

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
POSLIJEDIPLOMSKI STUDIJ PRIRODNIH ZNANOSTI**

Stjepan Ivatek - Šahdan

**DINAMIČKA ADAPTACIJA MEZOSKALNIM
METEOROLOŠKIM NUMERIČKIM MODELOM ALADIN**

Magistarski rad

Zagreb, 2007.

**Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Poslijediplomski studij prirodnih znanosti**

Stjepan Ivatek-Šahdan

**Dinamička adaptacija mezoskalnim
meteorološkim numeričkim modelom ALADIN**

Magistarski rad

Zagreb, 2007.

Ovaj je rad predan Znanstvenom-nastavnom vijeću Poslijediplomskog studija prirodnih znanosti Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja znanstvenog stupnja magistra prirodnih znanosti iz područja fizike, grana Geofizika-Fizika atmosfere i mora.

Ovaj rad izrađen je na Državnom hidrometeorološkom zavodu pod vodstvom prof. dr. sc. Branka Grisogona sa Geofizičkog zavoda "Andrija Mohorovičić" Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Branku Grisogonu na pomoći pri izradi rada, dr. sc. Branki Ivančan-Picek i mr. sc. Martini Tudor na komentarima i prijedlozima za neku od verzija u izradi rada. Također se zahvaljujem dr. sc. Branki Ivančan-Picek za ukazanu priliku za sudjelovanje na projektu Oluje i prirodne katastrofe u Hrvatskoj u sklopu kojega je ovaj rad i napravljen. Na tehničkoj podršci se posebno zahvaljujem brojnim Aladincima u Hrvatskoj, Češkoj, Sloveniji, Slovačkoj i Francuskoj.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zašto dinamička adaptacija?	1
1.2. O meteorološkom numeričkom modelu ALADIN	2
1.3. Specifičnost modela ALADIN u odnosu na ARPEGE	2
1.4. Što je sve potrebno za rad modela?	3
1.5. Kako radi model ALADIN	4
1.6. Kako radi dinamička adaptacija numeričkim modelom ALADIN	5
2. UTJECAJ POJEDNOSTAVLJENJA U DINAMIČKOJ ADAPTACIJI	8
2.1. Utjecaj smanjenja broja nivoa	8
2.2. Optimalan broj koraka integracije u dinamičkoj adaptaciji	12
2.3. Korištenje DF1a prije integracije dinamičke adaptacije	23
2.4. Utjecaj izostavljenih fizičkih procesa	27
2.5. Usporedba dinamičke adaptacije i klasične prognoze od početnog polja	29
3. USPOREDBA REZULTATA MODELA S MJERENJIMA	36
3.1. MAP-IOP 15	36
3.2. Veljača 2003.	38
3.3. Prosinac 2003.	40
4. ZAKLJUČAK	43
5. LITERATURA	44
6. SAŽETAK	46
7. SUMMARY	47
8. ŽIVOTOPIS	48
9. POPIS RADOVA	49

Popis kratica korištenih u radu:

Météo-France - Francuska meteorološka služba

ALADIN - mezoskalni numerički prognostički model razvijen u suradnji europskih meteoroloških službi pod vodstvom *Météo-France*-a (fran. *Aire Limitee Adaptation Dynamique developement InterNational*)

ARPEGE - globalni numerički prognostički model *Météo-France*-a (fran. *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle*)

ECMWF - Europski centar za srednjoročne prognoze vremena (eng. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*)

IFS - globalni numerički prognostički model ECMWF-a (eng. *Integrated Forecast System*)

FFT - Brza Fourierova transformacija (eng. *Fast-Fourier Transforms*)

DFI - inicijalizacija digitalnim filterom (eng. *Digital Filter Initialization*)

MAP-IOP - Mezoskalni alpski program-razdoblje intenzivnih mjerenja (eng. *Mesoscale Alpine Programme-Intensive Observing Period*)

4D-Var - 4 dimenzionalna varijacijska asimilacija podataka (eng. *Four-Dimensional Variational Data Assimilation*)

3D-FGAT - 3 i pol dimenzionalna varijacijska asimilacija podataka (eng. *FGAT-First Guess at Appropriated Time*)

3D-Var - 3 dimenzionalna varijacijska asimilacija podataka (eng. *Three-Dimensional Variational Data Assimilation*)

1. UVOD

Cilj rada je pokazati utjecaj dinamičke adaptacije mezoskalnim numeričkim modelom ALADIN na polje strujanja u nižoj troposferi u nekoliko slučajeva sa opasnim vremenskim prilikama u Republici Hrvatskoj. Dinamička adaptacija se u Državnom hidrometeorološkom zavodu od 2000. godine koristi svakodnevno kao jedan od produkata pri izradi prognoze vremena, a osobito je korisna pri najavi opasnih olujnih vjetrova. Metodu dinamičke adaptacije osmislili su i primijenili Žagar i Rakovec (1999) na primjeru strujanja u Ljubljanskoj kotlini. Pretpostavke metode su slijedeće: a) polje strujanja je stacionarno; b) vlažni i konvektivni procesi te lokalna termalna cirkulacija ne doprinose značajno strujanju. Te pretpostavke možemo smatrati valjanima za jako silazno strujanje koje ćemo proučavati u ovom radu. Polje vjetra prilagođava se orografiji na finijoj horizontalnoj razlučivosti sve dok se ne postigne približno stacionarno stanje uz korištenje dijela paketa fizikalnih parametrizacija (koristi se samo turbulencija). Model se pri korištenju metode dinamičke adaptacije ne integrira za cijelo razdoblje, nego samo toliko dugo da se strujanje prilagodi novoj orografiji i postane približno stacionarno. Pri tom je i smanjen broj vertikalnih nivoa iznad visine 1000 m u višoj troposferi i stratosferi.

Rad se sastoji od uvoda, gdje se prvo navodi razlog za upotrebu metode dinamičke adaptacije polja strujanja u nižoj troposferi. Potom slijede osnove mezoskalnog numeričkog modela korištenog u radu, te opis metode u primjeni. U drugom poglavlju pokazan je utjecaj pojednostavljenja korištenih u metodi dinamičke adaptacije te usporedba s mjerenjima brzine vjetra na 10 m. U trećem poglavlju uspoređeni su rezultati operativne dinamičke adaptacije s mjerenjima na 10 m visine i avionskim mjerenjima. Na kraju rada navedeni su glavni rezultati i zaključak.

1.1. Zašto dinamička adaptacija?

Poznato je da se povećanjem horizontalne razlučivosti u numeričkim meteorološkim modelima ukazuje potreba za detaljnijim opisom orografije koja sve više sliči pravoj konfiguraciji terena. To nam daje mogućnost boljeg uvida u utjecaj orografije na lokalno strujanje. Na morskoj strani u priobalnom dijelu Hrvatske planine su vrlo strme, te je time orografija u modelu horizontalne razlučivosti oko 10 km slabo opisana. Vrhovi planina nisu toliko izraženi kao u prirodi i prostorna promjenjivost orografije nije dobro opisana. S povećanjem horizontalne razlučivosti u modelu, radi numeričke stabilnosti, potrebno je koristiti manji vremenski korak. Kod značajnih povećanja horizontalne razlučivosti potrebno je povećati broj vertikalnih nivoa, posebno u blizini tla. Iz svega navedenog slijedi da je za značajno povećanje horizontalne razlučivosti, bez korištenja poboljšanje fizike modela, potrebno znatno povećati računalne resurse. Metoda dinamičke adaptacije polja vjetra koristi se da bi se dobilo prognozirano polje vjetra približno iste kvalitete kao da smo koristili cijeli model, ali uz značajno manje računalne zahtjeve.

1.2. O meteorološkom numeričkom modelu ALADIN

ALADIN (fran. *Aire Limitee Adaptation Dynamique developement InterNational*) je meteorološki numerički model za ograničeno područje i zasniva se na globalnim modelima ARPEGE i IFS (ARPEGE – fran. *Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle*, Courtier i sur., 1991, IFS – eng. *Integrated Forecast System*). U ALADIN-u se koriste ista vertikalna razlučivost i spektralna reprezentacija visinskih polja kao i u modelima IFS i ARPEGE. ARPEGE i ALADIN koriste sličnu dinamiku i fiziku u modelu. Dinamika modela predstavlja procese u modelu koji su direktno opisani prognostičkim jednadžbama, u slučaju ALADIN-a to su jednadžbe gibanja, prognostička jednadžba za temperaturu te advekcija vlage. Fizika modela su svi ostali procesi u modelu koje nije moguće direktno opisati dinamikom modela, npr. zračenje, turbulencija, konvekcija, vlažni procesi u atmosferi i svi ostali procesi koji nisu dovoljno prostorno veliki da bi mogli biti opisani ili razlučeni na horizontalnoj ili vertikalnoj razlučivosti modela. Za razliku od modela ARPEGE u ALADIN-u se koristi dvostruka Fourierova reprezentacija i to uz eliptičko odsijecanje Fourierovih koeficijenata pri spektralnoj reprezentaciji polja u modelu (Machenhauer i Haugen, 1987). Verzija modela koja se koristi u ovom radu na horizontalnoj razlučivosti 8 km ima 37 hibridnih vertikalnih nivoa η koordinate (Simmons i Burridge, 1981), čija se gustoća smanjuje od tla prema vrhu atmosfere u modelu. Za računanje po visini koristi se metoda konačnih razlika.

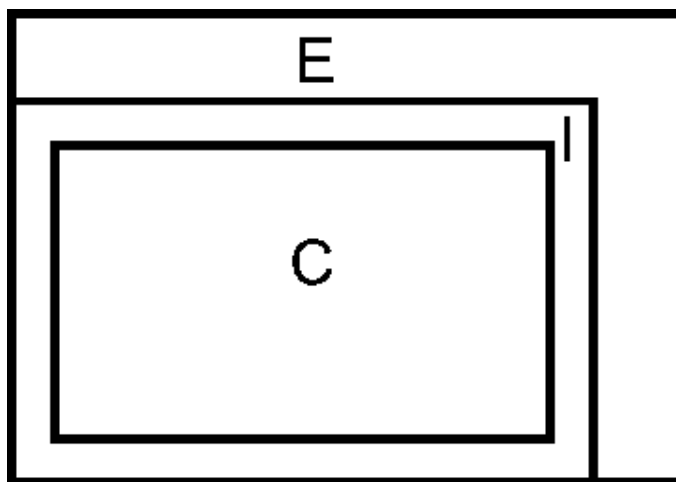
Osnova modela su prognostičke primitivne jednadžbe koje se rješavaju za komponente horizontalnog vjeta, temperature, specifične vlage i prizemnog tlaka koristeći semi-implicitnu semi-lagrangijansku shemu integracije i dva vremenska trenutka (eng. *Two-time-level Semi-Implicit Semi-Lagrangian Scheme*, Bates i McDonald, 1982, McDonald, 1986).

Paket fizikalnih parametrizacija uključuje parametrizaciju vertikalne difuzije (Louis i sur., 1982), te parametrizaciju plitke konvekcije (Geleyn, 1987). Stratiformni i konvektivni procesi se razmatraju pojedinačno s Kesler-ovom vrstom parametrizacije oborine velike skale tzv. "razlučenom oborinom" (Kessler, 1969) i modificiranom Kuo-ovom parametrizacijom duboke konvekcije (Geleyn i sur., 1982). Zračenje je opisano prema Geleyn i Hollingsworth (1979) te Ritter i Geleyn (1992). Vertikalni transport vlage i topline u tlu, koje u modelu ima dva sloja, parametriziran je prema Giard i Bazile (2000).

1.3. Specifičnost modela ALADIN u odnosu na ARPEGE

U odnosu na globalni model ARPEGE, u ALADIN-u se koristi dvostruki Fourierov prikaz spektralnih polja. Razlog za to je što je u spektralnom prostoru računanje derivacija precizno. No, pri tom postoje dodatne komplikacije. Polja moraju biti bi-periodička te u svakom vremenskom koraku moramo prelaziti iz fizikalnog u spektralni prostor, tj. treba računati FFT (eng. *Fast-Fourier Transforms*) i inverznu FFT. U spektralnim globalnim modelima u smjeru zapad-istok također se koristi FFT, a u smjeru jug-sjever Legendreovi polinomi. U globalnim modelima, za razliku od ALADIN-ovih, polja su sama po sebi periodička. Kako je ALADIN prognostički, a ne dijagnostički numerički model, za ograničeno područje potrebni su mu uz

početne i rubni uvjeti. Neovisno o tome jesu li rubni uvjeti konstantni ili se mijenjaju tijekom integracije, mora postojati neko rubno područje gdje će se koristiti podaci nekog drugog modela. U ALADIN-u razlikujemo 3 područja ovisno o vrsti varijabli koje koristimo (slika 1): centralno područje C (eng. *Central*), područje miješanja I (eng. *Intermediate*) i područje matematičkog proširenja E (eng. *Extension*). Centralno područje C je područje meteorološkog interesa i u njemu se prognoza računa u potpunosti na većoj horizontalnoj razlučivosti. U području miješanja I, kombiniraju se prognoze na većoj i manjoj horizontalnoj razlučivosti. Na unutarnjem rubu u području miješanja prognoza je rezultat u potpunosti na većoj, dok je na vanjskom rubu područja miješanja ona rezultat izračuna na manjoj horizontalnoj razlučivosti. U tom području prenose se informacije iz modela s manjom u model s većom horizontalnom razlučivosti. Zato što je model za ograničeno područje spektralan, mora postojati matematičko područje proširenja (E) tako da polja budu periodička u x i y smjeru, koje nam omogućuje korištenje Fourierove transformacije.



Slika 1. Podjela područja u ALADIN domeni.

U modelu ALADIN osiguran je kontinuirani prijelaz s rješenja na manjoj na rješenje na većoj horizontalnoj razlučivosti u zoni miješanja I, koji je razvio Radnoti (1995) koristeći relaksacijsku tehniku (Davies, 1976).

1.4. Što je sve potrebno za rad modela?

Za rad prognostičkog modela potrebni su početni i rubni uvjeti. Početni uvjeti mogu biti analize ili prognoze modela ili pak mjerenja (npr. sondaže, satelitska i prizemna mjerenja). Rubni uvjeti mogu biti konstantni ili se mijenjati (npr. prognoze modela koje obuhvaćaju veće područje). U modelu ALADIN postoji nekoliko mogućnosti za izradu analize. Jedna od mogućnosti je koristiti interpoliranu analizu iz globalnog modela za visinska polja dobivenu 4D-Var - 4 dimenzionalnom varijacijskom asimilacijom podataka (eng. *Four-Dimensional Variational Data Assimilation*) ili jednu od postojećih ALADIN analiza: 3D-FGAT - 3 i pol dimenzionalna varijacijska asimilacija (eng. *First Guess at Appropriated Time*); 3D-Var - 3 dimenzionalna varijacijska asimilacija podataka (npr. Daley, 1999; Kalnay, 2003; Rabier,

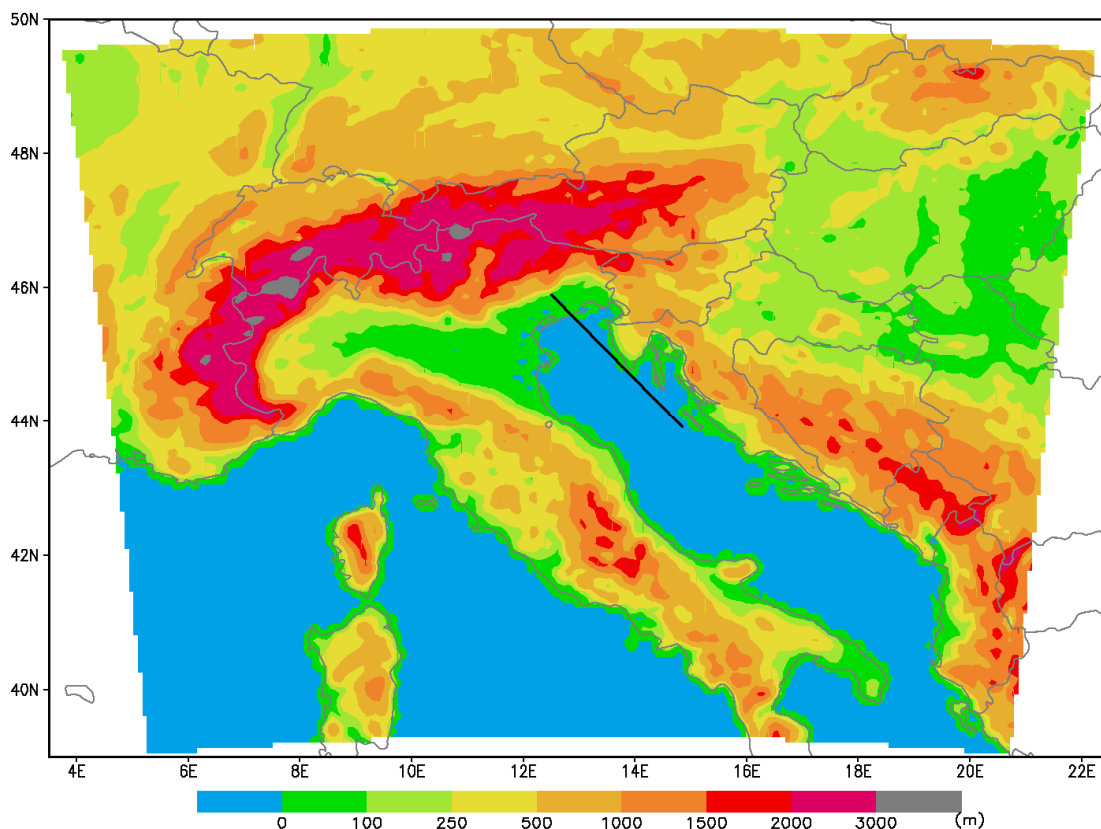
2005; Fischer i sur., 2006); ili tzv. "analiza bez analize", odnosno kombinacija stare prognoze na većoj te prognoze i analize na manjoj horizontalnoj razlučivosti (eng. *Blending*, Brožková i sur., 2001). Rubni uvjeti mogu biti prognoze modela ARPEGE ili ALADIN. Analiza prizemnih polja radi se metodom optimalne interpolacije (npr. Daley, 1999, Kalnay, 2003) ili se koristi interpolirana analiza globalnog modela.

Za pokretanje modela ALADIN neophodne su 3 datoteke: datoteka s početnim poljem (inicijalno polje) i dvije datoteke s rubnim uvjetima (za početak i kraj integracije). Izračun prognoze započinje s interpolacijom ulaznih podataka na odabranu horizontalnu razlučivost uz filtriranje šuma koji je nastao promjenom horizontalne razlučivosti (osobito poželjno kod značajne promjene), te integracijom modela odabranim vremenskim korakom. U svakom vremenskom koraku koristi se dinamika modela, tj. rješavaju se prognostičke primitivne jednadžbe i odabrani dijelovi fizikalnog paketa. Dobivena fizikalna tendencija interpolira se u polaznu točku semi-lagranžijanske putanje. Vrlina ALADIN-a je njegova modularnost, tj. gotovo svaki dio fizike modela moguće je uključiti/isključiti, uvesti drugačiju parametrizaciju nekog procesa, ili promijeniti koeficijente u parametrizacijama. To se postiže pomoću kontrolne datoteke (tzv. eng. *namelist*). Kontrolna datoteka zadužena je za sve glavne procese u izračunu modela, od asimilacije i prognoze globalnog modela ARPEGE do promjene horizontalne razlučivosti, pripreme ulaznih datoteka, te prognoze i dinamičke adaptacije modelom ALADIN.

1.5. Kako radi model ALADIN

U ovom radu početni i rubni uvjeti dobiveni su iz analize i prognoze globalnog prognostičkog modela ARPEGE koji se koristi u *Météo-France*-u. Ta polja prvo su interpolirana na LACE domenu horizontalne razlučivosti 12.2 km, koja pokriva veći dio Europe (vidi u Tudor i Ivatek-Šahdan, 2002). Na LACE domeni koristi se inicijalizacija analize digitalnim filterom (eng. *Digital Filter Initialization-DFI* (Lynch i Huang, 1994)). Nakon toga vrši se proračun modela za sljedećih 48 sati. LACE prognozu zatim koristimo za početne i rubne uvjete za domenu od 8 km, tzv. hrvatsku domenu. Time se prognostička polja s 12.2 km dinamički adaptiraju na 8 kilometarsku domenu koristeći cijeli paket fizikalnih parametrizacija. Na slici 2 je prikazana hrvatska domena izračuna modela ALADIN te orografija u modelu horizontalne razlučivosti 8 km. Potom se pristupa dinamičkoj adaptaciji na 2 km čiji postupak će biti opisan u sljedećem poglavlju 1.6.

Model je integriran na η nivoima (Simmons i Burridge, 1981) i prije nego li se polja prognoze prikažu uobičajeno je da ih se interpolira po visini na standardne nivoe. Ti nivoi su za prizemna mjerenja površina tla te 2 i 10 m nad tlom, zatim nivoi s konstantnim tlakom ili na neke druge zadane nivoe (npr. nivoe gdje postoje mjerenja ili one bitne za zrakoplovstvo odnosno druge posebne korisnike). Fizikalni paket u modelu ALADIN sadrži sljedeće parametrizacije: za vertikalnu difuziju, za plitku konvekciju, za oborinu iz slojevite naoblake (Kesslerov tip parametrizacije), za konvektivne procese (Kuo shema za duboku konvekciju), te za zračenje (Geleyn i Hollingsworth, 1979, Ritter i Geleyn, 1992) i izmjenu vlage i topline s tlom (Giard i Bazile, 2000).



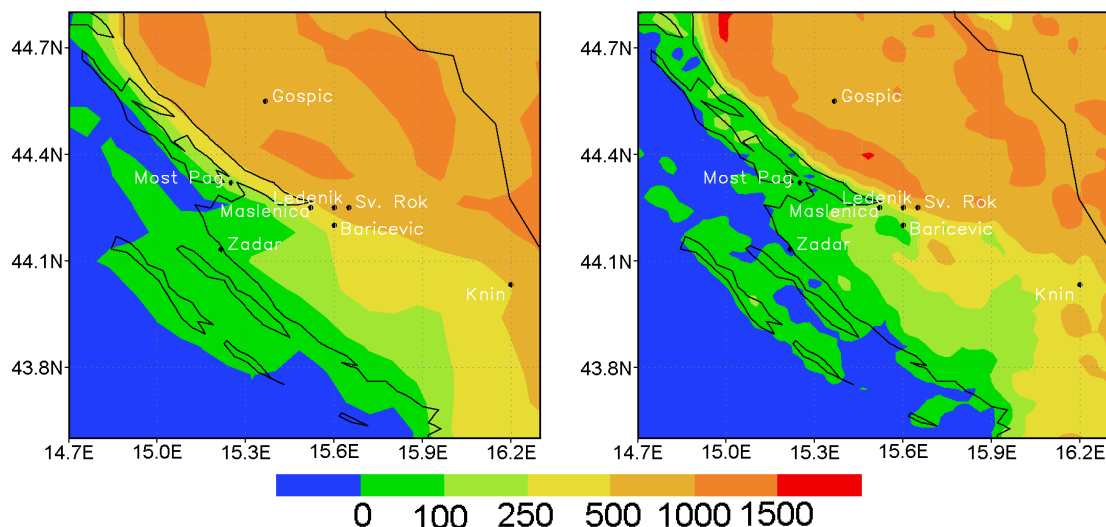
Slika 2. Domena modela ALADIN horizontalne razlučivosti 8 km i orografija u modelu. Crna linija označava putanju aviona ELECTRA za vrijeme MAP-IOP15 (poglavlje 3).

1.6. Kako radi dinamička adaptacija numeričkim modelom ALADIN

Dinamička adaptacija izvodi se za svaki odabrani termin posebno, tj. za svaku datoteku koja sadrži meteorološka polja analize ili prognoze. Procedura koja je korištena u ovom radu kao ulaz koristi izlazna polja iz prognoze horizontalne razlučivosti 8 km (slika 2). Ulazna polja se prvo interpoliraju na domenu s 2 km horizontalnom razlučivosti. Time polja više nisu u ravnoteži, jer orografija na toj razlučivosti sadrži znatno više detalja. Razlog tome je što se polja interpoliraju u ovisnosti o orografiji u modelu, vrsti tla, itd.

Na slici 3 prikazana je orografija s razlučivanjem u horizontali 8 km (lijevo) i 2 km (desno) za područje koje obuhvaća južni dio Velebita i šire zadarsko područje. Poboljšanom orografijom na razlučivosti 2 km izdižu se novi vrhovi i nastaju doline koje se ne razaznaju na orografiji modela uz razlučivost 8 km. Rezultat toga je značajno mijenjanje polja strujanja na nekim područjima. Pri tom je radi numeričke stabilnosti modela potrebno smanjiti vremenski korak, a poželjno je i povećati vertikalnu razlučivost u modelu (Smolarkiewicz i Pudykiewicz, 1992). Tako na primjer, za povećanje horizontalne razlučivosti s 8 na 2 km dobijemo po 4 puta više točaka u x i y smjeru, a potrebno je i smanjiti vremenski korak radi numeričke stabilnosti modela približno 4 puta. Osim smanjivanja vremenskog koraka, potrebno je povećanje broja nivoa uz tlo i u blizini diskontinuiteta u atmosferi. Ako pri tom povećamo

broj nivoa za 25 %, vrijeme potrebno za prognozu je 80 puta duže uz istu dinamiku i fiziku modela.

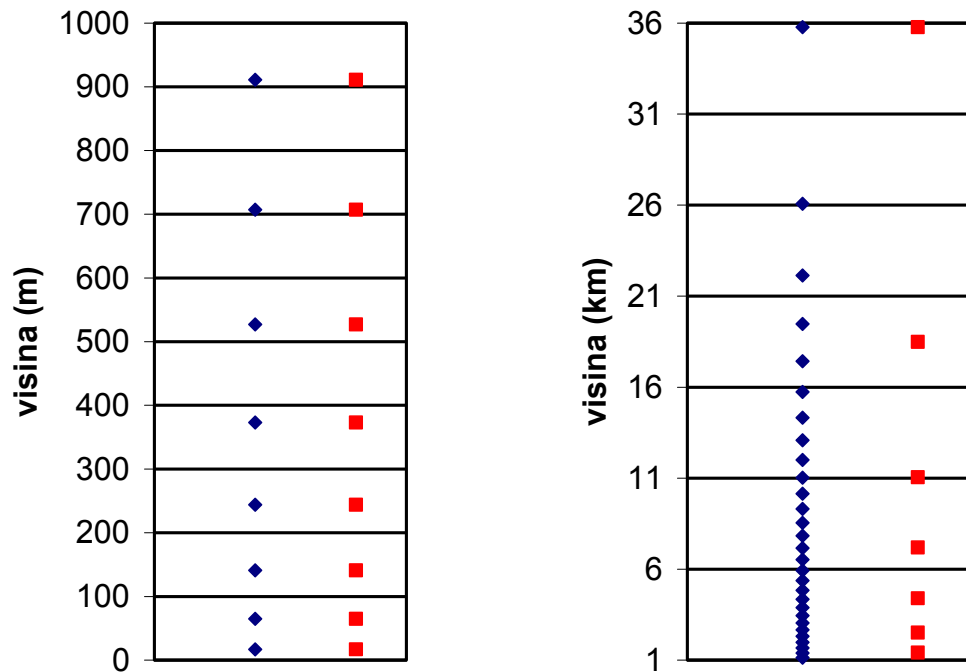


Slika 3. Prikaz orografije u 8 km (lijevo) i 2 km (desno) razlučivosti za domenu MASL i položaj postaja na kojima su uspoređivani rezultati modela sa mjerenjima.

