

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOFIZIČKI ODSJEK

Diana Kuraži

**VREMENSKA ANALIZA VELIKOG ŠUMSKOG
POŽARA NA STRAHINJČICI U OŽUJKU 2012.**

Diplomski rad

Voditelj: dr. sc. Antun Marki
Suvoditeljica: dr. sc. Višnjica Vučetić

Zagreb, veljača 2015.

ZAHVALA

Zahvaljujem se prije svega dr. sc. Višnji Vučetić, nenadmašnoj mentorici, koja je mentorstvu bila predana u svako doba dana i noći. Prenijeli ste mi veliko znanje, zainteresiranost oko požarne problematike i agrometeorologije općenito. Velika Vam hvala na podršci, savjetima i ugodnim razgovorima. Hvala i mentoru dr. sc. Antunu Markiju koji je, osim korisnih mentorskih savjeta, bio i velika podrška tokom nekoliko godina studiranja. Vaš pristup pokazao mi je da profesor može biti i prijatelj kroz krasna druženja i izlete na kojima smo bili. Zahvalu naravno zaslužuje i prof. dr. sc. Branko Grisogono, od kojega sam dobila mnogo vrijednih savjeta, a najviše znanja. Ponosna sam što sam imala priliku učiti od nekoga kao što ste Vi. Zahvaljujem se mr. sc. Stjepanu Ivatek-Šahdanu koji mi je pripremio produkte modela ALADIN-a te Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim podacima.

Najveću zaslugu za ovaj rad zaslužuju moji roditelji koji su mi omogućili školovanje, koji su me podržavali, imali puno strpljenja i razumijevanja. Hvala mojim kolegama uz koje je studiranje bilo ugodno i zabavno. Također hvala mojim prijateljima i dečku naravno, koji su mi uvijek uspjeli odvući misli daleko od učenja kada je to bilo potrebno.

SAŽETAK

Po prvi puta je analizirana vremenska situacija tijekom velikog šumskog požara u kontinentalnom dijelu Hrvatske. U požaru od 22. do 27.3.2012. na gori Strahinjčica, smještenoj sjeveroistočno od Krapine, spaljeno je oko 350 ha i smatra se najvećim požarom na području Krapinsko-zagorske županije. Cilj ovog rada je proučiti koji vremenski uvjeti u unutrašnjosti Hrvatske utječu na nastanak i razvoj šumskog požara te jesu li slični uvjetima na jadranskom području. S obzirom da je požar izbio daleko prije početka požarne sezone, analiziran je mjesec ožujak u klimatskom smislu za Krapinu za razdoblje 1994.–2012. Iz podataka se vidi da je to bio drugi po redu najtopliji ožujak nakon ožujka 1994. što je potvrdila i analiza srednje mjesečne temperature tla. Prostorna raspodjela standardiziranog oborinskog indeksa *SPI* pokazala je da je krapinsko područje bilo ekstremno suho u ožujku 2012., uz količinu oborine od samo 0,6 mm i bez snježnog pokrivača. No, šumskom požaru je prethodilo i 11 ekstremno suhih mjeseci. Takvim vremenskim uvjetima, povoljnim za širenje šumskog požara, potpomogla je i konfiguracija terena koja je vrlo strma, na mjestima i s nagibom do 60°. Analiza sinoptičke situacije i satelitskih snimaka pokazala je da je požar izbio pod utjecajem polja visokog tlaka zraka. Vrijeme je bilo pretežno vedro, vidljivost vrlo dobra, relativna vlažnost zraka ispod 40% tijekom dana, vjetar slab promjenjivog smjera, a najviša temperatura zraka od 23,3°C na postaji Krapina zabilježena je drugog dana požara. Indeks meteorološke opasnosti od nastanka požara *FWI* dao je umjerenu opasnost, koja je neočekivana izvan požarne sezone, te je pokazao da je najviše bilo ugroženo fino gorivo, a manje srednje i krupno gorivo. Jedan od indeksa potencijalne opasnosti je Hainesov indeks, *HI*, koji se određuje iz stabilnosti i vlažnosti atmosfere. *HI* je dao je vrlo malu meteorološku opasnost od izbijanja šumskog požara. U tom sloju prevladavao je i slab vjetar što se uočava iz vertikalnih profila vjetra dobivenih sondažnim mjerenjima postaje Zagreb-Maksimir, kao i modelom ALADIN/HR za krapinsko područje. Prostorna raspodjela Richardsonovog gradijentnog broja, *Ri*, u sjeverozapadnoj Hrvatskoj je pokazala da nisu postojali povoljni uvjeti za razvoj turbulencije u graničnom sloju atmosfere. Približavanjem hladne fronte prethodnog dana požara vjetar je pojačao po visini do oko 800 m, pojavila se niska mlazna struja i indeksi *FWI* i *HI* dali su veliku opasnost. Dakle, najpovoljnija vremenska situacija za nastanak i širenje šumskog požara nastupila je prethodnog dana kada je požar već bio praktički ugašen. Time se zaključuje da je ljudski nemar započeo požar tj. zbog paljenja korova u proljeće, no mudrost i spretnost vatrogasaca spriječila još veću katastrofu.

