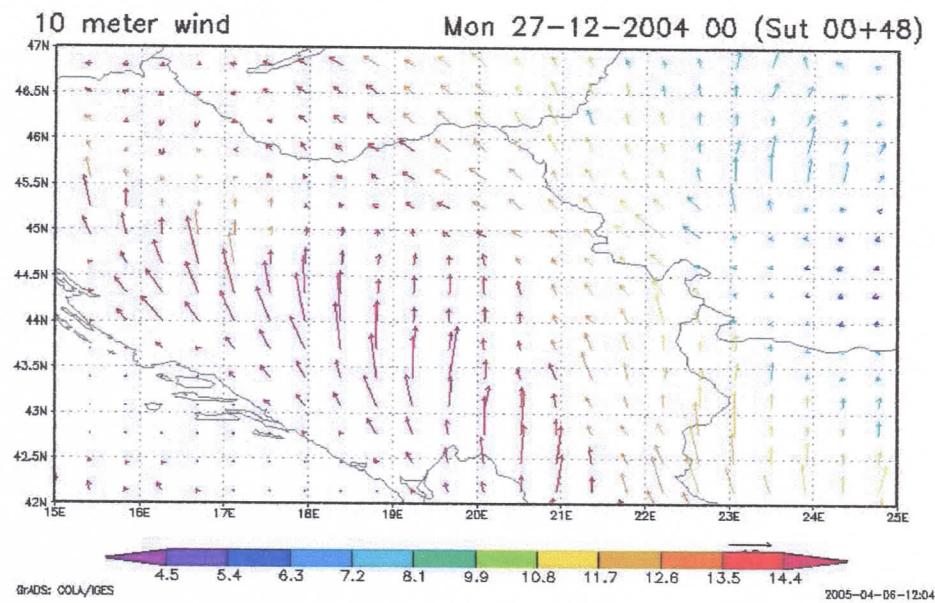
Slika 8.12: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 36h



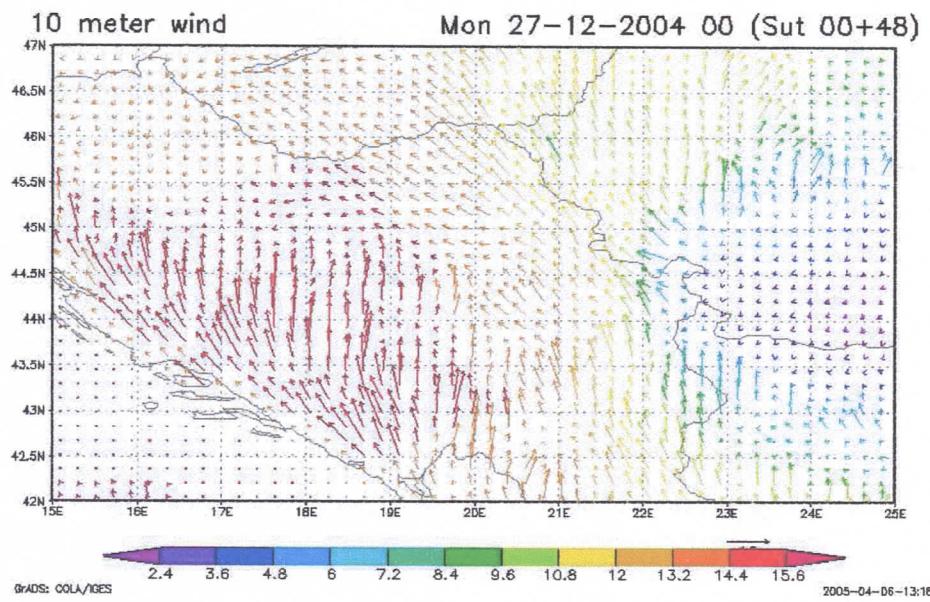
Slika 8.13: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 42h