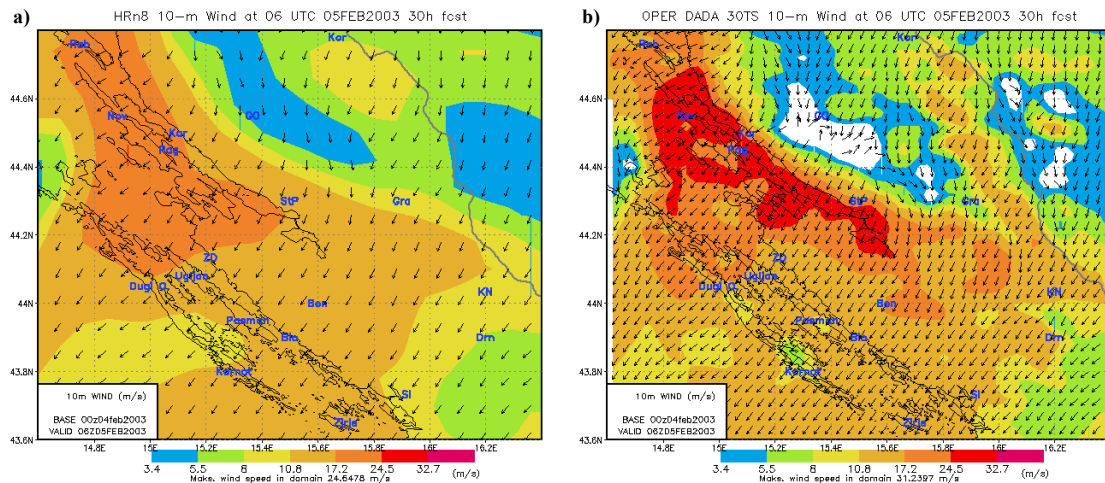
Polja u modelu prilagođavaju se orografiji u modelu na visokoj horizontalnoj razlučivosti integracijom numeričkog modela od početnog stanja za odabrani termin, koje je uvođenjem bolje orografije poremećeno. Prilagođavanje se vrši do odabranog trenutka kada se postigne ravnotežno stanje meteoroloških polja na finijoj horizontalnoj razlučivosti. U operativnoj primjeni pretpostavlja se da se to kvazistacionarno ravnotežno stanje postiže za 30 vremenskih koraka integracije modela vremenskim korakom od 60 sekundi kada je zračna struja dovoljno jaka, npr. brzine veće od 5 m/s (Žagar i Rakovec, 1999).

Dinamička adaptacija polja vjetra na višu horizontalnu razlučivost osobito je korisna u situacijama s jakim ili olujnim vjetrom kako bismo dobili kvalitetniju i detaljniju prognozu polja vjetra na 10 m nad tlom. Stoga iz modela možemo isključiti sve što nam nije potrebno te smanjiti broj nivoa u vertikali tamo gdje nam to više nije bitno.

Pri korištenju metode dinamičke adaptacije polja strujanja u nižoj troposferi dio fizikalnih parametrizacija modela koje opisuju vlažne procese i zračenje se ne koriste. Smanjen je i broj nivoa u modelu s 37 na 15. Prvih 8 nivoa do visine 1000 m u donjim slojevima troposfere su zadržani, dok je u višim slojevima troposfere i u stratosferi broj nivoa znatno reducirano (slika 4). Razlog za detaljniji prikaz strujanja u donjoj troposferi su gradijenti meteoroloških parametara koji su najveći upravo pri tlu. To je i osnovni razlog da je više od polovice nivoa u modelu u donjoj troposferi. Najniži nivo se u verziji korištenoj u ovom radu nalazi približno na 17 m nad orografijom u modelu. Od fizikalnih parametrizacija koriste se vertikalna difuzija (Louis i sur., 1982) te parametrizacija utjecaja težinskih valova (npr. Geleyn, 1987; Nappo, 2002).



Slika 4. Visine nivoa modela u 8 km modelu (romb) i u 2 km dinamičkoj adaptaciji (kvadrat). Lijevo je prikaz nivoa do 1000 metara nad tlom, a desno od 1000 m do vrha modela.



Slika 5. Prognoza brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) na: a) 8 km horizontalnoj razlučivosti i b) dinamička adaptacija na 2 km horizontalnoj razlučivosti, start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognoza za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

Slika 5. zorno prikazuje razliku među prognozama prizemnog vjetra na 8 i 2 km modelu. Na horizontalnoj razlučivosti 2 km dobivamo znatno više detalja o strujanju nego što je to slučaj na 8 km, što je direktno povezano s boljim opisom orografije u modelu. Na slici 5 b, u odnosu na prognozu prikazanu na slici 5 a, postoje područja u kojima je vjetar znatno pojačan (podno Velebita), odnosno oslabljen (područje Like). Divergencija i vrtložnost su povećani.

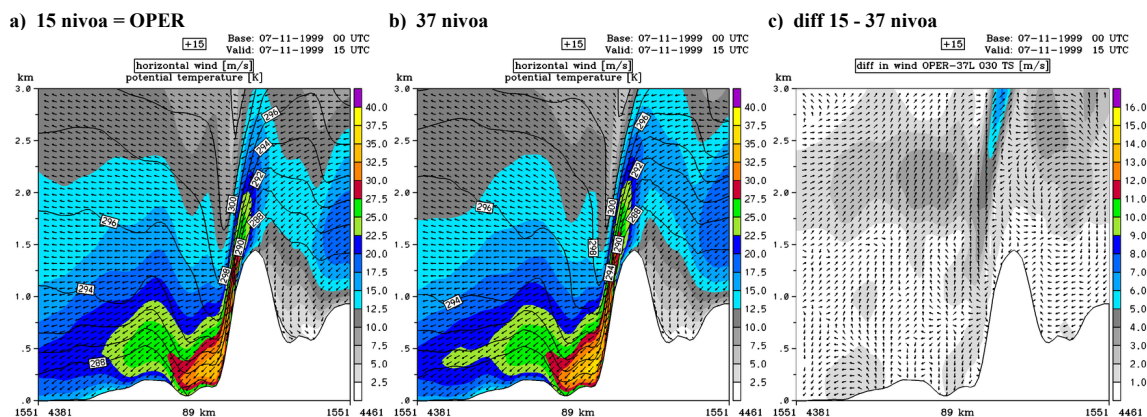
2. UTJECAJ POJEDNOSTAVLJENJA U DINAMIČKOJ ADAPTACIJI

U ovom poglavlju ispituje se utjecaj pojednostavljenja korištenih u metodi dinamičke adaptacije polja strujanja u nižoj troposferi. Obradeni su: utjecaj smanjenja broja nivoa u modelu, određivanje broja koraka integracije do trenutka postizanja kvazistacionarnog stanja, utjecaj inicijalizacije početnog polja digitalnim filterom, utjecaj isključenih fizikalnih procesa u modelu te razlika između klasične prognoze modelom na 2 km i dinamičke adaptacije.

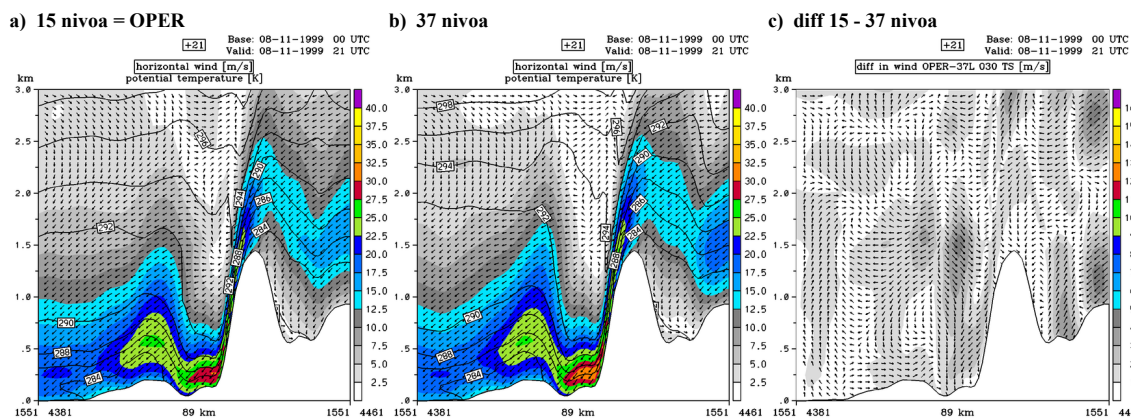
Usporedba rezultata modela sa i bez pojednostavljenja korištenih u metodi dinamičke adaptacije napravljena je na dva slučaja: a) MAP IOP 15 slučaj kada su postojala dodatna avionska mjerenja na hrvatskoj strani Jadrana; b) veljača 2003. kada su postojala dodatna mjerenja vjetra duž dionice autoceste Zagreb - Split, a i bilo je više epizoda s jakim i olujnim vjetrom za koje nam je ova metoda najzanimljivija. Na slici 3 prikazani su položaji automatskih meteoroloških postaja čija mjerenja su poslužila za usporedbu s rezultatima modela. Postaja Ledenik nalazi se na obronku Velebita, vijadukt Baričević i Maslenički most se nalaze u neposrednoj blizini podnožja Velebita. Između Paškog mosta i Velebita nalazi se more, a položaj meteorološke postaje Zadar je u neposrednoj blizini mora u zapadnom dijelu grada. Postaja Novalja je na otoku Pagu tako da strujanje s Velebita prvo prelazi preko mora i onda nailazi na nižu orografsku zapreku na otoku Pagu (nije razlučena niti s horizontalnom razlučivosti 2 km) nakon čega se ponovo spušta prema postaji Novalja.

2.1. Utjecaj smanjenja broja nivoa

Jedna od pretpostavki metode dinamičke adaptacije polja strujanja je da smanjeni broj nivoa u modelu ne bi trebao bitno utjecati na prognozu strujanja na visini 10 m. Stoga su u ovom radu uspoređivani rezultati dobiveni s dinamičkom adaptacijom s 15 nivoa koja se operativno koristi i dinamičkom adaptacijom s 37 nivoa koliko ih se koristi u modelu s razlučivosti 8 km.

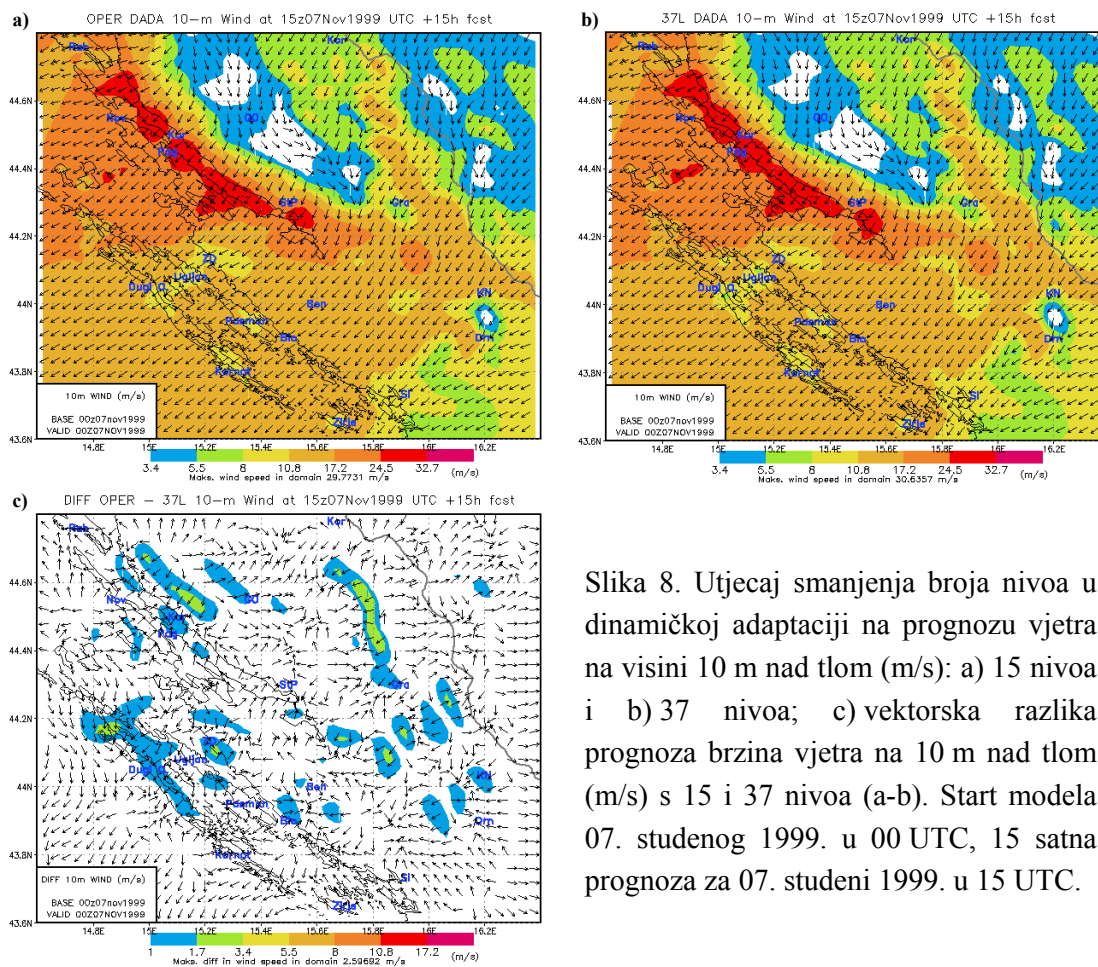


Slika 6. Vertikalni prostorni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije) duž meridijana 15.51 u blizini Masleničkog mosta. Dinamička adaptacija a) s reduciranim brojem nivoa (15); b) s 37 nivoa; c) vektorska razlika horizontalnog polja vjetra (m/s) (a-b). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

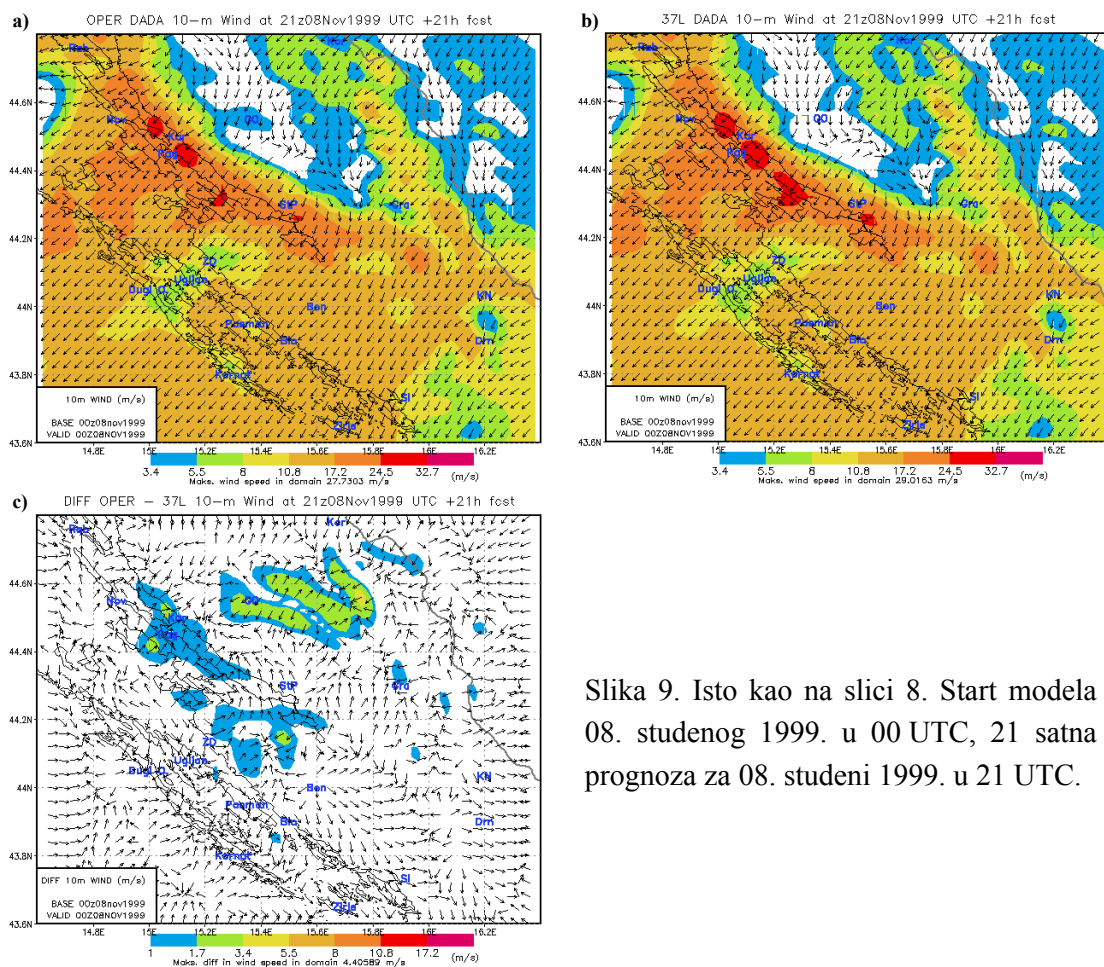


Slika 7. Isto kao na slici 6. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

Na vertikalnim presjecima jug-sjever kroz centar domene (slike 6 i 7) vidi se da za prizemno strujanje nema bitne razlike koristi li se 15 ili 37 nivoa u dinamičkoj adaptaciji. Razlike u brzini vjetra pri tlu su do 2 m/s, a prognozirane brzine za to područje su veće od 25 m/s. Moguće je uočiti razlike u polju strujanja i potencijalnoj temperaturi na visinama većim od 1000 m što je direktna posljedica smanjenja nivoa u modelu iznad te visine. Stoga je i lomeći planinski val na slici 6 a slabije razlučen u odnosu na sliku 6 b.

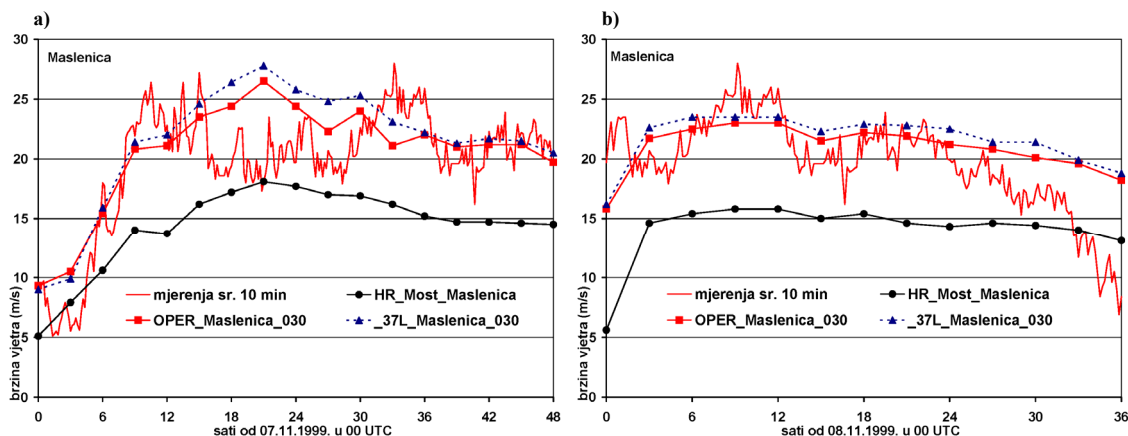


Slika 8. Utjecaj smanjenja broja nivoa u dinamičkoj adaptaciji na prognozu vjetra na visini 10 m nad tlom (m/s): a) 15 nivoa i b) 37 nivoa; c) vektorska razlika prognoza brzina vjetra na 10 m nad tlom (m/s) s 15 i 37 nivoa (a-b). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.



Slika 9. Isto kao na slici 8. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

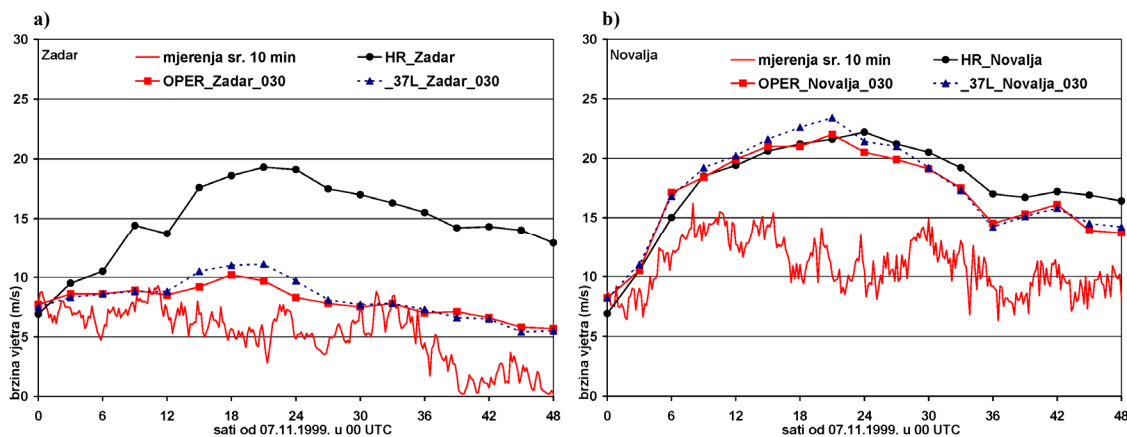
Modul vektorske razlike polja vjetra u cijeloj domeni manji je od 2.6 m/s za prvi slučaj (slika 8 c), odnosno 4.4 m/s za drugi (slika 9 c). Te razlike možemo smatrati zanemarivim s obzirom na magnitudu prognozanog vjetra (20-25 m/s). Najveće razlike nalazimo u kopnenom području u promjeni smjera strujanja te u blizini orografskih prepreka (slika 7 c).



Slika 10. Usporedba rezultata modela s mjerenjima za brzinu vjetra na visini 10 m nad tlom (m/s). Pri tom su HR - rezultati na 8 km domeni, OPER - dinamička adaptacija s 15 nivoa, 37L - dinamička adaptacija s povećanim brojem od 37 nivoa. Početak integracije modela: a) 07. studenog 1999. i b) 08. studenog 1999. za most Maslenica.

Razlike u strujanju u unutrašnjosti povezane su s promjenom visine orografije, u tim područjima se razlika među vertikalnim nivoima mijenja. Pošto je tlo na većoj nadmorskoj visini nivoi u modelu su bliži, zato su najniži nivoi koji su izostavljeni niže, te je doprinos razlici u strujanju veća.

Za lokaciju Maslenički most (slika 10), koja je izložena buri, prognoza na 8 km razlučivosti podcjenjuje brzinu vjetra. Utjecaj smanjenja broja nivoa ne utječe značajno na prognoziranu brzinu vjetra na 10 m nad tlom metodom dinamičke adaptacije.



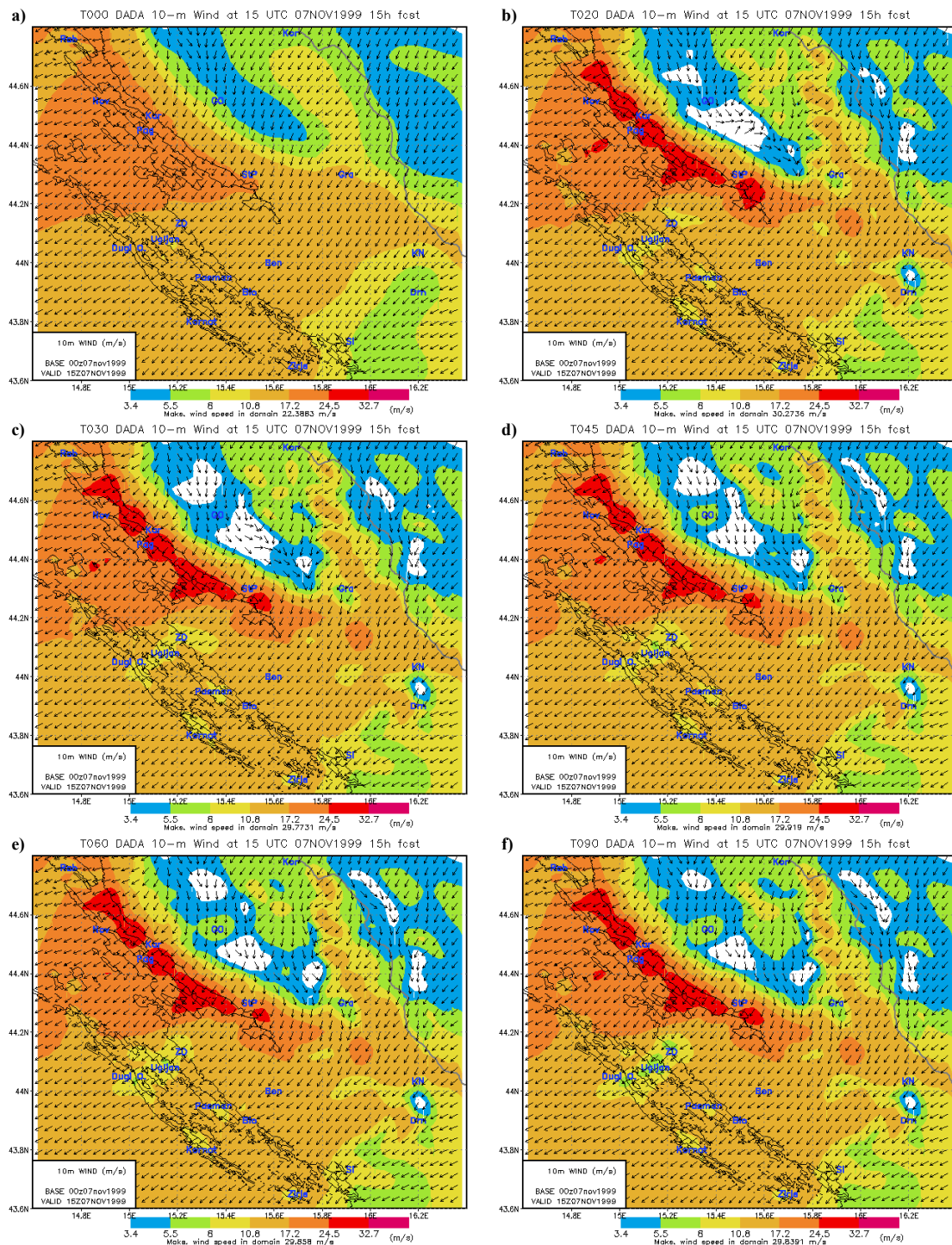
Slika 11. Isto kao na slici 10. Početak integracije 07. studenog 1999. za a) Zadar i b) Novalju.

Za razliku od lokacije most Maslenica, usporedba rezultata modela s mjerenjima za postaje Zadar i Novalja pokazuje malo drugačije rezultate. Na obje postaje prognozirana brzina vjetra na 8 km domeni je veća od izmjerene brzine vjetra (slike 11 a i b). Na postaji Zadar (slika 11 a) metodom dinamičke adaptacije prognozirana brzina vjetra na 2 km razlučivosti je značajno smanjena neovisno o broju nivoa što je u skladu s mjerenjima. Za postaju Novalja (slika 11 b) prognoza vjetra na obje horizontalne razlučivosti od 8 km i 2 km nije dala zadovoljavajuće rezultate. Može se pretpostaviti da je ovaj rezultat povezan s konfiguracijom terena u okolini postaje trafostanica Novalja. U jesen, kada bura još nije zapuhala svom snagom, zbog blizine mora i nedovoljne razlike u temperaturi silaznog strujanja i okoline, nerazlučena prepreka može spriječiti strujanje da se dovoljno približi tlu, gdje se mjere smjer i brzina vjetra. Drugi dan prognoze dinamičkom adaptacijom daju lagano smanjenje prognozirane brzine vjetra, ali još uvijek znatno različite od izmjerene brzine vjetra.