POPIS KRATICA

Ac – oblak *Alto cumulus*

ALADIN/HR – atmosferski numerički model na ograničenom području (*Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International*)

ARPÈGE – globalni cirkulacijski model (*Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle*)

BUI – indeks ukupnog goriva (*Bulidup Index*)

CFFWIS - kanadska metoda ocjene indeks meteorološke opasnosti od požara raslinja (*Canadian Forest Fire Weather Index System*)

Ci – oblak *Cirrus*

Cu – oblak *Cumulus*

DC – pokazatelj vlažnosti krupnog goriva (*Drought Code*)

DHMZ – Državni hidrometeorološki zavod

DMC – pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*Duff Moisture Code*)

DVD – dobrovoljno vatrogasno društvo

DWD – njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst*)

EFFIS - informacijski sustav koji se brine za zaštitu šuma od požara unutar Europske unije i susjednih zemalja (*European Forest Fire Information System*)

EUMeTrain – međunarodni projekt za učenje o satelitskoj meteorologiji koji okuplja zemlje Austriju, Hrvatsku, Finsku, Njemačku, Portugal i Mađarsku, a podržava ga EUMETSAT

EUMETSAT – europska agencija koja prikuplja meteorološke satelitske podatke (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*)

FFMC – pokazatelj vlažnosti finog goriva (*Fine Fuel Moisture Code*)

FWI – indeks meteorološke opasnosti od požara raslinja (*Fire Weather Index*)

HI – indeks meteorološke opasnosti od požara (*Haines Index*)

ISI – indeks početnog širenja vatre (*Initial Spread Index*)

LLJ – niska mlazna struja (*Low Level Jet*)

LJUV – LJetno ukazno vrijeme (LJUV=SEV+1 h ili LJUV=UTC+2 h)

MATLAB – programski paket za obradu podataka (*Matrix Laboratory*)

N^2 – kvadrat uzgonske (Brunt-Väisälä) frekvencije

NWCG – državna (SAD) grupa za koordiniranje požarima (*National Wildfire Coordination Group*)

PDSI – Palmerov indeks koji određuje intenzitet suše (*Palmer Drought Severity Index*)

Ri – Richardsonov gradijentni broj

Sc – oblak *Stratocumulus*

SEV – Srednje europsko vrijeme

SPI – standardizirani oborinski indeks (*Standardized Precipitation Index*)

UTC – koordinirano svjetsko vrijeme (*Coordinated Universal Time*)

WMO – Svjetska meteorološka organizacija (*World Meteorological Organization*)

θ – potencijalna temperatura

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. MATERIJALI	7
3. METODE	8
3.1. UTJECAJ TOPOGRAFIJE NA RAZVOJ POŽARA	8
3.2. KANADSKA METODA ZA PROCJENU OPASNOSTI OD ŠUMSKOG POŽARA	10
3.3. PROCJENA OPASNOSTI HAINESOVIM INDEKSOM	14
3.4. STANDARDIZIRANI OBORINSKI INDEKS	15
3.5. MODEL ALADIN/HR	17
3.6. METEOROLOŠKI PARAMETRI	18
3.6.1. Potencijalna temperatura	18
3.6.2. Uzgonska (Brunt-Väisälä) frekvencija i stabilnost atmosfere	19
3.6.3. Richardsonov gradijentni broj	19
3.6.4. Niska mlazna struja	20
4. REZULTATI I DISKUSIJA	21
4.1. OPIS ŠUMSKOG POŽARA	21
4.2. METEOROLOŠKA ANALIZA OPASNOSTI OD POŽARA	23
4.3. KLIMATSKA OCJENA OŽUJKA 2012. GODINE	26
4.4. VREMENSKE ZNAČAJKE U SINOPTIČKIM RAZMJERIMA	33
4.5. PRIZEMNA PROSTORNA I VREMENSKA MEZOANALIZA	36
4.5.1. Dnevni hodovi temperature i relativne vlažnosti zraka te vjetra	36
4.5.2. Analiza produkata modela ALADIN/HR	41
4.6. VERTIKALNA STRUKTURA ATMOSFERE	44
4.6.1. Usporedba vertikalnih profila sondažnih mjerenja i numeričkih simulacija	44
4.6.2. Prostorna raspodjela niske mlazne struje i Richardsonovog broja	51
4.7. PROSTORNA I VREMENSKA ANALIZA HAINESOVOG INDEKSA	55
5. ZAKLJUČAK	58
6. LITERATURA	61
7. PRILOZI	64

