

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOFIZIČKI ODSJEK

IVANA TOMAŠEVIĆ

**VERTIKALNI PROFILI ATMOSFERE
ZA VRIJEME VELIKIH ŠUMSKIH POŽARA**

DIPLOMSKI RAD

Voditelj: prof. dr. sc. Branko Grisogono
Suvoditeljica: dr. sc. Višnja Vučetić

Zagreb, siječanj 2012.

ZAHVALA

Zahvaljujem se dr. sc. Branku Grisogonu na mentorstvu. Hvala Vam na podršci, pomoći i savjetima tijekom pisanja rada... Veliko hvala na riječima ohrabrenja!

Zahvaljujem se dr. sc. Višnji Vučetić na mentorstvu. Veliko Vam hvala na svom vremenu koje ste mi podarili, savjetima, trudu, znanju, inspiraciji, iskustvu. Hvala Vam na ovom predivnom diplomskom radu za koji se nadam da će jednoga dana nekome pomoći. Zbog Vas sam zavoljela agrometeorologiju, a kroz pisanje i istraživanje naučila još više cijeniti napore i potrebe vatrogasne službe. Veliko Vam hvala i na bezuvjetnoj podršci na koju Ste bili spremni u svakom trenutku, idejama, dugim i ugodnim razgovorima, riječima ohrabrenja, poticanju... Bila mi je iznimna čast surađivati s Vama!

Zahvaljujem se mr. sc. Stjepanu Ivatek-Šahdan i Antoniu Stanešić, dipl. ing. na pripremi pseudotempova modelom ALADIN te Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim materijalima.

Hvala bakama Ani i Veri, djedu Ivici i bratu Zlatanu na podršci i velikoj ljubavi...

Hvala Dario, na svemu...

Najveće hvala mojim roditeljima, mami Mandici i tati Borisu što su mi omogućili studiranje i oduvijek vjerovali u mene. Hvala Vam na neizmjerneoj ljubavi, podršci i strpljenju svih ovih godina. Mama, tata, hvala Vam do „neblaka“...

SADRŽAJ

1. Uvod	3
2. Materijali	5
3. Metode rada	7
3.1. Niska mlazna struja	7
3.2. Potencijalna temperatura i uzgonska frekvencija	7
3.3. Richardsonov broj i Scorerov parametar	8
4. Rezultati i diskusija	10
4.1. Opis požara raslinja	10
4.1.1. Omiš, 11 – 14. kolovoz 2001.	11
4.1.2. Otok Brač, 11 – 16. kolovoz 2001.	12
4.1.3. Dubrovačko primorje, 12 – 16. kolovoz 2001.	12
4.1.4. Otok Hvar, 29. srpanj – 10. kolovoz 2003.	12
4.1.5. Otok Brač, 30. srpanj – 4. kolovoz 2003.	13
4.1.6. Otok Hvar, 12 – 18. kolovoz 2003.	14
4.1.7. Otok Lastovo, 4 – 11. rujan 2003.	14
4.1.8. Makarska, 19 – 20. rujan 2008.	15
4.1.9. Osnovne značajke srednje mjesečne žestine u odabranim situacijama s velikim šumskim požarima	16
4.2. Vremenske značajke u sinoptičkim razmjerima	19
4.2.1. Sinoptička situacija A: 11 – 16. kolovoz 2001.	19
4.2.2. Sinoptička situacija B: 29. srpanj – 10. kolovoz 2003.	20
4.2.3. Sinoptička situacija C: 12 – 18. kolovoz 2003.	21
4.2.4. Sinoptička situacija D: 4 – 11. rujan 2003.	22
4.2.5. Sinoptička situacija E: 19 – 20. rujan 2008.	24
4.3. Analiza vertikalni profili atmosfere	26
4.3.1. Vertikalni profil A: 11 – 16. kolovoz 2001.	26
4.3.2. Vertikalni profil B: 29. srpanj – 10. kolovoz 2003.	33
4.3.3. Vertikalni profil C: 12 – 18. kolovoz 2003.	37
4.3.4. Vertikalni profil D: 4 – 11. rujan 2003.	39
4.3.5. Vertikalni profil E: 19 – 20. rujan 2008.	41
4.4. Analiza meteoroloških parametara	43
5. Zaključak	46
Kratice	48
Literatura	49
Prilozi	51

1. UVOD

Požari na Jadranskoj obali ponekad mogu biti katastrofalni te nerijetko iznenaditi svojom žestinom i brzim širenjem. Osim šuma, požari uništavaju i poljoprivredne kulture, ugrožavaju naselja i ljudske živote te izazivaju opravdanu zabrinutost cjelokupne zajednice, osobito nakon Kornatske tragedije 2007. godine. Vremenske prilike i požari raslinja su usko povezani kao uzročno-posljedična veza vremena, ljudske aktivnosti i stanja gorivog materijala u kraćem vremenskom razdoblju (npr. Vučetić, 2009). Sušna razdoblja, koja prethode požarima, su posljedica više vremenskih čimbenika, ponajprije izostanka uobičajene količine oborine, ali i djelovanja dugotrajnih visokih temperatura zraka, smanjene vlažnosti zraka i sl. Vrlo važan meteorološki element, koji također utječe na nastanak i širenje požara raslinja, je vjetar. Osim što odnosi vlažan zrak i ubrzava sušenje šumskog goriva, on potpomaže sagorijevanju dovođenjem kisika (npr. Vučetić, 2002). Vjetar utječe i na širenje vatre noseći toplinu i goreće čestice na nova goriva, a njegov smjer određuje i smjer širenja vatrene fronte. Zbog toga plan kontrole gašenja požara treba temeljiti na prognozi brzine i smjera vjetra.

Na području Jadrana vladaju slična klimatska obilježja s karakterističnim biljnim pokrovom, stoga se klasifikacija šumskih požara u ranijim meteorološkim analizama temeljila na vremenskim uvjetima, tijekom kojih prevladavaju tipični vjetrovi. Iako u priobalju vjetar puše iz svih smjerova, ipak su tri najčešća i najjača: bura (NE), jugo (S, SE) i maestral (NW). U sve tri vremenske situacije uočeno je identično ponašanje vatre (Vučetić i Vučetić, 1999). Glavni smjer vatrene fronte u slučaju bure, juga ili maestrala je u smjeru vjetra i pružanja kopna. Ni u jednom slučaju dosada nije bilo moguće zaustaviti vatru na njezinom glavnom smjeru napredovanja, a nerijetko se pojavljivalo i njeno retrogradno napredovanje. U svim slučajevima brzina vjetra se naglo povećavala s visinom, do maksimuma približno 10 ms^{-1} i više, u nižem sloju troposfere (do 1500 m).

Prema već ranije određenim kriterijima, ukoliko maksimum brzine vjetra u donjoj troposferi prijeđe 12 ms^{-1} , klasificira se kao niska mlazna struja (Bonner, 1968). Ona je vrlo važna atmosferska pojava u meteorologiji zato što može imati važan utjecaj na dinamičke procese u atmosferi. Prisutnost jake mlazne struje u nižoj troposferi često prethodi prolasku hladne fronte, a između ostalog, može znatno utjecati i na početak, te širenje požara raslinja (Barad, 1961). U ranijim istraživanjima u SAD-u uočeno je da se ponekad neposredno prije prolaska hladne fronte može razviti požar s turbulentnim ponašanjem, tj. s kratkotrajnim zračnim vrtlozima i jakim uzlaznim strujanjem (Byram, 1954).

U Hrvatskoj je tek analizom Kornatskog požara po prvi puta ukazano na ova dva vremenska pokazatelja koji bi mogli upozoriti na izvanredno ponašanje požara, a to su upravo niska mlazna struja i približavanje hladne fronte (Vučetić i dr, 2007; Vučetić i Vučetić, 2011). Dobro prognozirano vrijeme njenog prolaska preko Jadrana i simuliranje vertikalnih profila moglo bi biti od velike pomoći pri procjeni opasnosti nastanka velikih i katastrofalnih šumskih požara.

Stoga je cilj ovog rada bio istražiti povezanost hladne fronte, u sinoptičkim razmjerima, i niske mlazne struje, u mezorazmjerima, s početkom nastanka i širenja požara raslinja u situacijama s velikim šumskim požarima na Jadranu. Pod velikim šumskim požarima smatrani su svi požari u kojima je izgorjelo više od 500 ha površine. Budući da se na jadranskom području raspolaže samo visinskim mjerenjima na postaji Zadar-aerodrom, za analizu vertikalne strukture atmosfere rabljeni su produkti numeričkog modela na ograničenom području ALADIN/HR u razdoblju 2001–2010. ALADIN/HR je hrvatska operativna verzija mezoskalnog modela ALADIN (*Aire Limitée Adaptation Dynamique développement InterNational*, npr. Ivatek Šahdan i Tudor, 2004) koji je razvijen u Francuskoj meteorološkoj službi (*Meteo-France*). To je hidrostatički model s horizontalnom razlučivosti od 8 km i 37 vertikalnih razina.

2. MATERIJALI

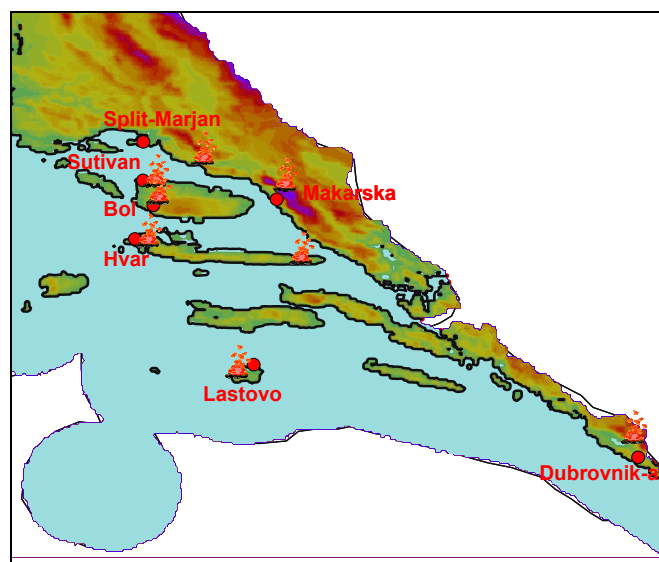
U radu su korištene sinoptičke karte, a za analizu vertikalne strukture atmosfere modelirani vertikalni profili osnovnih meteoroloških veličina i parametara. Za opis sinoptičkih situacija, uoči i za vrijeme velikih šumskih požara na Jadranu, analizirane su sinoptičke karte nad Europom i sjevernom hemisferom Njemačke meteorološke službe (*Deutscher Wetterdienst*, DWD). Karte prikazuju stanje atmosfere na temelju analize mjerenih podataka, a za svaku sinoptičku situaciju izabrane su dvije do tri prizemne i po jedna visinska karta apsolutne topografije na 850 hPa (AT 850). Za sve situacije bile su dostupne prizemne karte nad Europom u terminu 0 UTC, te visinske (AT 850) u 12 UTC. Prizemne sinoptičke karte nad sjevernom hemisferom su za situacije tijekom 2001. i 2003. godine bile dostupne samo u terminu 12 UTC, a za situaciju iz 2008. i u 0 UTC. Radiosondažna visinka mjerenja u Hrvatskoj se obavljaju samo na postajama Zagreb-Maksimir i Zadar-aerodrom. Stoga su za svako područje požara raslinja simulirani vertikalni profili atmosfere numeričkim modelom ALADIN/HR, koji se nazivaju pseudotempovi, svaka tri sata. Odabrane su one točke mreže koje su bile najbliže lokaciji velikoga šumskog požara.

U ovom radu nisu promatrani prizemni podaci s meteoroloških postaja, koje su bile najbliže požarima raslinja, jer je cilj rada bio istražiti vertikalnu strukturu atmosfere. Popis mjesta odabranih velikih šumskih požara i pripadne točke mreže modela u njihovoj blizini s geografskim koordinatama su prikazane u tablici 2.1. kao i na slici 2.1. Naziv lokacije pojedine točke mreže je dan prema najbližoj meteorološkoj postaji.

Pseudotempovi, kao produkti modela ALADIN/HR, sadrže podatke o tlaku (hPa), temperaturi zraka ($^{\circ}\text{C}$), temperaturi rosišta ($^{\circ}\text{C}$), smjeru ($^{\circ}$) i brzini vjetra (ms^{-1}), te geopotencijalu (gpm). Modelirani podaci su korišteni za izračunavanje potencijalne temperature (K), statičke stabilnosti (10^{-2} s^{-1}), te Richardsonovog gradijentnog broja (R_i) i Scorerovog parametra (ℓ). Vertikalni profili su crtani u programskom jeziku MATLAB (*Matrix Laboratory*). U njemu je x os definirana kao meteorološki element (brzina ili smjer vjetra, temperatura zraka, potencijalna temperatura, stabilnost, Richardsonov broj ili Scorerov parametar), a y os kao visina izražena u km (od tla do 3.5 km visine ili za detaljniji prikaz od 0.1 do 1.1 km).

Tablica 2.1. Popis mjesta velikih šumskih požara na Jadranu u razdoblju 2001–2010. i odabrane točke mreže modela ALADIN/HR u njihovoj blizini s pripadnim geografskim koordinatama: širina (φ , °), dužina (λ , °) i nadmorskom visinom (h, m). Naziv lokacije dan je prema najbližoj meteorološkoj postaji.

POŽAR	LOKACIJA IZ MODELA ALADIN	φ [°]	λ [°]	h [m]
Dubrovačko primorje	Dubrovnik-aerodrom	42.6	18.1	166
Makarsko primorje	Makarska	43.4	16.9	328
Omiš	Split-Marjan	43.5	16.5	308
Otok Brač	Bol	43.3	16.8	55
Otok Brač	Sutivan	43.3	16.5	110
Otok Hvar	Hvar	43.2	16.5	48
Otok Lastovo	Lastovo	42.7	16.9	3



Slika 2.1. Približni položaji nastanka velikih požara na Jadranu u razdoblju 1981–2010. i najbliže točke s pseudotempovima iz modela ALADIN.

Važno je napomenuti da se u meteorologiji rabe različiti načini određivanja vremena. Sve sinoptičke karte i vertikalni profili označeni su po koordiniranom univerzalnom vremenu (UTC), koje približno odgovara srednjem vremenu na nultom meridijanu – Greenwichu (npr. Šikić, 2002). Vrijeme u opisima požara odgovara ljetnom ukaznom vremenu (LJUV), koje se od UTC razlikuje za +2h, a koristi se od posljednje nedjelje u ožujku do posljednje nedjelje u listopadu.

3. METODE RADA

3.1. NISKA MLAZNA STRUJA

Niska mlazna struja je definirana kao signifikantni maksimum brzine vjetra u nižoj troposferi (Blackadar, 1957). Nižim slojem troposfere se ovdje smatra prvih 1500 m visine. Slična definicija niske mlazne struje se koristila i u ovom radu, ali zbog preglednosti vertikalni profili vjetra su prikazani do visine od 3500 m.

Tri su osnovna kriterija brzine vjetra po kojima se definira niska mlazna struja (Bonner, 1968). Postavljeni su prema subjektivnoj procjeni i prilagođeni tako da sezonske, geografske i dnevne razdiobe maksimalne brzine vjetra nisu posebno osjetljive na određeni kriterij. Kriteriji za maksimum brzine vjetra u donjoj troposferi koji definiraju nisku mlaznu struju prikazani su u tablici 3.1. Uz maksimum vjetra, koji mora biti jednak ili veći od navedenog, nalazi se i brzina za koju se vjetar mora smanjiti do sljedećeg minimuma ili do visine 3 km, ovisno što je na nižoj razini, odnosno bliže razini s niskom mlaznom strujom.

Tablica 3.1. Kriteriji brzine vjetra prema kojima se definira niska mlazna struja.

NISKA MLAZNA STRUJA	MAKSIMALNA BRZINA	SMANJIVANJE BRZINE DO VISINE 3 km
<i>Kriterij 1</i>	≥ 12 m/s	6 m/s
<i>Kriterij 2</i>	≥ 16 m/s	8 m/s
<i>Kriterij 3</i>	≥ 20 m/s	10 m/s

3.2. POTENCIJALNA TEMPERATURA I UZGONSKA FREKVENCIJA

Potencijalna temperatura θ je temperatura, koju bi imala čest zraka, da se adijabatičkim procesom (proces u kojem termodinamički sustav ne razmjenjuje energiju s okolišem) dovede na standardni tlak od 1000 hPa (npr. Holton, 2004). Izraz za potencijalnu temperaturu glasi:

$$\theta = T(p_s / p)^{R/c_p}$$

gdje je T temperatura česti (K), p tlak (hPa), p_s standardni tlak (1000 hPa), R specifična plinska konstanta, a c_p specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku. Ova relacija se naziva i Poissonovom jednadžbom.

Brunt-Väisäläova ili uzgonska frekvencija (N) je frekvencija vertikalnih oscilacija česti statički stabilnog, odnosno stratificiranog fluida (u statički stabilnoj atmosferi čest adijabatički pomaknuta u vis će se vratiti u početni položaj). Kvadrat uzgonske frekvencije jednak je

$$N^2 = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

gdje je g akceleracija sile teže, a θ potencijalna temperatura kao funkcija visine z .

Ukoliko je N realan broj, čest će vertikalno oscilirati, ako se pomakne duž vertikale. Dakle, samo u statički stabilnoj atmosferi postoje vertikalne oscilacije zbog uzgona, a uvjet za nju je $N^2 > 0$, odnosno $d\theta/dz > 0$. Za statički neutralnu atmosferu vrijedi da je $N = 0$, odnosno $d\theta/dz = 0$. Čest će u tom slučaju ostati u novom položaju i neće biti oscilacija. U statički nestabilnoj atmosferi, za koju je $N^2 < 0$ i $d\theta/dz < 0$, čest pomaknuta vertikalno će se sve više udaljavati od početnog položaja.

3.3. RICHARDSONOV BROJ I SCOREROV PARAMETAR

Richardsonov gradijentni broj Ri je bezdimenzionalni parametar kojim se ocjenjuje dinamička stabilnost zračne struje u kojoj postoji vertikalno smicanje horizontalne brzine i vertikalni gradijent potencijalne temperature (npr. Holton, 2004). Jednak je omjeru kvadrata uzgonske frekvencije N i smicanja vjetra du/dz :

$$Ri = \frac{N^2}{\left(\frac{du}{dz}\right)^2}$$

Ukoliko je $Ri < 0.25$, tada je brzina smicanja dovoljno velika da dođe do turbulentnog miješanja zraka u obliku Kelvin-Helmholtzove nestabilnosti. Kada je Ri velik, tada najčešće ne postoji turbulentno miješanje.

Scorerov parametar (ℓ) je jedna od najvažnijih veličina u planinskoj meteorologiji. Uočavanjem uzgonskih valova ponekad možemo dijagnosticirati stabilnost i/ili brzinu vjetra u troposferi (npr. Grisogono, 2010). Na osnovi radio-sondaže i profila Scorerovog parametra se može otprilike zaključiti gdje se eventualno nalaze slojevi pogodni za uzgonske valove. Scorerov parametar se izračunava prema relaciji:

$$\ell = \frac{N}{U}$$

gdje je U srednja brzina u sloju. Vertikalne promjene Scorerovog parametra mogu modificirati amplitudu valova. Na kritičnoj razini, gdje srednje strujanje prestaje biti dominantno, tj. srednji tok ide u nulu za stacionarne valove, Scorerov parametar teži u beskonačnost. Tada dolazi do tipičnog, ali ne i nužnog, smanjenja lokalnog Ri broja. U tom slučaju povećava se amplituda valova što uzrokuje njihov lom i turbulentno miješanje. Ako se ipak uspije zadržati velik Ri broj svugdje i oko kritične razine, onda dolazi do upijanja valova prolaskom kroz taj nivo, a u gornjem sloju preostaju tek eksponencijalno smanjeni valovi. Kritični sloj pri tome apsorbira najveći dio valova i njihove energije.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. OPIS POŽARA RASLINJA

Pod raslinjem podrazumijevamo sveukupni biljni pokrivač nekog prostora, a vatra na njegovoj površini je svako zapaljenje i izgaranje trave, lišća, grmlja, drveća i drvnih materijala (npr. Miloslavić, 2009). Čovjek i njegove djelatnosti su glavni uzročnici požara, a prirodni uzroci su rijetki i odnose se samo na električno pražnjenje za vrijeme oluja, odnosno udare groma. Požari raslinja su stihijsko, nekontrolirano širenje vatre i izgaranje raslinja, a izravno su povezani s meteorološkim prilikama i/ili konfiguracijom terena.

Kako bi se povezali određeni atmosferski vertikalni profili s početkom požara, bilo je potrebno odabrati velike požare raslinja na području Jadrana u razdoblju 2001–2010. U analizi je promatrano 10-godišnje razdoblje za koje se raspolagalo s modeliranim vertikalnim podacima brzine i smjera vjetra, te temperature zraka (tzv. pseudotempovi) dobiveni modelom ALADIN/HR. Informacije o velikim požarima na priobalju preuzete su iz Vatrogasnih vjesnika za požarne sezone 2001–2010. koje traju od lipnja do rujna. Kriterij za odabir požara raslinja je bila spaljena površina veća od 500 ha, a također je obraćena pozornost na situacije u kojima je vatra istodobno gorjela na više lokacija. To je ukazivalo da su postojali povoljni vremenski uvjeti za nastanak te izvanredno širenje požara. U konačnici je izabrano pet vremenskih situacija tijekom kojih je bilo aktivno osam velikih šumskih požara. Njihova lokacija, trajanje i izgorena površina, te pripadna oznaka situacije (slovom A, B, C, D ili E) nalaze se u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Mjesto i trajanje velikih šumskih požara na Jadranu u razdoblju 2001–2010.

SITUACIJA	MJESTO POŽARA	IZGORENA POVRŠINA (ha)	DATUM	GODINA
A	Omiš	3000	11–14. kolovoz	2001.
	Otok Brač	800	11–16. kolovoz	
	Dubrovačko primorje	1900	12–16. kolovoz	
B	Otok Hvar	1197	29. srpanj–11. kolovoz	2003.
	Otok Brač	2997	30. srpanj–4. kolovoz	
C	Otok Hvar	2114	12–18. kolovoz	
D	Otok Lastovo	1825	3–9. rujna	
E	Makarska	850	19–20. rujna	2008.