Slika 8.14: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 42h



Slika 8.15: Prognoza za rezoluciju 0.25 stepeni i 32 nivoa u 48h

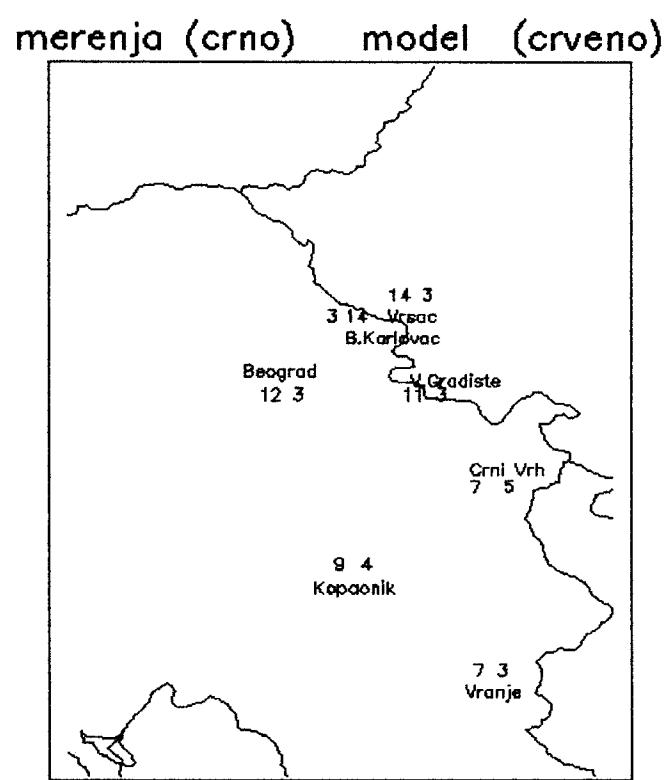


Slika 8.16: Prognoza za rezoluciju 0.125 stepeni i 64 nivoa u 48h

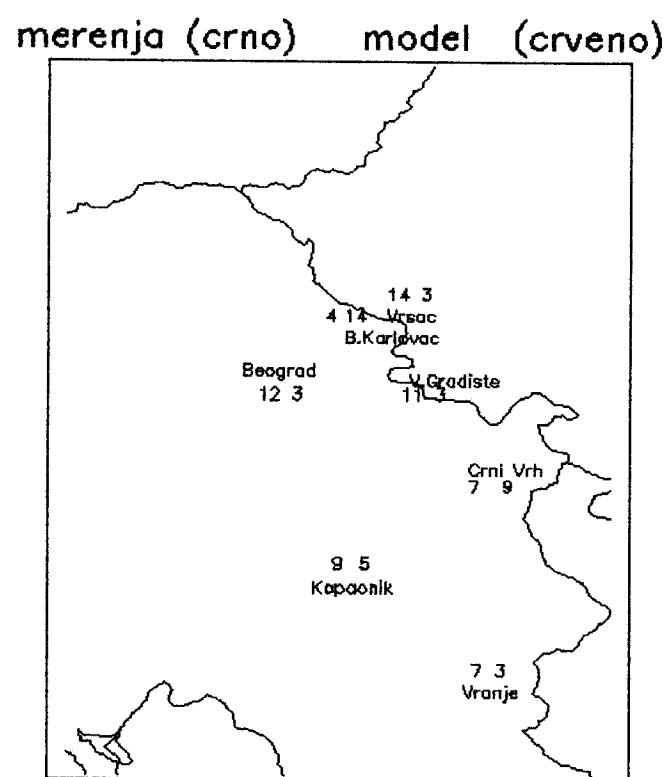
---

## Poredjenje rezultata prognoze sa merenim vrednostima

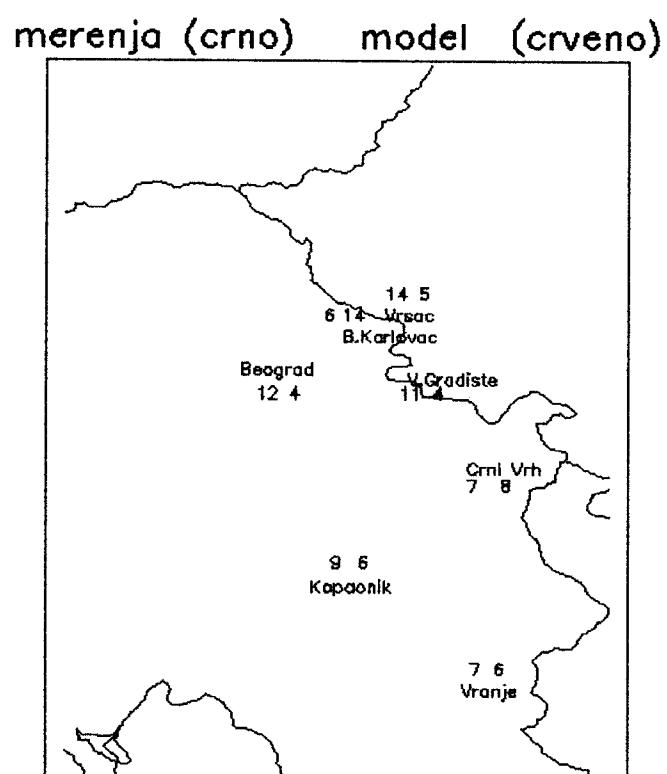
Uspešnost prognoze se najbolje može utvrditi poredjenjem dobijenih rezultata sa merenim vrednostima vetra (sinopima). Obzirom da smo utvrdili da je 42h prognoze pokazivao najjaču košavu, upravo za taj termin možemo najbolje uvideti odstupanja rezultata prognoza sa različitim rezolucijama od osmatranja. Na slici 9.1 vidimo da su rezultati prognoze sa standardnom rezolucijom mnogo manji od merenih vrednosti. Takodje i rezultati prognoze sa udvostručenom vertikalnom rezolucijom, 9.2. Nešto bolji su rezultati prognoze sa udvostručenom horizontalnom rezolucijom, slika 9.3, dok prognoza sa udvostručenom i horizontalnom i vertikalnom rezolucijom daje najpričutnije vrednosti sinopima, kao što se vidi na slici 9.4.