1. UVOD

Nakon kornatske tragedije koja se dogodila 30. kolovoza 2007. godine, interes javnosti oko požarne problematike naglo je porastao. Često izbijanje požara tijekom požarne sezone na Jadranu znalo je poprimiti katastrofalne razmjere. U Hrvatskoj u jednoj požarnoj sezoni ima oko 470 šumskih požara u kojima izgori prosječna površina od oko 9000 ha. Osim nastradalih šuma i životinjskih staništa, u opasnost se dovode poljoprivredne kulture, naseljena mjesta i ljudski životi. Požar raslinja ili požar na otvorenom prostoru sastavni je dio ciklusa razaranja i nastanka šume. Ukoliko poprimi velike razmjere, smatramo ga elementarnom nepogodom. Stoga bi od velike pomoći bila pravovremena procjena potencijalnog izbijanja požara. Proučavanje požara važno je povezati sa drugom elementarnom nepogodom koja mu pogoduje, a to je suša.

Prva domaća detaljna meteorološka analiza za katastrofalni šumski požar napravljena je na primjeru požara na Korčuli 1985. godine (Vučetić, 1987). U radu je navedeno da povoljni meteorološki uvjeti, za potpuno gašenje požara, nisu iskorišteni zbog nedovoljne suradnje između meteorološke službe i gasitelja. Osim meteoroloških čimbenika, korištena je i kanadska metoda za procjenu opasnosti od šumskog požara. Od 1981. se tom metodom operativno procjenjuje opasnost od požara raslinja na jadranskom području u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ), a za cijelu Hrvatsku od 2013. godine.

Neki od primjera pripadnih meteoroloških analiza je analiza velikog požara na Hvaru 1990. godine (Vučetić, 1992) i na Braču 2011. godine (Mifka, 2011). Većina radova o šumskim požarima u Hrvatskoj odnosi se na analizu požarnih sezona tj. razdoblje lipanj–rujan (npr. Vučetić i Dimitrov, 2000; Vučetić, 2001). Od velike je važnosti i analiza modeliranih visinskih profila meteoroloških veličina koja je prvi puta učinjena za požare na Hvaru 1997. i Pelješcu 1998. godine (Vučetić i Vučetić, 1999). Pomoću njih se može odrediti postojanje niske mlazne struje kao dodatnog vremenskog pokazatelja za upozorenje za mogućnost nastanka požara ili na izvanredno stanje požara. Povezanost niske mlazne struje i približavanje hladne fronte u sinoptičkim razmjerima uočeno je na primjeru kornatskog požara (Vučetić i sur., 2007). Kasnije su analizirani vertikalni profili atmosfere na području Jadrana za osam velikih požara raslinja u razdoblju 2001.–2010. (Tomašević, 2012).

U ovom radu analizirat će se vremenska situacija za vrijeme velikog požara na Strahinjčici, nedaleko od Krapine, koji se dogodio u ožujku 2012. godine (slika 1). Po prvi puta analiza se odnosi na požar koji se nije dogodio u priobalju, već u unutrašnjosti zemlje.

Prema procjenama, u tom požaru spaljeno je oko 350 ha šumske površine te se smatra najvećim šumskim požarom na području Krapinsko-zagorske županije. S obzirom da se dogodio na vrlo strmom terenu, koji je predstavljao velike poteškoće u gašenju, utjecaj topografije potpomogao je u daljnjem razvoju požara. Analiza ovog požara važna je i zbog toga što se nije dogodio za vrijeme standardne požarne sezone, već puno prije – u ožujku. U prilog tome ide i požar u parku prirode Kopački rit, koji je započeo tri dana prije požara na Strahinjčici. Zbog toga je od velike važnosti procijeniti intenzitet i trajanje sušnog razdoblja koje je prethodilo požaru. Kako je ovo bio i podzemni požar u kojem je gorjelo i korijenje, važno je uzeti u obzir temperature tla.

Cilj ovog rada je proučiti utječu li slični vremenski uvjeti u unutrašnjosti Hrvatske na razvoj požara isto kao i na jadranskom području. Ukoliko meteorološki uvjeti nisu slični, postavlja se pitanje koji prizemni i visinski meteorološki pokazatelji upozoravaju na mogući nastanak i širenje šumskih požara u kopnenoj Hrvatskoj.