U pregledu broja požara i izgorene površine tijekom požarnih sezona 2001–2004. (tablica 4.2) ističe se 2003. godina. Od lipnja do rujna u 1314 požara ukupno je izgoreno čak 20598 ha otvorenog prostora na priobalju, što je više nego u ostale tri godine zajedno. Enormno povećanje s obzirom na 2002. godinu povezano je i s činjenicom da je 2003. bila ekstremno topla i sušna godina. Od kraja srpnja do sredine kolovoza samo na otocima Hvar i Brač je izgorjela gotovo trećina od ukupne opožarene površine u cijeloj sezoni, čak 6308 ha raslinja. Tri požara u ovom razdoblju su podijeljena na sinoptičke situacije B i C (tablica 4.1). U rujnu iste godine je također zabilježen veći broj požara, ali gotovo sva izgorena površina odnosi se na Lastovski požar, koji je odabran za analizu kao sinoptička situacija D. Osim toga, može se još istaknuti da je veliki broj požara zabilježen i u kolovozu 2001. Od 10902 ha opožarene površine čak je 5700 ha izgorjelo u odabranim velikim požarima pokraj Omiša, u Dubrovačkom primorju te na otoku Braču, koji su se odvijali istodobno, te zajedno pripadaju pod sinoptičku situaciju A. Usporedba za godine iza 2004. nije bila moguća zbog nedostatka podataka.

Tablica 4.2. Pregled broja požara i izgorene površine otvorenog prostora priobalnog dijela za požarne sezone 2001–2004. (izvor: Vatrogasni vjesnik)

POŽARNA SEZONA	2001.		2002.		2003.		2004.	
	BROJ POŽARA	POVRŠINA (ha)	BROJ POŽARA	POVRŠINA (ha)	BROJ POŽARA	POVRŠINA (ha)	BROJ POŽARA	POVRŠINA (ha)
6.	172	200	133	171	250	437	87	32
7.	348	1 148	204	2 224	392	12 347	262	283
8.	570	10 902	104	20	450	5 678	287	898
9.	115	318	83	39	222	2 136	317	1 934
UKUPNO	1 203	12 568	524	2 454	1 314	20 598	953	3 147

4.1.1. Omiš, 11 – 14. kolovoz 2001.

U ranim jutarnjim satima 11. kolovoza 2001, nastao je požar kod mjesta Duće, u blizini Omiša (Grum, 2001). Tijekom četiri dana, koliko je trajao požar, izgorjelo je 3000 ha. Opožarena površina uključivala je borove šume, makije, vinograde, maslinike, te nekoliko staja i šest kuća. Materijalna šteta je procijenjena na nekoliko milijuna kuna, a tijekom četiri dana u akciji gašenja je sudjelovalo oko 370 gasitelja s 40 vozila, tri kanadera i četiri helikoptera. Požar je lokaliziran 14. kolovoza 2001.

4.1.2. Otok Brač, 11 – 16. kolovoz 2001.

Požar je nastao u blizini mjesta Sutivan na otoku Braču 11. kolovoza 2001. (Vinković, 2001). Do dolaska gasitelja na teren, praćen „orkanskom“ burom, požar je zahvatio područje oko 340 ha. Ubrzo nakon ponoći 12. kolovoza 2001. nastaje novi požar na drugoj strani otoka u blizini Selca, mjesta udaljenog 50 km od Sutivana. Do jutra je isti lokaliziran, a opožarena površina je iznosila oko 70 ha. Uslijed jake bure tijekom dana dolazi do rasplamsavanja požara kod Sutivana koji je zahvatio dodatnih 20-tak ha. U gotovo istom trenutku, požar na zapadnoj strani otoka, kod Selca, izmaknuo je kontroli te nošen jakom burom stigao do obale mora. Požari su lokalizirani 13. kolovoza, a ugašeni 16. kolovoza 2001. Ukupna opožarena površina na otoku je iznosila oko 800 ha, a požar je nanio velike štete domaćem stanovništvu.

4.1.3. Dubrovačko primorje, 12 – 16. kolovoz 2001.

Požar raslinja izbio je na području Bosne i Hercegovine u ranim jutarnjim satima 12. kolovoza 2001. (Miloslavić, 2001). Zbog konfiguracije terena, sastava raslinja i vjetra, požar se proširio jugozapadno u Hrvatsku na područje dubrovačkog primorja. Vatrogasci nisu mogli prilaziti opožarenom području zbog nepristupačnog terena i opasnosti od minsko-eksplozivnih naprava, te su s gašenjem započeli tek na okolnim cestama sela Dubrovačkog primorja. Prvog dana požara intervencija zrakoplovstva nije bila moguća zbog jake bure. Požar je ugašen 16. kolovoza 2001, a zahvatio je područje od 1900 ha.

4.1.4. Otok Hvar, 29. srpanj – 10. kolovoz 2003.

U kasnim popodnevnim satima 29. srpnja 2003. zapalila se gusta borova šuma u području uvale Lozna na sjeverozapadnom dijelu otoka Hvara (Anonimus, 2003a). Požar je vrlo brzo zahvatio površinu od 8 ha, a gotovo istovremeno, na istoj strani otoka, zapalilo se 3.5 ha borove šume na nepristupačnom dijelu kod Debelog briga. Tijekom noći 29/30. srpanj 2003. došlo je do širenja oba požara koji su se pred zoru spojila u jedan. Požar je vrlo brzo zahvatio područje ceste Stari Grad – Hvar i ugrozio kuće. Jedinu kanader koji je pomagao u gašenju je zbog gustog dima ubrzo preusmjeren gasiti požar na otoku Braču. Istoga dana izbija požar kod Sućurja, na istočnom kraju otoka Hvara, čija je fronta od 300 m ugrozila obližnje kuće. Do ponoći 30. srpnja 2003. izbila su još dva požara na otoku, sjeverozapadno, poviše Starog Grada, te u uvali Jagodna na jugozapadnom dijelu.



Slika 4.1. Izgoreno raslinje na otoku Hvaru u katastrofalnom požaru 2003. (izvor: Vatrogasni vjesnik)

Treći dan gašenja, 31. srpnja 2003. izbija i šesti požar na otoku, u blizini Jelse. Sljedećeg dana o opsadnom stanju na otoku Hvaru svjedoči podatak o 700 vatrogasaca i vojnika, koji su se na terenu, uz pomoć četiri kanadera, borili protiv vatrene stihije (slika 4.1). Iako je u sljedeća tri dana, veći dio požarišta stavljen pod kontrolu, uz povremena izdimljavanja, zapaljena su još tri požara u uvalama Svirče, Moševćica i Stiniva. Ukupno je devet požara ugašeno ili stavljeno pod nadzor 10. kolovoza 2003. Nakon trinaest vatrenih dana na otoku Hvaru izgorjelo je ukupno 1197 ha raslinja.

4.1.5. Otok Brač, 30. srpanj – 4. kolovoz 2003.

U jutro 30. srpnja 2003. započeo je požar na otoku Braču, na području Mirca – Dračevica – Maslinova – Ložišća (Anonimus, 2003b). Zbog jakog vjetra kanaderi nisu mogli poletjeti u prvih sat vremena od dojava u 10:10 h (LJUV). Požar se vrlo brzo širio, paleći gustu borovu šumu, maslinike i nisko raslinje. U 15:15 h zahvaćena površina iznosi oko 120 ha, a o naglom širenju svjedoči podatak da je u manje od sljedeća dva sata izgorjelo dodatnih 280 ha. Oko 23:00 h požar se širi sjeverozapadno prema mjestima Blaca i Ložišća, te obuhvaća površinu od 300 ha, a 4 sata nakon ponoći 31. srpnja 2003. opožarena površina se rapidno povećala na 600 ha. Treći dan od početka intervencije, 1. kolovoza 2003, uz pomoć 400 vatrogasaca i četiri kanadera, sjeverna i istočna strana požara su stavljene pod kontrolu. Kanaderi su istovremeno gasili požare na otocima Brač i Hvar. U sljedeća dva dana izbila su još tri požara na području Pothumlja, Žeženika i brda Hum. Požar u kojem je izgorjelo ukupno 2997 ha raslinja, proglašen je ugašenim 8. kolovoza 2003.

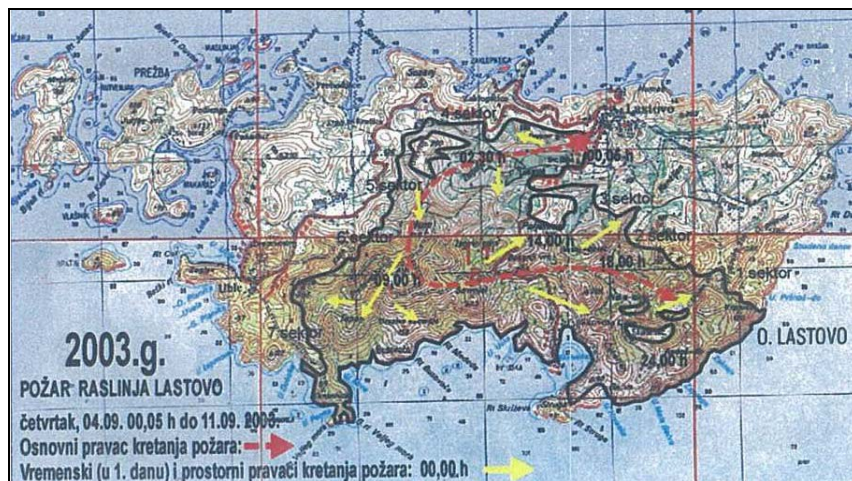
4.1.6. Otok Hvar, 12 – 18. kolovoz 2003.

Samo dva dana nakon što je ugašeno ukupno devet požara na otoku Hvaru, u jutro 12. kolovoza 2003. je ponovno zaprimljena dojava o otvorenom plamenu u uvali Sv. Ante, zapadno od Stari Grada (Anonimus, 2003c). Zbog nepristupačnog terena i nedostupnih kanadera, koji su sanirali požarište kod Učke, vatra na otoku se vrlo brzo širila. Dan poslije, 13. kolovoza 2003, požar koji se nalazio između mjesta Selce, Jelsa i Stari Grad se rapidno širio uz jaku tramontanu. Dana 14. kolovoza 2003, jedan dio požara zaprijetio je Milni na jugozapadu, a drugi Selcima u središnjem dijelu otoka. U kasnim večernjim satima vjetar je prestao puhati i omogućio vatrogascima da požare stave pod kontrolu. Četiri dana poslije, novi požar nastao je između Starog Grada i Jelse koji je zapalio dodatnih 1.5 ha visoke šume i raslinja. U narednim danima bilo je još izdimljavanja u uvalama Sv. Ante, Maslinice i Lozne. Požar u kojemu je izgorjelo 917 ha raslinja proglašen je ugašenim 22. kolovoza 2003. S time je ukupna opožarena površina na otoku Hvaru, u gotovo mjesec dana trajanja požara, porasla na 2114 ha.

4.1.7. Otok Lastovo, 4 – 11. rujna 2003.

Otok Lastovo nalazi se u vanjskom nizu južnodalmatinskih otoka. Površine je 53,02 km², odnosno 5302 ha, a najviši vrh otoka je brdo Hum s visinom 416 m nad morem. Vegetaciju na otoku čine nisko raslinje, borove šume te poljoprivredne kulture vinove loze i masline.

Požar je podmetnut oko ponoći 3/4. rujna 2003. na rubu mjesta Lastovo (Miloslavić, 2003). Iako je gašenje započelo odmah, jak vjetar tijekom noći onemogućio je pristizanje dodatne pomoći iz zraka, što je pogodovalo širenju požara (slika 4.2). Do popodnevnih sati 4. rujna 2003. opožarena površina bila je veća od 1300 ha. Treba napomenuti da je istoga dana lokalizirano više požara u Splitsko-dalmatinskoj i Šibensko-kninskoj županiji, u blizini Metkovića i Ploča, te na otoku Mljetu. Zbog otežanog pristupa otoku, te hitno potrebnoj preraspodijeli vatrogasnih snaga na više lokacija, požar na Lastovu je stavljen pod kontrolu tek tijekom jutra 6. rujna 2003.



Slika 4.2. Prikaz izgorjene površine na otoku Lastovo u katastrofalnom požaru 2003. (izvor: Vatrogasni vjesnik)

Jak južni vjetar u jutarnjim satima 8. rujna 2003. uzrokovao je ponovno izdimljavanje na nekoliko mjesta duž požarne linije koja je bila veća od 25 km. U podnevnim satima istoga dana pala je slaba kiša te se u 13:00 h (LJUV) požar proglašava lokaliziranim. 10. rujna 2003. kiša je padala na većem dijelu otoka, no vlaga nije uspjela kroz krošnje drveća probiti do zemlje, tako da je bilo još nekoliko prodimljavanja. 11. rujna 2003. u 20 h vatrogasci su proglasili požar ugašenim. Ukupno je izgorjelo 1825,07 ha površine, od čega je oko 80% te površine zahvatilo prostor koji je gorio 1998. godine.

4.1.8. Makarska, 19 – 20. rujna 2008.

Požar je nastao iskrenjem dalekovoda u večernjim satima 19. rujna 2008. na području iznad Krvavice (Miloslavić, 2008). Nošen olujnom burom vrlo brzo se širio obroncima Biokova. Zbog guste borove šume, strmog i nepristupačnog terena te snažnog vjetra, gašenje je bilo otežano. Vatrogasci su bili uskraćeni za pomoć iz zraka jer kanaderi zbog bure nisu mogli poletjeti. Vatra je prijetila obližnjim kućama u mjestu Veliko Brdo na istoku te mjestu Bast na zapadu. Nakon noćne borbe protiv vatre, požar je u jutro 20. rujna 2008. stavljen pod kontrolu, a tomu je značajno pridonijelo slabljenje vjetra i pomoć kanadera. Izgorjelo je oko 850 ha površine, a opožarena je borova šuma, nisko raslinje te nešto maslinika i poljoprivrednih površina. Ova vatrogasna intervencija je dobila naziv „Makarski vatreni vikend“.

4.1.9. Osnovne značajke srednje mjesečne žestine u izabranim situacijama s velikim šumskim požarima na Jadranu

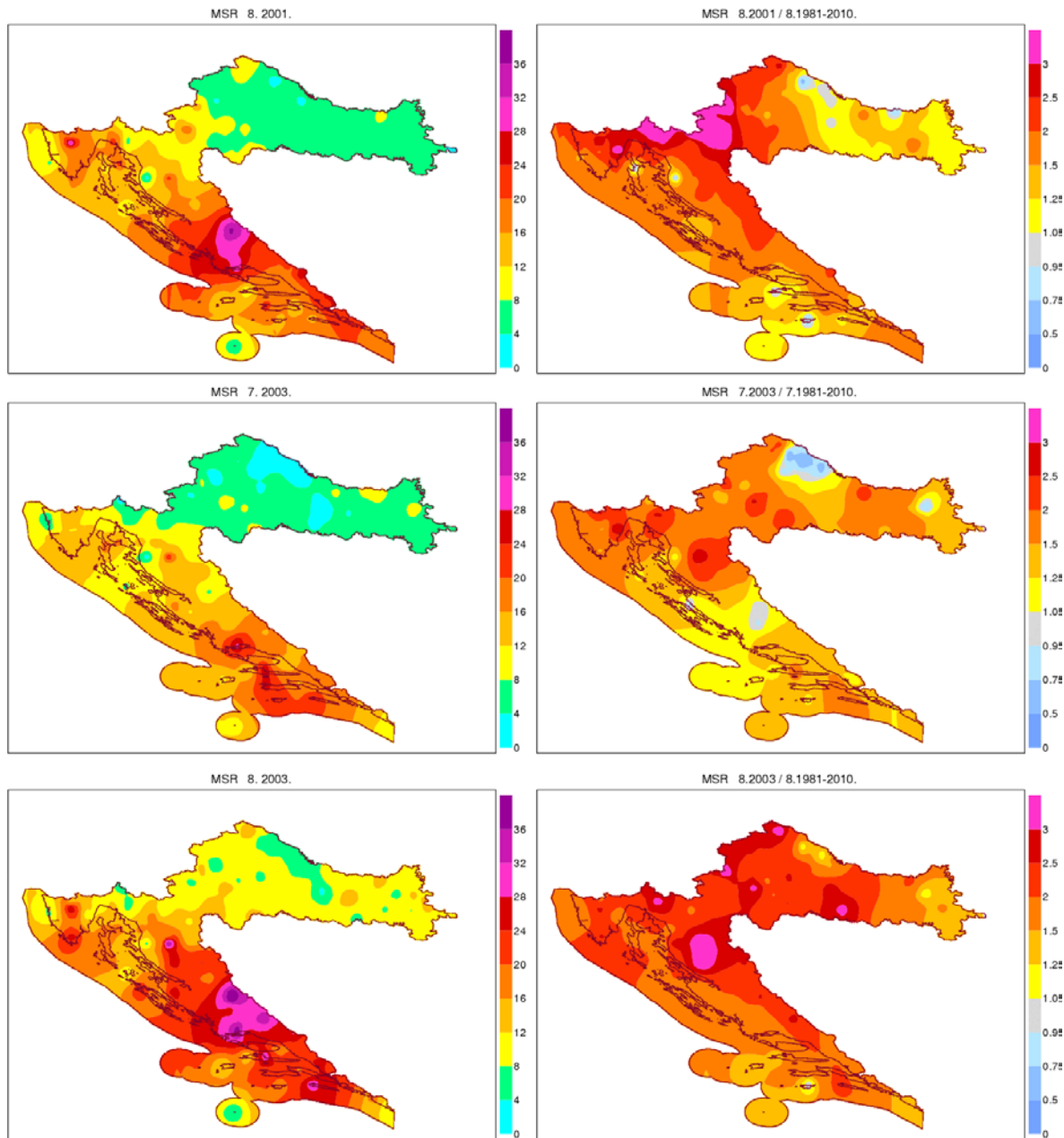
Svako područje ima svoj požarni režim sa svojim posebnim obilježjima: učestalost požara na nekom području, prosječne godišnje spaljene površine i žestine požara. Pod sezonskom ocjenom žestine smatra se procjena potencijalne ugroženosti od požara raslinja za vrijeme požarne sezone (lipanj–rujan) s obzirom na vremenske i klimatske uvjete (Vučetić, 2002). Procjena žestine u sebi sadrži meteorološke uvjete i stanje vlažnosti mrtvog šumskog gorivog materijala. Stoga srednja mjesečna (MSR) i sezonska (SSR) ocjena žestine služe za klimatsko-požarni prikaz prosječnog stanja na nekom području po mjesecima u toplom dijelu godine (svibanj–listopad) i za požarnu sezonu od lipnja do rujna. Općenito se smatra da je potencijalna opasnost od požara raslinja vrlo velika ako je $SSR > 7$.

Za procjenu žestine primjenjuje se kanadska metoda za procjenu opasnosti od požara raslinja (*Canadian Forest Fire Weather Index System*, CFFWIS) ili poznatija kao skraćenica FWI (*Fire Weather Index*) (npr. Vučetić, 2002). Kanadska metoda se već 30. godina operativno rabi u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ). U ovom radu su prikazane prostorne razdiobe srednje mjesečne žestine u mjesecima kada su zabilježeni veliki požari raslinja na jadranskom području u razdoblju 2001–2010 (slika 4.3).

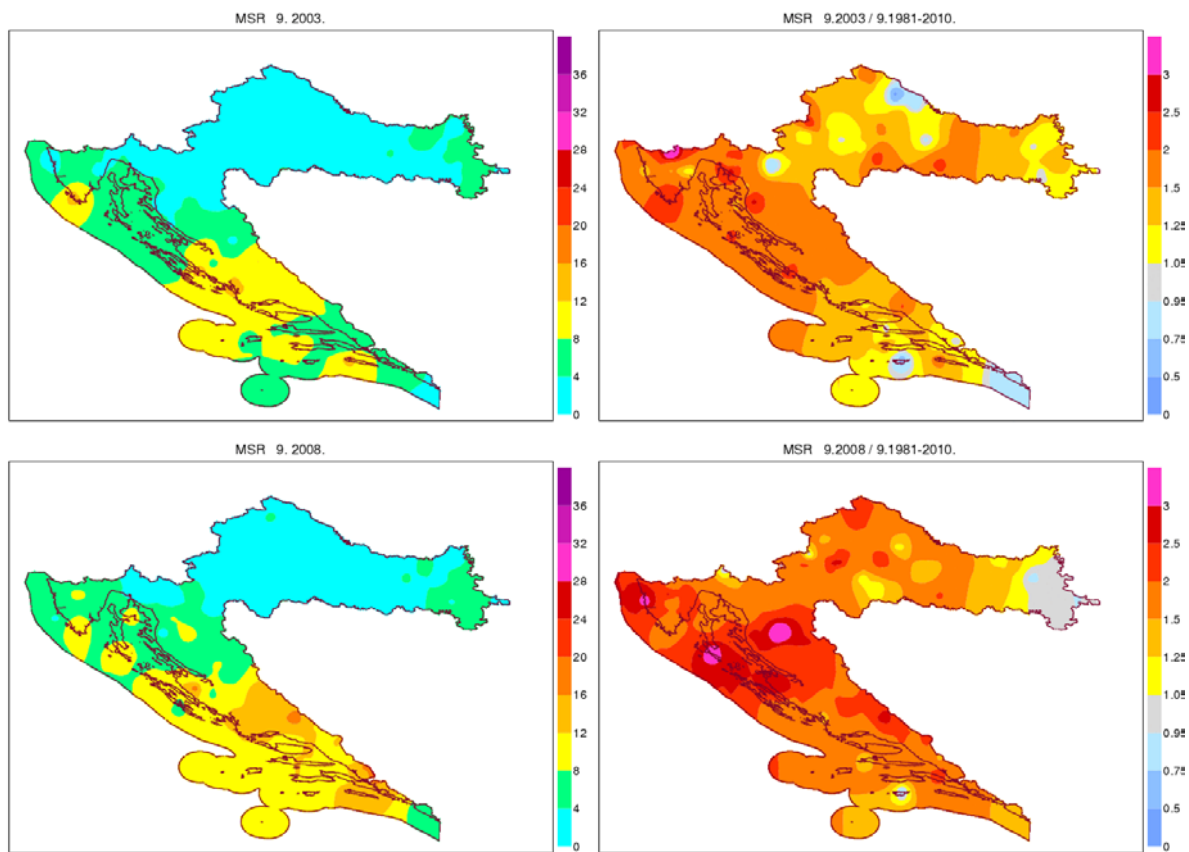
U kolovozu 2001. je MSR bio 16–20 na području Omiša, Brača i dubrovačkog primorja gdje su izbili veliki požari. To ukazuje na prosječno vrlo veliku potencijalnu opasnost od požara raslinja u tom mjesecu. Omjer MSR u kolovozu 2001. i višegodišnjeg prosjeka MSR (1981–2010) na promatranim područjima ukazuje do 1.5 puta veću opasnost u odnosu na referentno razdoblje. U srpnju 2003. je MSR na području velikog požara na otoku Braču iznosio 16–20, a na otoku Hvaru i do 28. U sljedećem mjesecu srednja žestina se povećala na obje lokacije (do 28 na Braču i do 36 na Hvaru). U odnosu na višegodišnje razdoblje to je bilo veće 1.5–2 puta na promatranom području. U rujnu 2003. se MSR naglo smanjio i na području Lastova bio je 4–8. Međutim, požar na Lastovo se zbio početkom rujna kada je sigurno potencijalna opasnost od požara raslinja bila veća od srednje vrijednosti MSR. U rujnu 2008. na makarskom području MSR je iznosio 12–16 što pokazuje vrlo veliku potencijalnu opasnost od požara raslinja u tom mjesecu. Na području velikog požara u Makarskoj MSR je bio 2–2.5 puta veći nego u referentnom razdoblju. Već ovaj grubi prikaz srednje ocjene žestine po mjesecima, ukazuje na iznimne vremenske uvjete, koji su pogodovali nastanku požara raslinja u Dalmaciji u požarnim sezonama 2001, 2003. i 2008.