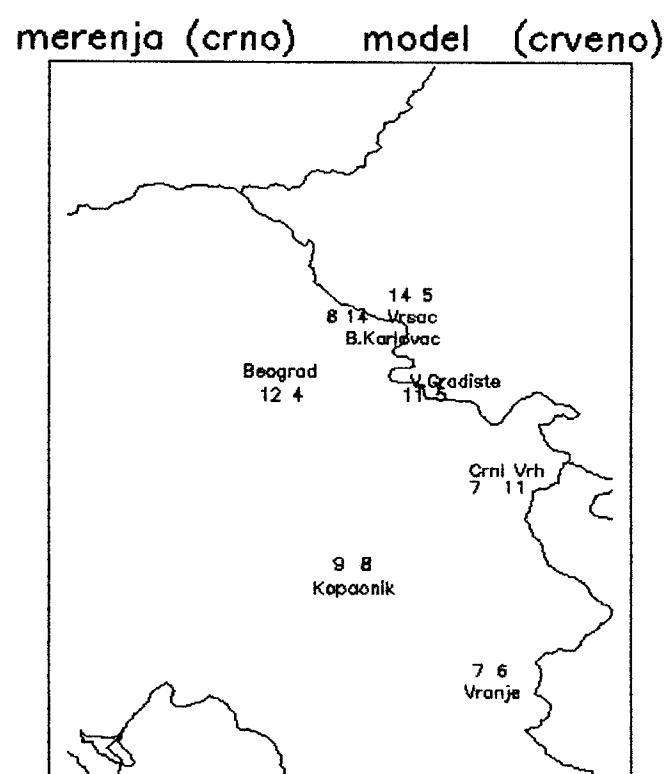
Slika 9.1: Poredjenje merenih vrednosti vetra sa rezultatima standardne prognoze



Slika 9.2: Poredjenje merenih vrednosti vetra sa rezultatima prognoze sa udvostrućenom vertikalnom rezolucijom



Slika 9.3: Poredjenje merenih vrednosti vetra sa rezultatima prognoze sa udvostručenom horizontalnom rezolucijom



**Slika 9.4:** Poredjenje merenih vrednosti veta sa rezultatima prognoze sa udvostručenom horizontalnom i vertikalnom rezolucijom

---

## Zaključak

U ovom radu je ispitivana zavisnost uspešnosti prognoze košave od horizontalne i vertikalne rezolucije prognostičkog modela. Korišćen je Eta model, regionalni model za numeričku prognozu stanja atmosfere.

Na samom početku rada dat je kratak teorijski uvod o košavi i njenim osnovnim karakteristikama.

Nakon teorijskog uvida dat je opis korišćenog prognostičkog modela, zatim objašnjenje postupka numeričke simulacije i rezultati prognoze, kao i njihovo poredjenje sa merenim vrednostima veta.

Eta model je model mreže tačaka, definisan na polurazmaku Arakavinoj E mreži, sa vertikalnom  $\eta$  (eta) koordinatom, kao generalizacijom  $\sigma$  (sigma) koordinate i stepenastom prezentacijom planina.

Kao ulazni podaci korišćene su analize američke službe na latitudinalnoj-longitudinalnoj mreži sa prostornom rezolucijom od 1 stepena i 23 standardna nivoa pritiska. Zapis je vršen na svakih 6h. Prognoze su vršene za 0.25 i 0.125 stepeni horizontalne rezolucije i 32 i 64 vertikalna nivoa.

Na osnovu uradjenih prognoza, i poredjenjem standardne rezolucije sa udvostručenim vrednostima i horizontalne i vertikalne rezolucije, uvidjamo da se promenom samo vertikalne rezolucije sa 32 na 64 nivoa ne postiže mnogo bolji rezultat. Međutim, zato udvostručavanjem horizontalne rezolucije, upravo zbog toga što se posmatra mnogo uža oblast, dobijamo mnogo bolju i lokalniju prognozu intenziteta košave. Sa povećanjem horizontalne rezolucije omogućeno je i uzimanje u obzir oblasti koje su smeštene u udolinama ili izmedju visokih klanaca, koje se pri izradi topografije manjih horizontalnih razmara zanemaruju.