Slika 1. Dnevna slika požara (gore lijevo), noćna slika požarne fronte (gore desno), gorenje sloja listinca (dolje lijevo) i tinjanje vatre u suhim panjevima (dolje desno) (izvor: Javna vatrogasna postrojba Krapina).

2. MATERIJALI

Za vremensku analizu velikog šumskog požara koji se dogodio na Strahinjčici 22.–27. ožujka 2012. korišteni su meteorološki podaci s glavnih postaja Zagreb-Maksimir, Krapina i Varaždin te klimatoloških postaja Zabok i Bednja koje su u sklopu osnovne mreže meteoroloških postaja DHMZ-a. Od prizemnih podataka za Krapinu analizirani su: srednja mjesečna i godišnja količina oborine ($\geq 0,1$ mm i ≥ 10 mm) i visina snježnog pokrivača (≥ 1 cm i ≥ 10 cm) izmjereni u 7 h SEV, srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka na 2 m visine te na 5 cm od tla te smjer i brzina vjetra. Iz tih podataka određeni su godišnji i višegodišnji hodovi oborine za razdoblje 1994.–2012., prevladavajući smjerovi vjetra, broj hladnih, ledenih i studenih dana te broj dana s temperaturom < 0 °C na 5 cm od tla, kako bi se odredilo trajanje suhog i toplog razdoblja, neuobičajenog za dio godine koje je prethodilo požaru. Također su uzeti i 10–minutni podaci s automatske postaje Krapina kako bi se odredili hodovi temperature zraka, relativne vlažnosti zraka te smjer i brzina vjetra za vrijeme trajanja požara. Osim toga, analizirane su i temperature tla za Krapinu na dubinama 2, 5, 10 i 20 cm izmjerene u 7, 14 i 21 h SEV za razdoblje 1994.–2012. Indeksi opasnosti od požara određuju se iz podataka o temperaturi zraka, brzini vjetra i relativnoj vlažnosti zraka izmjerenih u 14 h SEV, te iz količine oborine u 7 h SEV, a računati su za postaje: Krapina, Varaždin, Zabok i Bednja.

Od visinskih podataka analizirana su radiosondažna mjerenja temperature zraka, smjera i brzine vjetra za Zagreb-Maksimir za dane požara u 00 i 12 UTC. Pomoću numeričkog modela ALADIN/HR dobiveni su i simulirani vertikalni profili atmosfere, tzv. pseudotempovi, za lokacije Zagreb i Krapina za dane požara i to za svaki sat. Od ostalih produkata ALADIN/HR analizirana su polja tlaka zraka, temperature zraka, relativne vlažnosti zraka, brzina i smjer vjetra kao i udari vjetra, niska mlazna struja te Hainesov indeks.

Karte koje su analizirane uoči i za vrijeme požara nad Europom su prizemne i visinske sinoptičke karte preuzete od njemačke meteorološke službe (*Deutscher Wetterdienst, DWD*) u 00 i 12 UTC te satelitske snimke i vertikalni presjeci preuzeti od međunarodnog projekta EUMeTrain u 12 UTC. Svi podaci su obrađivani i crtani pomoću programskog paketa MATLAB (*Matrix Laboratory*).

3. METODE

Požar je složen proces kojemu je ponekad teško predvidjeti razvoj i moguće posljedice iz niza razloga. Za njegovo izbijanje i održavanje potrebna su tri elementa: goriva tvar, kisik i toplina. Daljnji razvoj i širenje požara ovisi o vrsti gorive tvari (vegetaciji), meteorološkim elementima te topografskim elementima tla. U ovom radu objašnjeni su utjecaj topografije na razvoj požara, indeksi koji se koriste za procjenu opasnosti od požara kao što su indeks meteorološke opasnosti od požara (*FWI*), Hainesov indeks (*HI*) i standardni oborinski indeks (*SPI*) te numerički model na ograničenom području ALADIN/HR.