MSR

MSR/MSR 1981–2010.



Slika 4.3. Srednje mjesečne žestine (MSR, lijevo) za izabrane situacije velikih šumskih požara na području Hrvatske u razdoblju 2001–2010. i (desno) omjer tekućeg mjeseca s višegodišnjim razdobljem 1981–2010. (izvor: DHMZ).

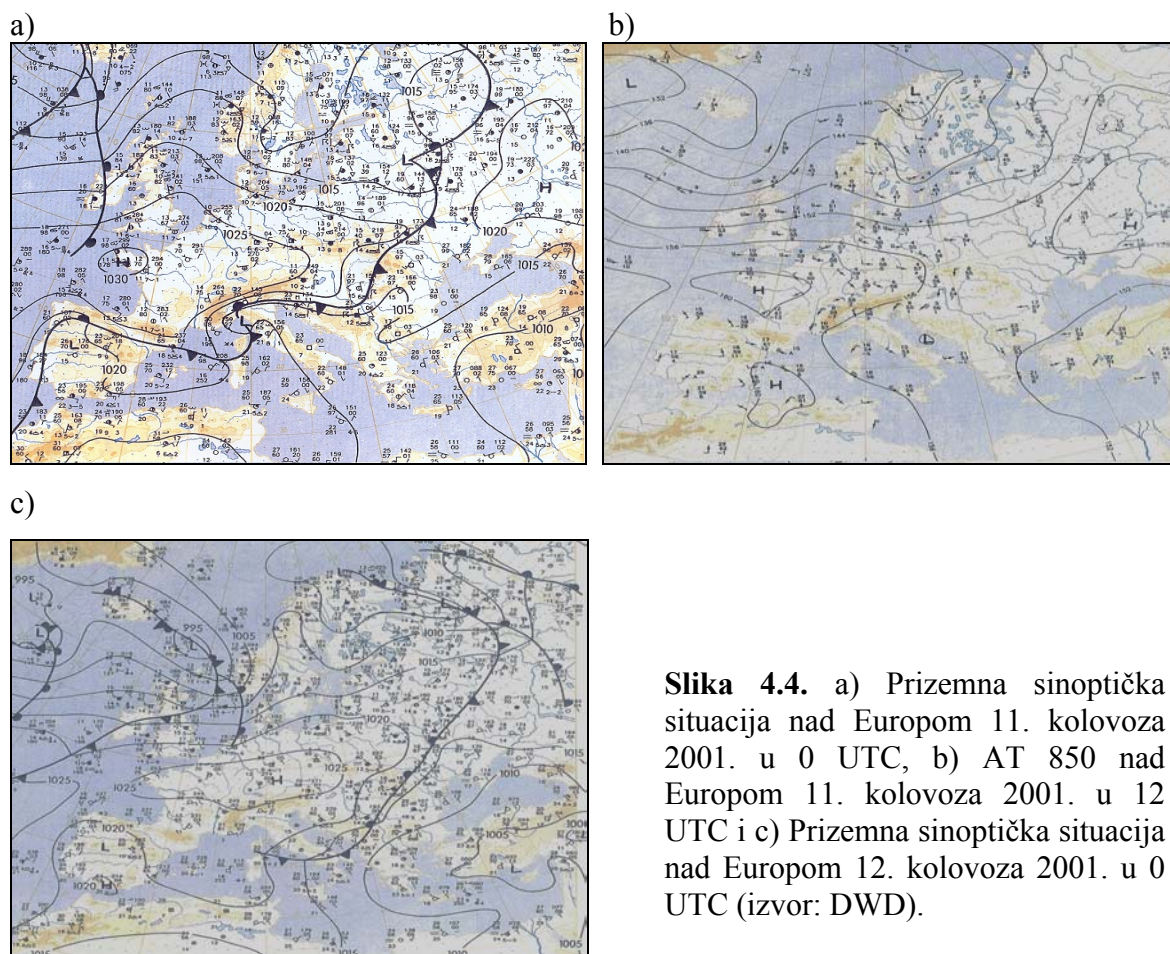


Slika 4.3. nastavak

4.2. VREMENSKE ZNAČAJKE U SINOPTIČKIM RAZMJERIMA

4.2.1. Sinoptička situacija A: 11 – 16. kolovoza 2001.

U noćnim satima 11. kolovoza 2001, nad Genovskim zaljevom se nalazila plitka dolina s izobarom od 1015 hPa. Istodobno se nad zapadnom obalom Francuske nalazila anticiklona sa središnjom zatvorenom izobarom od 1030 hPa (slika 4.4a). Tijekom dana dolina se preko sjeverne Italije premjestila nad Jadransko more, a prateća visinska ciklona na 850 hPa u 12 UTC se nalazila nad njegovim središnjim dijelom, odnosno iznad južnodalmatinskih otoka (slika 4.4b).



Slika 4.4. a) Prizemna sinoptička situacija nad Europom 11. kolovoza 2001. u 0 UTC, b) AT 850 nad Europom 11. kolovoza 2001. u 12 UTC i c) Prizemna sinoptička situacija nad Europom 12. kolovoza 2001. u 0 UTC (izvor: DWD).

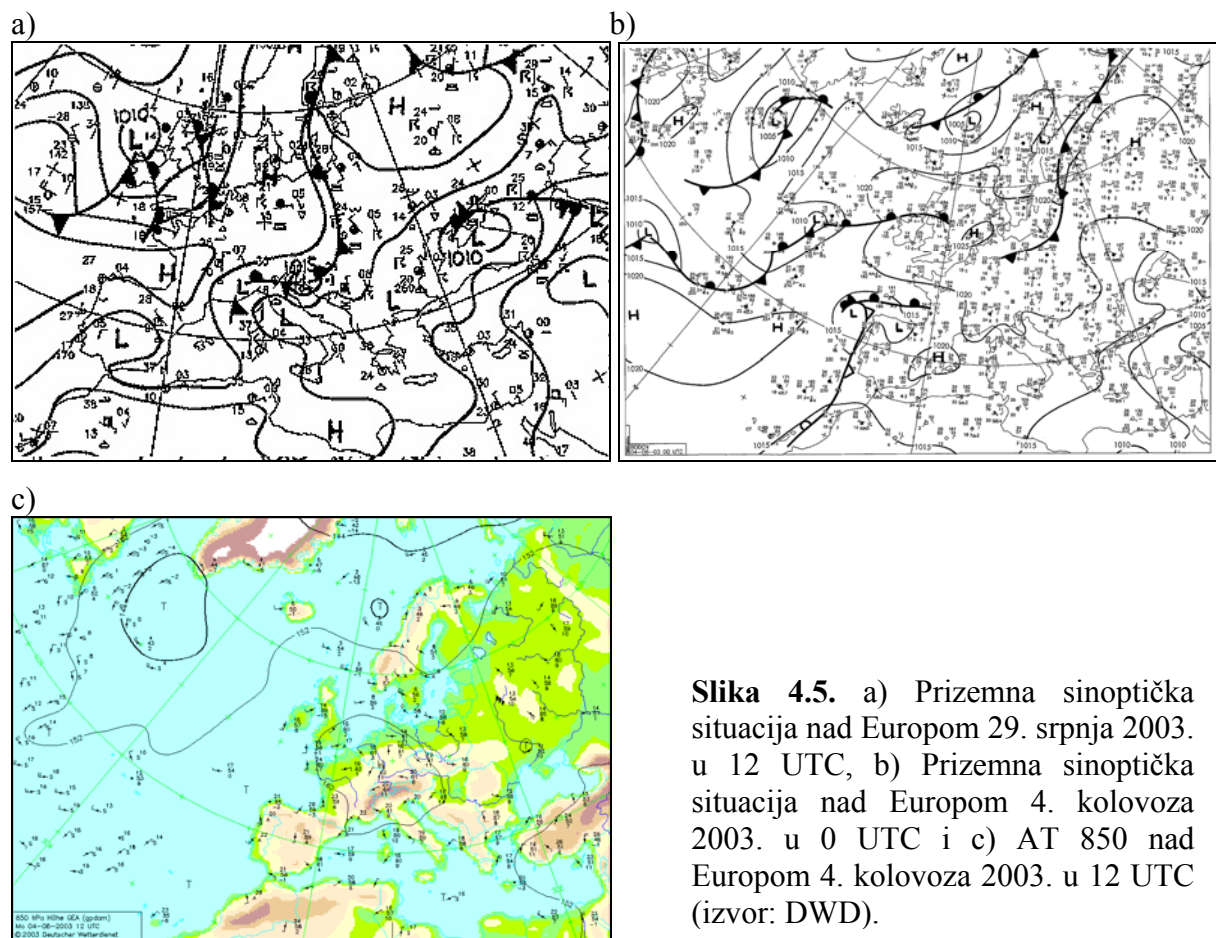
Greben azorske anticiklone je jačao preko Francuske prema srednjoj Europi. Zbog gradijenta tlaka između grebena visokog tlaka i doline niskog tlaka, koja je prolazila srednjim Jadranom 11. kolovoza 2001, zapuhala je jaka bura na sjevernom i dijelu srednjeg Jadrana, a do kraja dana se proširila i na ostatak obale. Frontalni sustav se prostirao od juga Apeninskog poluotoka do krajnjeg sjeveroistoka kontinenta, a njemu pripadajuća hladna fronta prošla je

preko Jadrana 11/12. kolovoza 2001. Na vrijeme u Hrvatskoj je toga dana utjecala prostrana anticiklona sa izobaram od 1020 hPa, čije se središte nalazilo iznad južne Njemačke, sjeverozapadno od Alpa (slika 4.4c). Umjerena do jaka bura, mjestimice i s olujnim udarima, na Jadranu je puhala do 13. kolovoza 2001. Sljedećeg dana cijeli središnji dio Sredozemlja i srednje Europe nalazio se pod utjecajem prostrane anticiklone sa središtem od 1020 hPa nad Panonskom nizinom. Takva se sinoptička situacija zadržala do 16. kolovoza 2001.

Najteži dan za gasitelje je prema evidencijama bio 11. kolovoza 2001, a požari su se brzo širili potpomognuti vjetrom (Grum, 2001). Taj dan je na priobalju nastao 51 požar otvorenog prostora u kojima je izgorjelo oko 9000 ha. Do 16. kolovoza 2001. ukupna opečarena površina iznosila je oko 12 000 ha.

4.2.2. Sinoptička situacija B: 29. srpnja – 10. kolovoz 2003.

Sredinom dana 29. srpnja 2003. dolina s izobaram od 1015 hPa se nalazila nad područjem sjeverne Italije (slika 4.5a). Frontalni sustav se prostirao od Azurne obale, preko sjeverne Italije i Jadrana, pa sve do obala Baltičkog mora.



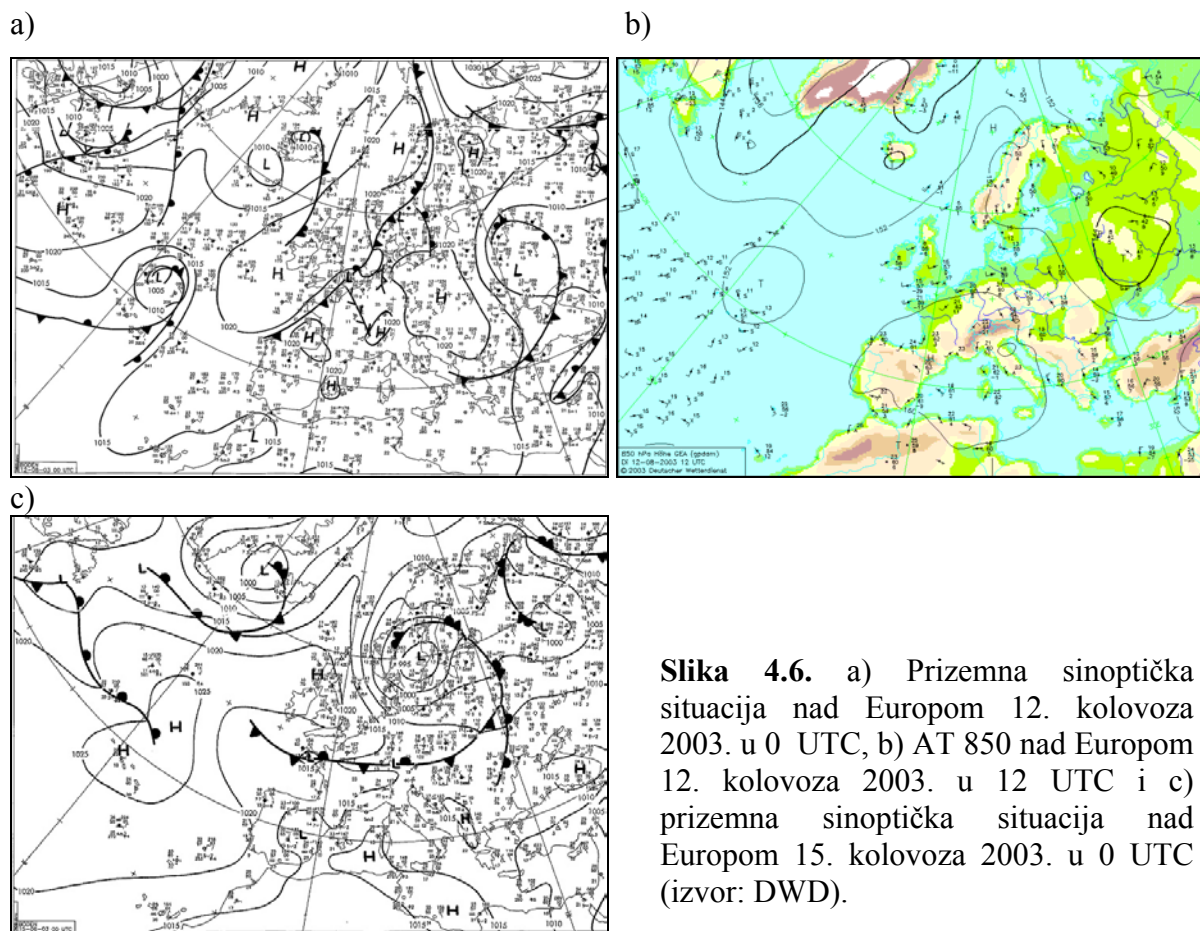
Slika 4.5. a) Prizemna sinoptička situacija nad Europom 29. srpnja 2003. u 12 UTC, b) Prizemna sinoptička situacija nad Europom 4. kolovoza 2003. u 0 UTC i c) AT 850 nad Europom 4. kolovoza 2003. u 12 UTC (izvor: DWD).

Uz prolaz hladne fronte vezano je i grmljavinsko nevrijeme, koje je zahvatilo sjeverni, te dio srednjeg Jadrana. Hladna fronta, koja je prelazila preko naših krajeva, se nalazila između dva područja visokog tlaka zraka. Središte jedne anticiklone, sa zatvorenom izobarom od 1025 hPa, se nalazilo sjeverno od Alpa. Središte druge, slabije anticiklone, sa zatvorenom izobarom od 1015 hPa, zauzimalo je područje Balkanskog poluotoka. U podnevnim satima 29. srpnja 2003. hladna fronta se nalazila nad područjem srednjeg Jadrana, te se premještala dalje prema jugoistoku. Plitka ciklona sa zatvorenom izobarom od 1010 hPa formirala se u noći 30. srpnja 2003. Prošla je preko Jadrana, a sredinom dana njeno središte nalazilo nad područjem Crne Gore. Ova sinoptička situacija je prethodila požarima na otocima Hvar i Brač u razdoblju od 29. srpnja do 10. kolovoza 2003.

Sve do 4. kolovoza 2003. nad južnim Jadranom prevladavalo polje nižeg tlaka da bi se zatim proširio greben visokog tlaka sa sjevera do unutrašnjosti Hrvatske. Središte te anticiklone od 1025 hPa nalazilo se nad Nizozemskom (slika 4.5b). Visinska anticiklona zapaža se i na izobarnoj plohi 850 hPa (slika 4.5c). Takva sinoptička situacija zadržala se je sve do 8. kolovoza 2003. Izostanak azorske anticiklone, koja je inače karakteristična u ljetnim mjesecima nad Sredozemljem, i djelovanje povišenog tlaka sa sjevera nad našim područjem ukazuje da je u tom razdoblju prevladavalo više meridionalno nego zonalno strujanje.

4.2.3. Sinoptička situacija C: 12 – 18. kolovoz 2003.

U noći 11/12. kolovoza 2003. krajnji dio hladne fronte vezane uz ciklonu, čije se središte nalazilo nad Ukrajinom, prešao je područjem Jadranske obale (slika 4.6a). Od jugozapada do sjeveroistoka Europe prostiralo se polje visokog tlaka zraka s pet područja sa zatvorenom središnjom izobarom od 1020 hPa. Najveće takvo područje visokog tlaka nalazilo se nad srednjom Europom, te je uključivalo i kontinentalni dio Hrvatske. Na izobarnoj plohi od 850 ha uočava se visinska ciklona nad cijelim zapadnim Sredozemljem koji uključuje i Jadran. Uslijed takve sinoptičke situacije tijekom noći 12. kolovoza 2003. je na našem priobalju puhala bura, a danju sjeverozapadnjak.

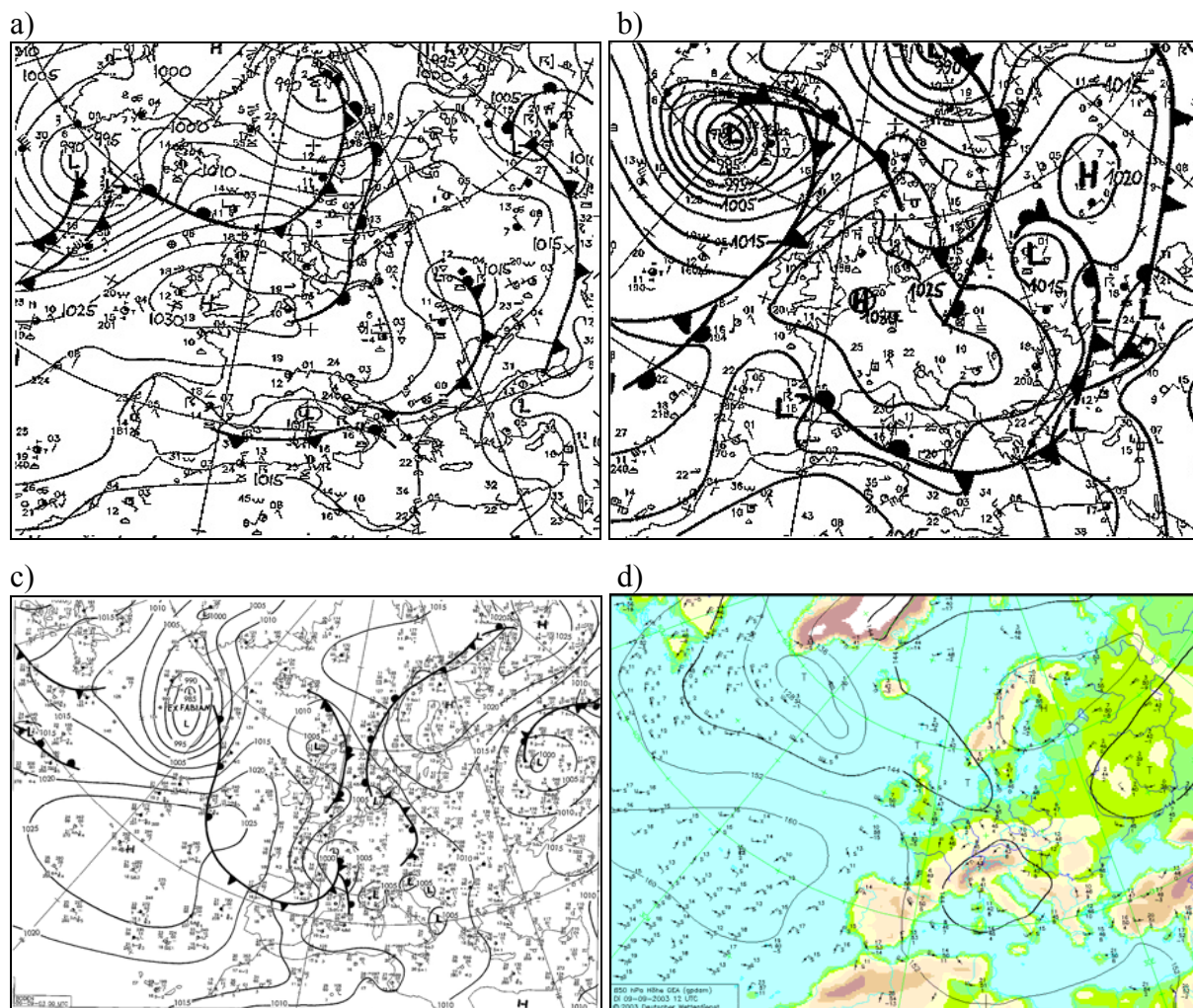


Slika 4.6. a) Prizemna sinoptička situacija nad Europom 12. kolovoza 2003. u 0 UTC, b) AT 850 nad Europom 12. kolovoza 2003. u 12 UTC i c) prizemna sinoptička situacija nad Europom 15. kolovoza 2003. u 0 UTC (izvor: DWD).

Do 15. kolovoza 2003. jačao je greben zapadnoeuropske anticiklone, dok se nad Skandinavijom formirala i jačala ciklona sa središtem od 995 hPa (slika 4.6c). Područje niskog tlaka 16. kolovoza 2003, koje je vidljivo i na izobarnoj plohi 850 hPa, nalazilo se na sjeveroistoku i zapadu Europskog kontinenta (ovdje nije prikazana sinoptička karta). Takva sinoptička situacija se zadržala do 18. kolovoza 2003. Kao i početkom, tako i sredinom kolovoza 2003, izostao je utjecaj azorske anticiklone nad Sredozemljem koja je karakteristična za ljetne mjesece. U ovoj situaciji ponovo je gorjelo na otoku Hvaru.