Ukratko, razlika u prognoziranoj maksimalnoj brzini 10 m vjetra u cijeloj domeni je manja od 2 m/s, što je zanemarujuće s obzirom na magnitudu vjetra od 20-25 m/s. Smanjeni broj nivoa u modelu ne utječe značajno na rezultate prognoze u prizemnom sloju do 1000 m visine. Računalno vrijeme potrebno za operativnu dinamičku adaptaciju na 15 nivoa duplo je kraće od vremena potrebnog za integraciju na 37 nivoa. Razlika u prognoziranoj 10 m brzini vjetra je uvijek u zavjetrini manja od 3.4 m/s, što je u odnosu na uštedeno vrijeme za integraciju s manjim brojem nivoa više nego zadovoljavajuće. Ušteda računalnog vremena sa smanjenim broja nivoa omogućava najavu olujnog vjetra znatno ranije uz jednako kvalitetnu prognozu.

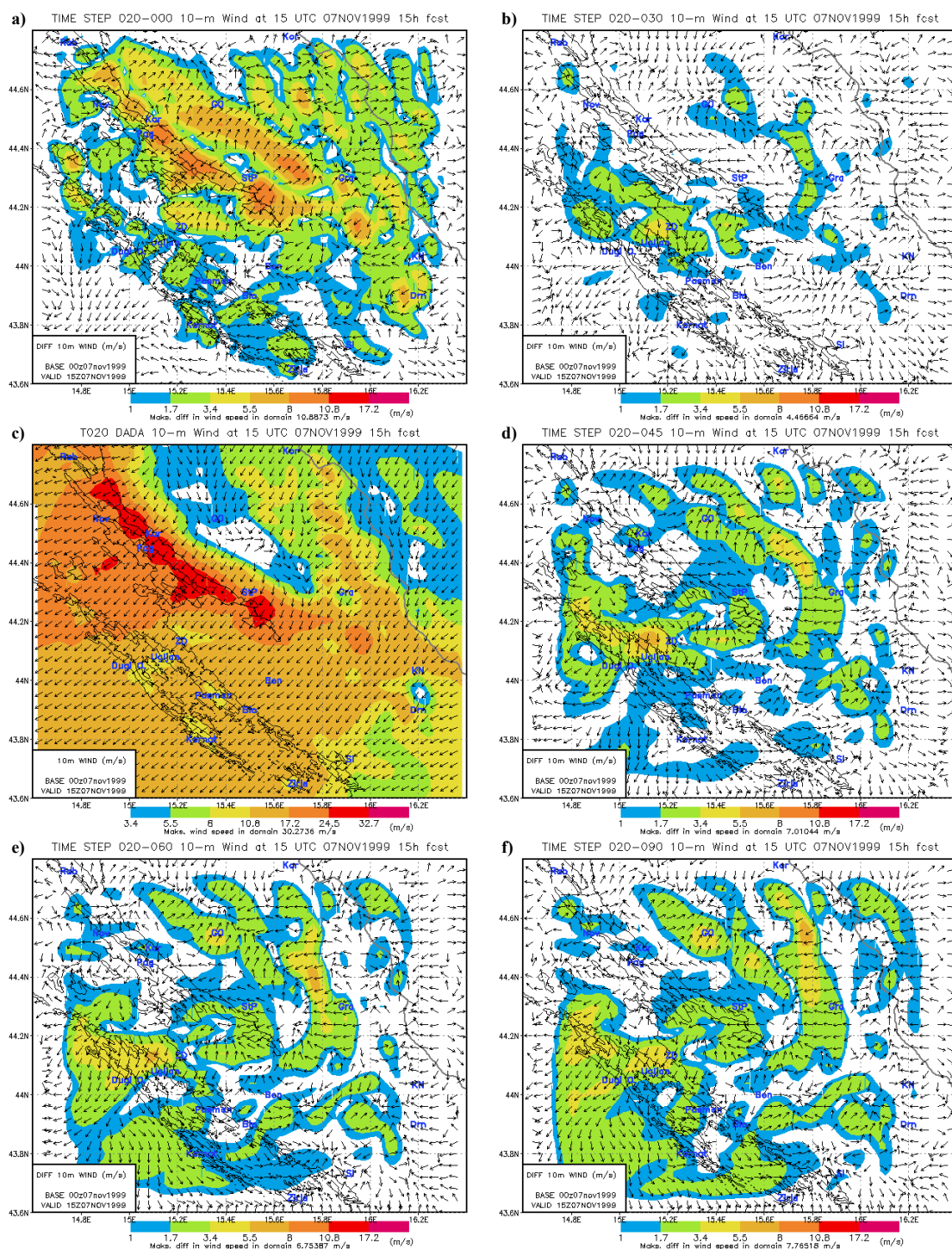
2.2. Optimalan broj koraka integracije u dinamičkoj adaptaciji

U ovom poglavlju istražuje se minimalni broj koraka integracije nužnih da bi se postiglo kvazistacionarno stanje za prognozu vjetra na 10 m nad tlom i za prognozu vjetra u sloju atmosfere do 1000 m. Vremenski korak integracije iznosi 60 sekundi.



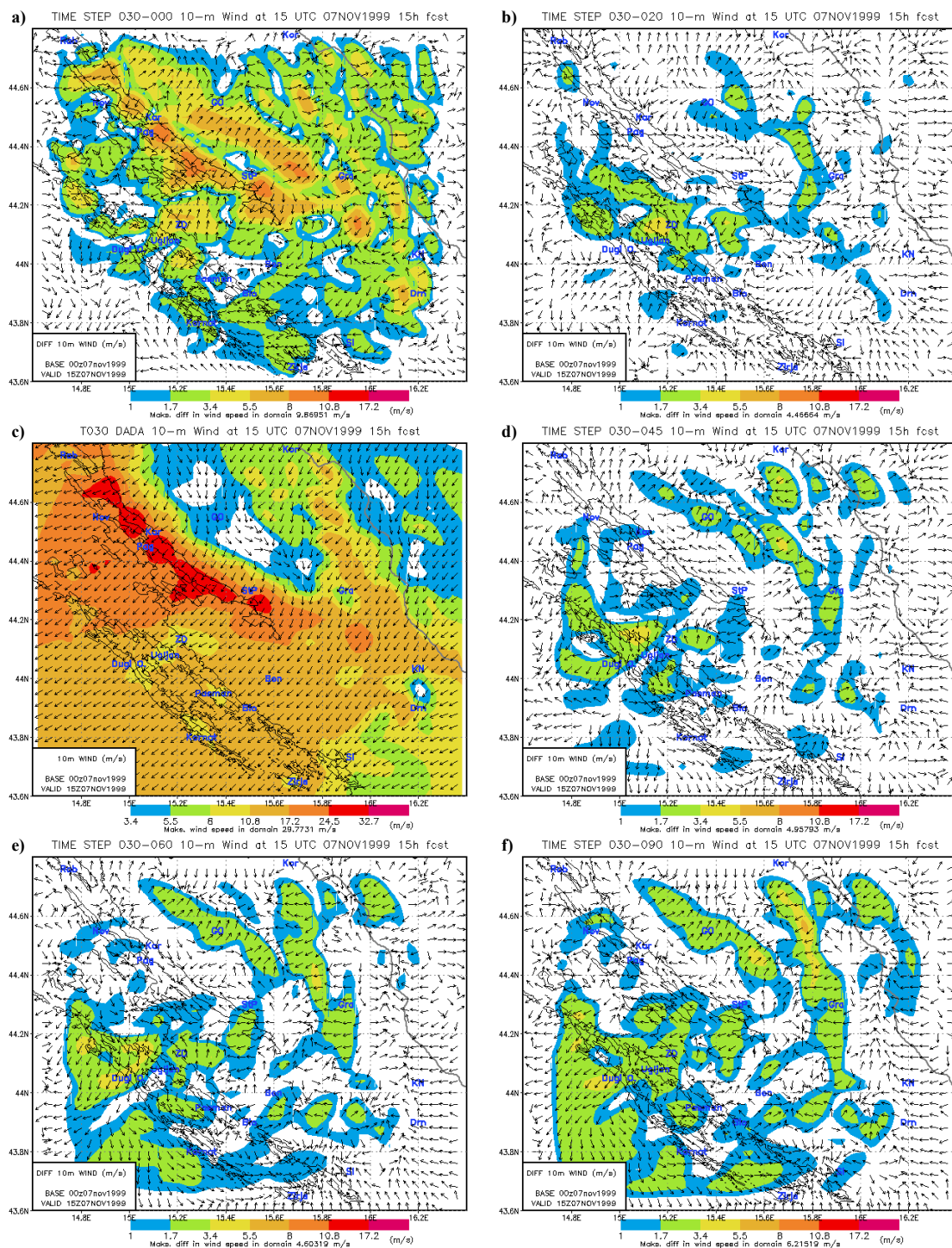
Slika 12. Polje brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za različiti broj koraka integracije 0 (a), 20 (b), 30 (c), 45 (d), 60 (e) i 90 (f). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Struktura strujanja u područjima s najjačim vjetrom uspostavljena je već nakon 20 koraka integracije (slika 12 b) i nakon toga ostaje gotovo nepromijenjena do 90-tog koraka integracije (slika 12 f). Vremenski korak integracije pri tom iznosi jednu minutu.

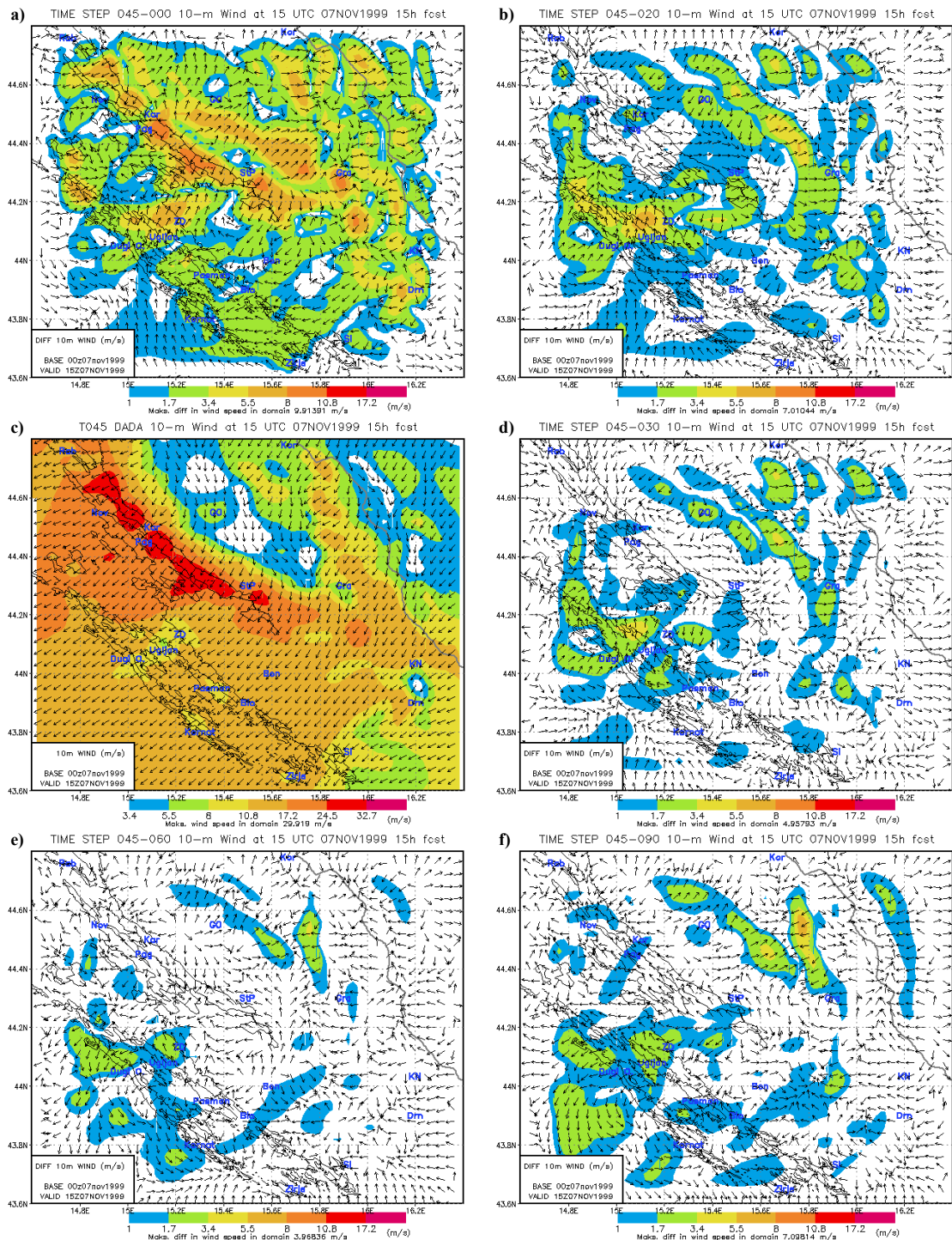


Slika 13. Polje brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za 20 koraka integracije (c) i vektorska razlika brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za različiti broj koraka integracije 0 (a), 30 (b), 45 (d), 60 (e) i 90 (f) u odnosu na 20 koraka integracije (c). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Vektorske razlike brzine vjetra na 10 m visine za različite brojeve koraka integracije (20, 30 i 45) pri korištenju metode dinamičke adaptacije prikazane su na slikama 13 do 15.



Slika 14. Polje brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za 30 koraka integracije (c) i vektorska razlika brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za različiti broj koraka integracije 0 (a), 20 (b), 45 (d), 60 (e) i 90 (f) u odnosu na 30 koraka integracije (c). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

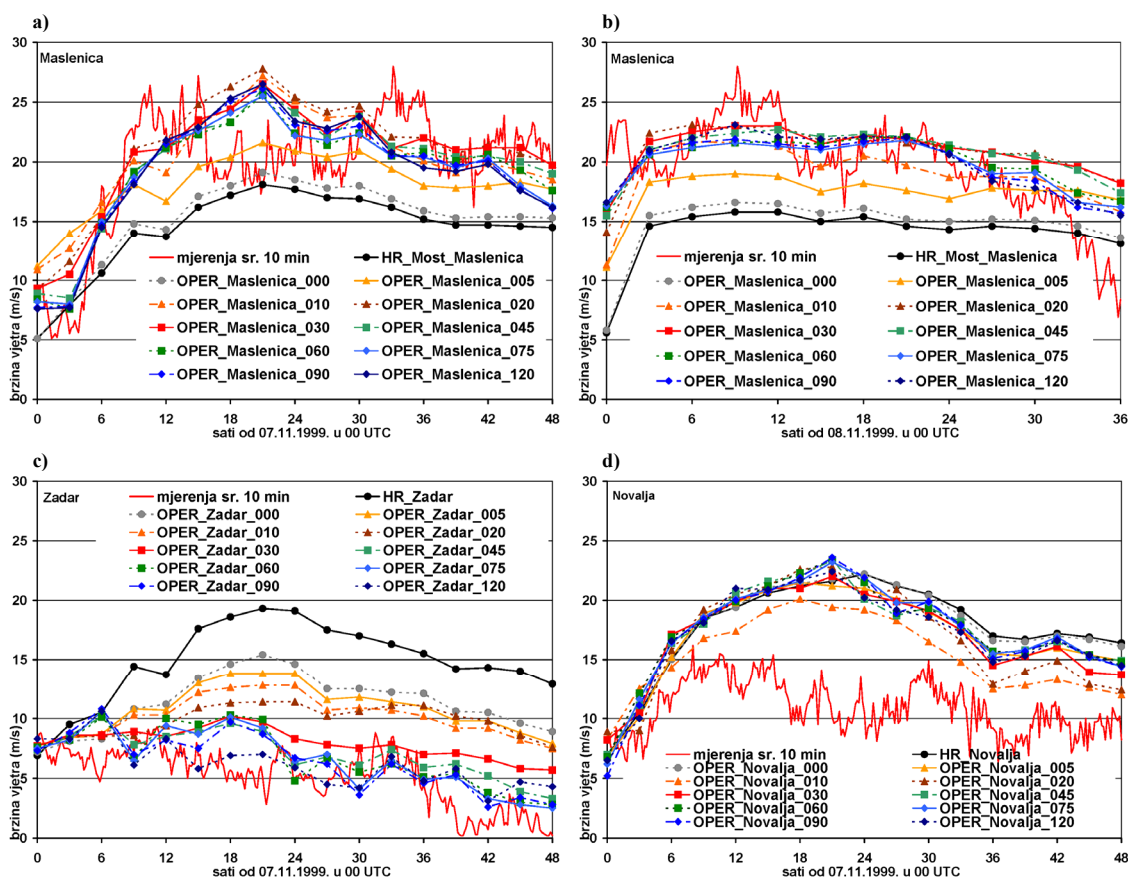


Slika 15. Polje brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za 45 koraka integracije (c) i vektorska razlika brzine vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za različiti broj koraka integracije 0 (a), 20 (b), 35 (d), 60 (e) i 90 (f) u odnosu na 45 koraka integracije (c). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Iz rezultata prikazanih na slikama 12 do 15 jasno je pokazano da je u područjima s najjačim vjetrom kvazistacionarno stanje uspostavljeno već nakon 20 koraka integracije nakon čega ostaje skoro nepromijenjeno. Vektorska razlika prognozirane brzine vjetra na 10 m iznad podloge u području s najjačim vjetrom za 20 koraka integracije je manja od 3.4 m/s i ostaje

tako mala i do 90 koraka integracije (slika 13 f). S povećanjem broja koraka integracije s 20 na 30 ili 45 (slike 14 i 15) razlika u područjima s najjačim vjetrom se smanjuje. Prema tome možemo zaključiti da je u području s najjačim vjetrom, kvazistacionarno stanje postignuto između 20 i 30 koraka integracije. S povećanjem broja vremenskih koraka dinamičke adaptacije, razlika prognozirane brzine vjetra na zavjetrinskoj strani se smanjuje (za 60 ili 90 koraka, slike 15 e i f u usporedbi sa slikama 14 e i f). Istovremeno, na malom dijelu privjetrinskog područja, razlika u prognoziranoj brzini vjetra raste, zato što tamo ne očekujemo uspostavljanje dugotrajnog kvazistacionarnog stanja pri tlu.

Usporedba rezultata modela dobivenih s različitim koracima integracije napravljena je za tri lokacije na kojima postoje mjerenja: Maslenica, Zadar i Novalja i prikazana je na slici 16. Za vrijeme promatranog razdoblja MAP-IOP 15 (7. - 8. 11. 1999.) na tim su postajama postojala mjerenja brzine vjetra s uzorkovanjem svake sekunde i 10 minutnim intervalom zapisa srednje brzine i maksimalnog udara vjetra u prethodnom 10 minutnom razdoblju.



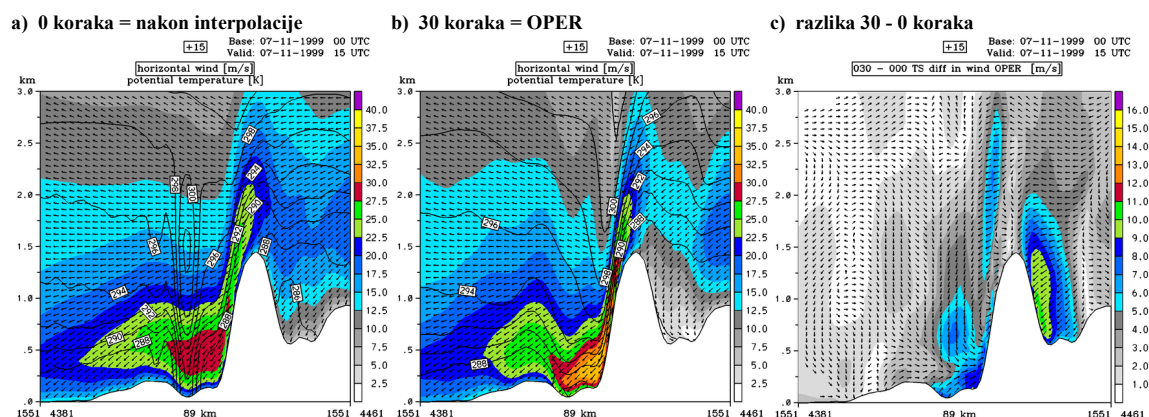
Slika 16. Usporedba mjerenja na postajama most Maslenica (a i b) te Zadar (c) i Novalja (d) s rezultatima modela za brzinu vjetra na 10 m iznad tla (m/s). Rezultati modela dobiveni su na 8 km domeni (HR), te dinamičkom adaptacijom za različiti broj vremenskih koraka integracije: 0, 5, 10, 20, 30-operativni, 45, 60, 75, 90 i 120. Početak integracije modela je 7. studenog 1999. za a), c) i d) te 8. studenog 1999. za b).

Interpolacija početnog polja (analize) s 8 na 2 km horizontalnu razlučivost za lokaciju Maslenica puno ne mijenja rezultate (slike 16 a i b). Nakon toga se tijekom sljedećih koraka

integracije polje strujanja polagano mijenja dok se ne postigne kvazistacionarno stanje. Za lokaciju most Maslenica, gdje je vjetar jači od druge dvije promatrane lokacije (Zadar i Novalja), kvazistacionarno stanje se postigne već nakon 20 koraka integracije.

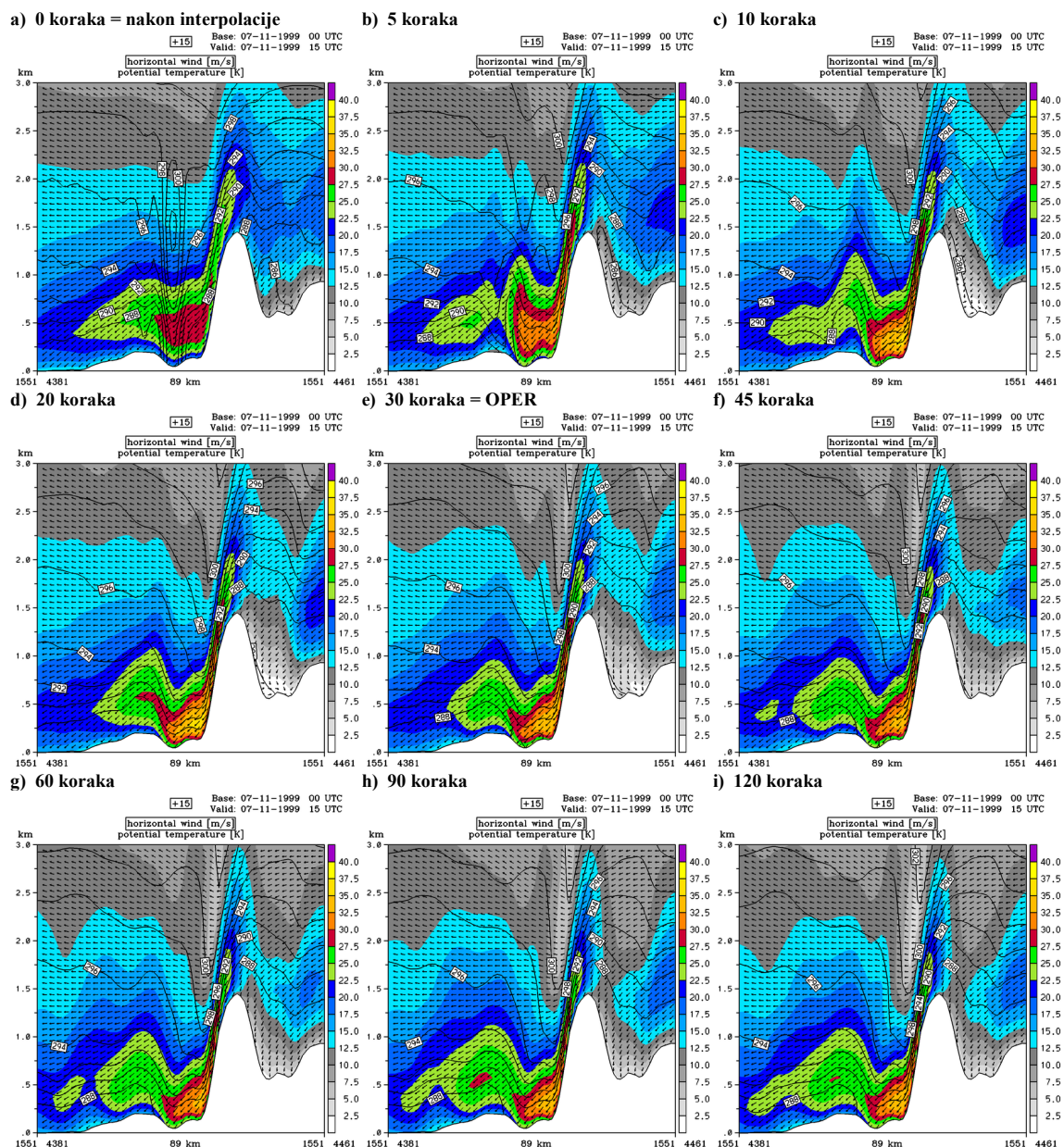
Nasuprot tome, za stanicu Zadar (slika 16 c) interpolacijom na 2 km horizontalnu razlučivost dobivena je značajna promjena strujanja (usporedba HR-Zadar i OPER_Zadar_000). Razlog tome su razlike u orografiji i karakteristikama tla između te dvije razlučivosti. Karakteristike tla u modelu se određuju prema prevladavajućem tipu tla za točku modela što u našem slučaju znači da jednu točku u modelu s 8 km horizontalnom razlučivosti (dimenzije 8x8 km²) opisujemo sa 16 točaka u modelu sa 2 km horizontalnom razlučivosti (dimenzije 2x2 km²). Npr. točka u moru na 8 km horizontalnoj razlučivosti može postati točka na kopnu za 2 km razlučivost. Zbog toga, radi različite hrapavosti te drugih karakteristika podloge, dobivamo različitu prognozu brzine vjetra na 10 m visine. Nakon 30 koraka integracije, dinamička adaptacija značajno smanjuje precijenjenu prognozu brzine vjetra s 8 km razlučivosti. Kada prognozirana brzina vjetra padne ispod 10 m/s, za postizanje kvazistacionarnog stanja potrebno je više od 20 vremenskih koraka, a za pojedine termine i više od 45 koraka u dinamičkoj adaptaciji.

Za postaju Novalja (slika 16 d), kvazistacionarno stanje je postignuto vrlo brzo, pri čemu nije bilo neke značajne razlike između prognoze na 8 km razlučivosti i 2 km dinamičkih adaptacija, neovisno o broju koraka integracije.