S toga, uspešnost prognoze košave zavisi prvenstveno od horizontalne rezolucije korišćenog prognostičkog modela. Uticaj vertikalne rezolucije nije toliko značajan pri manjoj horizontalnoj rezoluciji, no ipak sa povećanjem horizontalne rezolucije, postaje znatno snažniji.

---

## Literatura

- Unkašević, M., Mališić, J., Tošić, I., 1999: Some aspects of the wind 'Koshava' in the lower troposphere over Belgrade, *Meteorol. Appl.* vol 6, pp. 69-80.
- Arakawa, A., and V.R. Lamb, 1977: Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, Vol. 17, Academic Press, 173-265.
- Janjic, Z.I. 1984: Non-linear advection schemes and energy cascaden on semi-staggered grids. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1234-1245.
- Lazić,L.,1999: Weather forecast(papre for students of meteorology)
- Janjic, Z.I.,1990: The Step-Mountain Coordinate: Physical Package. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1429-1443.
- Janjic, Z.I.,1990: Physical package for step-mountain, eta coordinate model. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1429-144
- Janjic, Z.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.
- Mellor, G.L., and T. Yamada, 1974: A hierarchy of Turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1791-1806
- Mesinger, F., 1984: A blocking technique for the representation of mountains in atmospheric model. *Riv. Met. Aeronautika*, **44**, 195-202.
- Mesinger, F., and W.G. Collins, 1987: Review of the representation of mountains in numerical weather prediction models. *Observation, Theory and Modelling of Orographic Effects*, Seminar 1986, Vol. 2, ECMWF, Reading, U.K., 1-28. Shinfield Park, Reading, Berkshire RG2 9AX, England.
- Vager, B.G., and S.S. Zilitinkevitch, 1968: Theoretical model of diurnal variations of meteorological fields. *Meteorology and Hydrology*, 3-18 (in Russian)



**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

**Redni broj (RBR):**

**Identifikacioni broj (IBR):**

**Tip dokumentacije (TD):** Monografska dokumentacija

**Tip zapisu (TZ):** Tekstualni štampani materijal

**Vrsta rada (VR):** Diplomski rad

**Autor (AU):** Ana Ćirišan, br.dos. 467/2000

**Mentor (MN):** Dr. Agneš Kapor, redovni profesor , PMF, Novi Sad

**Naslov rada (NR):** Zavisnost uspešnosti prognoze košave od horizontalne i vertikalne rezolucije prognostičkog ETA modela

**Jezik publikacije (JP):** Srpski (latinica)

**Jezik izvoda (JI):** Srpski

**Zemlja publikovanja (ZP):** Srbija i Crna Gora

**Uže geografsko područje (UGP):** Vojvodina

**Godina (GO):** 2005.

**Izdavač (IZ):** Autorski reprint

**Mesto i adresa (MA):** Prirodno- matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4., 21000 Novi Sad

**Fizički opis rada (FO):** (broj poglavlja/ strana/ lit.citata/ tabela/ slika/ grafika/ priloga) (11/ 52/ 11/ 0/ 64/ 0/ 0)

**Naučna oblast (NO):** Meteorologija

**Naučna disciplina (ND):** Prognoza vremena

**Predmetna odrednica / ključne reči (PO):** Košava, ETA model, horizontalna i vertikalna rezolucija

**Čuva se (ČU):** Biblioteka Departmana za fiziku, PMF, Novi Sad

**Važna napomena (VN):** nema

**Izvod (IZ):** U ovom radu je prikazana zavisnost uspešnosti prognoze košave od horizontalne i vertikalne rezolucije prognostičkog ETA modela. Utvrđeno je da uspešnost prognoze košave prvenstveno zavisi od horizontalne rezolucije prognostičkog modela. Uticaj vertikalne rezolucije nije toliko bitan u slučaju manjih horizontalnih rezolucija, ali sa povećanjem horizontalne rezolucije dobija na značaju.

**Datum prihvatanja teme od strane Veća (DP):**

**Datum odbrane (DO):** 26. 04. 2005.

**Članovi komisije (KO):** Predsednik:

Dr Radomir Kobilarov, redovni profesor, PMF, Novi Sad

Članovi:

Dr Borivoje Rajković, redovni profesor,

Fizički fakultet, Beograd

Dr Agneš Kapor, redovni profesor, PMF, Novi Sad



*Ana Ćirišan rođena je 18. avgusta 1981. godine u Novom Sadu. Osnovnu školu „Prva vojvodanska brigada“ i gimnaziju „Jovan Jovanović Zmaj“ završila je u Novom Sadu, a školske 2000/01 upisala je Prirodno – matematički fakultet, odsek fizike, smer dipl. meteorolog.*

*Horskim pevanjem bavila se u Gimnaziji i u KUD-u „Sonja Marinković“, a sada se bavi slikanjem pri likovnoj radionici Otvorenog univerziteta u Novom Sadu.*