4.2.4. Sinoptička situacija D: 4 – 11. rujan 2003.

Sredinom dana, 3. rujna 2003, na zapadu Europe je dominirao ogranak azorske anticiklone, dok su se na jugu, istoku i sjeveru kontinenta nalazila polja niskog tlaka. Središte anticiklone od 1030 hPa smjestilo se nad zapadnom obalom Britanskog otočja. Dvije plitke ciklone, važne za vremenske prilike na našem području, nalazile su se sjeverozapadno od Crnog mora, te u Genovskom zaljevu.



Slika 4.7. Prizemna sinoptička situacija nad Europom: a) 3. rujna 2003. u 12 UTC, b) 4. rujna 2003. u 12 UTC, c) 9. rujna 2003. u 0 UTC i d) AT 850 nad Europom 9. rujna 2003. u 12 UTC (izvor: DWD).

Središta obje ciklone imale su tlak od 1015 hPa. Hladna fronta, povezana s ciklonom sjeveroistočno od Hrvatske, prolazila je duž Jadrana 3. rujna 2003. u 12 UTC (slika 4.7a). Na dan požara na Lastovu, 4. rujna 2003, nad većim dijelom srednje Europe je prevladavala anticiklona sa središtem od 1030 hPa. Naše područje zahvatila je donja strana te anticiklone. Zbog horizontalnog gradijenta tlaka između te anticiklone i ciklone sa središtem nad Turskom, na Jadranu je puhala jaka bura (slika 4.7b).

Slična sinoptička situacija nad Europom potrajala je do 7. rujna 2003. Na promjenu vremena nad Jadranom od 8. rujna 2003. utjecala je Genovska ciklona sa zatvorenom središnjom izobarom od 1005 hPa (slika 4.7c). Tog je dana na Jadranu puhalo umjereno do jako jugo. Ono je uzrokovalo ponovno izdimljavanje na požarištu otoka Lastova iako je u podnevnim satima padala slaba kiša.

U noći 8/9. rujna 2003. Europom dominiraju dva veća područja niskog tlaka. Središte jedne ciklone se nalazilo nad Francuskom, a druge nad Rusijom. Objema je u središtu bilo 1000 hPa. Manja područja niskog tlaka sa zatvorenim središnjim izobarama od 1005 hPa su se nalazila nad Hrvatskom i nad južnim Jadranom. Samo jedan ogranak azorske anticiklone dopirao je s Atlantika do Pirinejskog poluotoka.

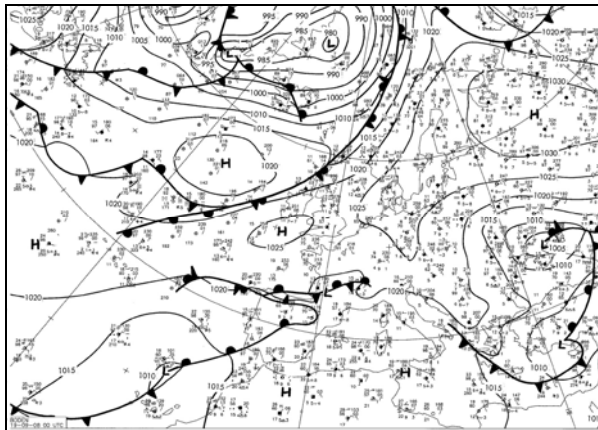
Visinska ciklona na izobarnoj plohi 850 hPa zahvaćala je veliko područje nad Alpama, Italijom i našim krajevima 9. rujna 2003. u 12 UTC (slika 4.7d). Sljedećeg je dana nad Jadranom, pa tako i na otoku Lastovo, padala kiša. Dan poslije požar na otoku Lastovu je proglašen ugašenim. Tijekom ove sinoptičke situacije također je izostao utjecaj azorske anticiklone nad većim dijelom Sredozemlja. Pod njenim je utjecajem 10. rujna 2003. bio tek krajnji sjeverozapad Pirinejskog poluotoka.

4.2.5. Sinoptička situacija E: 19 – 20. rujna 2008.

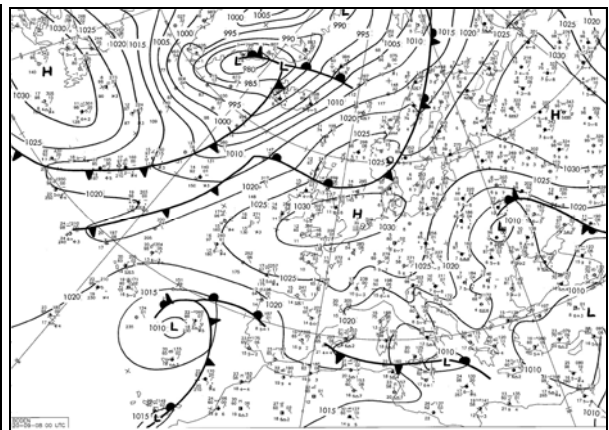
U noćnim satima 18/19. rujna 2008. naše područje je bilo pod utjecajem grebena sjevero-istočnoeuropske anticiklone (slika 4.8a). Sredinom dana anticiklona se proširila na zapadnu Europu sa središtem od 1030 hPa nad Velikom Britanijom. Tijekom dana zapadno od Apeninskog poluotoka nastala je plitka ciklona, koja se u narednim satima premještala prema jugoistoku. Zajedno s prostranom anticiklonom iznad zapadne i središnje Europe utjecala je na vrijeme u našim krajevima s 19/20. rujna 2008 (slika 4.8b). Preko Jadrana je u noćnim satima 20. rujna 2008. prolazila izobara 1010 hPa, kao granica između područja niskog tlaka na jugoistoku i područja visokog tlaka na sjeverozapadu (slika 4.8c). Stoga je noću na području južne Dalmacije puhala umjerena do jaka bura, mjestimice i s olujnim udarima.

Ciklona se u sljedećih 12 sati brzo premjestila jugoistočno, a visinska ciklona se uočava i na izobarnoj plohi 850 hPa od 20. rujna 2008. u 12 UTC (slika 4.8d). Istodobno se nad zapadnom i sjeveroistočnom Europom nalaze visinske ciklone, a zapadno od Pirinejskog poluotoka nad Atlantikom nalazilo prostrano polje niskog tlaka zbog kojeg je izostao utjecaj azorske anticiklone nad kontinentom.

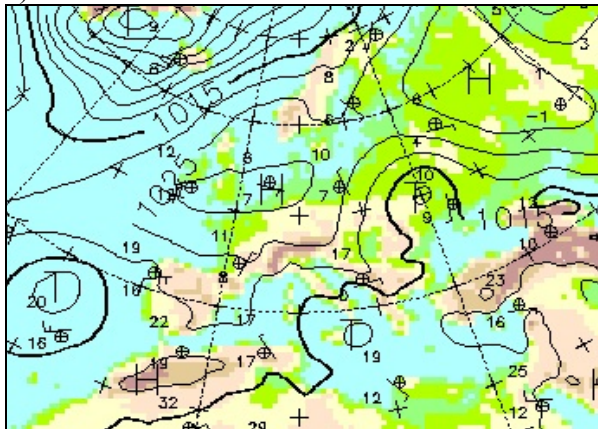
a)



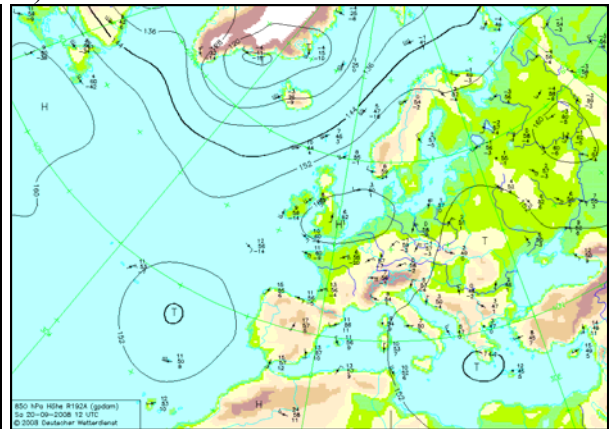
b)



c)



d)



Slika 4.8. Prizemna sinoptička situacija nad Europom: a) 19. rujna 2008. u 0 UTC, b) 20. rujna 2008. u 0 UTC, c) uvećano područje 20. rujna 2008. u 0 UTC, d) AT 850 nad Europom 20. rujna 2008. u 12 UTC (izvor: DWD).

4.3. ANALIZA VERTIKALNIH PROFILA ATMOSFERE

4.3.1. Vertikalni profil A: 11 – 16. kolovoz 2001.

Za analizu vertikalnog profila atmosfere za vrijeme velikih šumskih požara na Jadranu u razdoblju 11–16. kolovoza 2001. korištene su simulacije vertikalnih profila osnovnih meteoroloških veličina pomoću numeričkog modela ALADIN. Za analizu su odabrane točke mreže modela koje su najbliže lokacijama požara na otoku Braču, te Omišu i Dubrovniku kao i meteorološkim postajama Sutivan, Split-Marjan i Dubrovnik-aerodrom. Stoga su modeliranim vertikalnim profilima pridijeljeni nazivi meteoroloških postaja. Profili se odnose na termine svaka tri sata počevši od 0 UTC. Za ljetno ukazno vrijeme treba dodati 2 sata na UTC.

Požar pokraj Omiša je započeo u ranim jutarnjim satima 11. kolovoza 2001. i najbliža točka modela za taj požar odnosi se na lokaciju Split-Marjan. Stoga su na slici 4.9. prikazani modelirani vertikalni profili brzine i smjera vjetra, temperature zraka, potencijalne temperature i statičke stabilnosti za lokaciju Split-Marjan za 11. kolovoz 2001. Vertikalni profil brzine vjetra pokazuje da je vjetar od noćnog termina do kraja istoga dana na splitskom području jačao, a prema profilu njegovog smjera očito je da je u atmosferskom graničnom sloju (ABL-u) tijekom cijeloga dana puhala bura. Vjetar je na visini od 0.5 km okretao na smjer E–SE, osim u 18 i 21 UTC, kada je na visini mijenjao smjer na N–NW. U 12 UTC brzina vjetra je od oko 6 ms^{-1} pri tlu porasla na 13 ms^{-1} na visini 0.5 km, što zadovoljava prvi kriterij za nisku mlaznu stuju (Bonner, 1968). Prema kraju dana niska mlazna struja je jačala do maksimalne brzine od 25 ms^{-1} , koji je postigla u 21 UTC na visini od 640 m, a i dalje je zadržala NE smjer. Nakon maksimuma brzine vjetar je slabio visinom. Minimum brzine postignut je na visini oko 2 km i iznosio je 4 ms^{-1} iznad kojeg je puhao N–NNW vjetar. Dakle, u večernjim satima bio je zadovoljen čak treći kriterij niske mlazne struje.

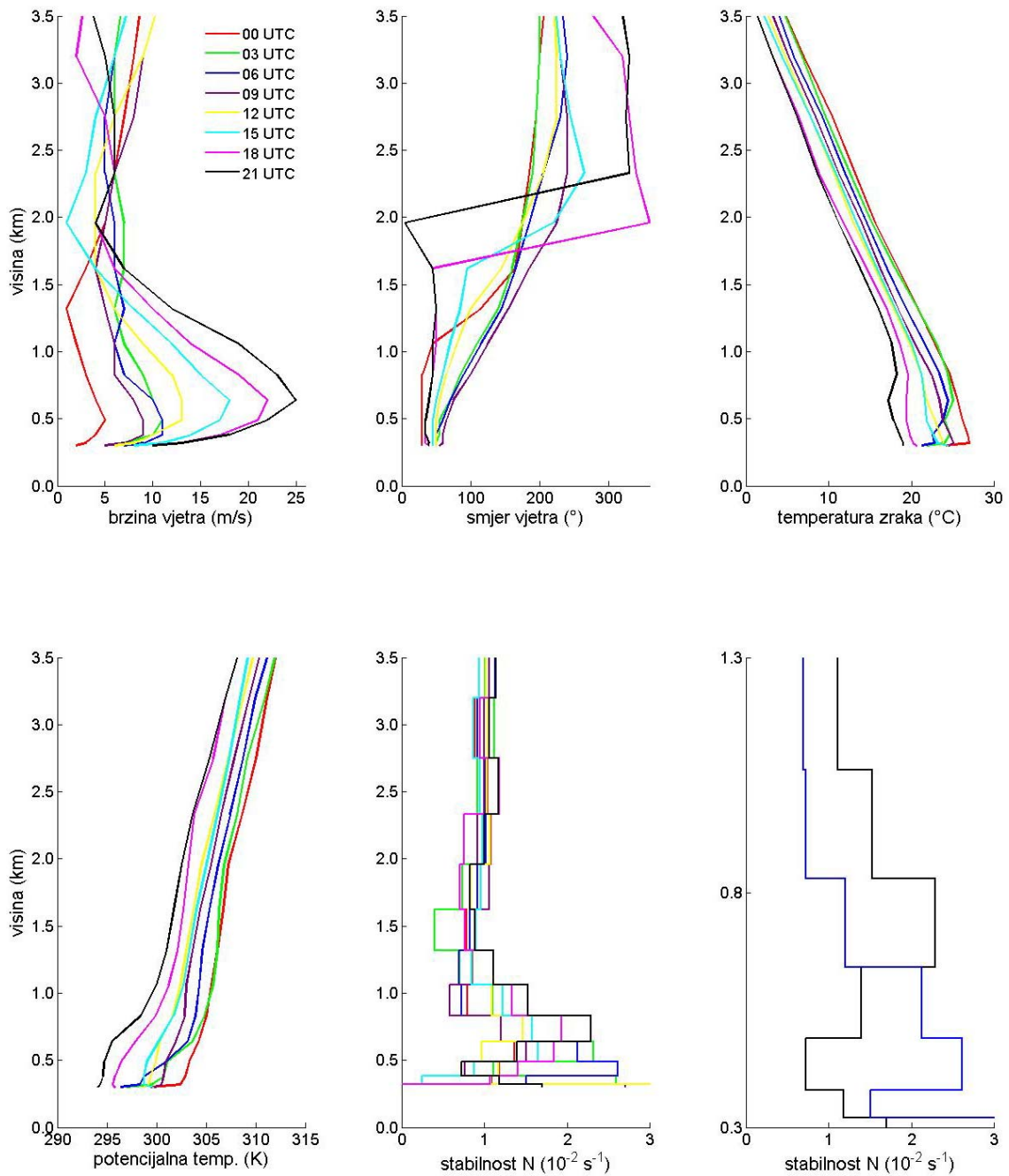
U promatranom danu nad splitskim područjem su se pojavile čak četiri izraženije visinske temperaturne inverzije, i to u: 6, 9, 12 i 21 UTC. U jutarnjim satima temperaturna inverzija bila je u sloju od 380 do 640 m i iznosila je $0.69^\circ\text{C}(100 \text{ m})^{-1}$. Inverzni sloj u ovom terminu imao je maksimalnu stabilnost toga dana koja je iznosila 0.026 s^{-1} . Prijepodne i sredinom dana u tankom sloju od samo 20 m, koji se nalazio između 300 i 320 m visine, postojao je najveći gradijent temperature zraka, a iznosio je $2^\circ\text{C}(100 \text{ m})^{-1}$. Maksimalna temperatura na 300 m visine iznosila je 24.6°C u 9 UTC, a u sljedećih 20 m narasla je na

25.0°C. Slična inverzija temperature je postojala i u terminu 12 UTC. Tanki sloj temperaturnih inverzija u 9 i 12 UTC nalazio se ispod niske mlazne struje koja je u ovim terminima bila na visini od 380 do 490 m. Jačanjem niske mlazne struje prema kraju dana sloj temperature inverzije bio je sve deblji i viši. U 21 UTC sloj inverzije se nalazio između 640 i 830 m, točno iznad maksimuma brzine niske mlazne struje. U večernjim satima temperatura zraka od 19°C se postupno smanjivala od tla do visine maksimalne brzine (640 m), gdje je iznosila 17.2°C, a zatim se do 830 m povećala na 18.2°C. Dakle, vertikalni temperaturni gradijent je iznosio 0.52°C po 100 m. Za navedene termine stabilni sloj se uočava i na vertikalnom profilu potencijalne temperature zraka, te statičke stabilnosti. U 9 i 12 UTC stabilnost inverznog sloja se smanjila na 0.011 s^{-1} , da bi mu u večernjim satima stabilnost ponovno porasla, te iznosila 0.023 s^{-1} (tablica 4.3).

Tablica 4.3. Pregled slojeva inverzije i maksimalne brzine vjetra u donjoj troposferi za Split-Marjan, 11. kolovoz 2001, te Sutivan i Dubrovnik-aerodrom, 12. kolovoz 2001. * nema promjene temperature s visinom – izotermija.

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ INVERZIJE (m)	dt/dz ($^{\circ}\text{Cm}^{-1}$)	N ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	VISINA (m)	v_{maks} (ms^{-1})	d_{maks} ($^{\circ}$)
11.8.2001.	Split-Marjan					
0	–	–	–	490	5	NNE
3	320 – 380	0.010	2.59	490	11	NE
	450 – 640	0.007	2.32			
6	380 – 640	0.007	2.61	380 – 490	11	ENE
9	300 – 320	0.020	1.09	380 – 490	9	ENE
12	300 – 320	0.020	1.08	490 – 640	13	NE
15	–	–	–	640	18	NE
18	490 – 640*	0.000	0.02	640	22	NE
	640 – 830	0.001	1.93			
21	300 – 320*	0.000	0.02	640	25	NE
	640 – 830	0.005	2.29			
12.8.2001.	Sutivan					
0	–	–	–	440 – 630	14	NE
3	110 – 140	0.013	3.08	630	21	NE
6	110 – 140*	0.000	0.01	630	22	NE
9	–	–	–	630 – 850	20	NE
12	–	–	–	630 – 850	15	NE
15	–	–	–	630 – 850	13	NE
18	110 – 140*	0.000	0.02	630	16	NNE
21	110 – 140	0.020	3.08	630	19	NE
12.8.2001.	Dubrovnik-aerodrom					
0	–	–	–	360 – 500	8	ENE
3	–	–	–	360 – 500	15	NE
6	–	–	–	680	20	NE
9	–	–	–	910	18	NE
12	–	–	–	680 – 1170	13	NE
15	–	–	–	680 – 910	18	NE
18	–	–	–	680	20	NE
21	160 – 190*	0.000	0.02	500 – 680	19	NE
<i>Kriterij 1</i>		<i>Kriterij 2</i>		<i>Kriterij 3</i>		

SPLIT-MARJAN 11. kolovoz 2001.



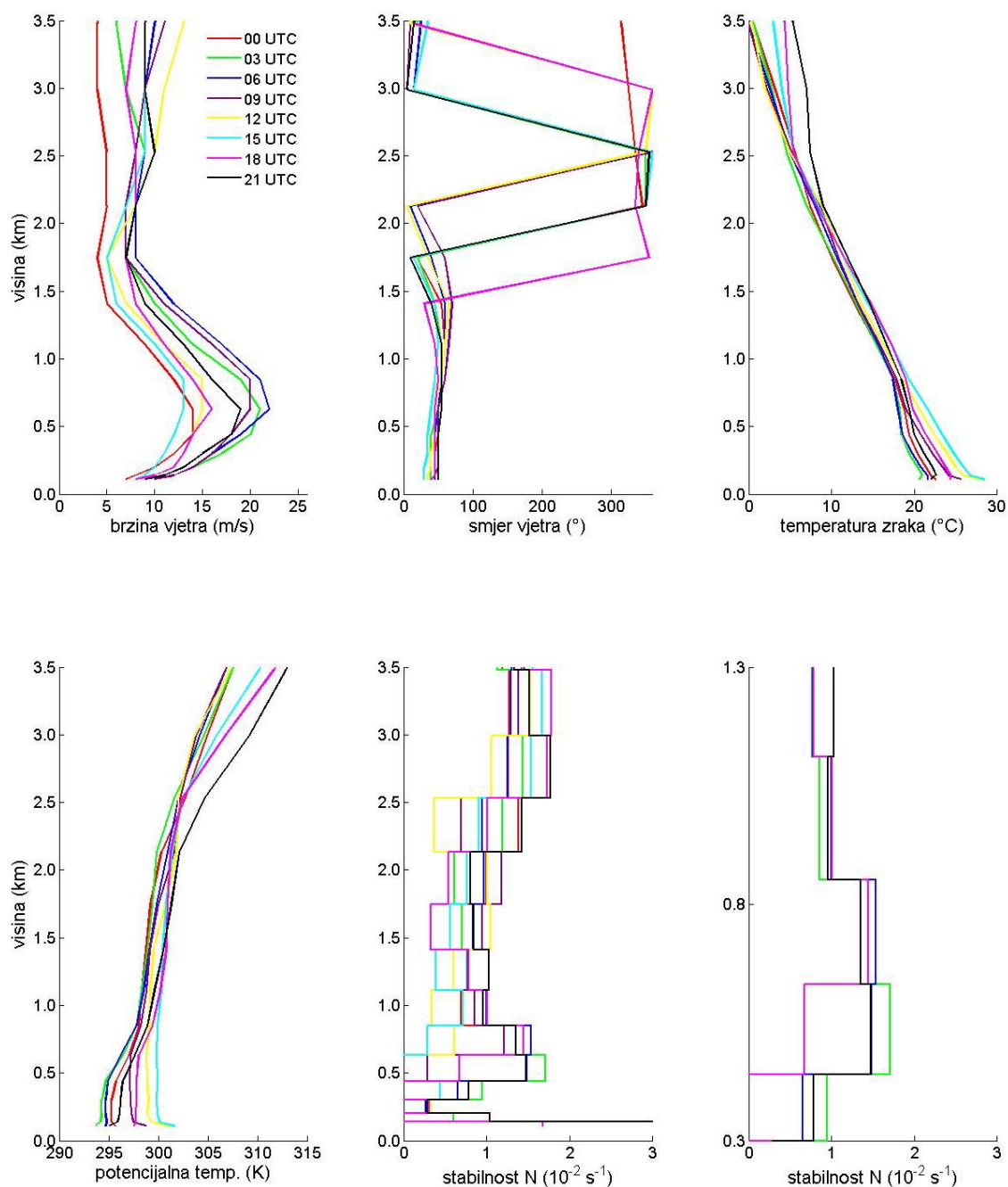
Slika 4.9. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Split-Marjan do 3.5 km visine, 11. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Požar u blizini Sutivana na otoku Braču započeo je sredinom dana 11. kolovoza 2001. Točka modela za taj požar odnosi se na lokaciju mjesta Sutivan za koju su simulirani vertikalni profili brzine i smjera vjetra, temperature zraka, potencijalne temperature i statičke stabilnosti. Na vertikalnom profilu brzine vjetra od 11. kolovoza 2001. (prilog 1b) uočava se porast brzine vjetra od sredine dana. Prva veća brzina vjetra smjera ENE, kojom bi mogli opisati nisku mlaznu struju prema kriteriju 1 (Bonner, 1968), javlja se u terminu 15 UTC na visini od 460 m. Na istoj visini je niska mlazna struja smjera NE, prema kriteriju 2, vidljiva u terminu od 18 UTC. Prema večeri je i dalje jačala te je u 21 UTC s brzinom od 21 ms^{-1} na visini 640 m zadovoljila i kriterij 3 za nisku mlaznu struju.