3.1. UTJECAJ TOPOGRAFIJE NA RAZVOJ POŽARA

Topografija je konfiguracija Zemljine površine koja se odnosi na njen reljef, ali i na ostale značajke nastale prirodnim ili ljudskim djelovanjem (NWCG, 2008). Lakše je predvidjeti utjecaj topografije na daljnje širenje i razvoj požara, nego što je utjecaj gorive tvari ili meteoroloških elemenata. Topografski elementi zemljišta uključuju nagib terena, položaj nagiba, nadmorsku visinu i trajanje sijanja Sunca (osunčavanje). Velik učinak na brzinu širenja ima nagib terena, osobito ako vjetar puše uz strminu. Tada će se požar brzo širiti uz stvaranje točkastih požara mozaika ispred glavne fronte požara (Klečar i sur., 2010). S druge strane može se dogoditi širenje požara niz strminu, čime nastaju točkasti požari na nižim položajima od mjesta nastanka primarnog požara. S obzirom na orijentaciju nagiba, razlikujemo sjeverne (osojne) i južne (prisojne) strmine nagiba. Južne strmine nagiba imaju veće osunčavanje od sjevernih. Što su Sunčeve zrake okomitije na strminu, osunčavanje će biti veće, a to se događa najintenzivnije kod nagiba od oko 40°. Veće osunčavanje i izloženost terena prevladavajućem vjetru pojačava isparavanje, smanjuje relativnu vlažnost zraka, a time i smanjuje postotak vlage u gorivu. Stoga je na južnim stranama gorivo općenito suše i lakše. Sjeverne strmine imaju smanjeno osunčavanje, a neka područja mogu biti i potpuno u sjeni. Tamo je temperatura zraka općenito niža nego na južnim strminama, relativna vlažnost zraka je veća, a gorivo je vlažnije i teže. Iz navedenog se može zaključiti da su južne i jugozapadne strmine ugroženije tj. najpovoljnije za nastajanje i širenje požara.

Požar koji se pojavi na strmini širi se uzbrdo, jer se zagrijani zrak ne diže okomito na teren. Zbog toga će se vrući produkti izgaranja gibati uz nagnutu površinu prema vrhu i na taj

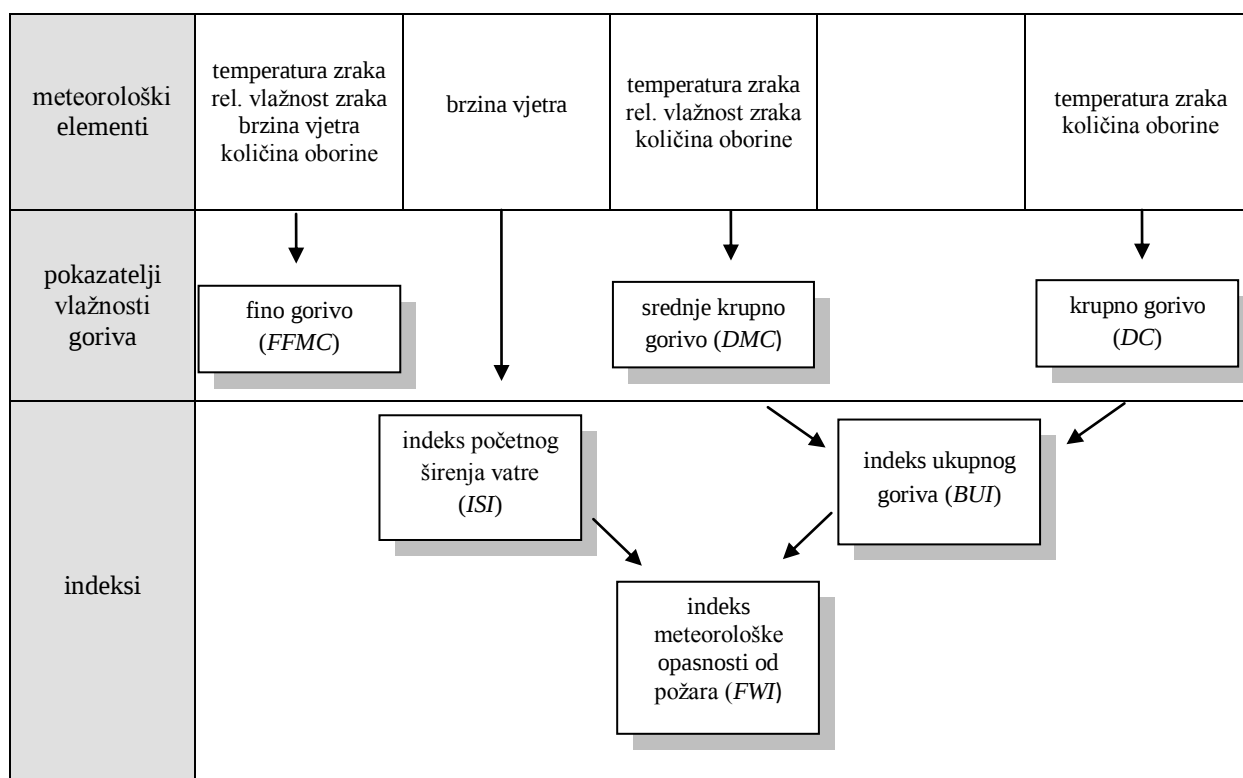
način isušiti i predzagrijati potencijalno gorivo. Valja spomenuti da uz obronke brda postoji strujanje zraka poznato kao dnevna cirkulacija obronka (danju uz obronak, a noću niz obronak). Duljinu plamena i brzinu širenja požara može povećati jak vjetar koji će produkte izgaranja položiti dodatno prema tlu i tako pojačati predzagrijavanje gorive tvari. Na umjerenim strminama do 30% nagiba, brzina širenja požara bit će i dvostruko veća nego u ravnici, a na strminama od oko 55% i četverostruko veća (Klečar i sur., 2010). Brzina širenja požara raste prema vrhu strmine jer se požar na čelu kontinuirano potpomaže toplinom od plamena ispod sebe. Tako se čelo požara može širiti 6–10 puta brže nego što je moguće širenje njegove pozadine. Izgorjela površina početnog požara poprima oblik trokuta kojemu je vrh usmjeren prema mjestu izbijanja požara. Što je nagib strmine veći, kut nasuprot vrha strmine postaje sve oštiji. Ukoliko požar izbije u uskom kanjonu na jednoj strmini, Sunčevim zračenjem i strujanjem zraka moguće je isušivanje goriva suprotne strmine te prenošenje požara na nju. Ako je kanjon uzak, moguće je brzo nastajanje i širenje produkata izgaranja prema vrhu što se naziva „učinak dimnjaka“. Detaljan međudnos gorive tvari, topografskih elemenata zemljišta i meteoroloških elemenata uz uvažavanje protjecanja vremenskih prilika, opisuje Viegasov model širenja požara razvijen u *Forest Fire Research Laboratory* u Portugalu (Viegas, 2007).