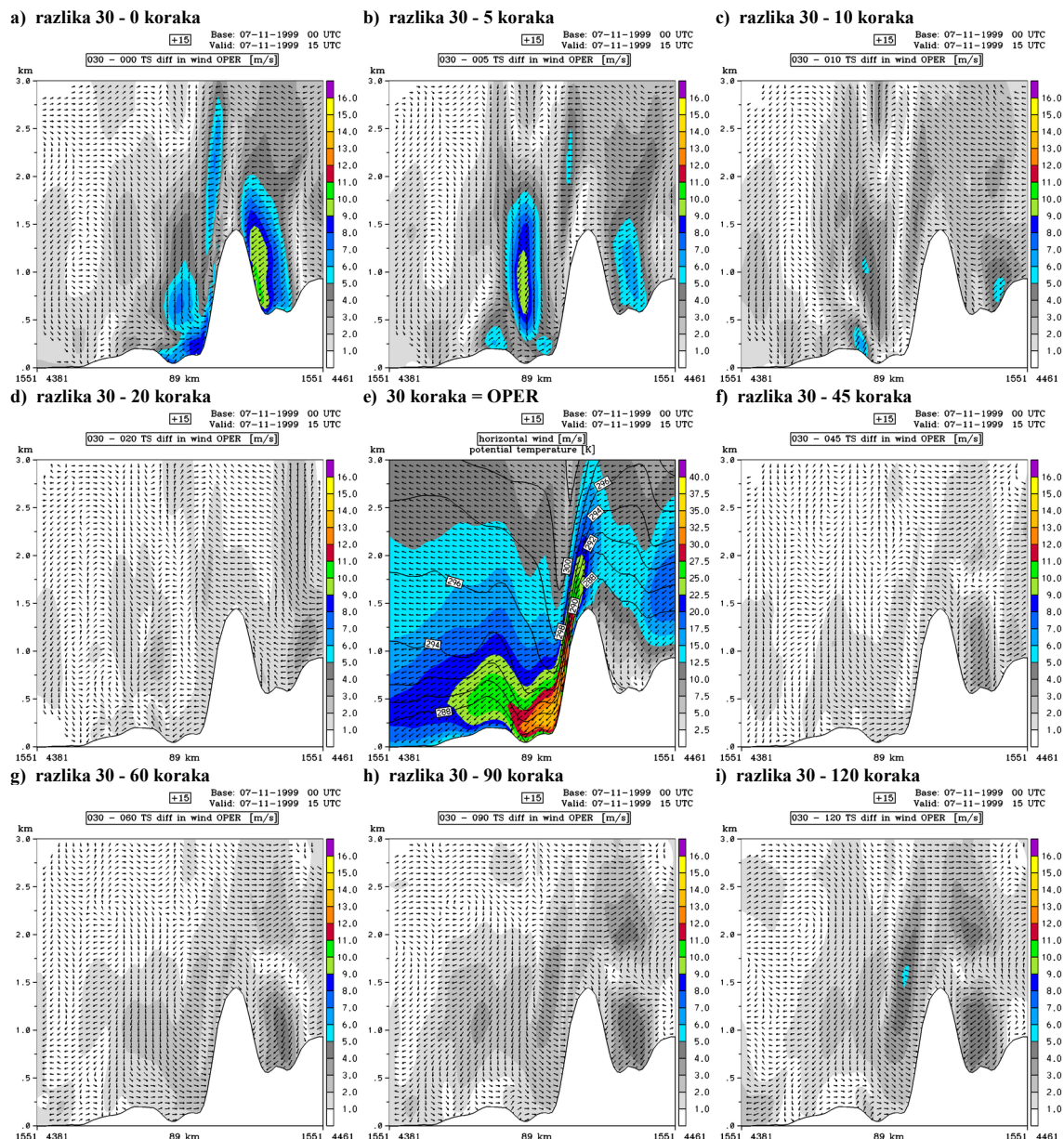
Slika 17. Vertikalni prostorni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije) duž meridijana 15.51: a) početno polje dinamičke adaptacije (0 koraka integracije), b) polje dobiveno nakon operativnih 30 koraka integracije i c) vektorska razlika horizontalnog polja strujanja (c-a). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Početno polje na temelju kojeg se izrađuje dinamička adaptacija poremećeno je interpoliranjem na drugu orografiju. To se najbolje vidi u polju potencijalne temperature nakon prelaska struje preko prepreke, ali isto tako i u polju horizontalnog strujanja koje ima neprirodni skok u polju horizontalnog strujanja prije prepreke (slika 17 a). Potencijalna temperatura je nerealno povećana za više od 4 K interpoliranjem s horizontalne razlučivosti 8 km na horizontalnu razlučivost 2 km (slika 18 a). To poremećenje je u potpunosti uklonjeno već nakon 20-tak koraka u dinamičkoj adaptaciji (slika 18 d).



Slika 18. Vertikalni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije) duž meridijana 15.51 za različiti broj koraka integracije 0 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 30 (e), 45 (f), 60 (g), 90 (h) i 120 (i). Start modela 07.11.1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07.11.1999. u 15 UTC.

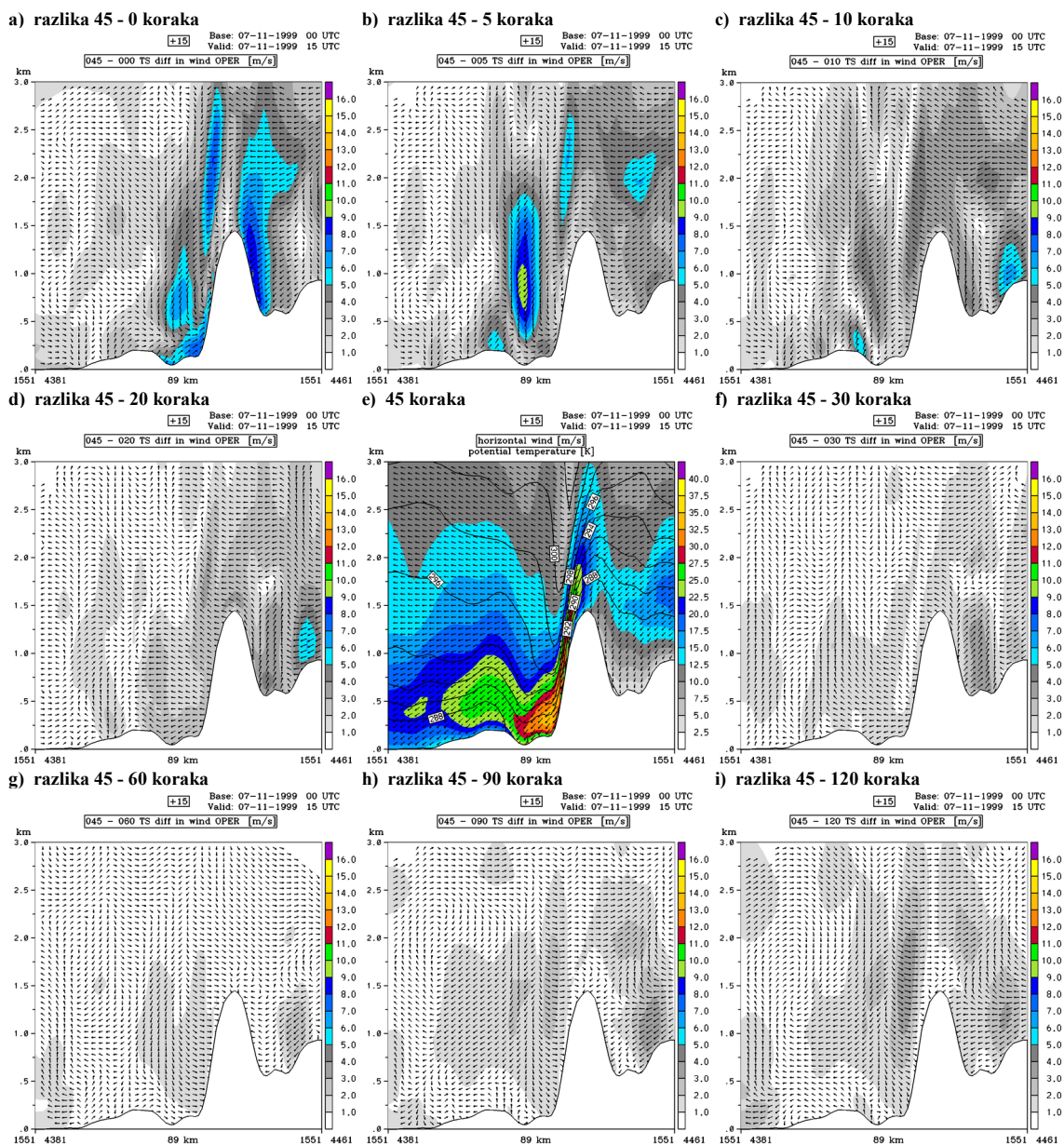
Različiti broj koraka integracije uzrokuje najveće promjene u polju horizontalnog strujanja nakon prelaska zraka preko prepreke, u njenom podnožju, do visine od 200 m. Razlike postoje i u zavjetrini i u navjetrini. Vektorski gledano, horizontalno strujanje se nakon 30 koraka integracije u unutrašnjosti znatno promijenilo (slike 18 a i e te 19 a). Promijenili su se i smjer (iz sjeveroistočnog u sjeverni) i brzina horizontalnog strujanja (na 1000 m visine s više od 15 m/s na manje od 7.5 m/s). Zbog promjene smjera vjetra, oslabila je komponenta vjetra okomita na prepreku u unutrašnjosti. Smanjena je i debljina sloja u kojem je strujanje brže od 20 m/s, ali je pri tlu dobiveno područje s povećanom brzinom vjetra (slike 18 a i e).



Slika 19. Vertikalni presjek vektorske razlike horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) duž meridijana 15.51, za operativnu dinamičku adaptaciju 30 koraka (e), i razlika u odnosu na operativnu za različiti broj koraka integracije 0 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 45 (f), 60 (g), 90 (h) te 120 (i). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Nakon interpolacije (0 koraka integracije modela), na zavjetrinskoj strani, u polju potencijalne temperature, na 1.5 km visine, postoji neprirodni ekstrem (slika 18 a). Iz toga možemo zaključiti da polje nakon interpolacije nije dinamički uravnoteženo. Pri uobičajenoj integraciji modela sa svim fizikalnim parametrizacijama, na npr. horizontalne razlučivosti 12.2 ili 8 km, koristi se metoda inicijalizacije početnog polja digitalnim filterom (Lynch i Huang, 1994). Ova metoda koristi se kako bi se polja u modelu uravnotežila prije nego što se počne s izračunom prognoze. Ujedno ona služi što bržoj prilagodbi modela na početku integracije uslijed značajne promjene horizontalne razlučivosti. Nakon 5 koraka (slika 18 b) poremećaj u

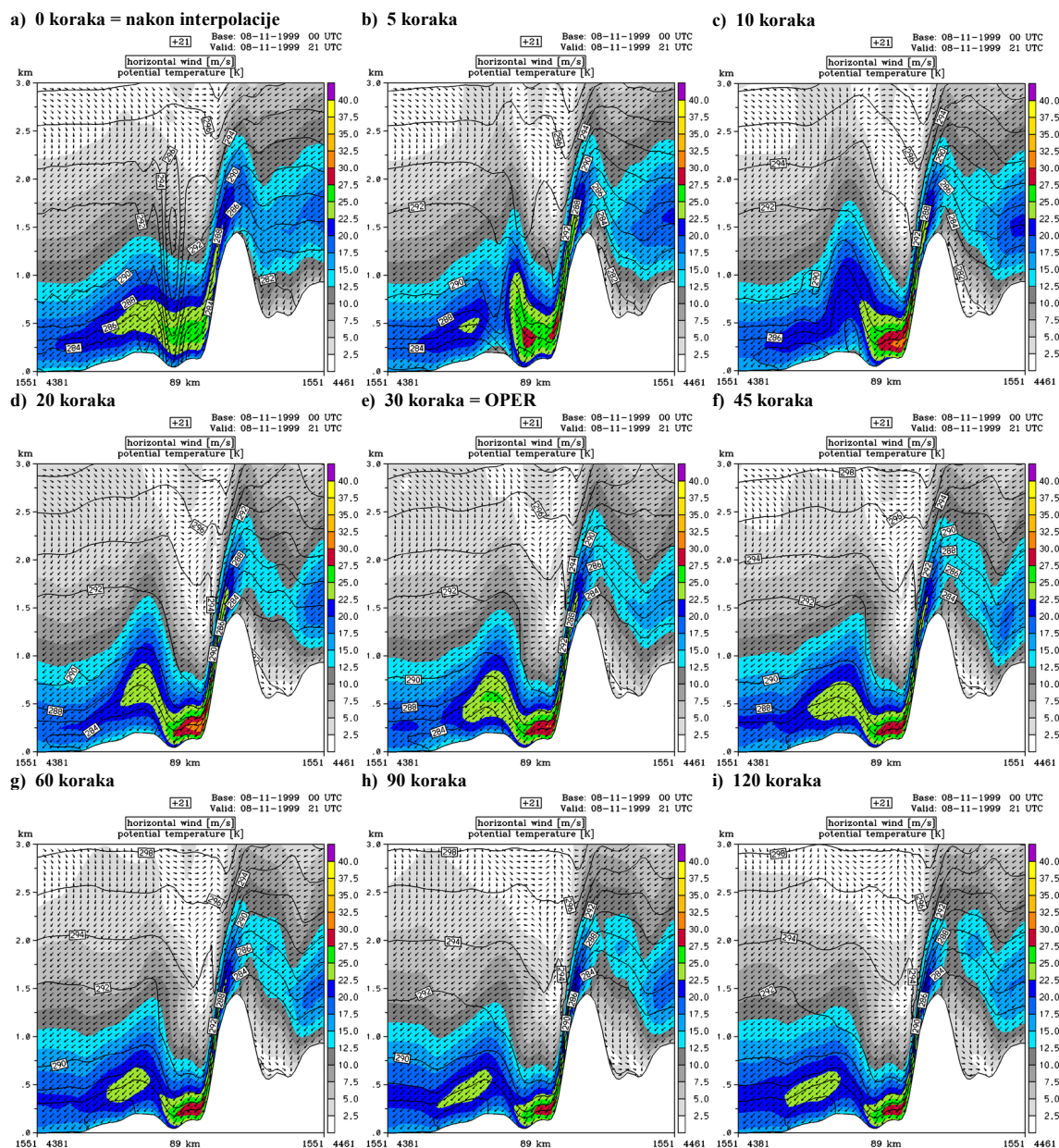
polju potencijalne temperature je djelomično smanjen, a u potpunosti nakon 10 koraka (slika 18 c). Nakon 20 koraka integracije već postoji dobro razvijen zavjetrinski val (slika 18 d).



Slika 20. Vertikalni presjek vektorske razlike horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) duž meridijana 15.51, za testiranu dinamičku adaptaciju sa 45 koraka integracije (e), i razlika u odnosu na operativnu prognozu za različiti broj koraka integracije 0 (a), 5 (b), 10 (c), 20 (d), 30 (f), 60 (g), 90 (h) te 120 (i). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Treba primijetiti da se polje strujanja za 5 koraka integracije na zavjetrinskoj strani više razlikuje nego samo interpolirano polje (slika 19 b i 20 b). Razlog tome je da je modelu potrebno neko vrijeme da ostvari ravnotežu koja je narušena interpolacijom s 8 km na 2 km.

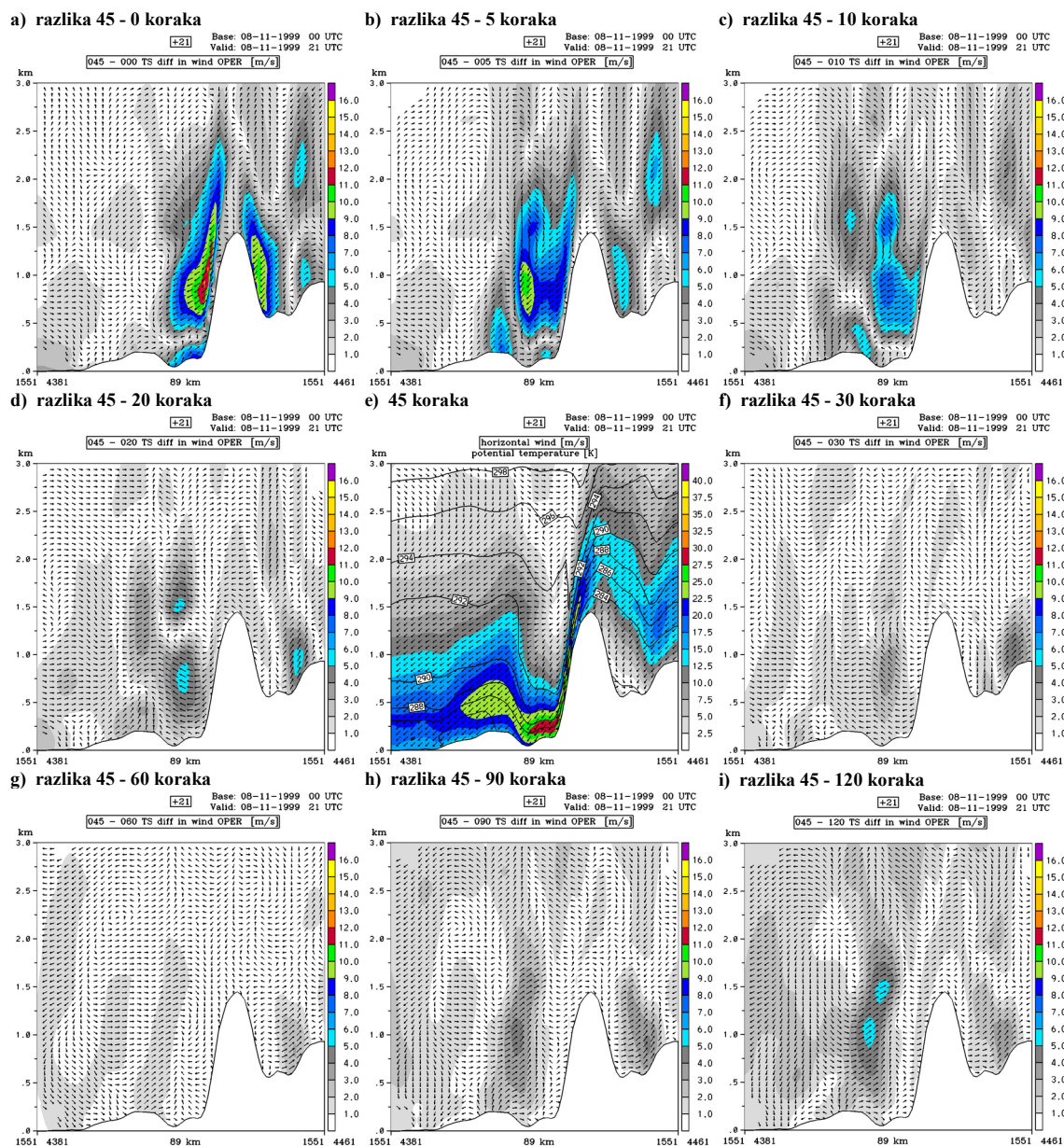
Za polje strujanja koje nije u neposrednoj blizini tla stacionarnost je postignuta između 30-tog i 45-tog koraka (slika 19 f i slika 20 g). Ako se usporede vektorske razlike na slikama 19 g i 20 g slijedi da je za brojeve koraka integracije od 60, 90 i 120 razlika u odnosu na 45 koraka manja nego u odnosu na 30 koraka dinamičke adaptacije. Rezultati ukazuju da je sloj atmosfere do 1000 m visine dobiven simulacijom s 45 koraka bliže kvazistacionarnom stanju nego s 30 koraka.



Slika 21. Kao na slici 18. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

Kao i za prethodni prikazani slučaj, i sljedećeg dana 8. studenog 1999. polje potencijalne temperature je bilo poremećeno kod interpolacije s 8 na 2 km (slika 21 a). Pošto je za ovaj termin bura već počela slabiti, uz tlo se zadržalo kvazistacionarno stanje. Na visini od 200 m

u zavjetrini strujanje je osjetljivije nego što je to bio slučaj za jaču buru (slike 22 h i 22 i). To je u skladu sa usporedbom s mjerenjima 10 m vjetra i modeliranih vrijednosti. U slučaju kada je vjetar slabiji kvazistacionarno stanje nije toliko postojano kao što je to slučaj za jače strujanje (slike 19, 20, 21 i 22).

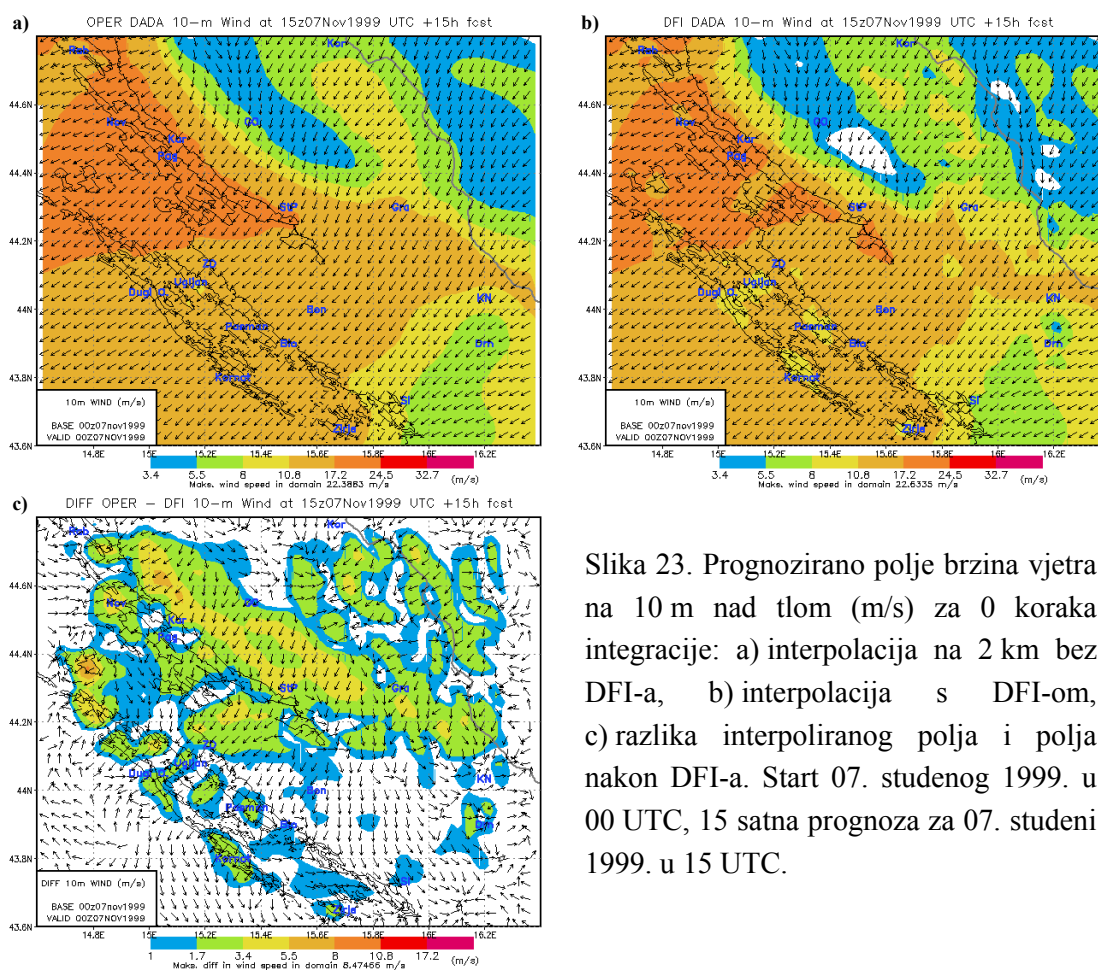


Slika 22. Kao na slici 20. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

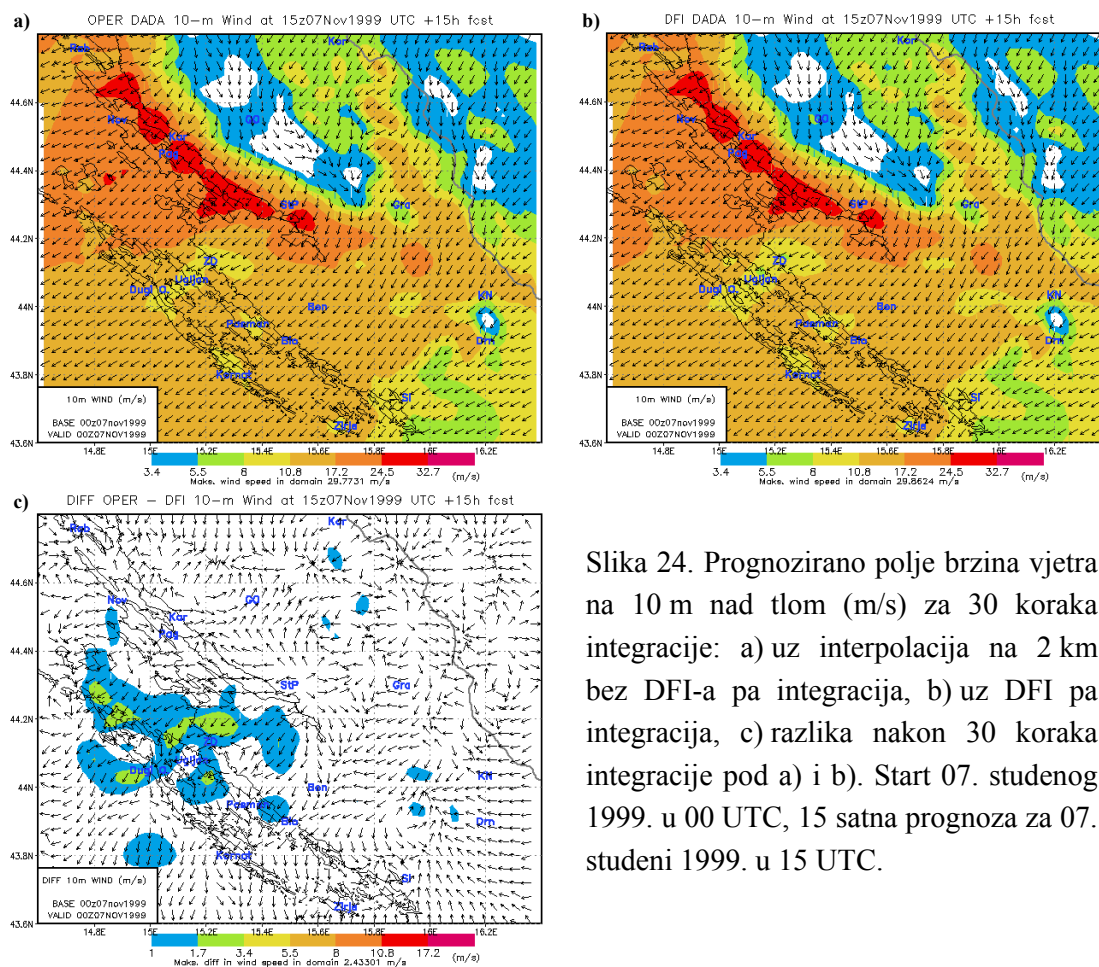
Ovi eksperimenti pokazuju da je optimalni broj koraka integracije za dinamičku adaptaciju između 20 i 30 za vjetar na 10 m visine. Za jače strujanje kvazistacionarno stanje je postignuto već i nakon 20 koraka, ali za situacije sa slabijim strujanjem od 10 m/s potrebno je barem 30 koraka integracije da se postigne stacionarnost. U sloju do visine od 1000 m kvazistacionarnost se postiže između 30 i 45 koraka.