Vertikalni profili od 12. kolovoza 2001. pokazuju da je niska mlazna struja potrajala cijeloga dana (slika 4.10), tijekom kojeg je započeo i drugi požar na otoku Braču u blizini mjesta Selce. Iako su bili ugašeni, oni su se uslijed jake bure tijekom jutarnjih sati ponovo aktivirali. Na vertikalnom profilu brzine vjetra može se uočiti da je niska mlazna struja najveće brzine postigla baš u 3, 6 i 9 UTC. Tada je s obzirom na brzine veće od 20 ms^{-1} , baš kao i u slučaju Split-Marjan, također zadovoljila kriterij 3 niske mlazne struje. Maksimalna brzina vjetra od 22 ms^{-1} postignuta je u 6 UTC na visini od 630 m, nakon koje je vjetar slabio do visine 1750 m (minimum brzine 8 ms^{-1}). Niska mlazna struja je sredinom dana malo oslabila, a postojala je prema kriteriju 2 još u 12, 18 i 21 UTC. Slika 4.10. za smjer vjetra pokazuje da je tijekom cijeloga dana puhao NE, odnosno bura, a na visini od 2130 m je u svim terminima vjetar okrenuo na smjer N-NW.

Iz tablice 4.3. je vidljivo da su se tijekom 12. kolovoza 2001. pojavile dvije temperaturne inverzije u 3 i 21 UTC, obje u nižem tankom sloju između 100 i 140 m visine. Izraženija inverzija u večernjim satima imala je vertikalni temperaturni gradijent od 2°C po 100 m, a pripadna statička stabilnost je u oba termina bila jednaka i iznosila je 0.031 s^{-1} . U 0, 3, 6 i 21 UTC nalazio se još jedan izraženiji stabilni sloj između 630 i 850 m visine koji je bolje uočljiv na uvećanom prikazu stabilnosti na slici 4.10.

SUTIVAN 12. kolovoz 2001.

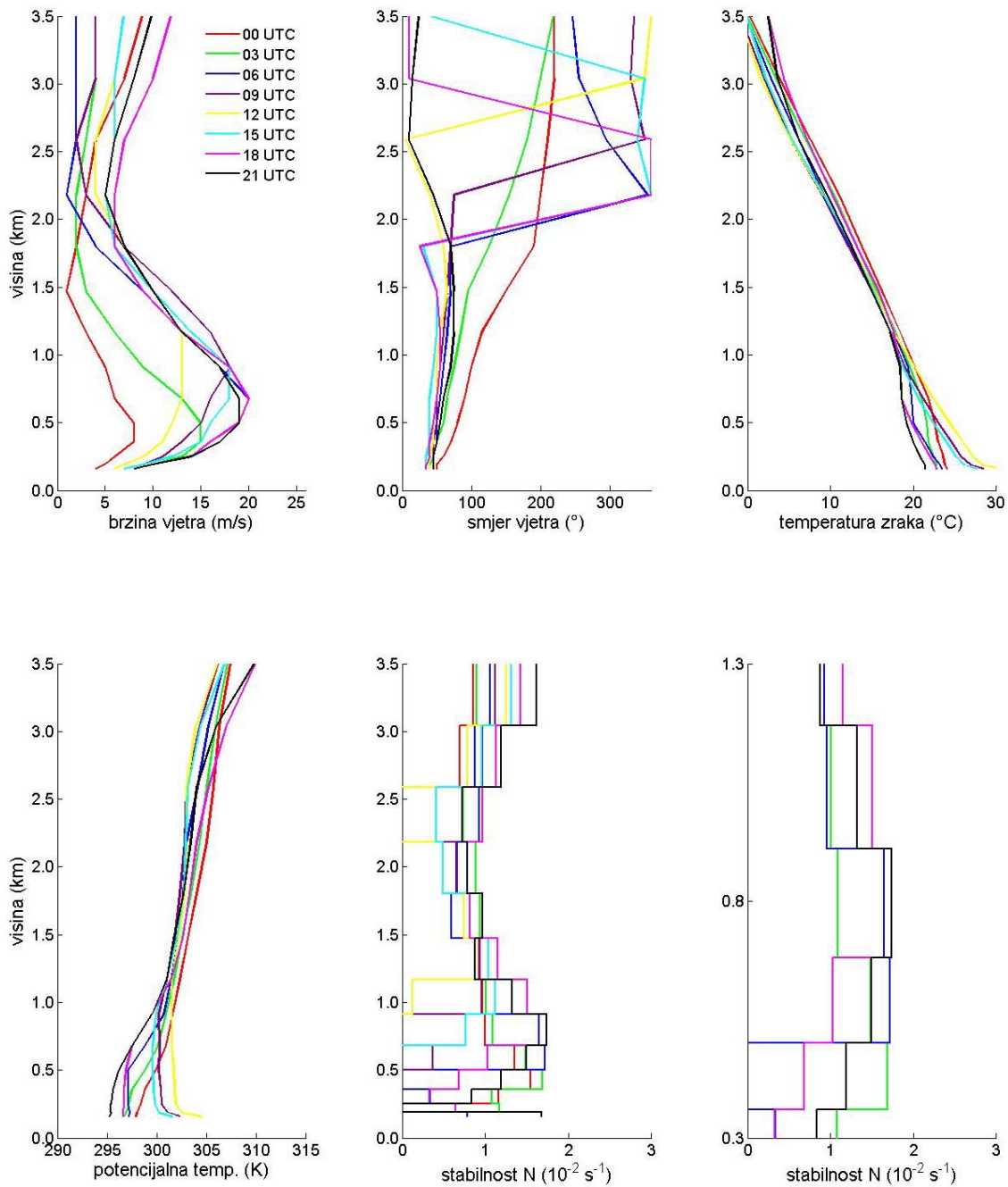


Slika 4.10. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Sutivan do 3.5 km visine, 12. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Požar je na dubrovačkom primorju započeo u ranim jutarnjim satima 12. kolovoza 2001. Točka mreže modela, koja je najbliža lokaciji požara je Dubrovnik-aerodrom, a modelirani vertikalni profili određenih meteoroloških elemenata prikazani su na slici 4.11. Na vertikalnom profilu brzine vjetra lako se može uočiti da nakon ponoći 12. kolovoza 2001. vjetar naglo jača, te već u 3 UTC postiže brzinu od 15 ms^{-1} u sloju između 360 i 500 m. S time je zadovoljaven kriterij 2 niske mlazne struje i pri tome smjer vjetra od E–ENE prelazi u NE smjer, odnosno buru. Toga dana maksimum brzine vjetra iznosio je 20 ms^{-1} , a nalazio se na 680 m visine u terminima 6 i 18 UTC. Baš kao i na području Split-Marjana i Sutivana može se uočiti da je maksimalna brzina u svim slučajevima postignuta u ranim jutarnjim satima 12. kolovoza 2001, točnije u 6 UTC. Iznad minimuma brzine vjetra (oko 1.8–2 km), vjetar je na sve tri lokacije okrenuo na N–NW smjer.

Temperaturna inverzija se nije pojavljivala ni u jednom od navedenih termina, što ne isključuje mogućnost da je možda bila prisutna u međutermima. Vjetar je znatno oslabio sredinom sljedećeg dana, 13. kolovoza 2001. Niska mlazna struja prema kriteriju 1 može se još okarakterizirati u 3 i 6 UTC kada je na visini od 500 m postignuta maksimalna brzina od 14 ms^{-1} . Temperaturna inverzija se pojavila tri puta tijekom dana, što se preciznije može vidjeti na vertikalnom profilu temperature zraka, koji se nalazi u prilogu 1c. Nakon što je bura oslabila sredinom dana, okrenula je na WSW smjer.

DUBROVNIK 12. kolovoz 2001.



Slika 4.11. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Dubrovnik do 3.5 km visine, 12. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

4.3.2. Vertikalni profil B: 29. srpanj – 10. kolovoz 2003.

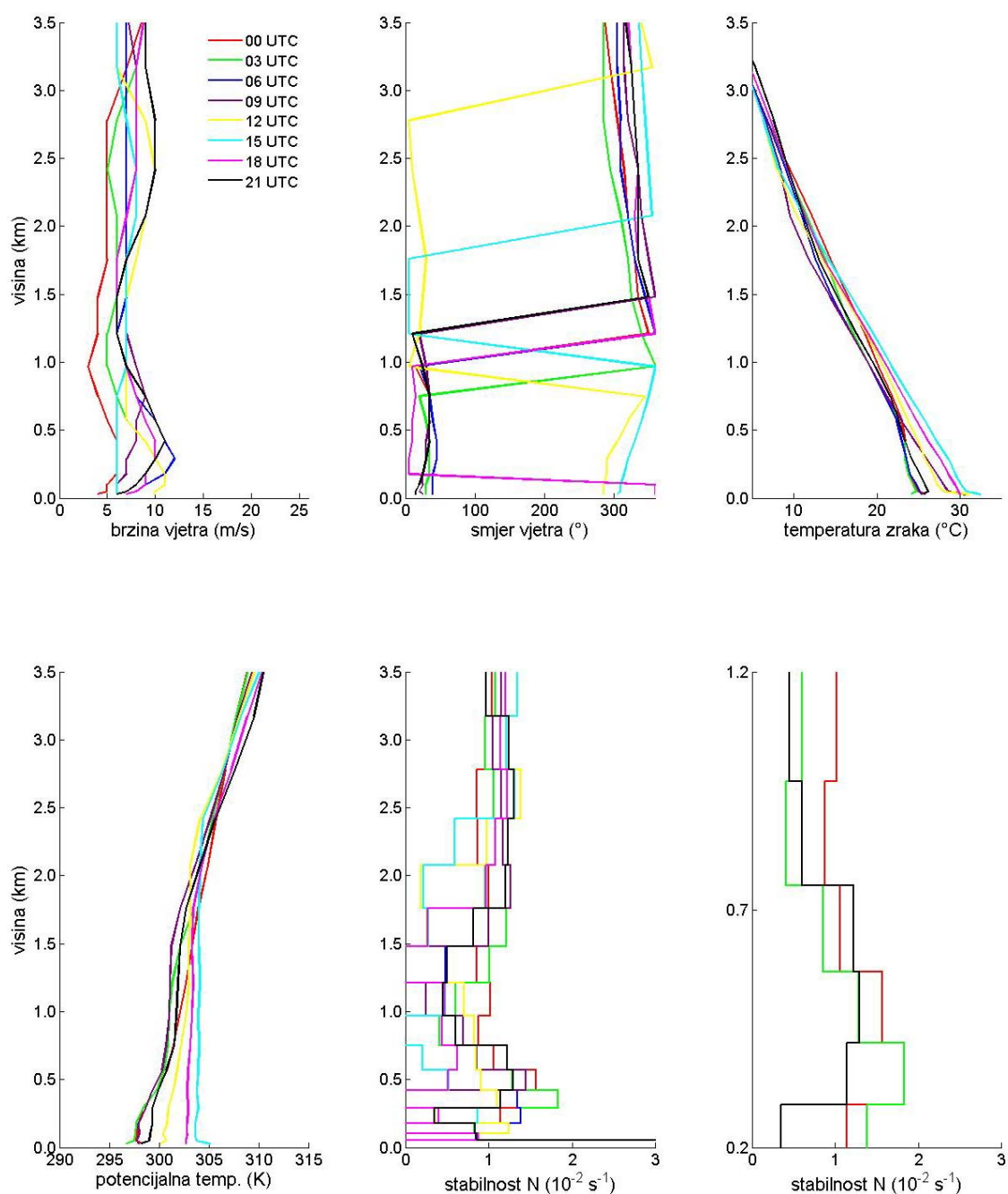
Požar na otoku Hvaru započeo je u kasnim popodnevnim satima 29. srpnja 2003. Najbliža točka modela za slučaj ovog požara se odnosi na lokaciju grada Hvara. Pripadni modelirani vertikalni profili određenih meteoroloških elemenata, koji se odnose na dan početka požara, prikazani su u prilogu 1d. Iako toga dana nije bila prisutna niska mlazna struja, vidljiva je tendencija porasta brzine vjetra u kasnim popodnevnim i večernjim satima, osobito na visini od oko 300 m. Vjetar je pritom sa zapadnih smjerova prešao na smjer bure, odnosno na sjeveroistočni smjer.

Na slici 4.12. uočava se daljnji porast brzine vjetra u ranim noćnim satima 30. srpnja 2003, a maksimum od 12 ms^{-1} je dosegla u terminu 6 UTC na visini 290 m. Ovo je jedini termin toga dana za koji se, prema već odabranim kriterijima, moglo reći da se radilo o niskoj mlaznoj struji prema kriteriju 1. Gledajući vertikalni profil smjera vjetra vidljivo je da je tijekom noći i jutra puhala bura, a danju sjeverozapadnjak. Sloj inverzije se pojavio u 3 i 21 UTC. U oba slučaja to je bila prizemna inverzija, a vertikalni gradijent temperature je iznosio 3°C po 100 m.

Tablica 4.4. Pregled slojeva inverzije i maksimalne brzine vjetra u donjoj troposferi za Hvar i Bol, 30. srpanj 2003. * nema promjene temperature s visinom – izotermija.

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ INVERZIJE (m)	dt/dz ($^\circ\text{Cm}^{-1}$)	N ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	VISINA (m)	v_{maks} (m/s)	d_{maks} ($^\circ$)
30.7.2003.	Hvar					
0	290 – 420*	0.000	0.02	180 – 420	6	NE
3	30 – 50 290 – 420*	0.030 0.000	3.56 0.02	290	10	NE
6	–	–	–	290	12	NE
9	–	–	–	750	9	NE
12	–	–	–	100 – 180	11	WNW
15	–	–	–	970 – 1480	7	N
18	–	–	–	290 – 420	10	N
21	30 – 50	0.030	3.56	420	11	NE
30.7.2003.	Bol					
0	270 – 380	0.002	1.94	380 – 510	7	NE
3	120 – 140 270 – 510	0.020 0.003	3.08 2.09	380	12	NE
6	–	–	–	380 – 510	12	NE
9	–	–	–	670 – 860	9	NE
12	–	–	–	860 – 1070	7	NE
15	–	–	–	380 – 1310	8	N
18	–	–	–	670	11	N
21	120 – 140	0.020	3.07	510	13	NE
<i>Kriterij 1</i>		<i>Kriterij 2</i>		<i>Kriterij 3</i>		

HVAR 30. srpanj 2003.

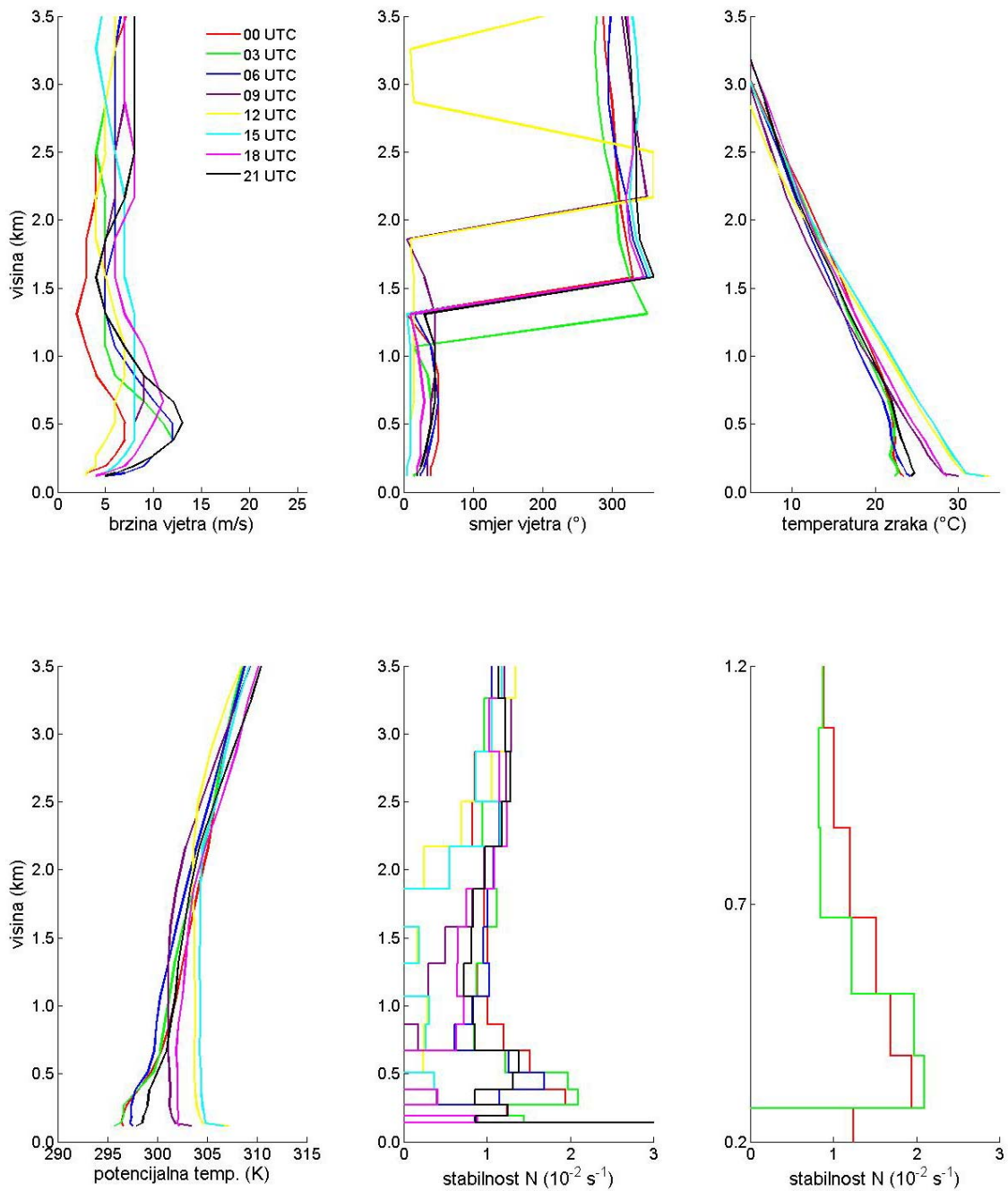


Slika 4.12. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Hvar do 3.5 km visine, 30. srpanj 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Bol je najbliža točka modela požaru na Braču, koji je započeo u rano jutro 30. srpnja 2003. Iz tablice 4.4. je vidljivo da se između 0 i 3 UTC, gotovo istodobno ili netom prije početka požara, brzina vjetra na visini od 380 m naglo povećala sa 7 ms^{-1} na 12 ms^{-1} . Jednaku brzinu, u još debljem sloju od 380 do 510 m, zadržala je i u 6 UTC. Na vertikalnom profilu smjera vjetra (slika 4.13) se uočava da je tijekom cijeloga dana u atmosferskom graničnom sloju puhala bura, a vjetar je na visini od oko 1 km mijenjao smjer u sjeverni i sjeverozapadni. Maksimum brzine vjetra se sredinom dana smanjio na 7 ms^{-1} , a zatim je prema večeri ponovo narastao na maksimalnih 13 ms^{-1} . Dakle, kao što je vidljivo i iz tablice 4.4, niska mlazna struja prema kriteriju 1 je postojala u 3, 6 i 21 UTC. Iako se brzina vjetra u noći 30/31. srpnja 2003 postupno smanjivala, ipak je na visini od 370 do 500 m u 0 i 3 UTC ona iznosila 7 ms^{-1} i naglo se smanjila na 3 ms^{-1} do 6 UTC. Ovo naglo smanjenje brzine vjetra na visini povezano je s brzim širenjem vatre oko 4.30 h (LJUV). Vjetar se do jutra 31. srpnja 2003. postupno smirio, a niska mlazna struja u ovom razdoblju više nije bila prisutna.

Temperaturna inverzija se pojavila 30. srpnja 2003. u 0, 3 i 21 UTC. Najjače izražena je bila u 3 UTC kada su postojala čak dva sloja inverzije. Niži sloj inverzije (120-140 m) imao je vertikalni temperaturni gradijent od 2°C po 100 m tj. vertikalni porast temperature zraka od 22.4°C na 22.8°C . Ta prizemna inverzija je imala i najveću statičku stabilnost (0.031 s^{-1}) toga dana. U višem sloju inverzije (270-510 m) temperatura zraka se povećala s 21.8°C na 22.4°C , a vertikalni temperaturni gradijent je iznosio 0.25°C po 100 m.

BOL 30. srpanj 2003.