Slika 3.1. Probni poligon za proučavanje širenja požara na strmini u Portugalu 2001. (lijevo) i *Forest Fire Research Laboratory* (desno), (Viegas, 2007).

3.2. KANADSKA METODA ZA PROCJENU OPASNOSTI OD ŠUMSKOG POŽARA

U svrhu preventivnog i brzog djelovanja od velike je važnosti procijeniti opasnost od mogućeg izbijanja i daljnjeg širenja šumskog požara. U DHMZ-u se takva procjena, kao što je već spomenuto, radi od 1981. za jadransko područje, a od 2013. za cijelu Hrvatsku, pomoću kanadske metode indeksa meteorološke opasnosti od požara (*Canadian Forest Fire Weather Index System*, CFFWIS) ili skraćeno *Fire Weather Index* (FWI). FWI se sastoji od pet podindeksa. Oni uvažavaju dnevne varijacije vlage u različitim gorivima, koja imaju različito vrijeme odziva ovisno o vremenskim prilikama, početne brzine širenja, količine goriva i očekivani intenzitet širenja požarne fronte. Shematska struktura FWI-a prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2. Shematski prikaz FWI-a (izvor: EFFIS, 2011).

Ulazne veličine za računanje indeksa su meteorološki elementi izmjereni u 12 UTC (13 h prema SEV): temperatura zraka izražena u °C, relativna vlažnost zraka izražena u %, brzina vjetra izražena u m/s te količina oborine izražena u mm od 12 UTC prethodnog dana do 12 UTC tekućeg dana. Ova metoda razlikuje tri veličine gorivog materijala: fino, srednje i

krupno gorivo. Vrijednost svih triju pokazatelja vlažnosti raste kako sadržaj vlage u gorivu pada.

Pokazatelj vlažnosti finog goriva (*Fine Fuel Moisture Code, FPMC*) predstavlja vlažnost sloja listinca (npr. sloj suhog lišća ili borovih iglica) do dubine 2–3 cm, a računa se prema sljedećoj relaciji:

$$FFMC = 59,5 \frac{250 - m}{147,2 + m} \quad (3.2.1)$$

$$m = 147,2 \frac{101 - FFMC_0}{59,5 + FFMC_0} \quad (3.2.2)$$

pri čemu m označava sadržaj vlage u finom gorivu dobiven kao funkcija relativne vlažnosti zraka, a $FFMC_0$ je vrijednost $FFMC$ prethodnog dana (Van Wagner i Pickett, 1975; Vučetić i Dimitrov, 2000; Vučetić, 2007). U izračunu se razlikuju dva slučaja. Ukoliko je u prethodna 24 sata bilo oborine, određuje se tzv. šifra ravnotežne vlage za sušenje. Ukoliko oborine nije bilo, određuje se šifra ravnotežne vlage za vlaženje finog goriva. Na sadržaj vlage finog goriva utječe količina oborine veća od 0,5 mm. Količina oborine veća od 5,8 mm ne utječe na vlažnost finog goriva zbog njegovog zasićenja. U uvjetima standardnog dana (temperatura 21 °C, relativna vlažnost zraka 45% i brzina vjetra od 3,6 m/s, u 12 UTC), vremensko zaostajanje $FFMC$ iznosi 2/3 dana. To znači da za manje od jednog standardnog dana možemo očekivati da će fino gorivo izgubiti oko 2/3 svoje vlage. S obzirom da svi požari započinju u sloju finog goriva, vrijednost $FFMC$ najpogodnija je za ocjenjivanje zapaljivosti i pojave požara.

Pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*Duff Moisture Code, DMC*) predstavlja vlažnost rahlog listinca u dubini 5–10 cm, a određuje se iz sljedećih relacija:

$$DMC = DMC_0 \text{ (ili } DMC_r) + 100K \quad (3.2.3)$$

$$K = 1,894(T + 1,1)(100 - H)Le \cdot 10^{-6} \quad (3.2.4)$$

pri čemu DMC_0 označava vrijednost DMC prethodnog dana ako nije bilo oborine (ili DMC_r ako je oborine bilo u protekla 24 sata), T je temperatura zraka, H relativna vlažnost zraka, a Le duljina vidljivog dijela dana. Na sadržaj vlage srednje krupnog goriva utječe količina oborine veća od 1,5 mm. Daleko se sporije suši od finog goriva i procijenjeno je da mu je potrebno 12 dana da izgubi 2/3 svoje slobodne vlage.

Pokazatelj vlažnosti krupnog goriva (*Drought Code, DC*) predstavlja vlažnost dubokog krupnog goriva do dubine od 20 cm, a računa iz sljedeće relacije:

$$DC = DC_0 \text{ (ili } DC_r) + 0,18(T + 2,8) + 0,5Le \quad (3.2.5)$$

pri čemu DC_0 označava vrijednost DC prethodnog dana ako nije bilo oborine (ili DC_r ako je oborine bilo u protekla 24 sata), T je temperatura zraka, a Le duljina vidljivog dijela dana. Ovaj pokazatelj je dugoperiodički indikator osjetljiv na sezonsko isušivanje koje traje 2–4 mjeseca. Ukoliko požar zahvati duboko krupno gorivo, teško ga je kontrolirati i ugasiti.

Indeks početnog širenja vatre (*Initial Spread Index, ISI*) i indeks prikladnosti materijala za gorenje, ili kako se češće naziva, indeks ukupnog goriva (*Buildup Index, BUI*) računaju se iz prethodno navedenih indeksa:

$$ISI = 0,208 f(W) \cdot f(F) \quad (3.2.6)$$

$f(W)$ predstavlja funkciju vjetra W , $f(F)$ je funkcija vlažnosti finog goriva koja ovisi o brzini vjetra W , a određuju se iz sljedećih relacija:

$$f(W) = e^{0,05039W} \quad (3.2.7)$$

$$f(F) = 91,9e^{-0,1386m} \left[1 + \frac{m^{5,31}}{4,93 \cdot 10^7} \right]. \quad (3.2.8)$$

Indeks ISI daje ocjenu širenja vatre nakon zapaljenja goriva standardnog tipa (kanadski bor). Za ISI vrijede određene klasne vrijednosti prikazane u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Klase indeksa početnog širenja vatre, ISI .

ISI	Klase brzine	Brzina (m/min)	Opis požara raslinja
0–7	sporo	1,5	–
8–12	umjereno	3,0	baklje
13–17	brzo	6,1	moгуći požar u krošnjama
≥ 18	vrlo brzo	18,3	požar u krošnjama, više fronti

Indeks BUI daje numeričku vrijednost suhoće šumskog goriva i njegovo stanje za prihvatanje vatre. Ukoliko iznosi $BUI = 119$, gorivi materijal je dovoljno suh da prihvati vatru koja se dalje širi.

$$BUI = 0,8 \frac{DMC \cdot DC}{DMC + 0,4DC} \quad (3.2.9)$$

Na kraju se određuje numerička vrijednost indeksa meteorološke opasnosti od požara raslinja *FWI* prema relaciji:

$$FWI = 0,1ISI \cdot f(D) \quad (3.2.10)$$

pri čemu $f(D)$ predstavlja eksponencijalnu funkciju ovisnu u *BUI*. *FWI* je numerička procjena potencijalnog intenziteta požara za gorivo standardnog tipa te je podijeljen u određene klasne vrijednosti (tablica 3.2).

Tablica 3.2. Klase indeksa meteorološke opasnosti od požara raslinja, *FWI*.

FWI	Klasni intervali FWI-a	
vrlo nizak	–	5,5
nizak	5,6	13,2
umjeren	13,3	19,7
visok	19,8	29,7
vrlo visok	29,8	–

FWI i *BUI* su, na osnovi statističke analize i odgovarajućih pokazatelja za razdoblje od sedam godina na području Jadrana (Dimitrov, 1982), razvrstani u pet klasa opasnosti od požara (tablica 3.3).