2.3. Korištenje DFIa prije integracije dinamičke adaptacije

Inicijalizacija digitalnim filterom (DFI-eng. *Digital Filter Initialisation*, Lynch i Huang, 1994) je postupak kojim se prognostička polja u modelu prije početka integracije prilagođavaju orografiji modela. Pri tom se filtrira šum koji je nastao pri interpolaciji i uklanjanju spektralni koeficijenti za male valne duljine koji nisu nastali u modelu manje horizontalne razlučivosti već su produkt interpolacije. Model se prvo integrira uz pretpostavku adijabatičkih procesa određeni broj koraka unazad (u našem slučaju to je 11 koraka), te se nakon toga isto toliko koraka integrira unaprijed. Rezultat tog procesa je da u početnom polju više nema valova malih valnih duljina. DFI je osobito koristan kada postoji velika razlika između horizontalne razlučivosti ulaznih podataka i razlučivosti na kojoj integriramo prognozu. Pri korištenju postupka digitalnog filtriranja, prije nultog koraka prognoze radimo određeni broj koraka unatrag i unaprijed, tako da je ukupan broj koraka integracije za neku prognozu veći nego bez digitalnog filtriranja. Stoga i meteorološka polja imaju više koraka integracije kako bi se prilagodila orografiji na većoj rezoluciji, pa očekujemo da će se to dogoditi za kraću prognozu.



Slika 23. Prognozirano polje brzina vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za 0 koraka integracije: a) interpolacija na 2 km bez DFI-a, b) interpolacija s DFI-om, c) razlika interpoliranog polja i polja nakon DFI-a. Start 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

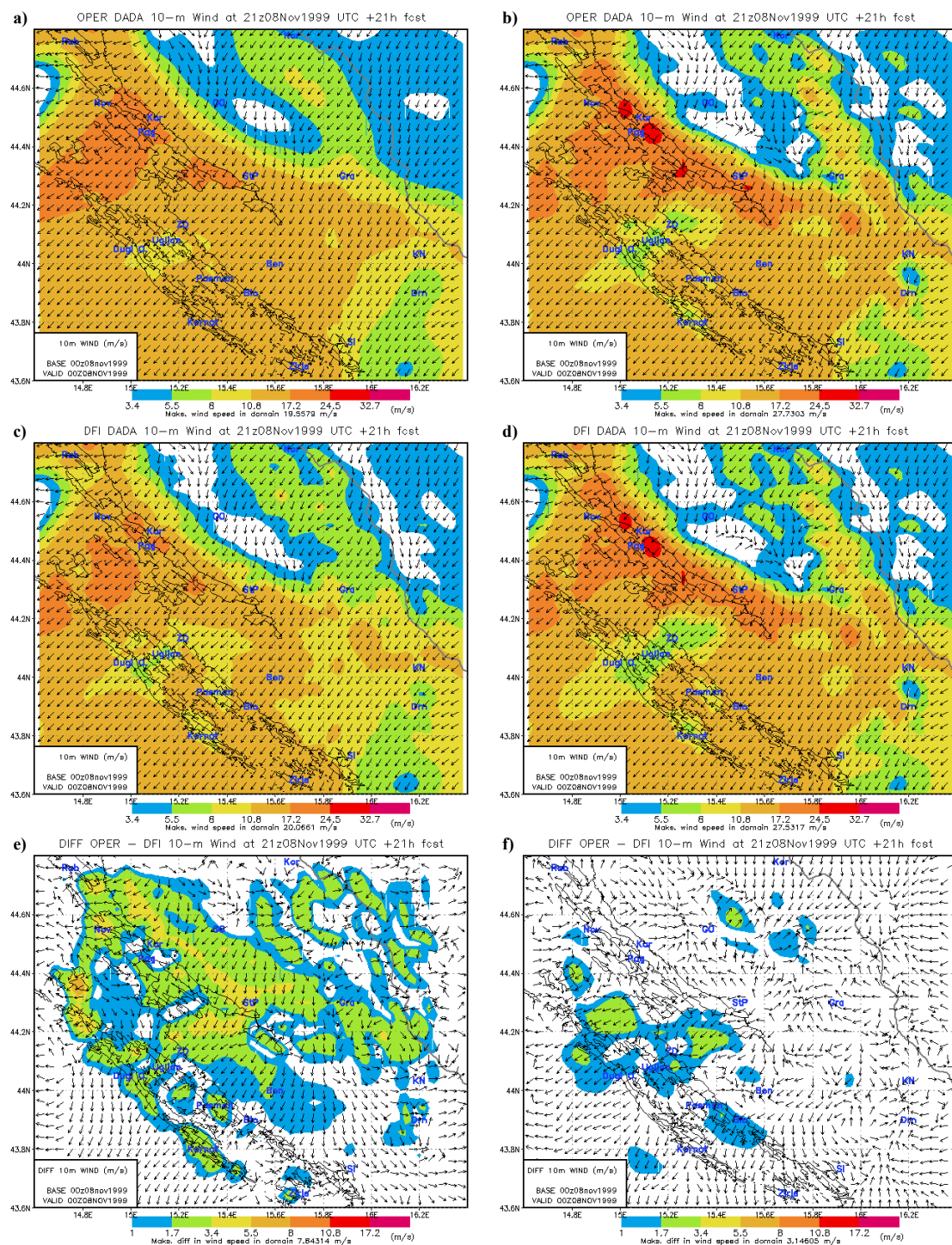


Slika 24. Prognozirano polje brzina vjetra na 10 m nad tlom (m/s) za 30 koraka integracije: a) uz interpolacija na 2 km bez DFI-a pa integracija, b) uz DFI pa integracija, c) razlika nakon 30 koraka integracije pod a) i b). Start 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Utjecaj DFI-ja je značajan ako se uspoređuje nulti korak integracije (slike 23 c i 25 e). Tad se uspoređuje interpolirano polje s 8 km domene s poljem koje je prošlo kroz 11 vremenskih koraka u digitalnom filteru. Maksimalna vrijednost brzine vjetra se korištenjem digitalnog filtera nije bitno promijenila (manje od 1 m/s). Maksimalni modul vektorske razlike brzine vjetra na 10 m iznosi oko 8 m/s, što je značajno, ako uzmemo u obzir da je iznos maksimalne 10 m brzine vjetra u cijeloj domeni sačuvan i da je veći od 20 m/s.

Stanje nakon 30 koraka prognoze je znatno manje promijenjeno. Iznos maksimalne brzine u cijeloj domeni je promijenjen za manje od 0.5 m/s (slike 24 b i 25 b). Modul vektorske razlike brzine vjetra na 10 m nad tlom je manji od 3.4 m/s. To je dvostruko manje nego nakon 0 koraka integracije s tim da se i maksimalna brzina u domeni povećala (veća od 29 m/s).

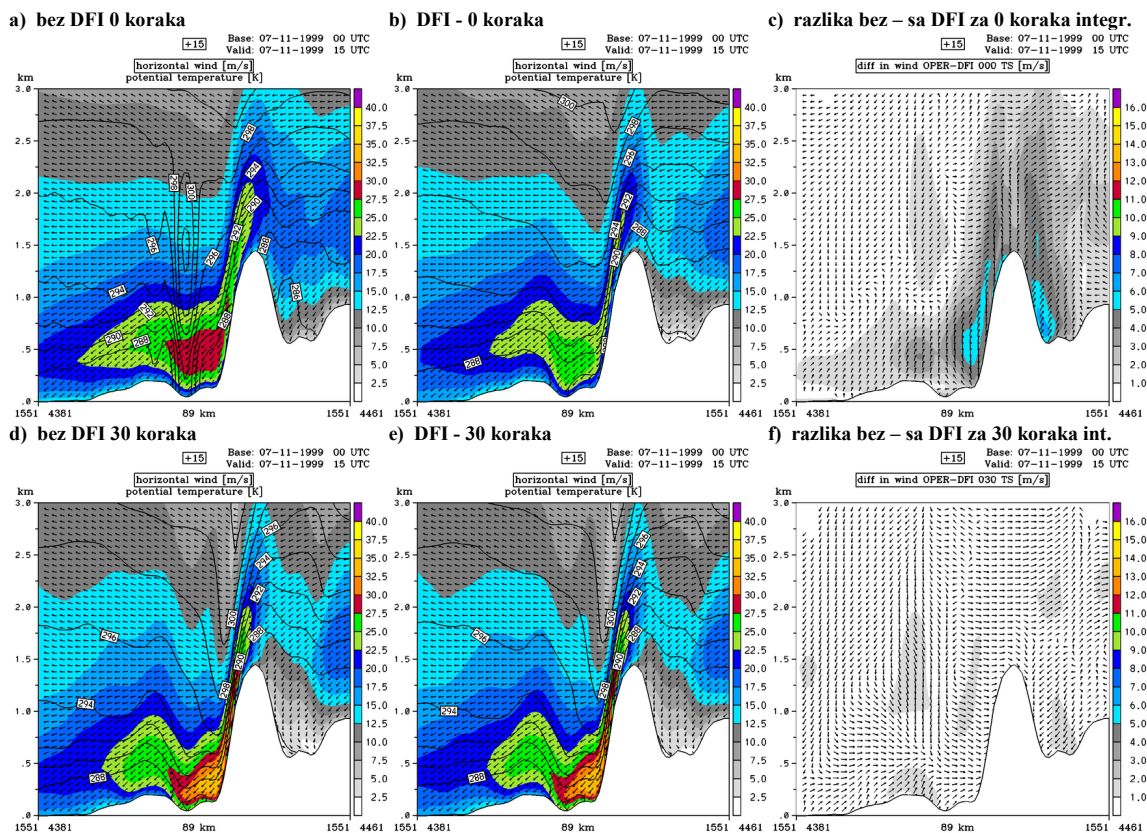
Time je pokazano da je utjecaj DFI-a na prognozu vjetra na 10 m visine vrlo mali, odnosno zanemariv.



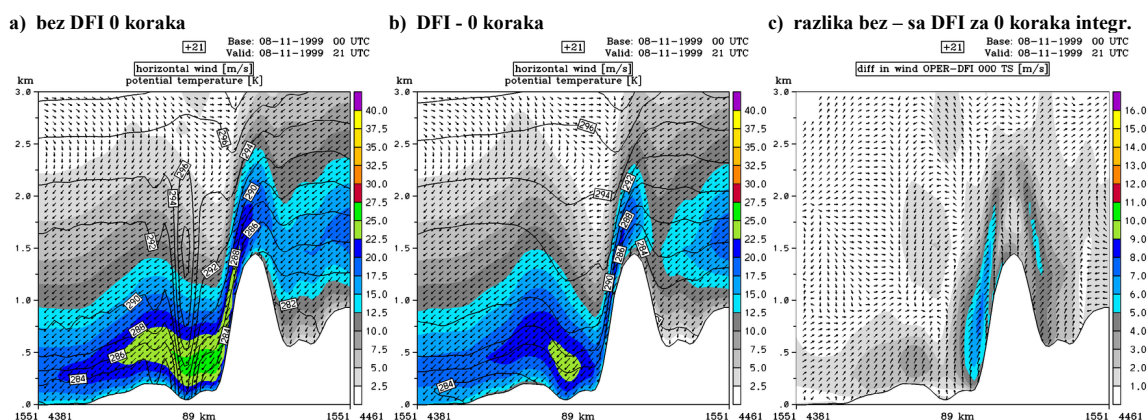
Slika 25. Polje brzine vjetra na 10 m visine (m/s): za 0 korak integracije: a) bez DFI-a, c) sa DFI-om; za 30 koraka integracije: b) bez DFI-a, d) sa DFI-om; vektorska razlika bez DFI-a i sa DFI-om: e) za 0 koraka integracije, f) za 30 koraka integracije. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

Na vertikalnim presjecima (slike 26 i 27 a, b, c) prikazan je utjecaj DFI-a. Polje strujanja je nakon DFI-a uravnoteženo što nije bio slučaj sa početnim poljem. Na slikama 26 d, e, f pokazano je da se postiglo kvazistacionarno stanje neovisno o DFI-u, iako ulazno polje nije

bilo uravnoteženo u 30 koraka integracije. Unutar sloja atmosfere do 3 km razlika je zanemariva.

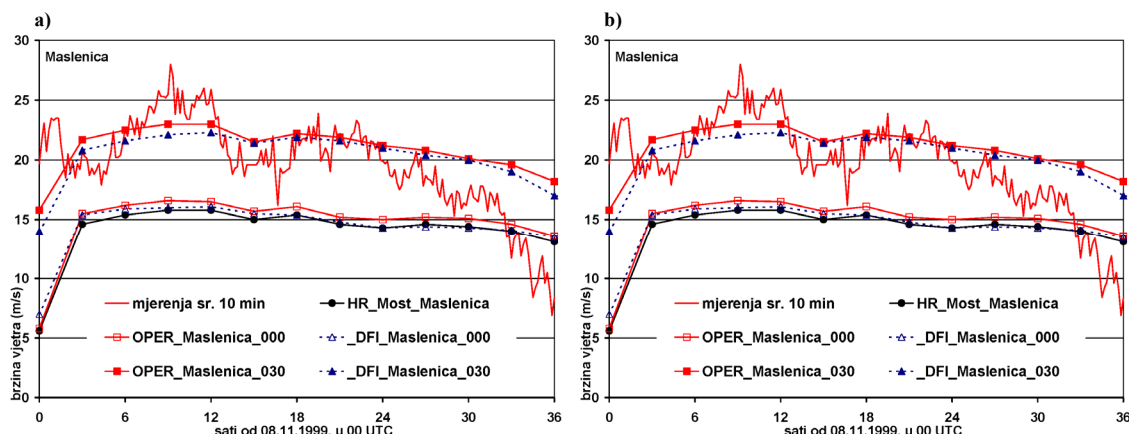


Slika 26. Vertikalni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije) duž meridijana 15.51 s 0 koraka integracije a) bez DFI-a, b) sa DFI-om, c) vektorska razlika horizontalnog vjetra (m/s) bez - s DFI-om; nakon 30 koraka integracije d) bez DFI-a, e) sa DFI-om, f) vektorska razlika horizontalnog vjetra (m/s) bez - s DFI-om. Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.



Slika 27. Isto kao slika 26 za 0 koraka integracije. Start modela 08. studenog 1999. u 00 UTC, 21 satna prognoza za 08. studeni 1999. u 21 UTC.

Za početni termin integracije nije moguće uspostaviti ravnotežu korištenjem samo DFIA prije početka prognoze, radi velike razlike između razlučivosti globalnog modela (za ulazna polja korištena u radu približno 25 km) i razlučivosti dinamičke adaptacije (2 km) (slika 28 b). Inicijalizacija se radi s digitalnim filterom i tako se uklanjaju samo valovi kratkih valnih duljina, a ne radi se prognoza cijelim fizikalnim paketom dovoljno dugo da bi se polja prilagodila novoj orografiji u modelu.



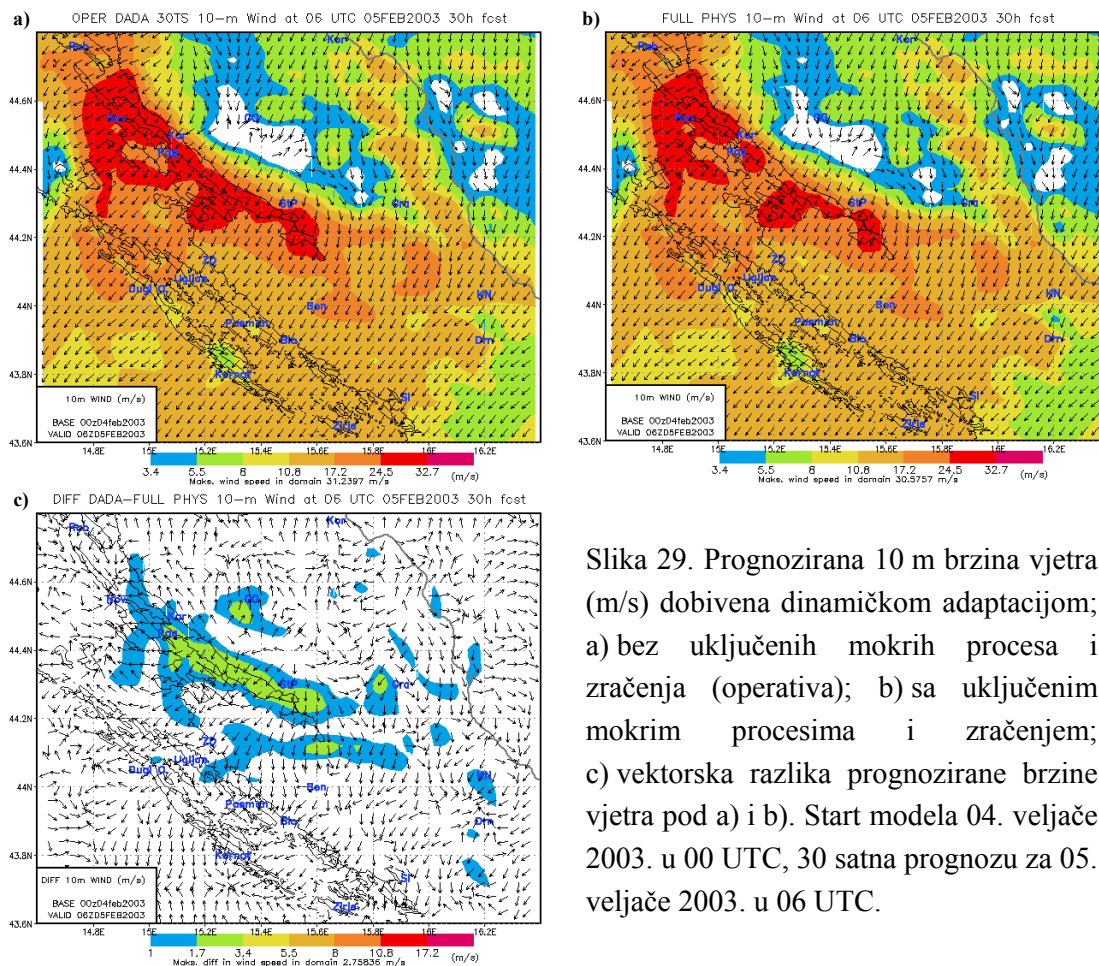
Slika 28. Usporedba mjerenja s rezultatima modela za brzinu vjetra (m/s): HR - rezultati na 8 km domeni s rezultatima dinamičke adaptacije na 2 km ako je DFI primijenjen na početno polje ili ne, te početno polje iz kojega je počela integracija 000, a) početak integracije 07. i b) 08. studenog 1999. za točku Most Maslenica.

Na slici 28, DFI znači da je prije početka dinamičke adaptacije napravljena inicijalizacija digitalnim filterom, OPER znači da DFI nije korišten prije početka dinamičke adaptacije, 000 predstavlja početno polje iz kojega je počela dinamička adaptacija, a 030 su rezultati nakon 30 koraka dinamičke adaptacije. Pokazano je da ne postoje značajne razlike za rezultate dobivene metodom dinamičke adaptacije koristi li se DFI ili ne. To vrijedi i za prve termine nakon početka integracije, jer početno polje, koje je ustvari interpolacija globalnog polja manje horizontalne razlučivosti, nije moguće znatno poboljšati neovisno koristi li se na početku DFI ili ne. Očito modelu treba neko vrijeme da se u potpunosti prilagodi manjoj skali, osobito ako je razlika u horizontalnoj razlučivosti prevelika.

2.4. Utjecaj izostavljenih fizičkih procesa

U ovom poglavlju ispitan je utjecaj zanemarenih fizičkih procesa u dinamičkoj adaptaciji. Napravljena je dinamička adaptacija sa uključenim cijelim paketom fizike (uključeni su zračenje i mokri procesi u dinamičkoj adaptaciji na 2 km horizontalnoj razlučivosti). Istraživanja su provedena na slučaju s burom, kada je utjecaj mokrih procesa najveći mogući za slučaj bure. Promatrana situacija, 4. i 5. veljače 2003., karakterizirana je prostranom ciklonom nad jugoistočnim dijelom Panonske doline i malom ciklonom nad Jadranom. Duž Jadranske obale postojao je veliki gradijent tlaka između unutrašnjosti i primorja. Uz oba sistema sa sniženim tlakom postojala je i oborina.

Proučavani su posebno utjecaji uključivanja zračenje i mokrih procesa i ustanovljeno je da je doprinos mokrih procesa za ovaj slučaj "mokre" bure veći od doprinosa zračenja (u radu nije pokazano). Razlog tomu je da se višak topline lako advektira niz struju a dodatna vlažnost zraka može lako pokrenuti lokalnu konvekciju, koja promjeni horizontalno strujanje. Zato je utjecaj svih zanemarenih fizičkih procesa u dinamičkoj adaptaciji proučavan je zajedno.

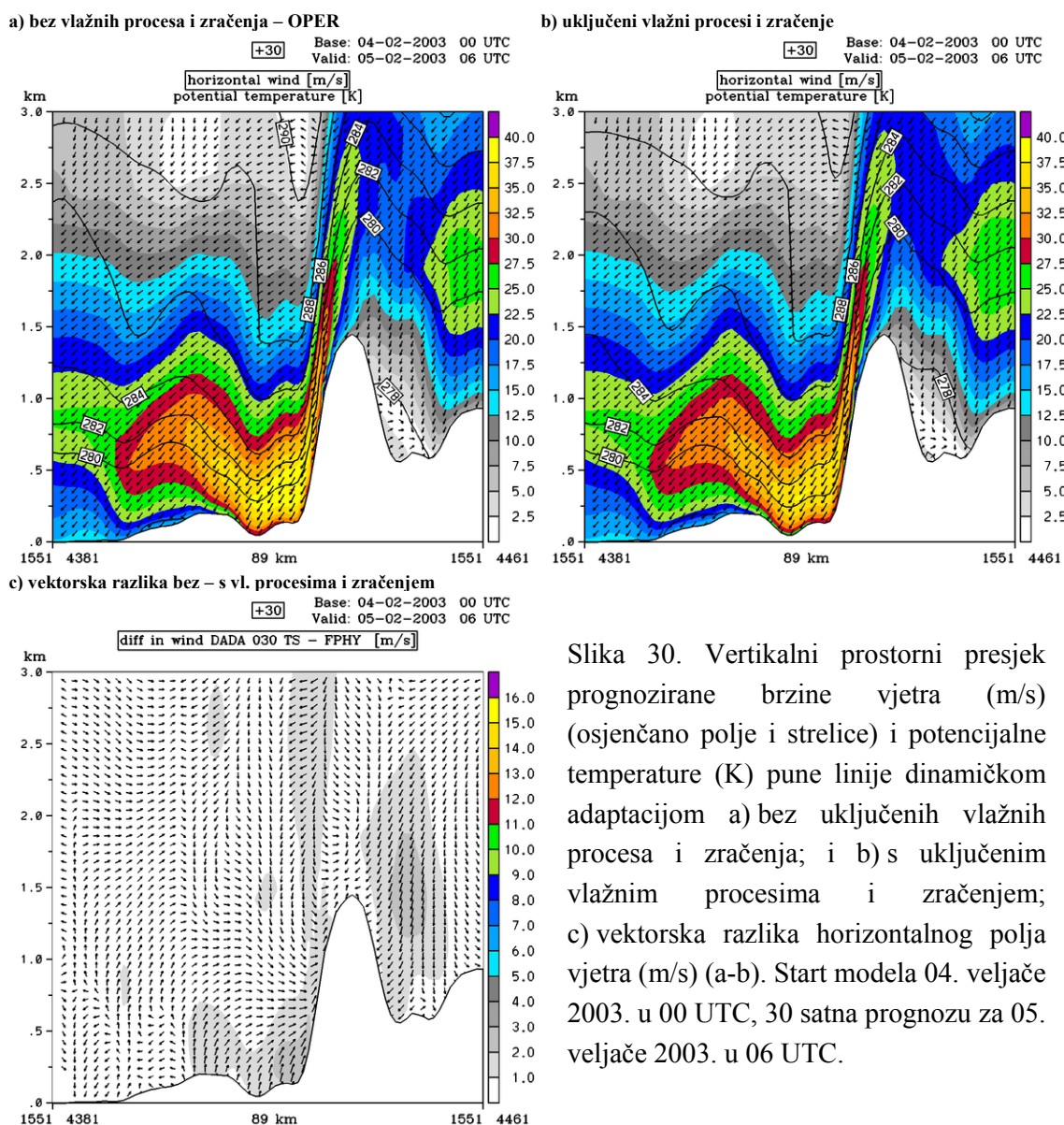


Slika 29. Prognozirana 10 m brzina vjetra (m/s) dobivena dinamičkom adaptacijom; a) bez uključenih mokrih procesa i zračenja (operativa); b) sa uključenim mokrim procesima i zračenjem; c) vektorska razlika prognozirane brzine vjetra pod a) i b). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

Utjecaj mokrih procesa i zračenja na numeričku simulaciju u promatranom slučaju bure vrlo je mali za polje vjetra na visini 10 m (slika 29). Rezultati ukazuju da je osnovna struktura strujanja zadržana. Postoje područja u kojima je vjetar pojačan, tj. postoje uske pruge jačeg strujanja na primorskoj strani Velebita u oba simulirana slučaja. Rezultati su vrlo slični za integraciju sa i bez uključenih mokrih procesa i zračenja. Modul vektorske razlike 10 m brzine vjetra manji je od 3 m/s.

Slični rezultati dobiveni su i s vertikalnim presjekom sjever-jug kroz središte domene za isti promatrani slučaj bure. Razlika koristi li se fizika u cijelosti ili se koristi samo dio fizike modela je mala. Za visinu do 1000 m ta je razlika manja od 3 m/s (slika 30).

Uzimajući u obzir da su prognozirane brzine u podnožju Velebita za promatrani slučaj bure u rasponu od 17 do 32 m/s, tada je vektorska razlika manja od 3 m/s u prognoziranoj brzini vjetra na 10 m nad tlom u tome području zanemariva.