Slika 4.13. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Bol do 3.5 km visine, 30. srpanj 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

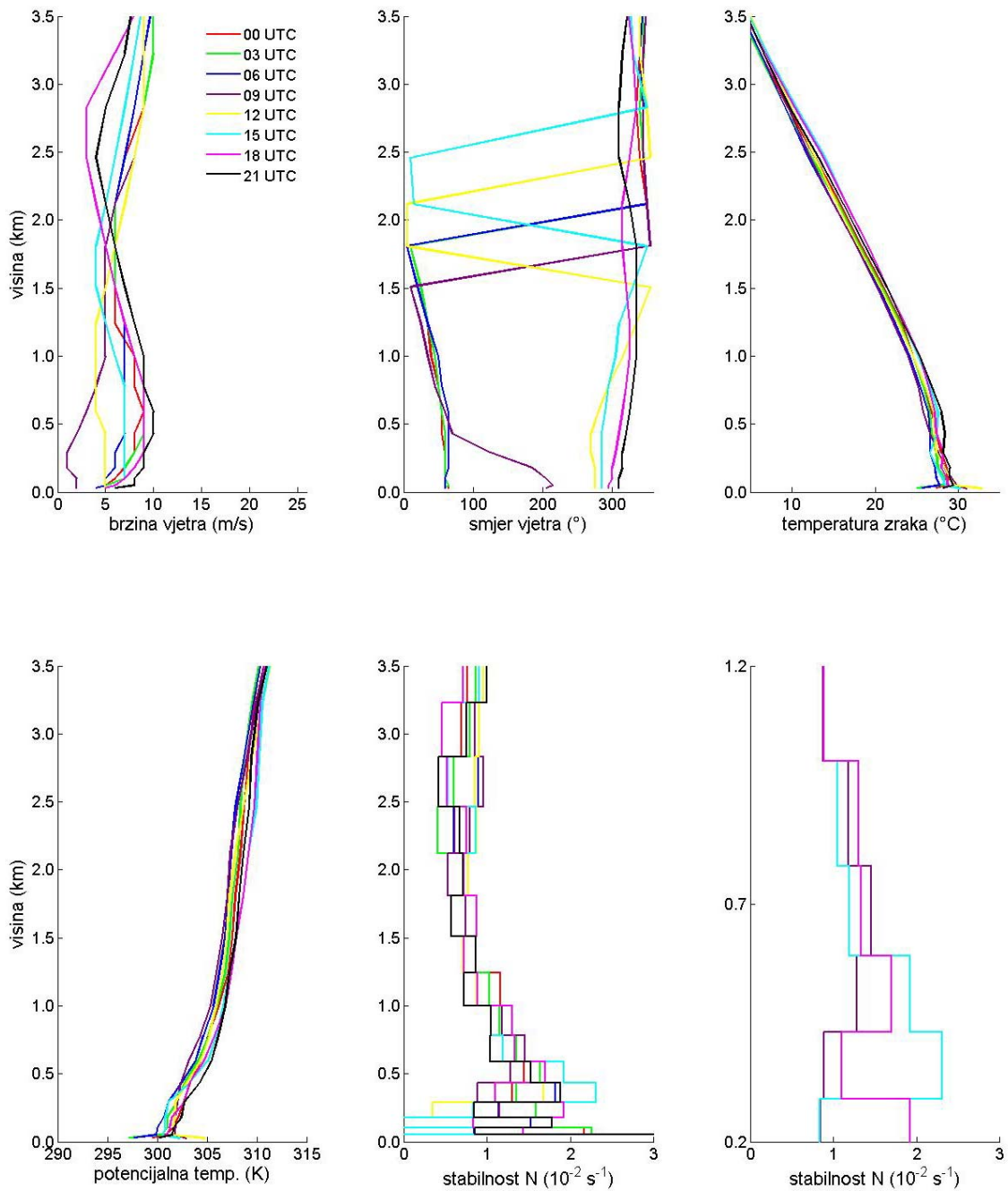
4.3.3. Vertikalni profil C: 12 – 18. kolovoz 2003.

Deseti po redu požar, u samo dva tjedna na otoku Hvaru, započeo je u jutro 12. kolovoza 2003. I u ovom slučaju je, kao i za razdoblje od 29. srpnja do 10. kolovoza 2003. korištena točka mreže modela ALADIN/HR, koja se odnosi na lokaciju najbližu gradu Hvaru. Iz tablice 4.5. je vidljivo da 12. kolovoza 2003. prema unaprijed odabranim kriterijima, nije postojala niska mlazna struja. Ipak, maksimalna brzina vjetra na visini od 590 m u 0 UTC je iznosila značajnih 9 ms^{-1} , a tu brzinu je zadržala i u 3 UTC. Tijekom prijedneva brzina je oslabila da bi od 12 UTC pa nadalje porasla do maksimalnih 10 ms^{-1} u sloju od 430 do 590 m u 21 UTC. Simulirani vertikalni profil smjera vjetra pokazuje da je od ponoći i tijekom prijedneva puhala bura koja je u 12 UTC prešla na smjer sjeverozapadnjaka, odnosno tramontane (slika 4.14). Ovo potvrđuje i svjedočenje vatrogasaca s terena, koji su zbog sve jače tramontane prema kraju dana, imali velikih problema pri gašenju požara. Iz tablice 4.5. je također vidljivo da se temperaturna inverzija 12. kolovoza 2003. pojavila čak pet puta. U ABL-u je između 30 i 100 m u 0 i 3 UTC jačala temperaturna inverzija s 2°C na 4.9°C po 100 m. U 6 UTC temperatura je porasla od 25.6°C do 27.8°C u sloju između 30 i 50 m pa je vertikalni temperaturni gradijent od čak $11^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Ovdje nije isključena moguća pogreška modela, ali treba zamijetiti da je slična situacija simulirana i za 13. kolovoz 2003. u 3 i 21 UTC (prilog 1e). Usporedba simuliranih vertikalnih profila brzine i smjera vjetra 12. i 13. kolovoza 2003. pokazuje veliku sličnost tih profila. Vjetar je tijekom noći, drugog dana požara, postigao maksimum od 10 ms^{-1} na visini 590 m u 3 i 6 UTC, a zatim je naglo oslabio u 9 UTC (prilog 1e). Vjetar je pritom promijenio smjer od sjeveroistočnjaka, odnosno bure, do sjeverozapadnjaka koji je prema kraju dana jačao. Najveća brzina 11 ms^{-1} je postignuta u 15 i 18 UTC na visini od 180 do 590 m, odnosno od 290 do 790 m.

Tablica 4.5. Pregled slojeva inverzije i maksimalne brzine vjetra u donjoj troposferi za Hvar, 12. kolovoz 2003. (*nema promjene temperature s visinom – izotermija)

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ INVERZIJE (m)	dt/dz ($^\circ\text{Cm}^{-1}$)	N ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	VISINA (m)	v_{maks} (m/s)	d_{maks} ($^\circ$)
12.8.2003.	Hvar					
0	30 – 100	0.020	4.73	590	9	NE
3	30 – 100	0.049	7.45	430 – 780	9	NE
6	30 – 50 290 – 430*	0.110 0.000	6.24 0.02	430 – 1240	7	ENE
9	–	–	–	1000 – 1510	5	NE
12	–	–	–	30 – 430	5	W
15	290 – 590	0.003	2.31	100 – 780	7	WNW
18	30 – 50 180 – 290	0.020 0.002	3.05 1.92	290 – 780	9	NW
21	100 – 180*	0.000	0.02	430 – 590	10	NW
<i>Kriterij 1</i>		<i>Kriterij 2</i>		<i>Kriterij 3</i>		

HVAR 12. kolovoz 2003.



Slika 4.14. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}C$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} s^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Hvar do 3.5 km visine, 12. kolovoz 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 $3 \times 10^{-2} s^{-1}$.

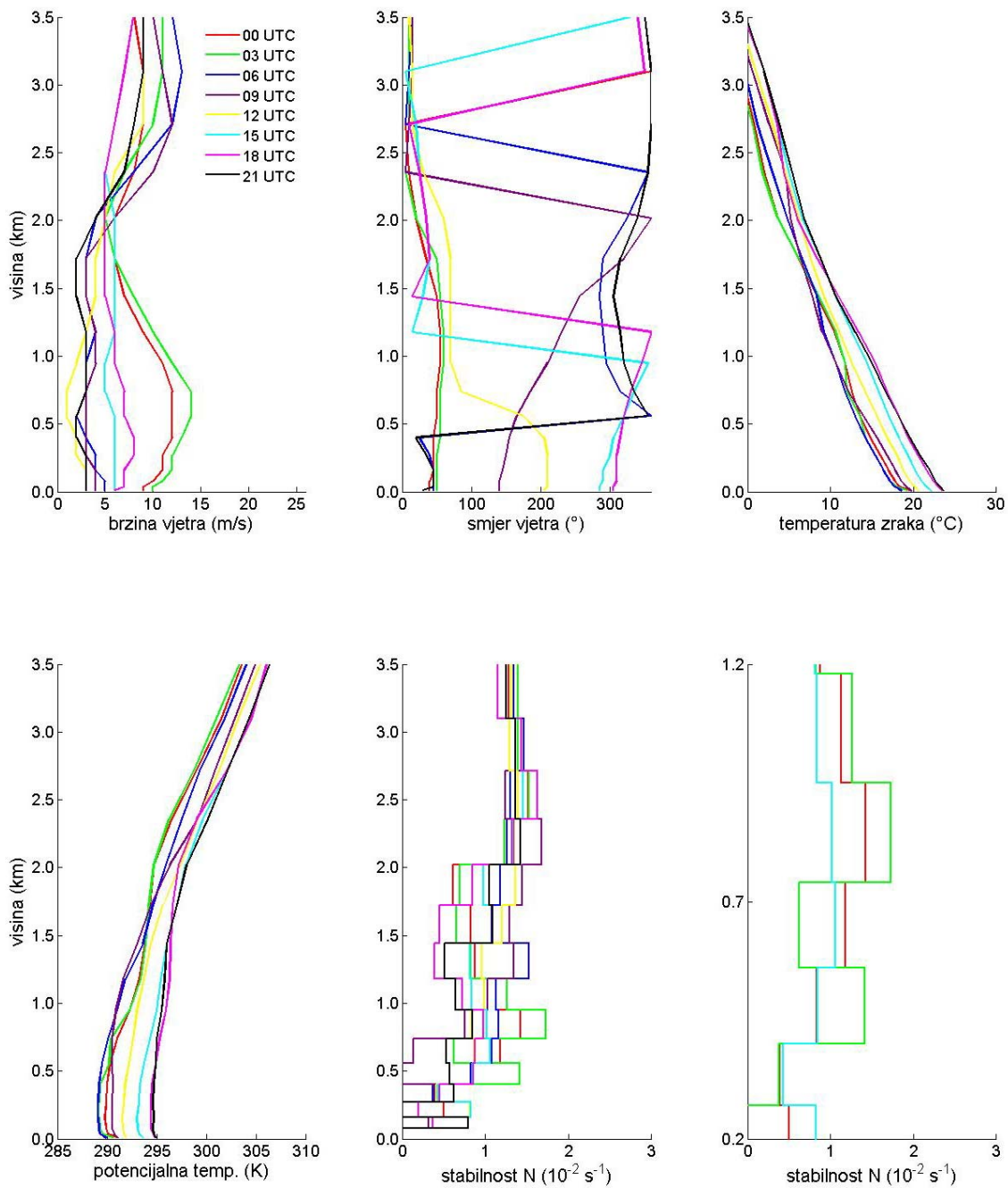
4.3.4. Vertikalni profil D: 4 – 11. rujan 2003.

Požar na Lastovu je započeo oko ponoći s 3/4. rujan 2003. Vertikalni profili brzine i smjera vjetra, temperature i potencijalne temperature zraka, te statičke stabilnosti simulirani su modelom ALADIN/HR za točku mreže koja je najbliže mjestu Lastovu na istoimenom otoku. Sa simuliranih vertikalnih profila za 3. rujan 2003. (prilog 1f) vidljiv je porast brzine vjetra u popodnevnim i večernjim satima, nekoliko sati prije početka požara. U donjoj troposferi je sredinom dana puhao sjeverozapanyjak koji je prema večeri okrenuo na buru (NE). Brzina vjetra pri tlu se s 4 ms^{-1} u 15 UTC povećala do 10 ms^{-1} u 21 UTC. U istom terminu u sloju od 80 do 550 m maksimalna brzina iznosila 11 ms^{-1} . Brzina vjetra je i dalje imala tendenciju rasta, te je u ponoć 4. rujna 2003. dosegla 12 ms^{-1} (slika 4.15). Dakle, istodobno s početkom Lastovskog požara, na visini između 400 i 740 m nad morem u smjeru NE, postojala je niska mlazna struja prema kriteriju 1. U sljedeća tri sata ona je jačala do maksimuma od 14 ms^{-1} između 560 i 740 m u 3 UTC (tablica 4.6). Pred jutro 4. rujna 2003. vjetar je oslabio i sa smjera bure prešao na SE i SW. Temperaturna inverzija se nije pojavila u simuliranim vertikalnim profilima temperature zraka, što ne isključuje mogućnost, da je ipak bila prisutna u nekom međutermínu. U sljedećih nekoliko dana niska mlazna struja, nakon ranih noćnih sati 4. rujna 2003, više nije postojala.

Tablica 4.6. Pregled slojeva inverzije i maksimalne brzine vjetra u donjoj troposferi za Lastovo, 4. rujan 2003.

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ INVERZIJE (m)	dt/dz ($^{\circ}\text{Cm}^{-1}$)	N ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	VISINA (m)	v_{maks} (m/s)	d_{maks} ($^{\circ}$)
4.9.2003.	Lastovo					
0	–	–	–	400 – 740	12	NE
3	–	–	–	560 – 740	14	NE
6	–	–	–	10 – 80	5	NE
9	–	–	–	10 – 160	4	SE
12	–	–	–	10 – 160	3	SW
15	–	–	–	10 – 560	6	WNW
18	–	–	–	270 – 400	8	NW
21	–	–	–	10 – 270	3	NE
<i>Kriterij 1</i>		<i>Kriterij 2</i>		<i>Kriterij 3</i>		

LASTOVO 4. rujan 2003.



Slika 4.15. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}C$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} s^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Lastovo do 3.5 km visine, 4. rujan 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} s^{-1}$.

4.3.5. Vertikalni profil E: 19 – 20. rujan 2008.

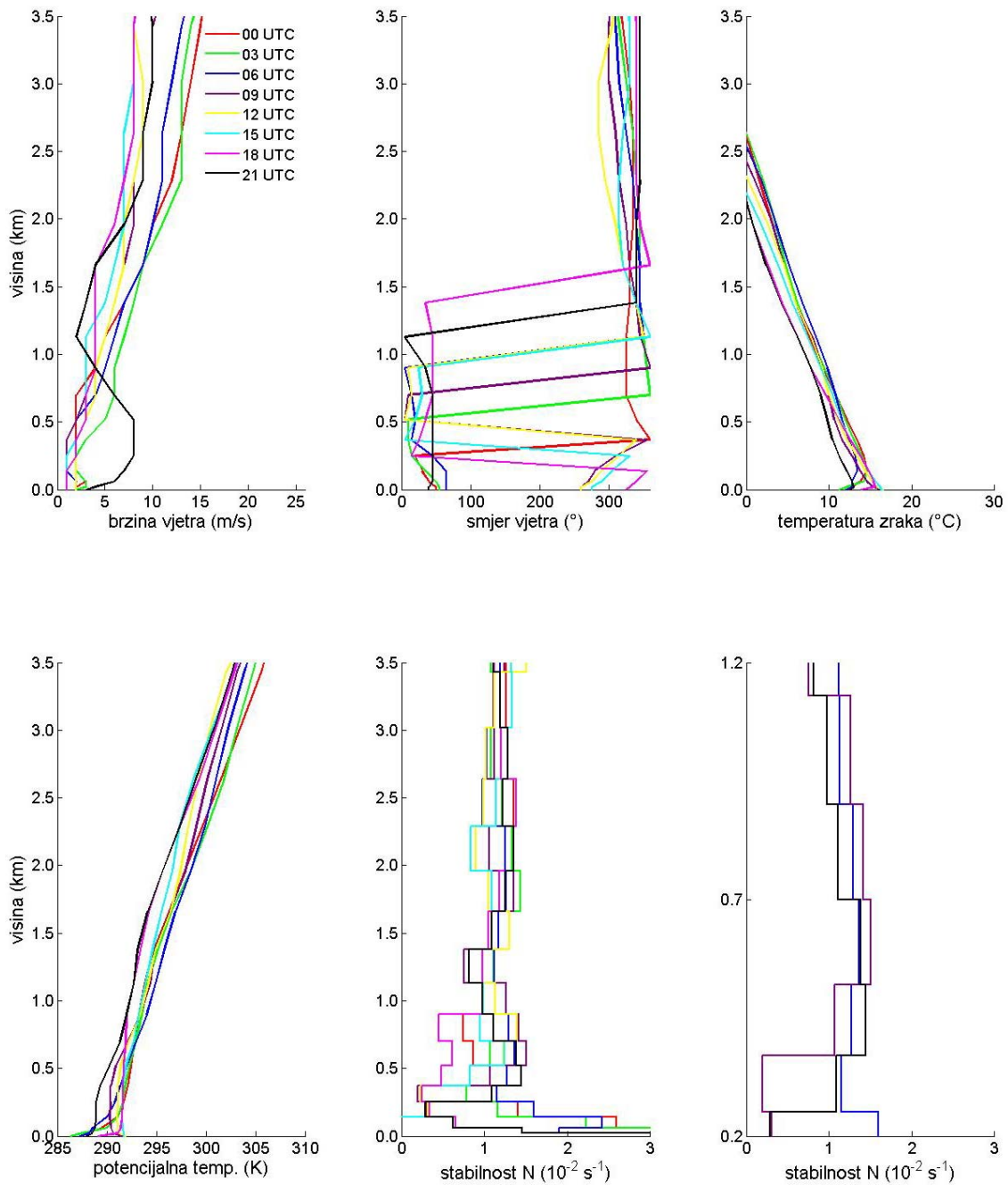
Požar na makarskom primorju započeo je u večernjim satima 19. rujna 2008. Iz simuliranih vertikalnih profila modelom ALADIN/HR, čija točka mreže za područje Makarske pripada lokaciji na razini mora, vidljivo je da je tijekom prvog dana uoči požara, vjetar u prizemnom sloju bio slab ($1-3 \text{ ms}^{-1}$, slika 4.16). Jači vjetar je puhao iznad 1 km. Jačanje vjetra s visinom u donjoj troposferi pojavljuje se u terminu 21 UTC, gotovo istodobno s početkom požara. Maksimalna brzina vjetra u sloju od 250 do 520 m nad morem je iznosila 8 ms^{-1} , a u sljedećih nekoliko stotina metara visine se smanjivala da bi na 1130 m iznosila samo 2 ms^{-1} . Iako simulirani vertikalni profil brzine vjetra ne zadovoljava kriterij 1 niske mlazne struje, ipak je zamijetna pojava jačeg strujanja u prvih nekoliko stotina metara visine 20. rujna 2008. u 21 UTC, te u 0, 3 i 6 UTC (prilog 1g). Prisutnost jačeg vjetra na visini između 250 i 520 m se podudara s vremenom početka i naglog širenja požara u noći s 19/20. rujna 2008.

Više temperaturnih inverzija se pojavljuje u dva dana trajanja požara. Najznačajnije za ovu situaciju je da su one nastale 19. rujna 2008. u 18 i 21 UTC, netom prije početka požara (tablica 4.7). U 18 UTC u sloju od 0 do 20 m nad morem, temperatura se povećala od 13.8°C na 15.6°C . To i u ovom slučaju daje veliki gradijent temperature od čak $9^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ uz statičku stabilnost od 0.058s^{-1} . I ovdje je model vrlo vjerojatno precijenio povećanje temperature zraka s visinom, kao i slučaju Bola 12/13. kolovoz 2003. Važno je istaknuti da je i u ovoj situaciji u oba dana puhala bura, kao i u svim prethodnim analiziranim situacijama za vrijeme trajanja velikih šumskih požara. Međutim, nije nužno da se veliki šumski požari na Jadranu javljaju samo za vrijeme jake bure nego su isto tako zabilježeni i u situacijama s jakim jugom ili maestralom. Primjerice posljednji veliki šumski požar, koji je bio na otoku Braču od 14. do 17. srpnja 2011, započeo je s jugom, a nastavio s maestralom (Mifka, 2011).

Tablica 4.7. Pregled slojeva inverzije i maksimalne brzine vjetra u donjoj troposferi za Makarsku, 19. rujna 2008.

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ INVERZIJE (m)	dt/dz ($^\circ\text{Cm}^{-1}$)	N ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	VISINA (m)	v_{maks} (m/s)	d_{maks} ($^\circ$)
19.9.2003.	Makarska					
0	0 – 140	0.016	3.49	1380	7	NNW
3	0 – 140	0.024	4.56	1380	8	NNW
6	0 – 140	0.010	4.08	1380	7	NNW
9	–	–	–	1380	6	NW
12	–	–	–	1380	6	WNW
15	–	–	–	1380	5	NW
18	0 – 20	0.090	5.8	900 – 1380	4	NNW
21	0 – 20	2.00	3.12	250 – 520	8	N
<i>Kriterij 1</i>		<i>Kriterij 2</i>		<i>Kriterij 3</i>		

MAKARSKA 19. rujan 2008.



Slika 4.16. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana statička stabilnost za odabrane termine za Makarsku do 3.5 km visine, 19. rujan 2008. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

4.3.6. Analiza meteoroloških parametara

Turbulencija u atmosferskom graničnom sloju može nastati na više načina: zbog trenja zračne struje uz prepreku (mehanički), jakog smicanja vjetra (dinamički) i dizanja toplog zraka odnosno slobodne konvekcije (termičko-uzgonski). Ekstremno ponašanje požara je vjerojatno najviše povezano s turbulencijom (Byram, 1954). Njezin utjecaj je najizraženiji za vrijeme sunčanih i vrlo toplih dana, sa smanjenom vlažnosti atmosfere i gorivog materijala. Pri turbulenciji nastaju zračni vrtlozi i uzlazna gibanja, koja ne traju dugo, ali podupiru brzo širenje vatrene fronte. Veliki požari, koji oslobađaju veliku količinu energije, su posljedica određenog vjetrovnog režima, koji je najvjerojatnije povezan s nestabilnosti zraka. Vjetrovni uvjeti se mogu opisati, kao stupac zraka, u kojem se niži slojevi gibaju brže od viših. Pritom se maksimalne brzine vjetra nalaze na ili iznad visine požara. Za bolje razumijevanje stanja atmosfere, koje je utjecalo na nastanak i širenje požara, analizirani su slojevi atmosfere ispod i iznad maksimuma brzine u donjoj troposferi. Maksimum brzine vjetra je definiran prema kriteriju niske mlazne struje dan u poglavlju 3. Za pojedini sloj je izračunata statička stabilnost (N^2), smicanje vjetra (du/dz), Richardsonov gradijentni broj (Ri) i Scorerov parametar (ℓ). U slučaju da se maksimum brzine pojavljuje u nekom sloju (brzina vjetra se u tom sloju ne mijenja s visinom), a ne samo na jednoj visini, svi su parametri izračunati za taj sloj niske mlazne struje. Termini, koji su izabrani za proračune, uglavnom se odnose na one, u kojima je postojala niska mlazna struja. Ukoliko se u nekoj situaciji tijekom dana pojavila više puta, tada je pri odabiru prednost imao termin u kojemu je brzina vjetra dosegla maksimum i/ili onaj u kojemu je niska mlazna struja postojala u vrijeme oko početka požara. U modeliranim vertikalnim profilima vjetra situacija C (Hvar, 12. kolovoz 2003) i E (Makarska, 19. rujana 2008) se nije pojavila niska mlazna struja prema određenim kriterijima, stoga je odabran termin u kojemu je zabilježen maksimum brzine vjetra u donjem sloju troposfere.

U situaciji A od 11. kolovoza 2001. može se izdvojiti 21 UTC, za požar kod Omiša (točka modela Split-Marjan). Niska mlazna struja je u popodnevnim satima toga dana jačala, a u promatranom terminu je dosegla maksimum od 25 ms^{-1} na visini 640 m nad morem. Iz tablice 4.8. je vidljivo da je sloj atmosfere ispod niske mlazne struje bio statički stabilan ($2.03 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$), ali s vrlo jakim smicanjem vjetra (4.4 ms^{-1} po 100 m). Iz toga slijedi vrlo mali $Ri \approx 0.11$, koji ukazuje na dinamički nestabilan sloj, odnosno na jaku turbulenciju u atmosferskom graničnom sloju. Takvi vremenski uvjeti su pogodovali bržem širenju požara na omiškom području. U sloju iznad niske mlazne struje pojavila se

temperaturna inverzija do visine 830 m, a vjetar je dalje slabio do minimuma na 1960 m. Slična situacija s jakom turbulencijom se pojavila na dubrovačkom primorju u jutro 12. kolovoza 2001. Toga dana je u vrijeme početka požara model simulirao nisku mlaznu struju od 20 ms^{-1} na visini od 680 m u 6 UTC. Manja statička stabilnost ispod maksimuma brzine nego ona iznad splitskog područja, te jako smicanje, dali su ponovno mali iznos $Ri \approx 0.19$. U ovom slučaju model ALADIN nije modelirao stabilni sloj iznad niske mlazne struje. To je poznati nedostatak tog modela, zbog nedovoljnog broja vertikalnih razina, posebice u graničnom sloju. Primjerice u kornatskom požaru 30. kolovoza 2007. radiosondažna mjerenja na Zadar-aerodromu su pokazala sloj temperaturne inverzije iznad niske mlazne struje, ali ne i model ALADIN za istu lokaciju (Vučetić i dr, 2007).

U situaciji B požar je na Braču započeo u jutro 30. srpnja 2003. Simulirani vertikalni profili za Bol ukazuju na nisku mlaznu struju od 12 ms^{-1} na visini 380 m u 3 UTC, koja je u sljedećem terminu zahvatila sloj od 380 m do 510 m. Kako u tom sloju nije postojalo smicanje vjetra, Ri je bio beskonačan (tablica 4.8). Atmosferski granični sloj do 380 m postajao je sve manje stabilan prema jutarnjim satima. U 3 UTC statička stabilnost je iznosila $2.91 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, a u sljedeća tri sata se smanjila na $0.38 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. U jutarnjim satima smanjenje statičke stabilnosti i jako smicanje vjetra (2.7 ms^{-1} po 100 m) uzrokovalo je jaku dinamičku nestabilnost prvih 260 m iznad tla. Smanjenje Ri od 0.39 u 3 UTC na samo 0.05 u 6 UTC ukazuje na prisutnost jake dinamičke turbulencije. Iznad niske mlazne struje vjetar je postupno slabio do visine od 1310 m.

U situaciji D (Lastovo, 4. rujna 2003) procijenjena je negativna vrijednost N^2 u sloju do 400 m iznad tla, neposredno nakon početka požara (tablica 4.8). Iako je u to vrijeme simulirana niska mlazna struja od 12 ms^{-1} u 0 UTC i 14 ms^{-1} u 3 UTC, smicanje vjetra nije veliko (0.8 ms^{-1} odnosno 0.7 ms^{-1} po 100 m). Razlog tome je velika brzina vjetra pri tlu od 9 ms^{-1} i 10 ms^{-1} po redu. Zbog statički nestabilnosti u atmosferskom graničnom sloju, Ri je negativan, a ℓ nije moguće bilo odrediti. To ukazuje na postojanje turbulencije ispod niske mlazne struje zbog slobodne konvekcije (termičko-uzgonski učinak). Jedino je u ovoj situaciji dobiven negativan N^2 u noćnim satima. Razlog tome je vrlo mala kopnena površina otoka Lastovo i noću prevladavajući utjecaj okolnog toplijeg mora na stabilnost zraka u atmosferskom graničnom sloju.

Za ℓ nije uočena neka pravilnost u donjoj troposferi. Smatra se da postoje povoljni uvjeti za razvoj turbulencije već ako je $Ri < 1$ (npr. Holton, 2004). U većini promatranih situacija, osim hvarskog požara 12. kolovoza 2003, taj kriterij za Ri je bio zadovoljen u prvih nekoliko stotina metara. Prema tome, i u ovoj analizi velikih šumskih požara na Jadranu je pokazano da je za brzo širenje požara uglavnom odgovorna jaka turbulencija.

Tablica 4.8. Statička stabilnost (uzgonska frekvencija, $N^2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$), smicanje (du/dz , ms^{-1}/m) i srednja brzina vjetera (U , m/s) ispod i iznad visine maksimalne brzine vjetera u donjem sloju troposfere te pripadni Richardsonov broj (Ri) i Scorerov parametar (ℓ) za odabrane termine u danima s velikim požara na Jadranu u razdoblju 2001–2010.

DATUM I TERMINI (UTC)	SLOJ (m)	N^2 ($\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)	du/dz , (ms^{-1}/m)	U (m/s)	Ri	ℓ ($\times 10^{-3}$)
11.8.2001.	Split-Marjan (A)					
12	300 – 490	2.24	0.037	9.25	0.16	1.60
	490 – 640	0.87	0.000	13.0	∞	0.70
	640 – 1620	1.12	-0.009	8.8	1.33	1.20
15	300 – 640	0.48	0.053	13.6	0.02	0.51
	640 – 1960	1.17	-0.013	9.7	0.69	1.11
18	300 – 640	2.03	0.035	16.6	0.16	0.86
	640 – 1960	1.29	-0.014	12.5	0.66	0.92
21	300 – 640	2.03	0.044	17.6	0.11	0.81
	640 – 1960	1.72	-0.016	15	0.67	0.87
12.8.2001.	Sutivan (A)					
0	110 – 440	0.00	0.026	10.2	0.00	0.00
	440 – 630	2.26	0.000	14.0	∞	1.07
	630 – 1750	0.64	-0.009	8.8	0.79	0.91
3	110 – 630	1.72	0.021	15.7	0.38	0.84
	630 – 1750	0.88	-0.013	14.2	0.52	0.66
18	110 – 630	0.32	0.015	12.7	0.14	0.46
	630 – 1750	0.84	-0.081	9.3	0.01	0.99
12.8.2001.	Dubrovnik-aerodrom (A)					
6	160 – 680	1.01	0.023	14.5	0.19	0.69
	680 – 2180	0.91	-0.013	10.7	0.54	0.89
18	160 – 680	0.57	0.028	14.5	0.11	0.52
	680 – 1800	1.48	-0.013	13.2	0.87	0.92
30.7.2003.	Hvar (B)					
6	30 – 260	0.89	0.012	9.4	0.24	1.00
	260 – 1210	0.86	-0.007	9.0	1.75	1.03
30.7.2003.	Bol (B)					
3	120 – 380	2.91	0.027	8.2	0.39	2.08
	380 – 2500	1.17	-0.004	6.7	7.28	1.61
6	120 – 380	0.38	0.027	8.6	0.05	0.72
	380 – 510	3.03	0.000	12.0	∞	1.45
21	510 – 1310	0.86	-0.009	8.2	1.06	1.13
	120 – 510	1.76	0.021	9.0	0.40	1.47
21	510 – 1580	0.82	-0.008	8.3	1.28	1.09
	12.8.2003. Hvar (C)					
21	30 – 430	3.26	0.011	8.3	3.20	2.16
	430 – 590	2.41	0.000	10.0	∞	1.55
	590 – 1510	0.87	-0.003	8.6	9.62	1.08
4.9.2003.	Lastovo (D)					
0	10 – 400	-0.87	0.008	10.3	-1.36	—
	400 – 740	0.99	0.000	12.0	∞	0.83
	740 – 1720	1.12	-0.006	9.0	3.12	0.01
3	10 – 560	-0.25	0.007	11.7	-0.50	—
	560 – 740	0.38	0.000	14.0	∞	0.44
21	740 – 2020	1.12	-0.007	9.2	2.28	1.15
	19.9.2008. Makarska (E)					
21	0 – 250	1.36	0.020	5.8	0.34	2.01
	250 – 520	1.63	0.000	8.0		1.59
	520 – 1130	1.37	-0.009	5.0	1.70	2.34

5. ZAKLJUČAK

Analiza velikih šumskih požara na Jadranu u razdoblju od 2001–2010. ukazala je na vremenske pokazatelje koji bi mogli upozoriti na mogućnost izvanrednog ponašanja požara, a to su približavanje hladne fronte i pojava niske mlazne struje i.

Numeričke simulacije modelom ALADIN su u vertikalnim profilima brzine vjetra za šest od osam proučavanih situacija, prema već unaprijed određenim kriterijima, ukazale na nisku mlaznu struju (brzina vjetra u donjoj troposferi ≥ 12 m/s) u barem jednom terminu na dan početka požara. Međutim, i u ove dvije preostale situacije modelirani su veliki maksimumi brzine vjetra ($8\text{--}10\text{ ms}^{-1}$) na visini nekoliko stotina metara iznad tla. Treba uzeti i u obzir da je u prethodnim analizama požara na Kornatu 2007. (Vučetić i dr, 2007) i Braču 2011. (Mifka, 2011), gdje su rezultati modela uspoređeni sa zadarskom sondažom, model ALADIN podcijenio brzinu vjetra na visini na kojoj se pojavila niska mlazna struja. Stoga ne treba isključiti mogućnost da se možda niska mlazna struja ipak pojavila i u druge dvije situacije požara (Hvar, 12. kolovoz 2003. i Makarska 19. rujan 2008). Isto tako postoji mogućnost da je u ostalim slučajevima niska mlazna struja mogla biti i jača od modelirane. Treba istaknuti još jedan nedostatak modela ALADIN. U većini situacija (osim za Split-Marjan, 11. kolovoza 2001), zbog nedovoljnog broja vertikalnih razina u graničnom sloju, nije simulirana temperaturna inverzija odnosno stabilni sloj, koji se inače javlja iznad niske mlazne struje (npr. Vučetić, 1993).

Prikazanim vertikalnim profilima vjetra zajedničko je da se niska mlazna struja pojavljuje ili ima najveći intenzitet od večernjih preko noćnih do jutarnjih sati. Ujedno, visina niske mlazne struje se, ali i temperaturne inverzije ukoliko je postojala, povećala tijekom noći. U atmosferskom graničnom sloju, ispod maksimuma brzine vjetra, često dolazi do pojave jake turbulencije ($Ri < 1$) koja pospješuje širenje vatrene fronte. Dakle, ova analiza je pokazala da je za ekstremno ponašanje požara na priobalju uglavnom odgovorna niska mlazna struja odnosno jaka turbulencija ispod nje.

Ovakav oblik vertikalnih profila brzine vjetra u donjoj troposferi, koji su uočeni kod odabranih velikih požara na Jadranu, već su u ranijim istraživanjima u SAD-u opisani kao vrlo opasni za širenje požara (Byram, 1954). Najčešće takvi vertikalni profili s maksimum brzine u donjoj troposferi prethode pojavi brzog požara s jakim uzlaznim i silaznim gibanjima u blizini čeonog dijela fronte požara. Također je primijećeno, da se neposredno prije prolaza hladne fronte mogu razviti požari s turbulentnim ponašanjem tijekom kojih se nerijetko

pojavljaju i kratkotrajni zračni vrtlozi. Hladna fronta, osobito ako je suha, znatno je opasnija od tople, po tome što požari mogu poprimiti katastrofalne razmjere i pri nižim temperaturama.

Na sinoptičkim kartama za vrijeme velikih požara na Jadranu uočava se da hladna fronta prethodi nastanku požara raslinja. Premda u ovom radu nisu analizirani prizemni podaci s meteoroloških postaja u priobalju, vidljivo je da ta fronta nije donijela oborinu na srednji Jadran, jer je za vrijeme svih analiziranih požara puhala jaka bura. Međutim, ekstremno ponašanje požara raslinja na Jadranu ne javljaju se samo za vrijeme jake bure već su poznati slučajevi i za vrijeme jakog juga i maestrala (Vučetić i Vučetić, 1999; Vučetić i dr, 2007; Mifka, 2011).

Može se zaključiti da su veliki požari na priobalju i otocima posljedica posebnog vjetrovnog režima. Oni su povezani s jakom turbulencijom ispod niske mlazne struje, a njihov početak je uoči prolaza hladne fronte. Stoga, u situacijama kada postoji vrlo velika opasnost za požare raslinja na Jadranu, dodatni kriterij za upozorenje bilo bi dobro prognoziranje vremena prolaza hladne fronte, te pomoću modeliranih vertikalnih profila brzine vjetra definirati maksimum brzine, odnosno nisku mlaznu struju u atmosferskom graničnom sloju. Sigurno da bi prepoznavanje ovih dodatnih kritičnih vremenskih uvjeta za požare raslinja, bili od velike pomoći pri upozoravanju vatrogasnih službi na pripravnost. Time bi bilo moguće smanjiti štete od požara raslinja, zaštititi prirodna i materijalna bogatstva, a ponajviše spasiti ljudske živote.

KRATICE

ALADIN	numerički model za ograničeno područje (<i>Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational</i>)
MATLAB	programski jezik (<i>Matrix Laboratory</i>)
c_p	specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku (za suhi zrak $c_p = 1004.67 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
φ	geografska širina ($^\circ$)
h	nadmorska visina (m)
ℓ	Scorerov parametar
LJUV	ljetno ukazno vrijeme
λ	geografska dužina ($^\circ$)
N^2	uzgonska frekvencija
p	tlak zraka (hPa)
p_s	standardni tlak (1000 hPa)
R	specifična plinska konstanta (za suhi zrak $R = 287.0 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)
Ri	Richardsonov gradijentni broj
SAD	Sjedinjene Američke Države
T	temperatura zraka (K ili $^\circ\text{C}$)
θ	potencijalna temperatura (K)
UTC	Universal Time Coordinated

LITERATURA

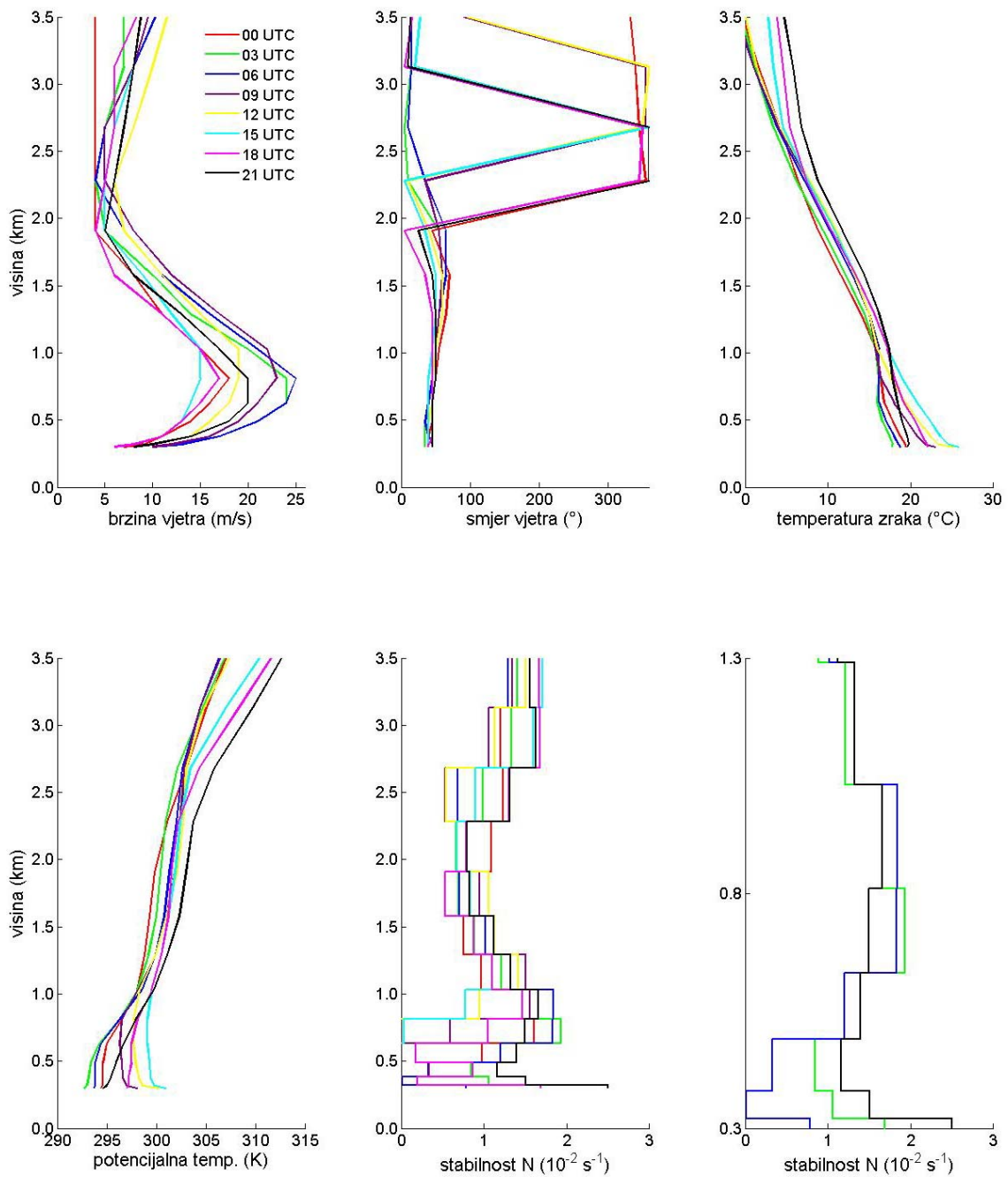
- Anonimus, 2003a: Požar na Hvaru/Jagodna – Lozna – Brusje, *Vatrogasni vjesnik*, **8/9 2003**, 26–27.
- Anonimus, 2003b: Požar na Braču, *Vatrogasni vjesnik*, **8/9 2003**, 32.
- Anonimus, 2003c: Požar na Hvaru / Dubov dol, *Vatrogasni vjesnik*, **8/9 2003**, 40–41.
- Barad, M. L, 1961: Low-Altitude Jet Streams, *Scientific American*, **205**, 120–131.
- Blackadar, A. K, 1957: Boundary Layer Wind Maxima and Their Significance for the Growth of Nocturnal Inversions, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **38**, 283–290.
- Bonner, W. D, 1968: Climatology of the Low Level Jet, *Monthly Weather Review*, **96**, 833–850.
- Byram G. M, 1954: Atmospheric conditions related to blowup fires, *A Publication of the National Wildlife Coordinating Group*, 1–30.
- Grisogono B, Belušić D, 2010: Uvod u mezoskalnu meteorologiju i atmosfersku turbulenciju, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, 148 str.
- Grum, Đ, 2001: Požari i intervencije, *Vatrogasni vjesnik*, **7–8/2001**, 9.
- Holton, J. R, 2004: An Introduction to Dynamic Meteorology, University of Washington, Washington, 535 pp.
- Ivatek-Šahdan, S. and M. Tudor, 2004: Use of High-Resolution Dynamical Adaptation in Operational Suite and Research Impact Studies, *Meteorologische Zeitschrift*, **13**, 99–108.
- Mifka, B, 2011: Vremenska analiza katastrofalnog šumskog požara na otoku Braču od 14. do 17. srpnja 2011, Diplomski rad, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, 54 str.
- Miloslavić, M, 2001: Vatrogastvo i požari raslinja na području Dubrovačko-neretvanske županije 2001, *Vatrogasni vjesnik*, **10/2001**, 6–8.
- Miloslavić, M, 2003: Požar raslinja – otok Lastovo 2003, *Vatrogasni vjesnik*, **10/2003**, 9–14.
- Miloslavić, M, 2008: Makarski vatreni vikend, *Vatrogasni vjesnik*, **10/2008**, 16–17.
- Šikić, Z, 2002: Knjiga o kalendarima, Profil, Zagreb, 256 str.
- Vinković, M, 2001: Požari na otoku Braču 2001, *Vatrogasni vjesnik*, **7–8/2001**, 12–13.

- Vučetić, M, 2001: Vremenske prilike i šumski požari na hrvatskom priobalju tijekom 2000, *Šumarski list*, **7–8/2001**, 367–78.
- Vučetić, M, 2002: Meteorologija i šumski požari, *Vatrogasni vjesnik*, **4/2002**, 25–26.
- Vučetić, M, 2009: Meteorološke spoznaje o požarima raslinja (1), *Vatrogasni vjesnik*, **5/2009**, 10–12.
- Vučetić, M. i Vučetić V, 1999: Požari u različitim vremenskim situacijama, *Vatrogasni vjesnik*, **12/1999**, 12–14.
- Vučetić, M. i V. Vučetić, 2011: Analiza opasnosti od požara za vrijeme kornatskog požara 30. kolovoza 2007, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, **1**, 12–25.
- Vučetić, V., 1993: Severe bora on the mid-Adriatic, *Hrvatski meteorološki časopis*, **28**, 19–36.
- Vučetić, V, S. Ivatek-Šahdan, M. Tudor, L. Kraljević, B. Ivančan-Picek i N. Strelec Mahović, 2007: Analiza vremenske situacije tijekom kornatskog požara 30. kolovoza 2007, *Hrvatski meteorološki časopis*, **42**, 41–66.