Slika 30. Vertikalni prostorni presjek prognozirane brzine vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) pune linije dinamičkom adaptacijom a) bez uključenih vlažnih procesa i zračenja; i b) s uključenim vlažnim procesima i zračenjem; c) vektorska razlika horizontalnog polja vjetra (m/s) (a-b). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

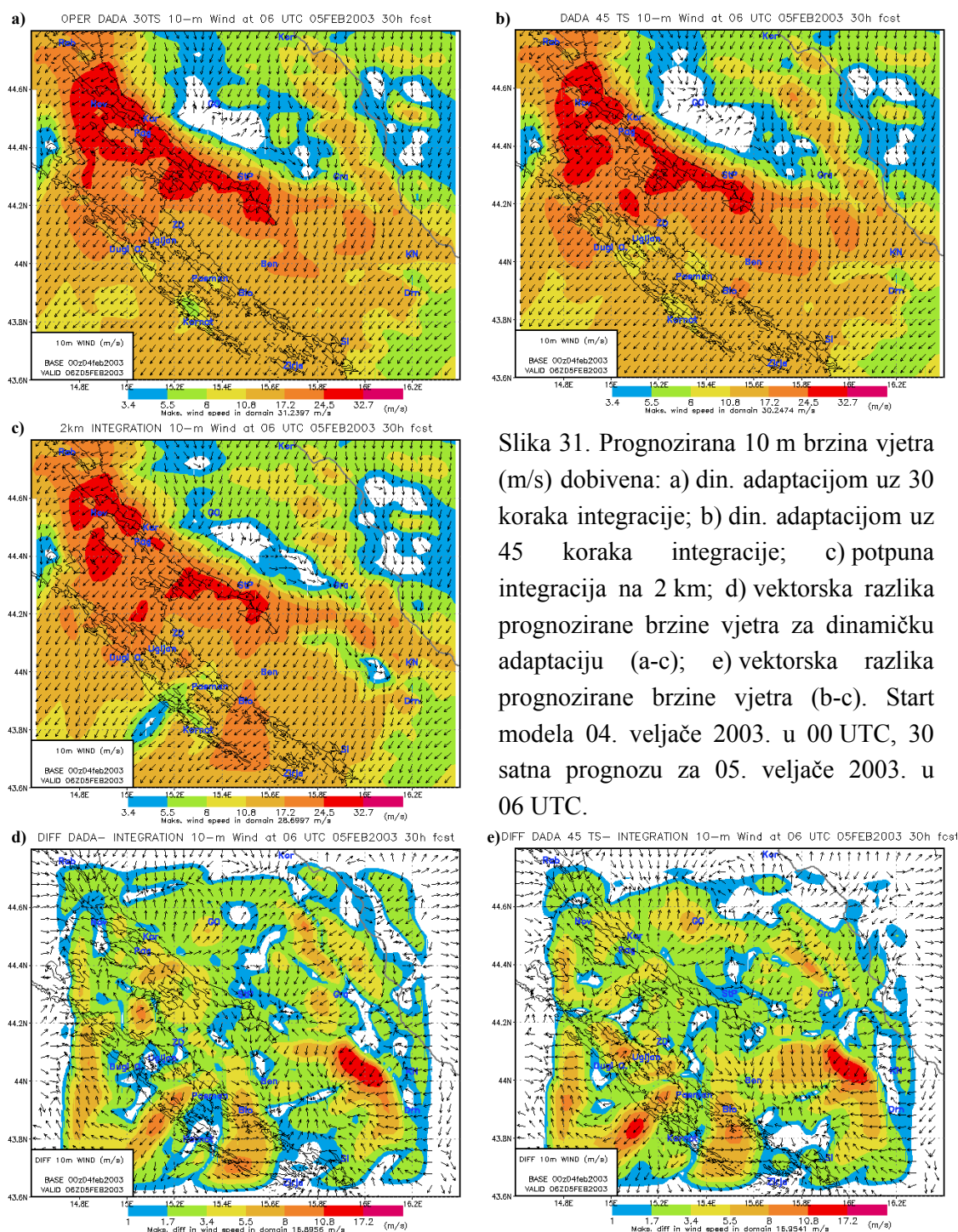
Usporedba s mjerenjima bit će prikazana zajedno s rezultatima za potpunu integraciju od početnog polja koja slijedi u slijedećem poglavlju (2.5. Usporedba dinamička adaptacija i klasične prognoza od početnog polja).

2.5. Usporedba dinamičke adaptacije i klasične prognoze od početnog polja

Dinamička adaptacija izvodi se za svaki vremenski korak posebno. To znači da se može odabrati bilo koji termin u prognostičkom razdoblju i za njega napraviti dinamičku adaptaciju. Time se potrebno vrijeme za izradu prognoze ili dodatnu obradu nekog pojedinog slučaja može znatno smanjiti, osobito ako se radi prognozi za neki termin koji je daleko od početnog termina.

Za punu integraciju korišten je potpuni paket fizike modela koji se koristi i na 8 km razlučivosti operativnog modela. Razlog tomu je što paket fizikalnih parametrizacija

namijenjenih za 2 km horizontalnu razlučivost nije još razvijen. Klasična prognoza na 2 km horizontalnoj razlučivosti uspoređivana je s rezultatima sa 30 i 45 koraka integracije u dinamičkoj adaptaciji.



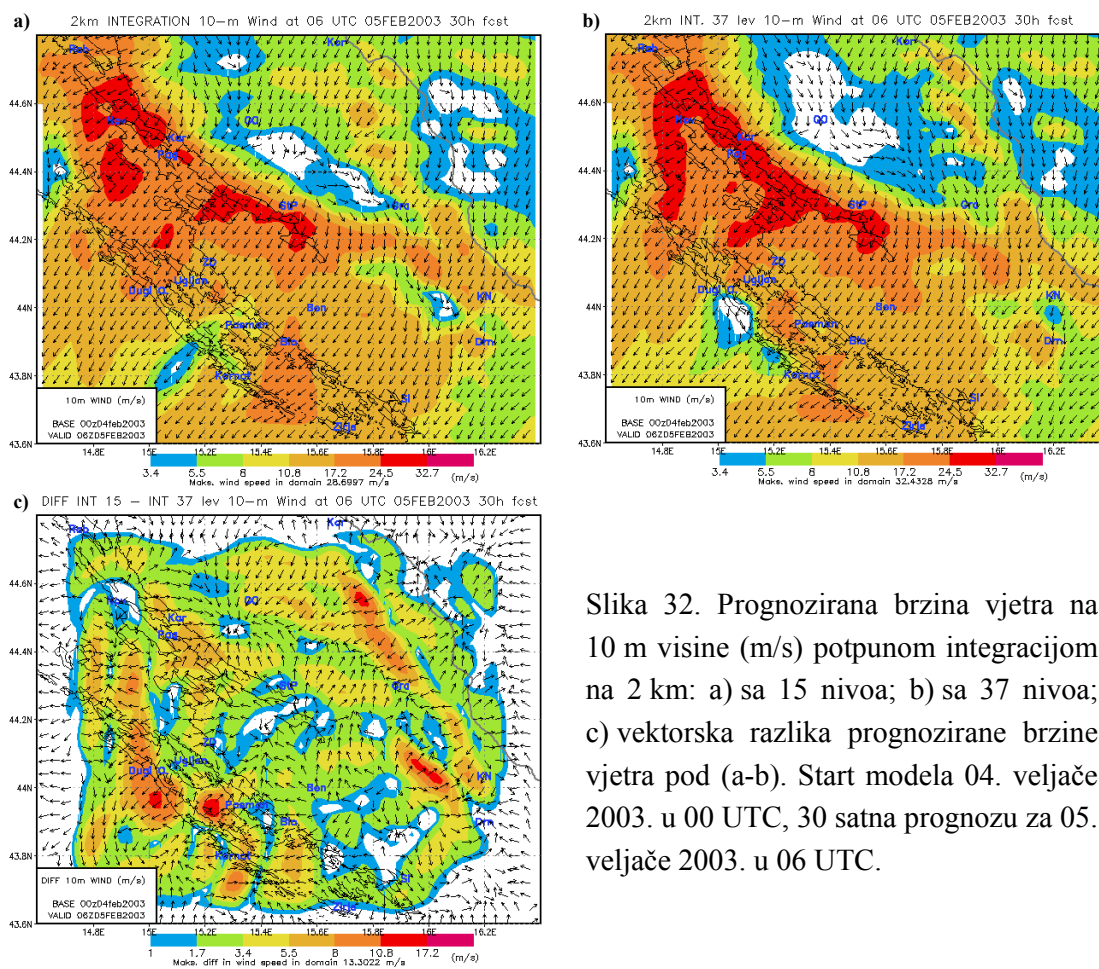
Slika 31. Prognozirana 10 m brzina vjetra (m/s) dobivena: a) din. adaptacijom uz 30 koraka integracije; b) din. adaptacijom uz 45 koraka integracije; c) potpuna integracija na 2 km; d) vektorska razlika prognozirane brzine vjetra za dinamičku adaptaciju (a-c); e) vektorska razlika prognozirane brzine vjetra (b-c). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

Polja dobivena dinamičkom adaptacijom nakon 30 koraka (operativno) i 45 koraka integracije ne razlikuju se značajno od polja potpune integracije u području blizu najveće orografske prepreke, Velebita (slika 31). Brzine su na nekim mjestima podno Velebita malo veće za dinamičku adaptaciju neovisno o broju koraka, ali je osnovna struktura strujanja vrlo slična.

Najveće razlike su uočene u istočnom dijelu domene, gdje je puna integracija dovela do lokalnog minimuma. Isti rezultat dobiven je i u prethodnom poglavlju usporedbom prognoza dobivenih s različitim brojevima koraka integracije u dinamičkoj adaptaciji.

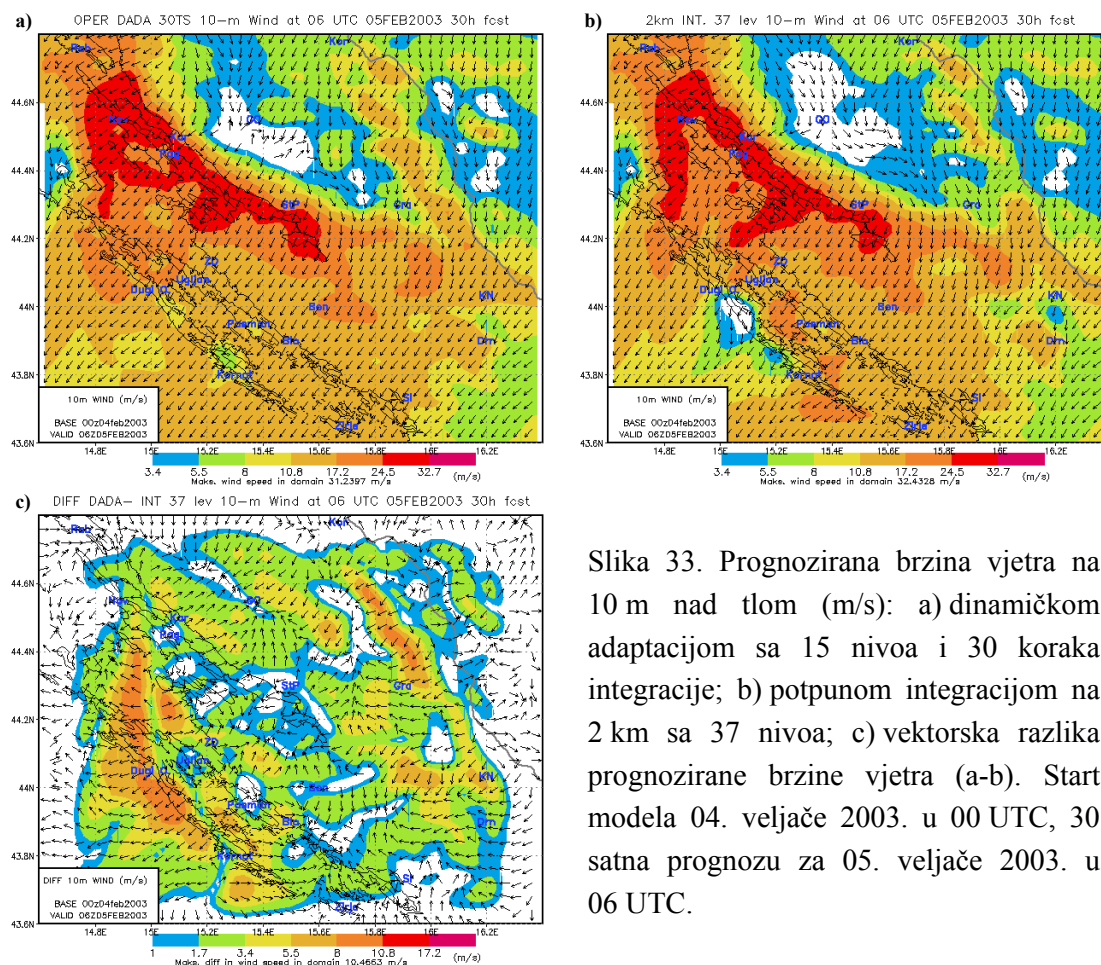
Razlika između pune integracije i dinamičke adaptacije sa 45 koraka je malo manja od razlike između pune integracije i dinamičke adaptacije sa 30 koraka (slike 31 e i d). U jugoistočnom dijelu domene, gdje se rezultati 30 satne prognoze i dinamičkih adaptacija najviše razlikuju (nešto manje od 16 m/s), nema značajne razlike koristi li se 30 ili 45 koraka dinamičke adaptacije (slike 31 a i b). Na tom području je za punu integraciju brzina vjetra znatno smanjena u odnosu na okolno područje (slika 31 c). To se događa i nakon prelaska zračne struje preko Dugog otoka. Treba imati na umu da se uspoređuju rezultati 30 satne potpune integracije i dinamičkih adaptacija. Domena je veličine 72x72 točke, a u integraciji je interval osvježavanja rubnih uvjeta 1 sat. Za punu integraciju početno polje je interpolirano na horizontalnu razlučivost 2 km i poslije toga je model radio 30 sati. U slučaju dinamičke adaptacije, 30 satna prognoza sa 8 km razlučivosti je interpolirana te je nakon toga model integriran 30 ili 45 koraka.

Na slikama 31 d i e, 32 c te 33 c, sa vektorskim razlikama prognozirane brzine vjetra zorno se vidi područje miješanja (prikazano na slici 1) u kojemu na vanjskom rubu imamo iste vrijednosti u točkama modela neovisno koristi li se dinamička adaptacija ili integracija na horizontalnoj razlučivosti 2 km.



Slika 32. Prognozirana brzina vjetra na 10 m visine (m/s) potpunom integracijom na 2 km: a) sa 15 nivoa; b) sa 37 nivoa; c) vektorska razlika prognozirane brzine vjetra pod (a-b). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

S obzirom da razlike između potpune prognoze i dinamičke adaptacije u nekim područjima iznose i više od 15 m/s, istraživao je utjecaj smanjenja broja nivoa za potpunu prognozu (slika 32). Rezultati pokazuju da se za potpunu integraciju sa različitim brojem vertikalnih nivoa nakon 30 sati integriranja brzine razlikuju do 13 m/s (slika 32 c), na istom području gdje se nalazi maksimum u razlici između dinamičke adaptacije i potpune integracije. Nakon 30 sati integriranja sa znatno reduciranim brojem nivoa takve razlike su i bile očekivane. Uočena razlika u polju vjetra dobivenog dinamičkom adaptacijom i punom prognozom je posljedica korištenja smanjenog broja nivoa u vertikali u punoj prognozi.

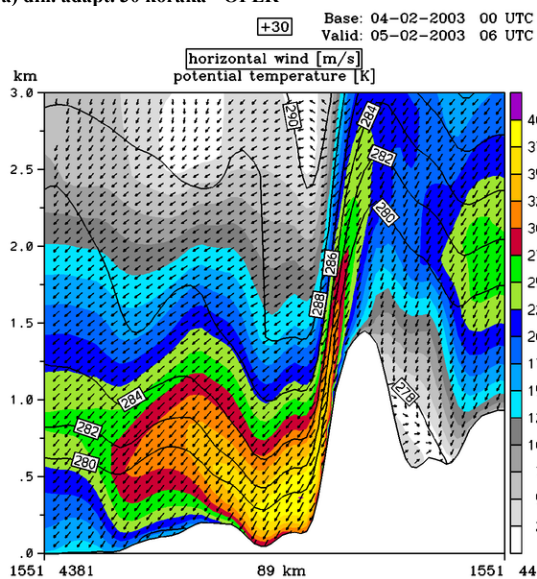


Slika 33. Prognozirana brzina vjetra na 10 m nad tlom (m/s): a) dinamičkom adaptacijom sa 15 nivoa i 30 koraka integracije; b) potpunom integracijom na 2 km sa 37 nivoa; c) vektorska razlika prognozirane brzine vjetra (a-b). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

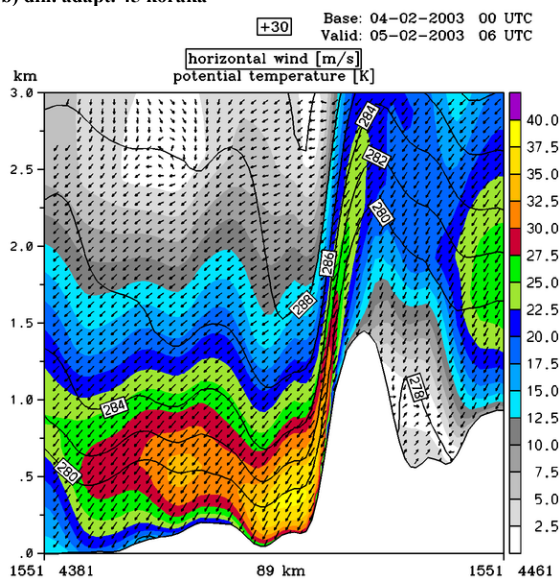
Povećanjem broja nivoa u potpunoj integraciji s 15 na 37 nivoa znatno je reducirana razlika u dobivenoj brzini vjetra, sa 16 na 10.5 m/s (slika 31 d u odnosu na 33 c).

Za usporedbu vertikalnih presjeka korištene su dinamičke adaptacije sa 30 i 45 koraka te klasična prognoza s 15 nivoa na 2 km domeni. Usporedbom 30 i 45 koraka integracije na navjetrinskoj strani dolazi do usporavanja strujanja uz tlo. Do visine od 1000 m, razlika je mala, kako u polju horizontalnog strujanja, tako i u polju potencijalne temperature. S povećanjem broja koraka integracije u dinamičkoj adaptaciji, pruga povećane brzine vjetra do visine od 500 m napreduje dalje niz struju (slike 34 a i b).

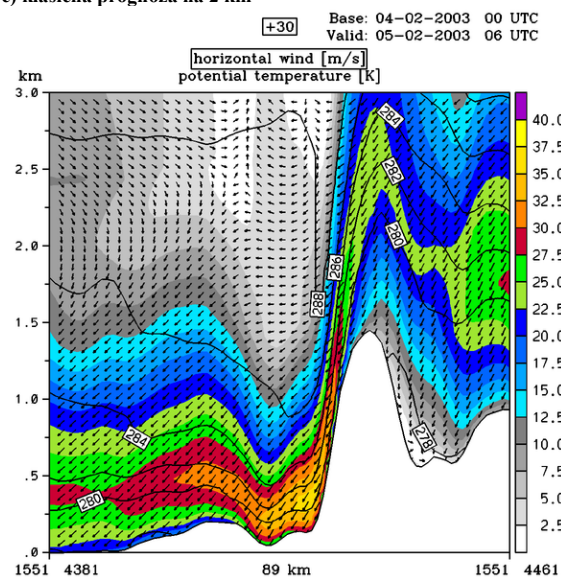
a) din. adapt. 30 koraka - OPER



b) din. adapt. 45 koraka

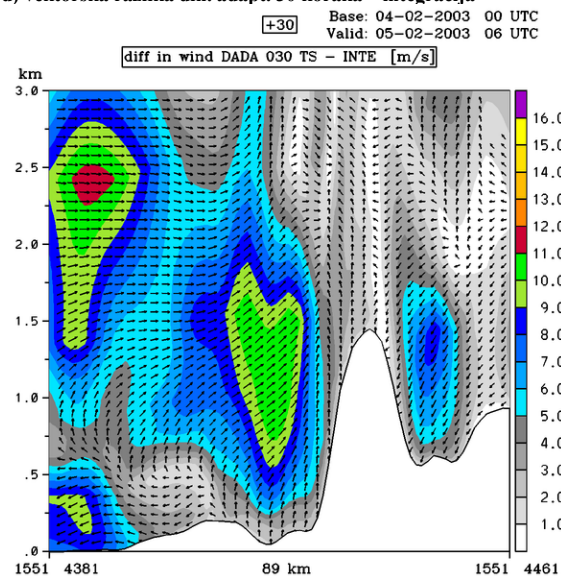


c) klasična prognoza na 2 km

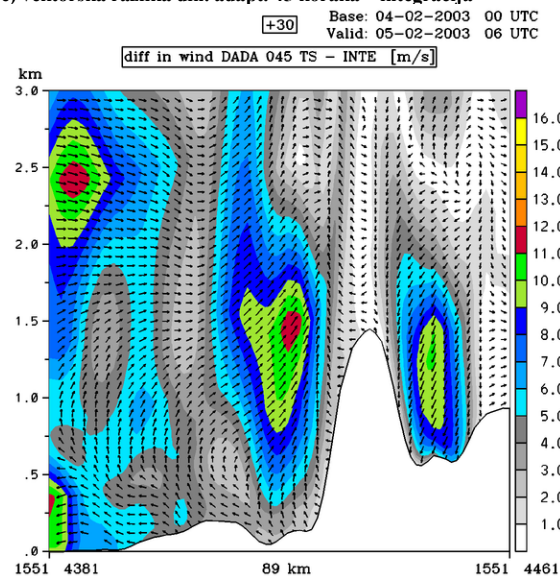


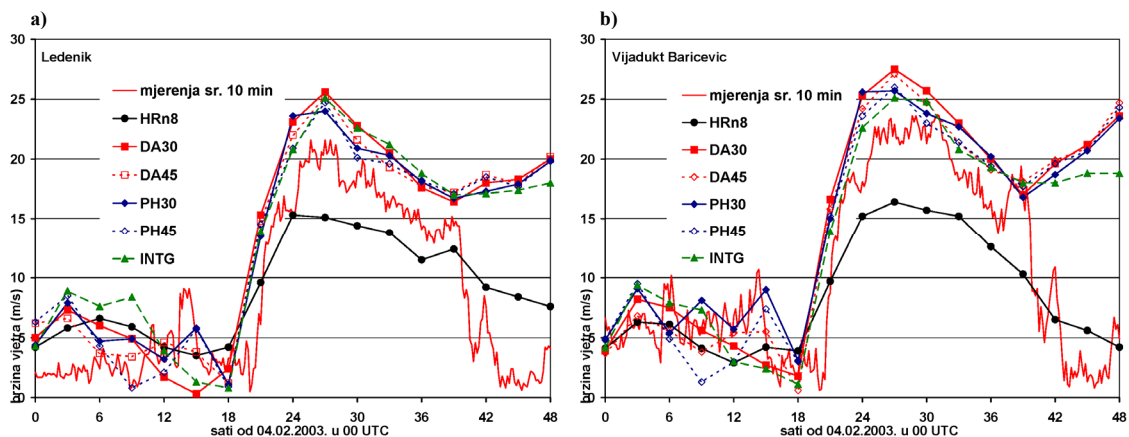
Slika 34. Vertikalni presjek prognozirane brzine vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije): a) dinamičkom adaptacijom sa 30 koraka; b) dinamičkom adaptacijom sa 45 koraka; c) potpunom integracijom na 2 km rezoluciji; d) vektorska razlika horizontalnog polja vjetra (m/s) (a-c); e) vektorska razlika horizontalnog polja vjetra (m/s) (b-c). Start modela 04. veljače 2003. u 00 UTC, 30 satna prognozu za 05. veljače 2003. u 06 UTC.

d) vektorska razlika din. adapt. 30 koraka – integracija



e) vektorska razlika din. adapt. 45 koraka – integracija

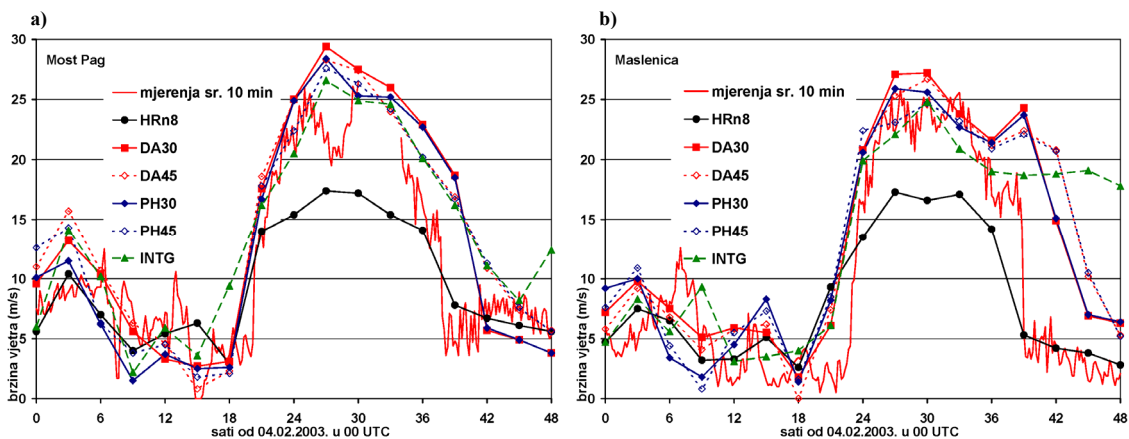




Slika 35. Usporedba mjerenja brzine vjetra (m/s) s rezultatima modela: HRn8 – 8 km te 2 km: DA30 - operativna dinamička adaptacija sa 30 koraka integracije (operativna); DA45 - din. adaptacija sa 45 koraka integracije; PH30 - dinamička adaptacija s cijelom fizikom i 30 koraka integracije; PH45 - dinamička adaptacija s cijelom fizikom i 45 koraka integracije; INTG - klasična prognoza s cijelom fizikom, za postaje: a) Ledenik i b) Vijadukt Baričević. Start modela 4. veljače 2003. u 00 UTC, 48 satna prognoza.

Za postaje Ledenik i Vijadukt Baričević (slike 35 a i b), razlika između operativne dinamičke adaptacije i dinamičke adaptacije sa uključenim cijelim paketom fizike postoji na početku promatranog razdoblja. Kasnije, kada dolazi do silaznog strujanja niz Velebit, razlika iščezava. Razlika između potpune integracije i dinamičke adaptacije je nešto veća, ali se za razdoblje dok je prevladavalo silazno strujanje ne razlikuje značajno. Pred kraj integracije, kada jako silazno strujanje prestaje, svi rezultati na 2 km razlučivosti precijenjuju brzinu vjetra. Pri tom su rezultati dobiveni potpunom integracijom malo bolji, ali prognoza znatno precijenjuje izmjerenu brzinu vjetra.

Početak jakog vjetra dobro je prognozirano, što nije slučaj za njegov prestanak na ove dvije lokacije koje se nalaze na obronku planine.



Slika 36. Kao slika 35, za postaje: a) Paški most i b) Maslenički most.

Za postaje Paški i Maslenički most (slike 36 a i b), između operativne dinamičke adaptacije i dinamičke adaptacije sa uključenim cijelim paketom fizike, postoji razlika na početku

promatranog razdoblja. Razlika nestaje kad započne silazno strujanje niz Velebit. Razlika između potpune integracije i dinamičke adaptacije postoji za dva slučaja, kad u mjerenjima postoji malo smanjenje brzine te drugo pri kraju integracije, u oba slučaja, samo za Maslenički most. Između 00 i 09 UTC 05. veljače 2003. potpuna prognoza na 2 km prognozira smanjenu brzinu vjetra u odnosu na dinamičke adaptacije sa ili bez potpunog paketa fizike. To smanjenje je u skladu s mjerenjima. Suprotno tome iza 12 UTC 05. veljače 2003. potpuna prognoza precijenjuje prognozu brzine vjetra, a dinamičke adaptacije daju prognozu u skladu sa mjerenjima.

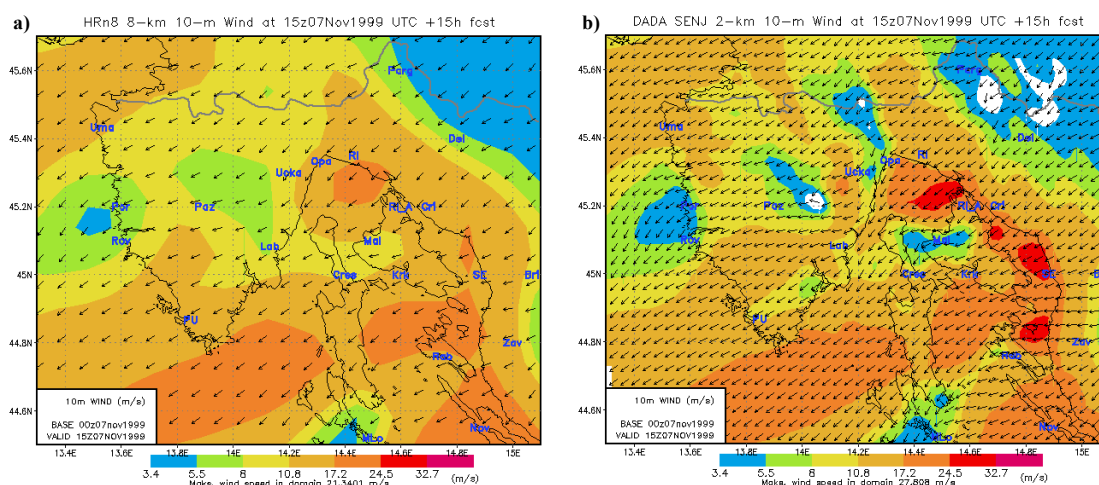
Iz prethodno navedenog, slijedi da fizičke procese, koje smo izostavili u metodi dinamičke adaptacije, možemo zanemariti, radi uštede vremena pri računanju. Time se u prognozu sigurno dodaje nepouzdanost. Ovom metodom moguće je u dovoljno kratkom vremenu dobiti prognozu strujanja na 2 km. Uz to treba imati na umu da je za potpunu integraciju korišten potpuni paket fizike modela koji se koristi i na 8 km razlučivosti, zato što trenutno ne postoji posebni paket fizičkih parametrizacija namijenjen za 2 km horizontalnu razlučivost.

3. USPOREDBA S MJERENJIMA

U ovom poglavlju biti će prikazani rezultati primjene dinamičke adaptacije tijekom Mezoskalnog alpskog programa u razdoblju intenzivnih mjerenja 15 (MAP-IOP 15, eng. *Mesoscale Alpine Programme-Intensive Observing Period*, Bougeault et al., 2001) kad su postojala dodatna avionska mjerenja duž istočne Jadranske obale. Na isti način prikazani su i rezultati za veljaču i prosinac 2003. kad su duž autoceste Zagreb - Split postojala dodatna mjerenja.

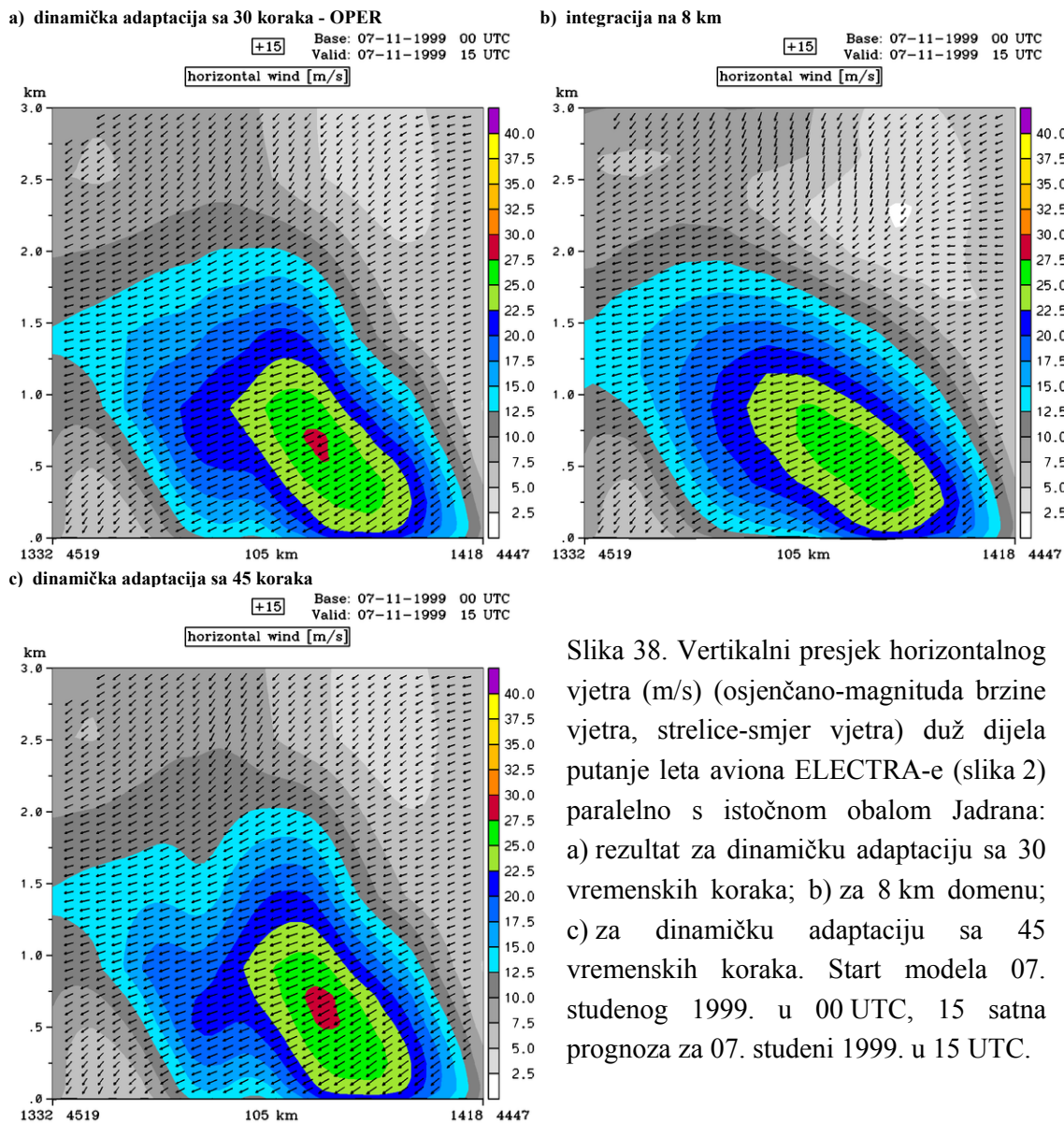
3.1. MAP-IOP 15

Razdoblje MAP-IOP 15 od 7 do 9. studenog 1999. karakterizirano je olujnom burom na Jadranu, ali i vrlo jakim vjetrovom u unutrašnjosti Hrvatske. Uzrok nalazimo u vrlo jakoj cikloni koja se sporo premještala na jugoistok preko srednje Italije. Uz jak prodor hladnog zraka sa sjeveroistoka, nad područjem Dinarida i Alpa došlo je do vrlo velikih gradijenta u polju tlaka zraka, što je i dovelo do jačanja vjetra u donjim slojevima atmosfere. Bura je na sjevernom Jadranu počela puhati u prijedpodnevnim satima 07. studenog 1999. te se područje zahvaćeno burom postupno širilo prema jugu. Tijekom tog razdoblja obavljena su i specijalna avionska mjerenja aviona ELECTRA u razdoblju 15 do 16 UTC 07. studenog 1999. Avion je poletio iz Italije, letio paralelno s obalom preko Brijuna do Kornata i natrag, a u blizini Senja na većoj visini je letio prema unutrašnjosti okomito na smjer obale. Putanja leta paralelna s obalom prikazana je na slici 2, a detaljnija analiza podataka mjerenja može se naći u Grubišić (2004). U ovom radu uspoređivani su rezultati modela ALADIN s avionskim mjerenjima na visinama 330 i 660 m. Opširnije o ovom promatranom slučaju moguće je pronaći npr. u Tudor i Ivatek-Šahdan (2002), Bencetić Klaić i sur. (2003), Ivatek-Šahdan i Tudor (2004), Grubišić (2004), te Ivatek-Šahdan i Ivančan-Picek (2006).



Slika 37. Prognoza vjetra na 8 km razlučivosti (a) i dinamičkom adaptacijom na 2 km razlučivosti (b). Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Početno polje za dinamičku adaptaciju, odnosno prognoza na 8 km razlučivosti (slika 37 a) prilagođeno je finijoj orografiji na 2 km. Maksimalna brzina povećana je s 21 m/s na 28 m/s u odnosu na 8 km domenu. Ti maksimumi gotovo se podudaraju s klimatološkim maksimumom bure kod Senja, u blizini Bakarskog zaljeva, Krčkog mosta te podno Velebita u razdoblju 1958-1987. (Bajić, 1989; Vučetić, 1991).

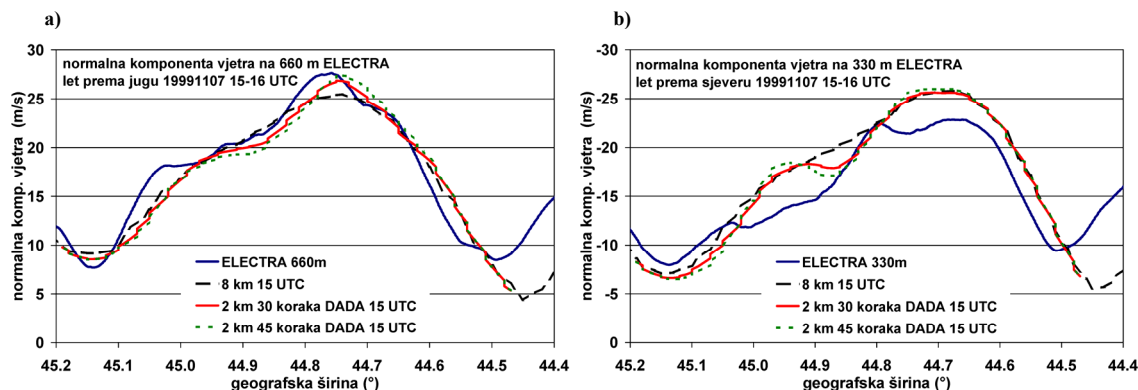


Slika 38. Vertikalni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano-magnituda brzine vjetra, strelice-smjer vjetra) duž dijela putanje leta aviona ELECTRA-e (slika 2) paralelno s istočnom obalom Jadrana: a) rezultat za dinamičku adaptaciju sa 30 vremenskih koraka; b) za 8 km domenu; c) za dinamičku adaptaciju sa 45 vremenskih koraka. Start modela 07. studenog 1999. u 00 UTC, 15 satna prognoza za 07. studeni 1999. u 15 UTC.

Metodom dinamičke adaptacije, neovisno o broju koraka, u odnosu na rezultate modela na 8 km razlučivosti maksimalna brzina vjetra, koja se nalazi na visini između 500 i 750 m, je povećana (slika 38). Pri tlu, razlike u prognoziranoj brzini vjetra su male.

Na slici 39 prikazana je usporedba avionskih mjerenja sa rezultatima ALADIN modela. U mjerenjima postoje 2 izražena minimuma u polju strujanja oko 45.15 i 44.5 °N. Maksimumi se na visinama 330 i 660 m ne nalaze se na istoj geografskoj širini. Niži maksimum je pomaknut južnije i prigušen je. Na visini 660 m (slika 39 a) i 8 km model i 2 km dinamička

adaptacija prognoziraju dobro položaj maksimuma kao i brzinu vjetra. Isti slučaj je i za sjeverniji minimum, dok je onaj južniji u rezultatima simulacija pomaknut malo južnije. Na visini 330 m (slika 39 b) maksimum normalne komponente vjetra je precijenjen u rezultatima modela. Slično kao i na visini 660 m, na visini 330 m sjeverniji minimum dobro je prognozirano dok je južniji pomaknut prema jugu.



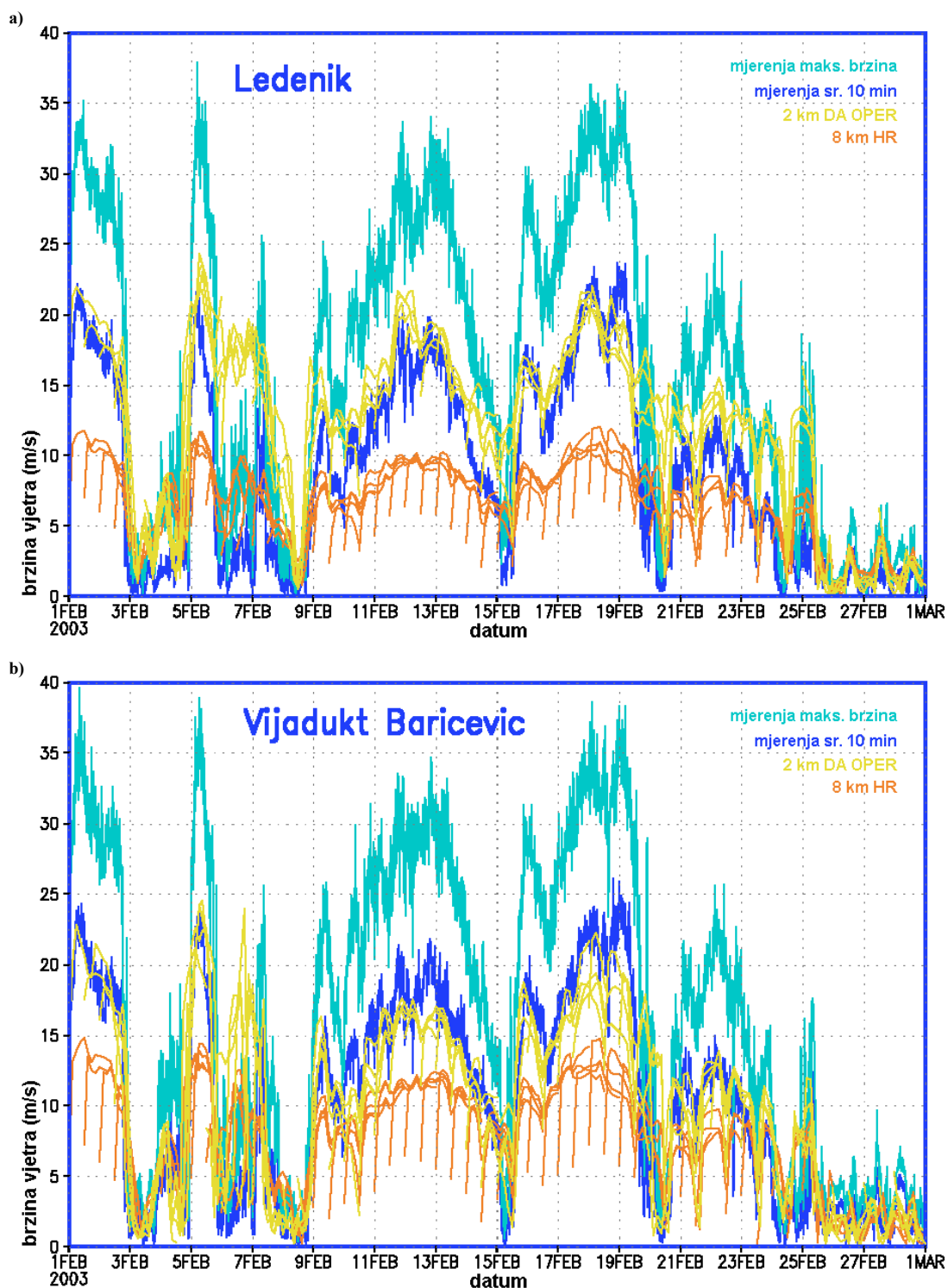
Slika 39. Usporedba normalne komponente vjetra (m/s) na smjer leta duž istočne obale Jadrana, za 07. studeni 1999. mjerene istraživačkim avionom ELECTRA u razdoblju od 15 do 16 UTC (plava linija) sa rezultatima modela ALADIN u 15 UTC horizontalne razlučivosti 8 km (isprekidana crna linija) i rezultatima dinamičke adaptacije vjetra na 2 km razlučivosti (puna crvena linija-30 koraka integracije i isprekidana zelena-45 koraka integracije).

Za geografske širine sjevernije od 44.6 °N slaganje između mjerenja i rezultata modela je zadovoljavajuće. Slaganje je bolje za visinu 660 m nego za visinu 330 m (slike 39 a i b). U području od 44.6 do 44.3 °N za visinu 660 m i 44.5 do 44.3 °N za 330 m model previše naglašava minimum u polju strujanja. Južnije od 44.3 °N prognozirana normalna komponenta vjetra na let aviona je preslaba.

U blizini rubova 2 km domene nalazi se područje miješanja u kojem se kombiniraju rješenja 8 km i 2 km razlučivosti pa nema velikih razlika između rezultata. Najveće razlike nalazimo oko geografske širine 44.8 °N, gdje se rezultati dinamičke adaptacije na obje visine približavaju rezultatima mjerenja.

3.2. Veljača 2003.

U ovom poglavlju će biti prikazani rezultati usporedbe rezultata modela s mjerenjima za veljaču 2003. i to za dvije lokacije duž autoceste Zagreb - Split, Ledenik i Vijadukt Baričević. Postaja Ledenik se nalazi na padini u gornjem dijelu Velebita, dok je Vijadukt Baričević u blizini podnožja Velebita u zaleđu Zadra. Veljaču 2003. obilježilo je nekoliko epizoda jakog vjetra, a uz to postojala su i dodatna istraživačka mjerenja duž autoceste Zagreb - Split.



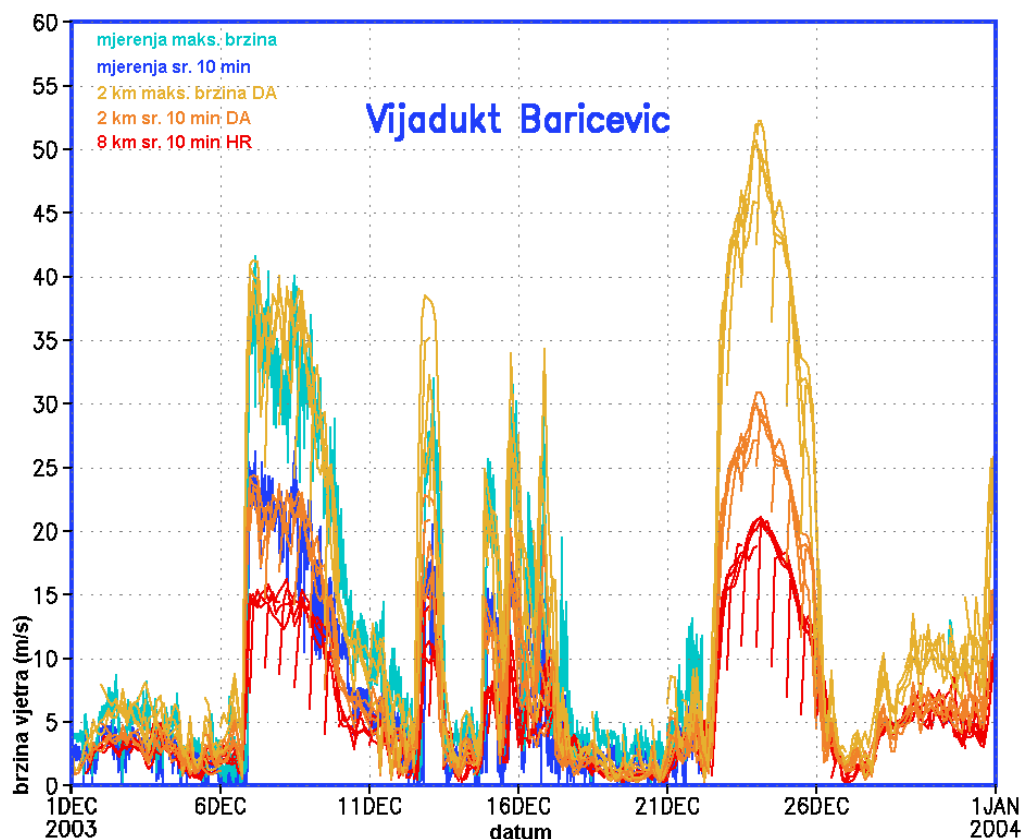
Slika 40. Usporedba mjerenja s modelom ALADIN: srednja 10 min brzina vjetra (tamno plavo) te maksimalni udar vjetra (tirkizno plavo) i prognoze na 8 km razlučivosti (narančasto) i dinamičke adaptacije na 2 km razlučivosti (žuto) za postaje Ledenik (a) i Vijadukt Baričević (b) na autocesti Zagreb - Split za veljaču 2003.

Na slici 40 prikazana je usporedba modela s mjerenjima za dvije promatrane lokacije na autocesti Zagreb - Split. Rezultati ukazuju na zamjetno veće slaganje između prognoze

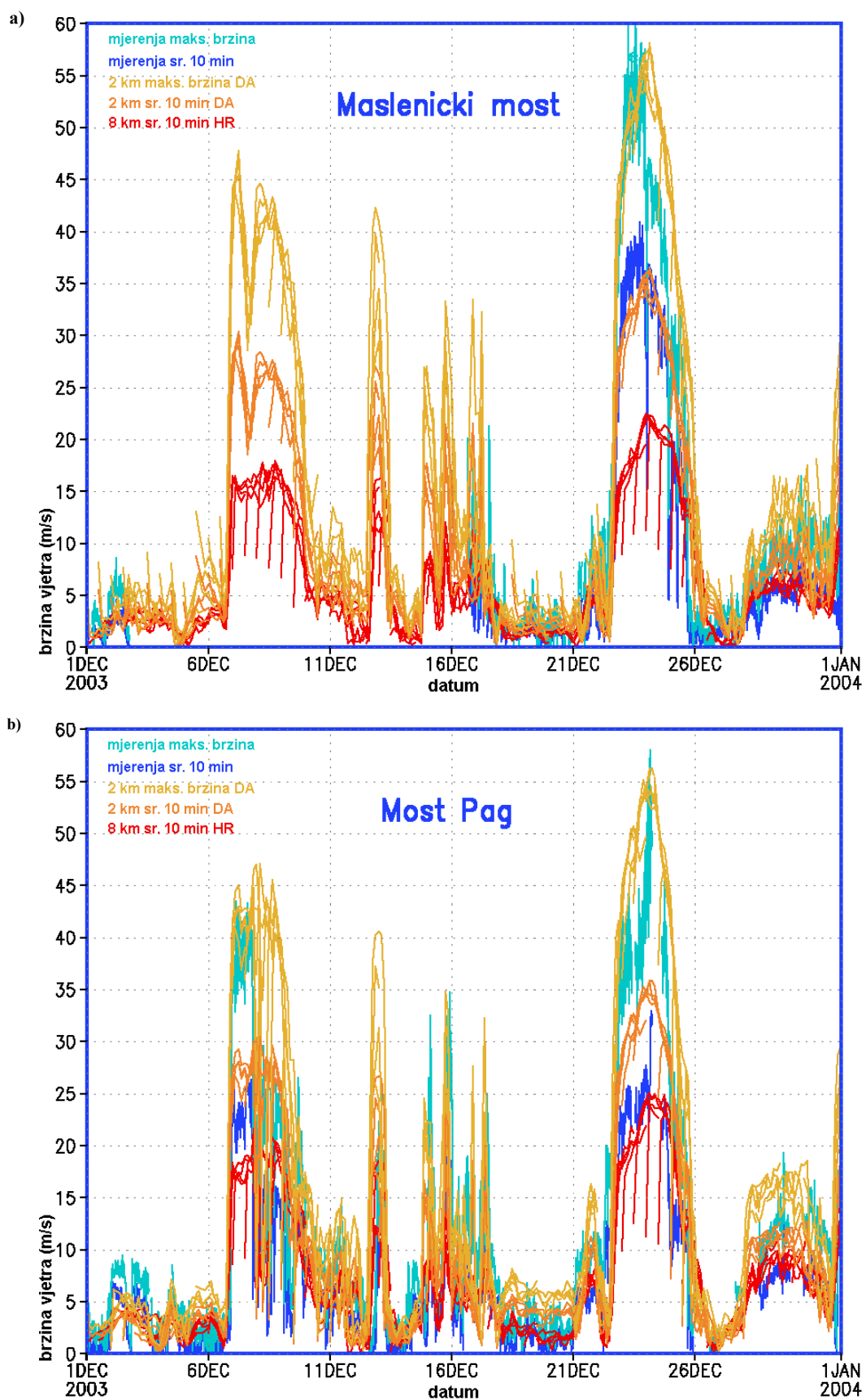
dinamičke adaptacije i srednje brzine vjetra (žuta i tamno plava linija), nego što je to slučaj prognoze na horizontalnoj razlučivosti 8 km i srednje brzine mjerenja (narančasta i tamno plava linija). U slučajevima kada postoji znatno odstupanje između mjerenja i prognoza, npr. u razdoblju 06. do 07. veljače 2003., razlika između prognoze na 8 km i dinamičke adaptacije nije velika. Zanimljivo je da polje strujanja za početni termin i prvi slijedeći termin nije u stanju prilagoditi se pravim vrijednostima radi prevelike razlike u horizontalnoj razlučivosti globalnog modela iz kojega dobivamo inicijalno polje i razlučivosti na kojoj integriramo model. To vrijedi za 8 km i za 2 km horizontalnu razlučivosti kao što je opisano u poglavlju 2.

3.3. Prosinac 2003.

Tijekom prosinca 2003. još su postojala mjerenja brzine i smjera vjetra na meteorološkoj postaji Maslenica na kojoj je i izmjeren najveći udar vjetra u Hrvatskoj od 69.0 m/s (Bajić, 2003). U tom razdoblju zabilježeno je nekoliko epizoda s jakim vjetrom. Pri tom je u razdoblju od 22. do 26. prosinca 2003. došlo i do značajnih oštećenja na infrastrukturi duž dionice autoceste Zagreb - Split od tunela Sv. Rok do Zadra.



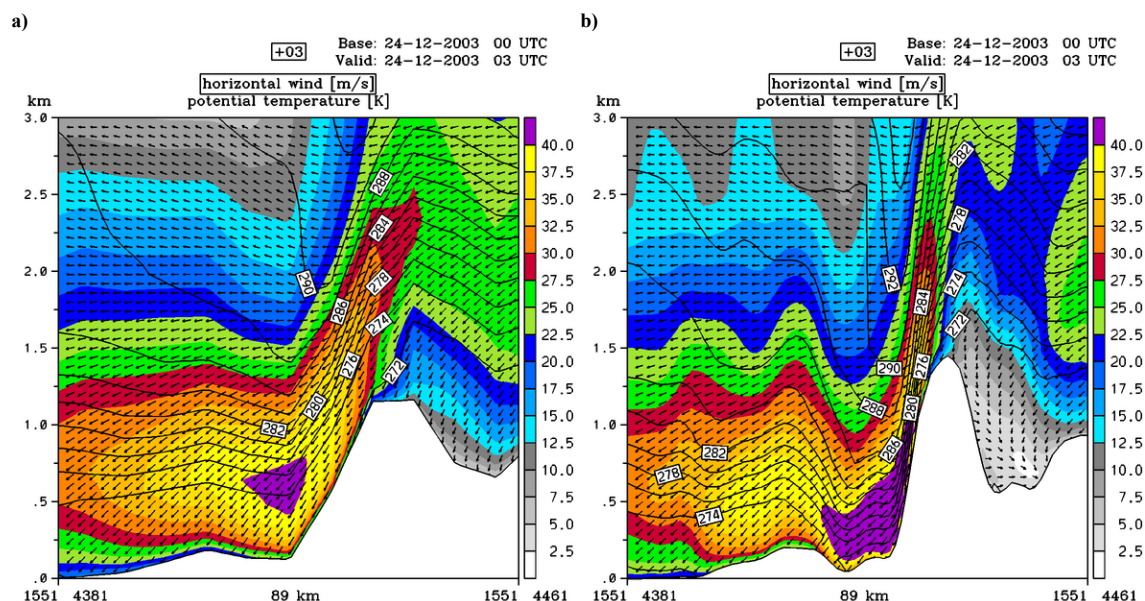
Slika 41. Usporedba mjerenja modela ALADIN: srednja 10 min brzina vjetra (tamno plavo) te maksimalni udar vjetra (tirkizno plavo) i prognoza: srednje 10 min brzine na horizontalnoj razlučivosti 8 km (crveno) te dinamičke adaptacije na 2 km razlučivosti: srednje 10 min brzine (narančasto) i prognoziranih udara vjetra (tamnožuto) za postaju Vijadukt Baričević na autocesti Zagreb - Split za prosinac 2003.