PRILOZI

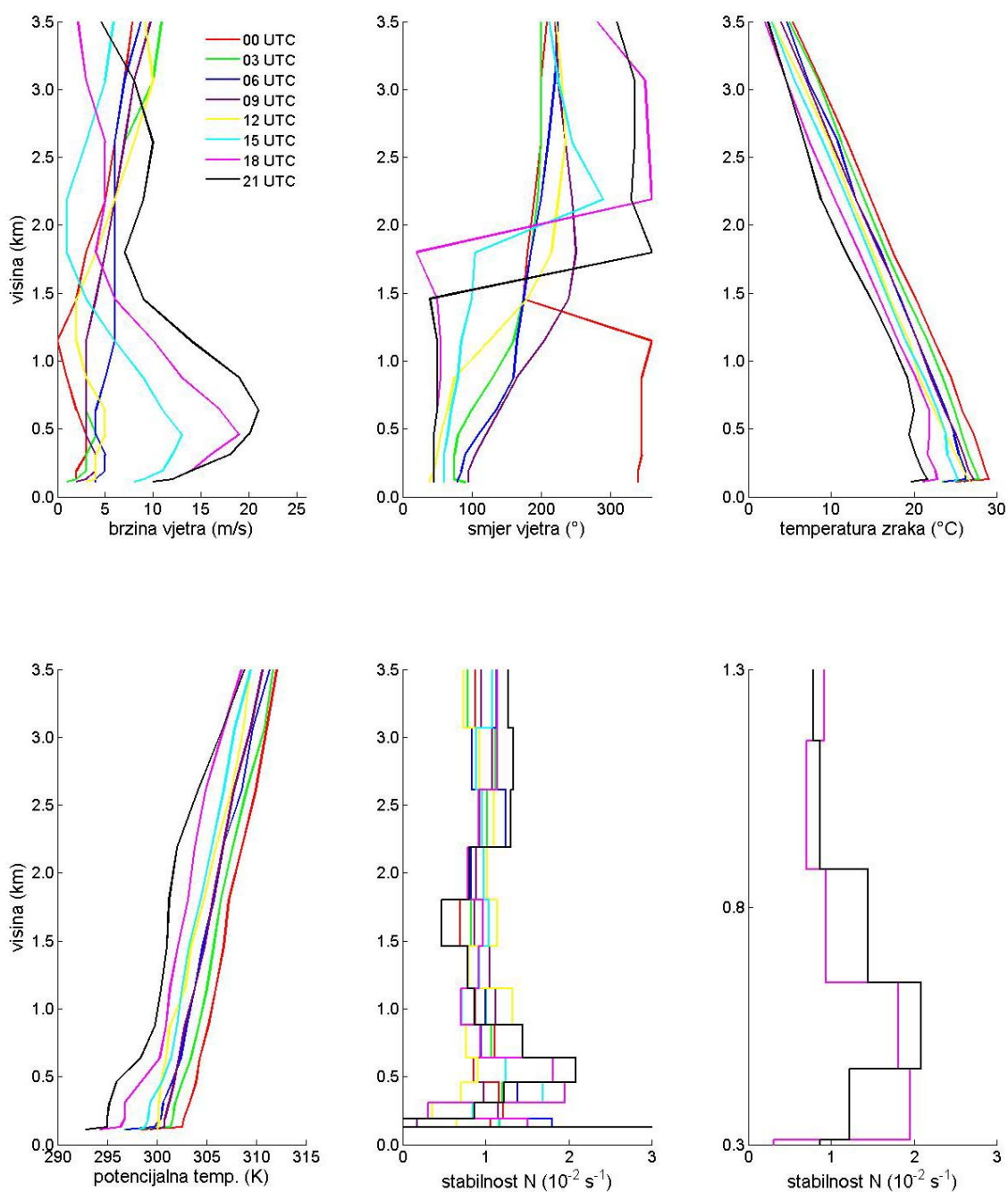
Prilog 1. Vertikalni profili brzine i smjera vjetra, temperature zraka, potencijalne temperature i statičke stabilnosti za odabrane lokacije na Jadranu za vrijeme velikih šumskih požara u razdoblju 2001–2010.

SPLIT-MARJAN 12. kolovoz 2001.



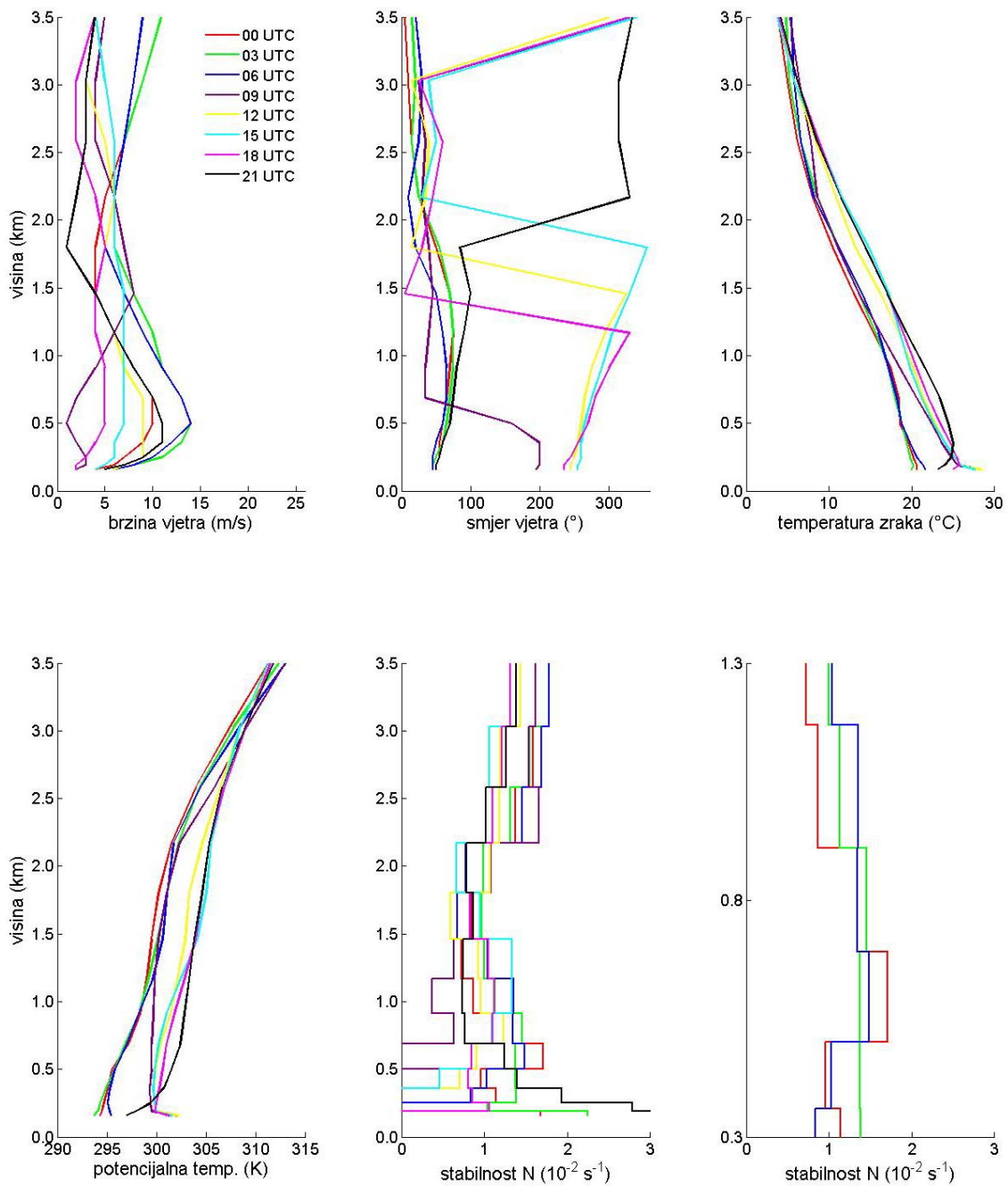
Prilog 1a. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Split-Marjan do 3.5 km visine, 12. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

SUTIVAN 11. kolovoz 2001.



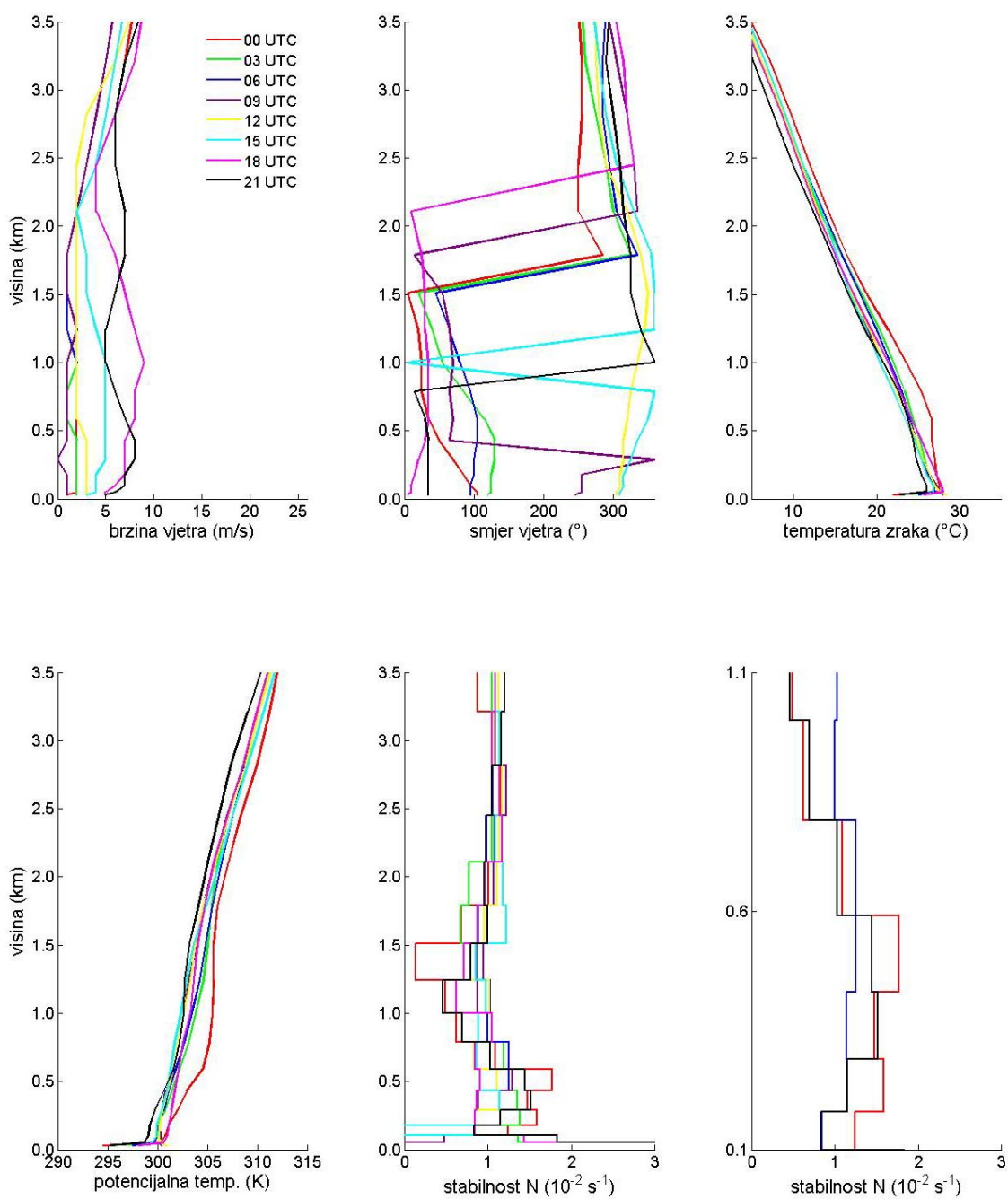
Prilog 1b. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}C$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} s^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Sutivan do 3.5 km visine, 11. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} s^{-1}$.

DUBROVNIK 13. kolovoz 2001.



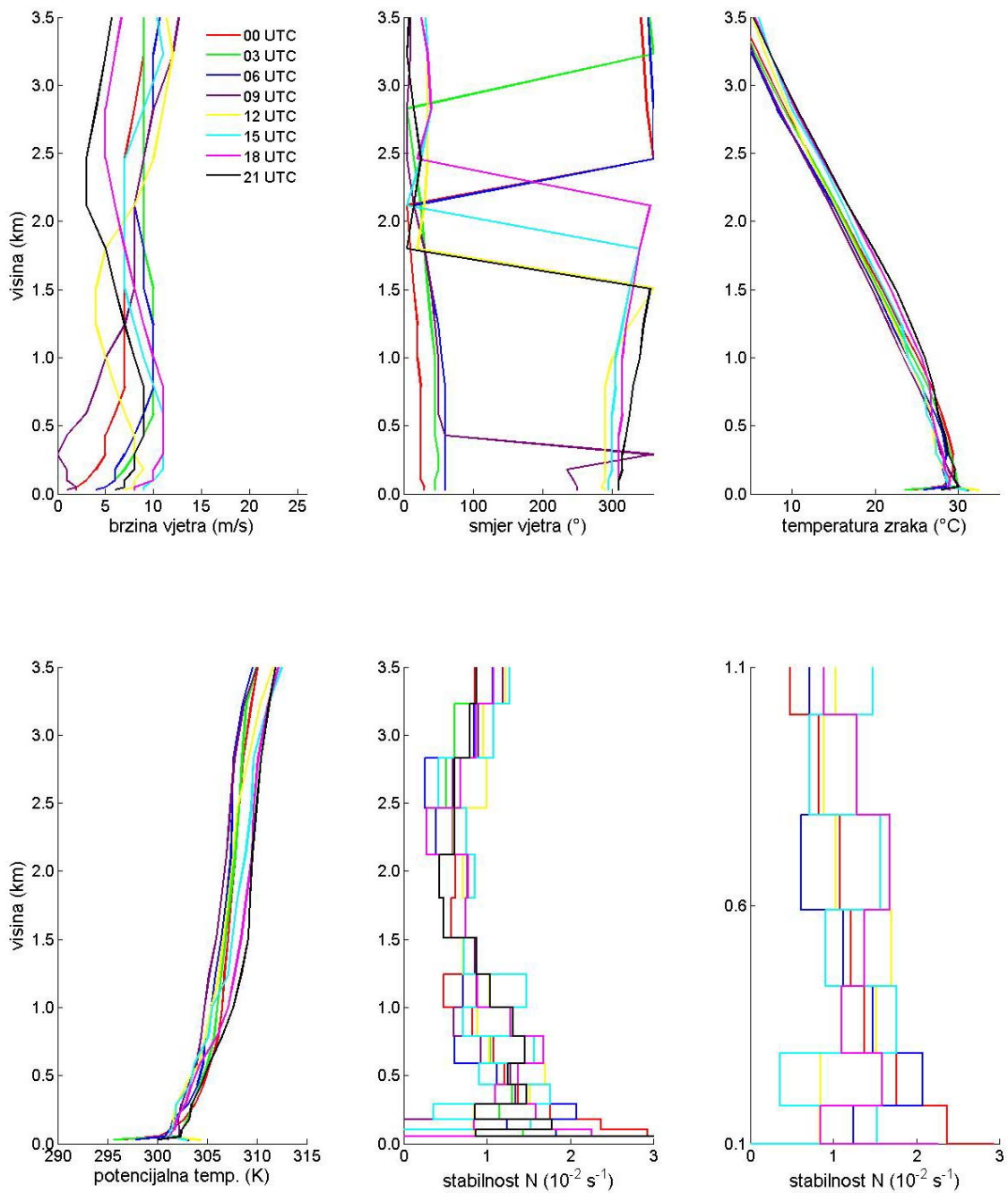
Prilog 1c. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Dubrovnik do 3.5 km visine, 13. kolovoza 2001. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

HVAR 29. srpanj 2003.



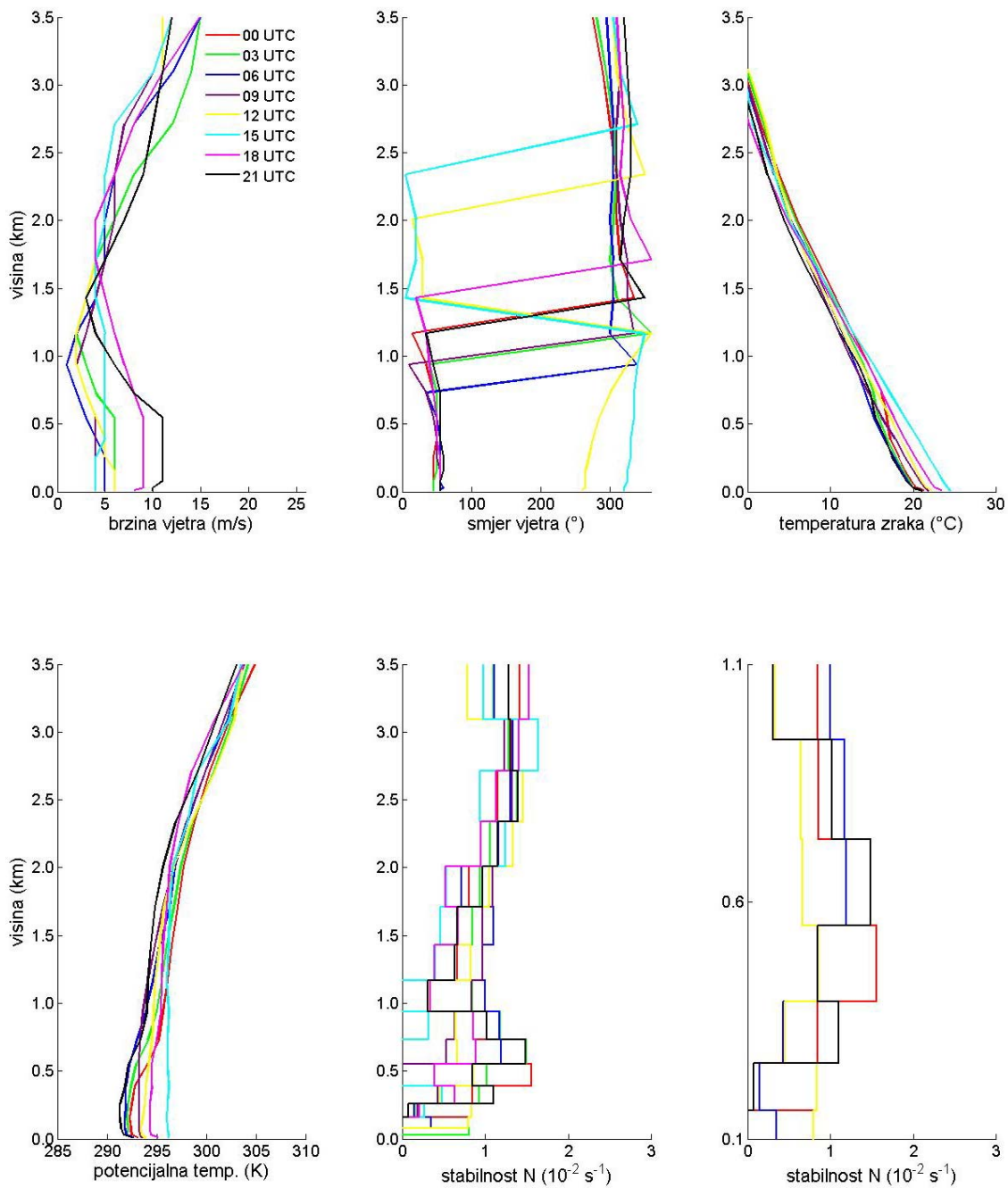
Prilog 1d. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Hvar do 3.5 km visine, 29. srpanj 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

HVAR 13. kolovoz 2003.



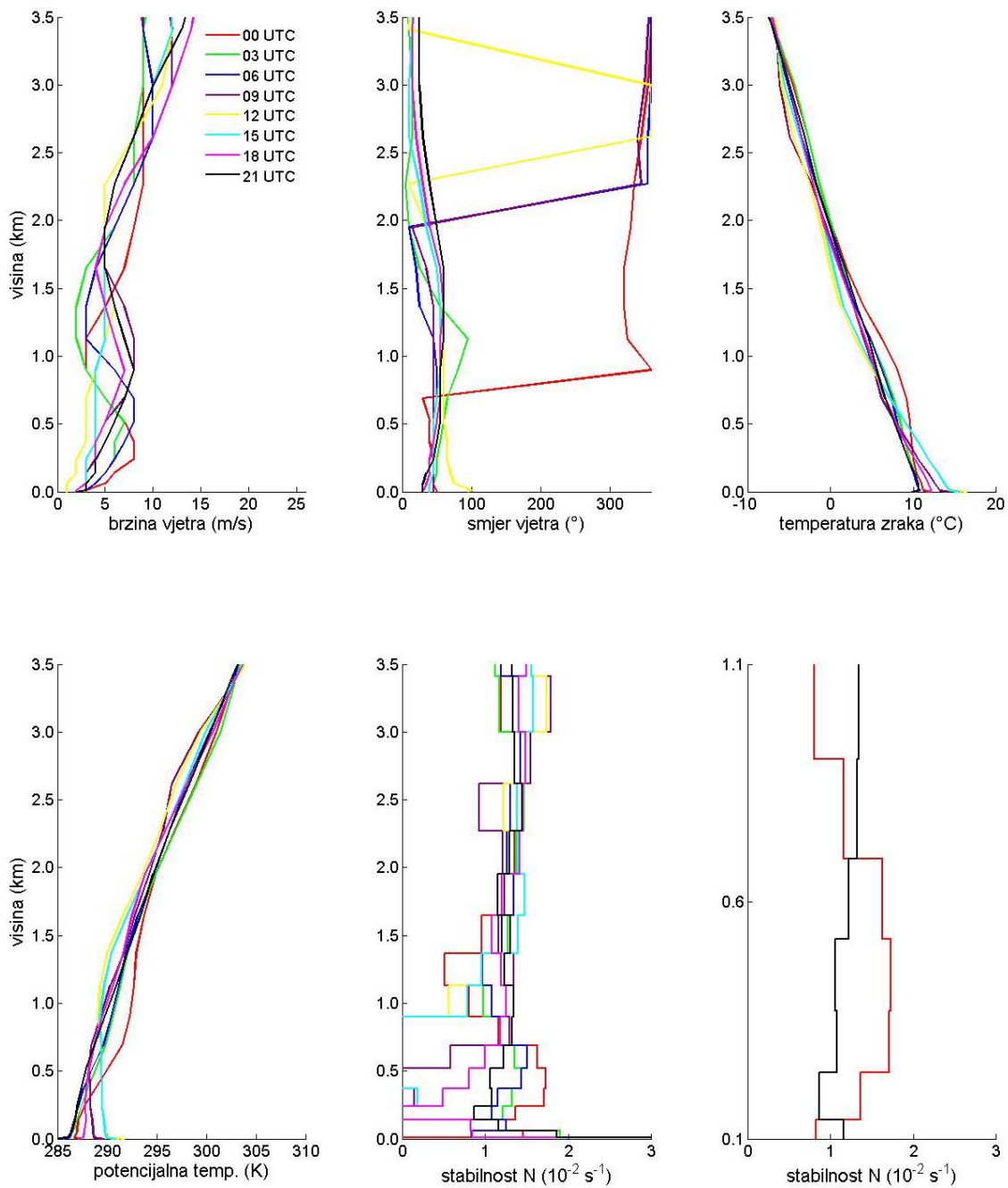
Prilog 1e. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Hvar do 3.5 km visine, 13. kolovoz 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.

LASTOVO 3. rujan 2003.



Prilog 1f. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}C$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} s^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Lastovo do 3.5 km visine, 3. rujan 2003. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} s^{-1}$.

MAKARSKA 20. rujan 2008.



Prilog 1g. Vertikalni profili brzine (ms^{-1}) i smjera vjetra ($^{\circ}$), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$), potencijalne temperature (K) i statičke stabilnosti (uzgonska frekvencija, $N \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) za sve termine, te uvećana za odabrane termine za Makarska do 3.5 km visine, 20. rujan 2008. određeno pomoću numeričkog modela ALADIN/HR. Zbog preglednosti vertikalnog profila stabilnosti izabrana je x os od 0 do $3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$.