Slika 42. Kao na slici 41., ali za postaje: a) Maslenički most i b) Most Pag za prosinac 2003.

Tijekom prosinca 2003. samo je postaja Most Pag (slika 42 b) od prikazanih na slikama 41 i 42 radila cijeli mjesec. Postaja Vijadukt Baričević (slika 41) prestala je s radom zbog prevelike brzine vjetra koja je uzrokovala oštećenja na infrastrukturi, dok je postaja Maslenički most (slika 42 a) bila na umjeravanju tijekom prvog dijela mjeseca. Izmjerena srednja brzina vjetra puno se bolje slaže s rezultatima dinamičke adaptacije vjetra na horizontalnoj razlučivosti 2 km nego što je to slučaj s prognozom na 8 km razlučivosti. Vrlo dobro je slaganje s mjerenjima i prognoziranih maksimalnih udara vjetra na 2 km razlučivosti.

Vertikalna struktura atmosfere do visine od 3 km prikazana je na slici 43. Prikazane su prognoze na 8 km i rezultati dinamičke adaptacije za 24. prosinac 2003. u 03 UTC.



Slika 43. Vertikalni presjek horizontalnog vjetra (m/s) (osjenčano polje i strelice) i potencijalne temperature (K) (pune linije) duž meridijana 15.51: a) 8 km horizontalnoj razlučivosti i b) dinamička adaptacija na 2 km razlučivosti. Start modela 24. prosinca 2003. u 00 UTC, 3 satna prognoza za 24. prosinca 2003. u 03 UTC.

Prognoza metodom dinamičke adaptacije polja strujanja na 2 km horizontalnoj razlučivosti u odnosu na rezultate na 8 km horizontalnoj razlučivosti pojačava prognozirani maksimum brzine vjetra te ga spušta više prema tlu u zavjetrini planine. Uzrok tome je lom planinskog vala dobiven dinamičkom adaptacijom. To je i mjesto gdje je smještena postaja na mostu Maslenica. Kako visinska mjerenja na tom području nisu postojala, nije moguće utvrditi točnost te prognoze u ovom slučaju. Prema rezultatima izmjerenim na prizemnim postajama na kojima je slaganje izmjerenih i prognoziranih brzina vjetra na 10 m visine puno bolje za prognozu na 2 km nego na 8 km horizontalnoj razlučivosti, može se pretpostaviti da je ovo pojačavanje maksimuma i približavanje tlu realno.

4. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan utjecaj dinamičke adaptacije prognostičkim mezoskalnim meteorološkim numeričkim modelom ALADIN u nižoj troposferi na 2 km horizontalnoj razlučivosti na nekoliko slučajeva opasnih vremenskih prilika na području Hrvatske.

Istraživan je utjecaj pojednostavljenja korištenih u metodi dinamičke adaptacije i njihov utjecaj na prognozirane vrijednosti brzine vjetra na 10 m i u nižim slojevima atmosfere. Ustanovljeno je da smanjeni broj nivoa u modelu ne utječe značajno na rezultate prognoze u sloju atmosfere do 1000 m visine. Isto tako zanemariv je i utjecaj inicijalizacije digitalnim filterom. Pokazano je da je optimalan broj koraka integracije za dinamičku adaptaciju između 20 i 30 koraka za vjetar na 10 m visine. Za jače strujanje, kvazistacionarno stanje je postignuto već i nakon 20 koraka, dok za situacije kada je strujanje slabije od 10 m/s, sa 30 koraka integracije postiže se stanje bliže kvazistacionarnom stanju. Za sloj atmosfere do visine 1000 m nad tlom kvazistacionarnost se postiže između 30 i 45 koraka. Utjecaj izostavljenih fizikalnih procesa u dinamičkoj adaptaciji, odnosno utjecaj uključivanja vlažnih procesa i zračenja, vrlo je mali za polje vjetra na visini 10 metara. Osnovna struktura strujanja je zadržana, a isto to vrijedi i do visine 1000 m. Zato što se dinamička adaptacija izvodi za svaki vremenski korak, posebno su uspoređeni rezultati s potpunom integracijom sa 2 km horizontalnom razlučivošću. Ustanovljeno je da je razlika između potpune integracije i dinamičke adaptacije u nekim područjima daleko od orografske prepreke velika, ali usporediva s razlikama između potpune integracije na 2 km sa 15 i 37 nivoa.

Usporedba s raspoloživim prizemnim i visinskim mjerenjima, za MAP-IOP 15 te za veljaču i prosinac 2003. kada su postojala dodatna mjerenja duž autoceste Zagreb - Split, pokazala je da metoda dinamičke adaptacije poboljšava prognozu brzine vjetra. U slučaju vrlo loše prognoze na 8 km horizontalnoj razlučivosti, tj. kada nije prognozirani neki proces na većoj skali, niti dinamičkom adaptacijom nećemo poboljšati prognozu brzine vjetra.

Ukratko, razlika u prognoziranoj maksimalnoj brzini 10 m vjetra je manja od 2 m/s, što je zanemarujuće s obzirom na magnitudu vjetra od 20 do 25 m/s. Smanjeni broj nivoa u modelu ne utječe značajno na rezultate prognoze u prizemnom sloju troposfere do 1000 m visine. Pri tome je računalno vrijeme potrebno za operativnu dinamičku adaptaciju na 15 nivoa kraće od polovice vremena potrebnog za integraciju na 37 nivoa. Razlika u prognoziranoj 10 m brzini vjetra je uvijek na zavjetrinskoj strani manja od 3.4 m/s, što je u odnosu na uštedeno vrijeme za integraciju s manjim brojem nivoa više nego zadovoljavajuće. Ušteda računalnog vremena sa smanjenim brojem nivoa daje tako mogućnost najave olujnog vjetra znatno ranije uz jednako kvalitetnu prognozu.

5. LITERATURA

- Bajić, A., 1989: Severe bora on the northern Adriatic. Part I: Statistical analysis. *Rasprave-Papers*, **24**, 1-9.
- Bajić, A., 2003: Očekivani režim strujanja vjetra na autocesti Sv. Rok (jug) – Maslenica. *Građevinar*, **55**, 149-158.
- Bates, J.R., i A. McDonald, 1982: Multiply-upstream, semi-Lagrangian advective schemes: Analysis and application to a multilevel primitive equation model. *Mon. Wea. Rev.* **110**, 1831-1842.
- Bencetić Klaić, Z., D. Belušić, V. Grubišić, L. Gabela i L. Čoso, 2003: Mesoscale airflow structure over the northern Croatian coast during MAP IOP 15-A major bora event. *Geofizika*, **20**, 23-61.
- Bougeault, P., P. Binder, A. Buzzi, R. Dirks, R. Houze, J. Kuettner, R. B. Smith, R. Steinacker i H. Volkert, 2001: The MAP Special Observing Period. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **82**, 433-462.
- Brožková, R., D. Klarić, S. Ivatek-Šahdan, J.-F. Geleyn, V. Cassé, M. Široká, G. Radnóti, M. Janoušek, K. Stadlbacher i H. Seidl, 2001: DFI blending: An alternative tool for preparation of the initial conditions for LAM. WMO-CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation Blue Book. Report No. **31**, 1.7-1.8.
- Courtier, P., C. Freydier, J.-F. Geleyn, F. Rabier i M. Rochas, 1991: The ARPEGE project at METEO-FRANCE. Proceedings from the ECMWF workshop on numerical methods in atmospheric models, 9-13 September 1991, **2**, 193-231.
- Daley, R., 1999: Atmospheric data analysis. Cambridge University Press, UK., 460 str.
- Davies, H.C., 1976: A lateral boundary formulation for multi-level prediction models. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, **102**, 405-418.
- Fischer, C., T. Montmerle, L. Berre, L. Auger i S.E. Ștefănescu, 2006: An overview of the variational assimilation in the ALADIN/France numerical weather-prediction system. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, **131**, 3477-3492.
- Geleyn, J.-F. i A. Hollingsworth, 1979: An economical analytical method for computation of the interaction between scattering and line absorption of radiation. *Contr. Atmos. Phys.*, **52**, 1-16.
- Geleyn, J.-F., C. Girard i J.-F. Louis, 1982: A simple parameterization of moist convection for large-scale atmospheric models. *Contr. Atmos. Phys.*, **55**, 325-334.
- Geleyn, J.-F., 1987: Use of a modified Richardson number for parameterizing the effect of shallow convection. In: Matsuno Z. (ed.), Short and medium range weather prediction, Special volume of *Jour. Meteor. Soc. Japan*, 141-149.
- Giard, D. i E. Basile, 2000: Implementation of a New Assimilation Scheme for Soil and Surface Variables in a Global NWP Model. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 997-1015.
- Grubišić, V., 2004: Bora-driven potential vorticity banners over the Adriatic. *Quart. Jour. Roy. Met. Soc.*, **130**, 2571-2603.

- Ivatek-Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of High-Resolution Dynamical Adaptation in Operational Suite and Research Impact Studies. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. **13**, No. 2, 99-108.
- Ivatek-Šahdan, S. i B. Ivančan-Picek, 2006: Effects of different initial and boundary conditions in ALADIN/HR simulations during MAP IOPs. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. **15**, No. 2, 187-197.
- Kalnay, E., 2003: Atmospheric modelling, data assimilation and predictability. Cambridge University Press, UK., 341 str.
- Kessler, E., 1969: On distribution and continuity of water substance in atmospheric circulations. *Met. Mon. Am. Meteorol. Soc.*, Vol. **10**, No. 32, 84 str.
- Louis, J.F., M. Tiedke i J.-F. Geleyn, 1982: A short history of PBL parameterization at ECMWF. *Proceedings from the ECMWF Workshop on Planetary Boundary Layer Parameterization*, 25-27 November 1981, 59-79.
- Lynch, P. and Huang, X.Y., 1994: Diabatic initialization using recursive filters. *Tellus* **46A**, 583-597.
- McDonald, 1986: A semi-Lagrangian and semi-implicit two time level integration scheme. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 824-830.
- Machenhauer, B. i J.E. Haugen, 1987: Test of a spectral limited area shallow water model with time-dependent lateral boundary conditions and combined normal mode/semi-Lagrangian time integration schemes. *Proceedings from the ECMWF Workshop on techniques for horizontal discretization in numerical weather prediction models*, 2-4 November 1987, 361-377.
- Nappo, C.J., 2002: An Introduction to Atmospheric Gravity Waves. *International Geophysics Series*, Volume 85, Academic Press, USA, 279 str.
- Rabier, F., 2005: Overview of data assimilation developments in Numerical Weather Prediction centres. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, **131**, 3215-3233.
- Radnoti, G., 1995: Comments on 'A Spectral Limited-Area Formulation with Time-dependent Boundary conditions to the Shallow-Water Equations'. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3122-3123.
- Ritter, B. i J.-F. Geleyn, 1992: A comprehensive radiation scheme for numerical weather prediction models with potential applications in climate simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 303-325.
- Simmons, A.J. i D.M. Burridge, 1981: An energy and angular momentum conserving vertical finite-difference scheme and hybrid vertical coordinate. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 758-766.
- Smolarkiewicz, P.K. i J.A. Pudykiewicz, 1992: A Class of Semi-Lagrangian Approximations for Fluids. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2082-2096.
- Tudor, M. i S. Ivatek-Šahdan, 2002: MAP IOP 15 case study. *Hrvatski meteorološki časopis*, **37**, 1-14.
- Vučetić V., 1991: Statistical analysis of severe Adriatic bora. *Hrvatski meteorološki časopis*, **26**, 41-51.
- Žagar, M. i J. Rakovec, 1999: Small-scale surface wind prediction using dynamical adaptation. *Tellus*, **51A**, 489-504.

6. SAŽETAK

U radu je pokazan utjecaj dinamičke adaptacije prognostičkim mezoskalnim numeričkim modelom ALADIN na polje strujanja u nižoj troposferi na nekoliko slučajeva sa opasnim vremenskim prilikama u Republici Hrvatskoj. Korištena je metoda koju su 1999. osmislili i primijenili M. Žagar i J. Rakovec na primjeru strujanja u Ljubljanskoj kotlini. Pretpostavke korištene metode su slijedeće: da je polje strujanja stacionarno, da vlažni i konvektivni procesi te lokalna termalna cirkulacija nemaju značajan doprinos strujanju, što je za proučavano jako silazno strujanje postignuto. Polje vjetra koje je interpolirano sa niže horizontalne razlučivosti prilagođava se orografiji na boljoj horizontalnoj razlučivosti do približno stacionarnog stanja uz korištenje dijela fizikalnih parametrizacija. Model se pri korištenju metode dinamičke adaptacije integrira samo za odabrani trenutak toliko dugo da se strujanje prilagodi novoj orografiji i postane približno stacionarno.

Proučavan je utjecaj pojednostavljenja korištenih u metodi dinamičke adaptacije i njihov utjecaj na prognozirane vrijednosti brzine vjetra na 10 m i u nižim slojevima atmosfere. Ustanovljeno je da smanjeni broj nivoa u modelu ne utječe značajno na rezultate prognoze u prvih 1000 m visine, isto tako i utjecaj inicijalizacije digitalnim filterom je zanemariv. Ustanovljeno je da je optimalan broj koraka integracije za dinamičku adaptaciju između 20 i 30 koraka za vjetar na 10 m visine. Za jače strujanje kvazistacionarno stanje je postignuto već i nakon 20 koraka, ali za situacije kada je strujanje na lokaciji slabije od 10 m/s sa 30 koraka integracije postiže se stanje bliže kvazistacionarnom stanju. Za sloj atmosfere do visine do 1000 m visine kvazistacionarnost se postiže između 30 i 45 koraka. Utjecaj izostavljenih fizikalnih procesa u dinamičkoj adaptaciji, odnosno utjecaj uključivanja vlažnih procesa i zračenja, vrlo je mali za polje vjetra na visini 10 metara. Osnovna struktura strujanja je zadržana, a isto to vrijedi i do visine 1000 m. Zato što se dinamička adaptacija izvodi za svaki vremenski korak, posebno su uspoređeni rezultati sa potpunom integracijom sa 2 km horizontalnom razlučivošću. Ustanovljeno je da je razlika između potpune integracije i dinamičke adaptacije u nekim područjima daleko od orografske prepreke velika, ali usporediva s razlikama između potpune integracije na 15 i 37 nivoa, tj. da potječe od smanjenog broja nivoa u punoj integraciji.

Usporedba s raspoloživim prizemnim i visinskim mjerenjima pokazala je da metoda dinamičke adaptacije poboljša prognozu brzine vjetra kada je prognoza na 8 km horizontalnoj razlučivosti prognozirala procese na većoj skali.

Upotrebom metode dinamičke adaptacije moguće je dobiti jednako kvalitetnu prognozu, posebice o opasnim vremenskim prilikama, znatno ranije, te time dati više vremena za sprečavanje neželjenih posljedica.

7. SUMMARY

Impact of a very high-resolution dynamical adaptation using hydrostatic version of the ALADIN model on the wind field forecast in the low troposphere for several cases of severe weather in Croatia is described. The method used here was developed by M. Žagar and J. Rakovec in 1999 for wind field in Ljubljana basin. Following assumptions were used: the flow is stationary, the moist and radiation processes and local thermal circulation have negligible influence to the air flow. These assumptions are valid for the strong downslope flow. Model fields are interpolated to a higher resolution first. Numerical model is run using only part of the physical parameterization package to adapt model fields to the new terrain on higher resolution. Dynamical adaptation is run sequentially for each output file (forecast range) while the quasi-steadiness is achieved.

Sensitivity study is presented that explores the impact of the neglected processes in dynamical adaptation to 10 m wind field and to horizontal wind field in low troposphere. Reduced number of the model levels (from 37 to 15) and usage of DFI before the start of dynamical adaptation are not significant. Optimal number of integration steps for dynamical adaptation is between 20 and 30, depending on the weather situation. If downslope wind is strong, then 20 time-steps are enough to achieve the quasi-steadiness. While for wind speed less than 10 m/s, state closest to quasi-steadiness is achieved with 30 time-steps. Between 30 and 45 steps are needed to achieve quasi-steadiness higher in the atmosphere, in the layer 1000 m above ground. Influence of the excluded physical parameterisations, the moist and radiation processes on the forecast of the 10 m wind field and in the layer 1000 m above ground is not significant. Flow structure is preserved. Because dynamical adaptation is run sequentially for each output file, results were compared to the full integration on 2 km horizontal resolution. Results show significant difference in some areas away from orographic obstacle. It is caused by reduction in the number of model levels of the full 2 km integration.

Comparison of the 2 km dynamical adaptation and 8 km model results with surface and upper-air measurements show that wind field forecasts are improved by dynamical adaptation if processes at 8 km are forecasted.

Usage of computationally cheap dynamical adaptation procedure allows quality wind field forecast early enough to issue warnings for approaching severe weather.

8. ŽIVOTOPIS

Rođen sam 12. veljače 1971. godine u Zagrebu, gdje sam završio i osnovnu školu 1985. godine. Iste godine upisujem Matematičko-informatički obrazovni centar u Zagrebu koji završavam 1989. godine. 1990. godine upisujem Prirodoslovno-matematički fakultet, smjer inženjerska fizika. Diplomirao sam 29. siječnja 1998. godine sa temom "Horizontalna vidljivost na aerodromu Zagreb-Pleso" pod vodstvom dr. sc. Josipa Jurasca. 2000. godine upisao sam poslijediplomski studij prirodnih znanosti studij iz Fizike, smjer Geofizika-fizika atmosfere i mora.

Od 1998. godine radim u Državnom hidrometeorološkom zavodu u Službi za meteorološka istraživanja. Od 1999. godine aktivno sudjelujem na razvoju modela ALADIN kao i na istraživanjima vezanima uz taj model.

Od 2002. godine sudjelujem na znanstvenom projektu "Oluje i prirodne katastrofe u Hrvatskoj" pod vodstvom dr. sc. Branke Ivančan-Picek koji financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa.

Stručno sam se usavršavao na slijedećim radionicama i seminarima:

- ALATNET Seminar of High Resolution Modelling, Radostovice, Češka, 15.-26.05.2000.
- SRNWP workshop on numerical techniques, Bratislava, Slovačka, 02.-03.07.2001.
- ECMWF training course: Numerical methods, adiabatic formulation of models, Reading, Ujedinjeno kraljevstvo, 29.04.-09.05.2002.
- ALATNET Seminar on numerical methods, Kranjska gora, Slovenija, 27.05.-01.06.2002.
- ALADIN maintenance and phasing workshop, Budimpešta, Mađarska, 25.-29.11.2002.
- ALADIN mini coupling workshop, Ljubljana, Slovenija, 17.-21.02.2003.
- ALADIN ODB Training, Budimpešta, Mađarska, 14.-18.04.2003.
- Summer School on Mountain Meteorology: Thermally driven winds in mountainous terrain, Trento, Italija, 17.-22.08.2003.
- Summer School on Mountain Meteorology: Orographic effects on precipitation, Trento, Italija, 25.-30.07.2004.
- Training Course and Working Group on Physical/Dynamical Interfacing, Prag, Češka, 22.-26.11.2004.
- ALADIN-HIRLAM WS on code maintenance and data assimilation, Budimpešta, Mađarska, 14.-18.11.2005.
- 1st AROME training course, Poiana Brasov, Rumunjska, 21.-25.11.2005.
- St. Petersburg Summer School on Non-hydrostatic Dynamics and Fine-scale Data Assimilation, Sestroretsk, Rusija, 11.-17.06.2006.
- SRNWP workshop on numerical techniques, Zagreb, Hrvatska, 05.-06.12.2006.

9. POPIS RADOVA

Znanstveni radovi obuhvaćeni CC/SCI bazama:

- Ivatek-Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of High-Resolution Dynamical Adaptation in Operational Suite and Research Impact Studies. Meteorologische Zeitschrift, Vol. **13**, No. 2, 99-108.
- Ivatek-Šahdan, S. i B. Ivančan-Picek, 2006: Effects of different initial and boundary conditions in ALADIN/HR simulations during MAP IOPs. Meteorologische Zeitschrift, Vol. **15**, No. 2, 187-197.

Radovi s međunarodnom recenzijom:

- Tudor, M. i S. Ivatek-Šahdan, 2002: MAP IOP 15 case study. Hrvatski meteorološki časopis, **37**, 1-14.

Konferencijska priopćenja:

- Hrabak-Tumpa, G., I. Vuković, S. Ivatek-Šahdan, 1999: Klimatski čimbenici kao podloga projektiranja HE Podsused. II Hrvatska konferencija o vodama Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, Dubrovnik 19.-22.05.1999., Zbornik radova, R 4.47., 845-852.
- Vuković, I., G. Hrabak-Tumpa, S. Ivatek-Šahdan, 1999: Oborinske prilike i proizvodnja električne energije u hidroelektranama Dalmacije. II Hrvatska konferencija o vodama Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, Dubrovnik 19.-22.05.1999., Zbornik radova, R 4.49., 859-864.
- Sijerković, M., S. Ivatek-Šahdan, G. Hrabak-Tumpa, V. Šojat, 1999: Onečišćenje zraka i magla u Zagrebu. II hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '99, Šibenik-Solaris, 22.-25.09.1999., Zbornik radova, 323-329.
- Hrabak-Tumpa, G., S. Ivatek-Šahdan, M. Sijerković, 1999: Elektroenergetski sustav, meteorološki čimbenici i zaštita okoliša. II hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '99, Šibenik-Solaris, 22.-25.09.1999., Zbornik radova, 425-432.
- Ivatek-Šahdan, S., G. Hrabak-Tumpa, 1999: Projektiranje dalekovoda i meteorološki čimbenici. IV savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 17.-21.10.1999., Zbornik radova, 22-07, 65-72.
- Hrabak-Tumpa, G., S. Ivatek-Šahdan, 1999: Meteorološki čimbenici i dalekovodna mreža Hrvatske. IV savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 17.-21.10.1999., Zbornik radova, 22-06, 57-64.
- Vuković, I., S. Ivatek-Šahdan, 1999: Meteorološke podloge projektiranja dalekovoda 2x400 kV Žerjavinec-Mađarska. IV savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 17.-21.10.1999., Zbornik radova, 22-08, 73-79.
- Hrabak-Tumpa, G., S. Ivatek-Šahdan, A. Delonga, 1999: Meteorološki čimbenici i nadzemna elektroenergetska mreža Hrvatske siječnja 1998. godine. IV savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 17.-21.10.1999., Zbornik radova, 22-09, 81-89.

- Ivatek-Šahdan, S., G. Hrabak-Tumpa, 2001: Očekivani vjetreni tlak na području TS Novalja. V savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 04.-08.11.2001., Zbornik radova, 22-09, 81-88.
- Hrabak-Tumpa, G., S. Ivatek-Šahdan, A. Smirčić, 2001: Režim vjetra na području TS Meline. V savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 04.-08.11.2001., Zbornik radova, 22-10, 89-94.
- Ivatek-Šahdan, S., 2003: Operational use of the dynamical adaptation for high-resolution ALADIN forecast in Dinaric Alps. 2nd SRNWP-Workshop on Statistical and Dynamical Adaptation Vienna, Austrija: Beč, 05.-06.05.2003.
- Ivatek-Šahdan, S., 2003: Operational use of the dynamical adaptation for high-resolution ALADIN forecast in Dinaric Alps. International Conference on Alpine Meteorology and MAP meeting 2003, Brig, Švicarska, 19.-23.05.2003. Extended Abstracts, Vol. A and B, Publication of MeteoSwiss **66**, 237-240.
- Ivatek-Šahdan, S., 2003: Smoothing of Soil Wetness Index. ALADIN/RC LACE Data assimilation Mini-Workshop: Budimpešta, Mađarska, 20.-22.10.2003.
- Ivatek-Šahdan, S., 2003: Coupling frequency–two time nesting. 13th ALADIN Workshop, Prag, Republika Češka, 24.-28.11.2003., Proceedings, 61-63.
- Ivatek-Šahdan, S., 2003: Smoothing of Soil Wetness Index (SWI) in ALADIN/LACE domain. 13th ALADIN Workshop, Prag, Republika Češka, 24.-28.11.2003., Proceedings, 104-108.
- Ivatek-Šahdan, S., 2004: ALADIN downscaling of a MAP-SOP ECMWF Re-analysis. 26th EWGLAM and 11th SRNWP Meetings: Oslo, Norveška, 04.-07.10.2004., Proceedings, 32-33.
- Kuzmić, M., I. Janeković, S. Ivatek-Šahdan, B. Ivančan-Picek, I. Tomažić, 2005: The tip of Istria region response to bora wind: observations and modeling. Geophysical Research Abstracts: Beč, Austrija, 24.-29.04.2005., 1-2.
- Ivančan-Picek, B., S. Ivatek-Šahdan, V. Grubišić, 2005: Vertical structure of the Dinaric Alps flow during MAP IOP 15. Hrvatski meteorološki časopis **40**, 176-179.
- Ivatek-Šahdan, S. i B. Ivančan-Picek, 2005: Sensitivity to the initial conditions - numerical simulations of the MAP IOP 5 and MAP IOP 15. Hrvatski meteorološki časopis **40**, 260-263.
- Ivatek-Šahdan, S., 2005: ECMWF EPS downscaling with ALADIN. 15th ALADIN Workshop, Bratislava, Slovačka, 06.-10.06.2005.
- Ivatek-Šahdan, S., 2006: Downscaling of full ECMWF EPS for 3 severe weather events in Croatia with NWP model ALADIN, 1st ALADIN–HIRLAM LAM–EPS Workshop, Beč, Austrija, 13.-14.11.2006.
- Horvath, K., B. Ivančan-Picek, S. Ivatek-Šahdan, V. Grubišić, 2007: Differences in the dynamics and structure of the northern and southern Adriatic severe Bora. 29th ICAM, Chambéry, Francuska, 04.-08.06.2007. Extended abstracts Vol. 2, 609-612.

Izvještaji:

- Hrabak–Tumpa, G., S. Ivatek–Šahdan, Z. Firšt, 1998: Meteorološki čimbenici, proizvodnja i potrošnja energije i dalekovodna mreža. Izvanredne meteorološke hidrološke prilike Hrvatske. Vol. **21**, 93-97.
- Brožková, R., D. Klarić, S. Ivatek–Šahdan, J.-F. Geleyn, V. Cassé, M. Široká, G. Radnóti, M. Janoušek, K. Stadlbacher i H. Seidl, 2001: DFI blending: An alternative tool for preparation of the initial conditions for LAM. WMO-CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation Blue Book. Report No. **31**, 1.7-1.8.
- Ivatek–Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of high-resolution dynamical adaptation for the extreme wind estimate. WMO-CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation Blue Book. Report No. **34**, 5.15-5.16.
- Branković, Č., B. Matjačić, S. Ivatek–Šahdan, R. Buizza, 2007: Dynamical downscaling of ECMWF EPS forecasts applied to cases of severe weather in Croatia. ECMWF Technical Memorandum **507**, 1-38.