Tablica 3.3. Klase opasnosti od požara (izvor: http://vrijeme.hr/pozari.php?id=pozar_opis).

FWI	BUI	Klase opasnosti
$FWI < 5$	$BUI < 49$	vrlo mala
$5 \leq FWI < 9$	$49 \leq BUI < 86$	mala
$9 \leq FWI < 17$	$86 \leq BUI < 119$	umjerena
$17 \leq FWI < 33$	$119 \leq BUI < 159$	velika
$FWI \geq 33$	$BUI \geq 159$	vrlo velika

Operativno računanje indeksa opasnosti od šumskih požara u DHMZ-u započinje 1. travnja i traje do 31. listopada. Razlog računanja indeksa prije početka požarne sezone leži u tome da je modelu potrebno određeno vrijeme prilagodbe od barem mjesec dana.

3.3. PROCJENA OPASNOSTI HAINESOVIM INDEKSOM

Potencijalnu opasnost od požara moguće je procijeniti na više načina koristeći različite meteorološke elemente. Metodu kojom se iz radiosondažnih mjerenja određuje potencijalna opasnost od požara razvio je Donald Haines 1988. godine, a opasnost se izražava Hainesovim indeksom (*HI*) (izvor: <http://www.erh.noaa.gov/cae/haines.htm>). *HI* se određuje iz stabilnosti i vlažnosti zraka pomoću dvije hektopaskalne plohe. Odabir ploha ovisi o nadmorskoj visini područja na kojem želimo procijeniti potencijalnu opasnost od izbijanja požara. Sloj u kojem želimo procijeniti *HI* mora biti dovoljno visoko da se zanemari dnevna varijabilnost prizemne temperature i prizemna temperaturna inverzija (Mokorić i sur., 2014). Zbog toga postoje tri varijante *HI*: niska varijanta *HI* računa se za nadmorske visine do 500 m, srednja za visine 500–1500 m, a visoka varijanta za visine iznad 1500 m. Za nisku varijantu *HI* promatraju se plohe 950 i 850 hPa, za srednju varijantu plohe 850 i 700 hPa, a za visoku varijantu *HI* 700 i 500 hPa plohe. Stabilnost zraka se određuje iz temperaturne razlike između dvije promatrane hektopaskalne plohe, a vlažnost zraka se određuje razlikom između temperature zraka, T i temperature rosišta, T_d između dvije hektopaskalne plohe. Temperaturnim razlikama pridružuje se vrijednost 1–3. Tako je stabilnost zraka jedna vrijednost, a vlažnost zraka predstavlja druga vrijednost (tablica 3.4).

Tablica 3.4. Određivanje stabilnosti i vlažnosti zraka iz temperaturnih razlika, ΔT , temperature zraka T i temperature rosišta, T_d , između dvije hektopaskalne plohe (Mokorić i sur., 2014).

niske nadmorske visine	Stabilnost	Vlažnost
	$\Delta T = T_{950} - T_{850}$	$\Delta T = T_{850} - T_{d850}$
	1 $\Delta T \leq 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1 $\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	2 $4 \leq \Delta T \leq 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	2 $6 \leq \Delta T \leq 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	3 $\Delta T \geq 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	3 $\Delta T \geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
srednje nadmorske visine	$\Delta T = T_{850} - T_{700}$	$\Delta T = T_{850} - T_{d850}$
	1 $\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1 $\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	2 $6 \leq \Delta T \leq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	2 $6 \leq \Delta T \leq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	3 $\Delta T \geq 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$	3 $\Delta T \geq 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$
visoke nadmorske visine	$\Delta T = T_{700} - T_{500}$	$\Delta T = T_{700} - T_{d700}$
	1 $\Delta T \leq 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1 $\Delta T \leq 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	2 $18 \leq \Delta T \leq 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	2 $15 \leq \Delta T \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	3 $\Delta T \geq 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$	3 $\Delta T \geq 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$

HI zbroj je obje vrijednosti, a poprima vrijednosti 2–6 koje su podijeljene u četiri klase opasnosti prikazane u tablici 3.5.

Tablica 3.5. Klase opasnosti Hainesovog indeksa (*HI*) dobivenog kao zbroj vrijednosti za stabilnost i vlažnost sloja zraka (izvor: <http://www.erh.noaa.gov/cae/haines.htm>).

HI	Klase opasnosti
2–3	vrlo mala
4	mala
5	umjerena
6	velika

Procjenjivanje potencijalne opasnosti od izbijanja požara ovom metodom je vrlo jednostavno, no koristi se u slučaju kada vjetar nema glavnu ulogu u širenju požara. Nedostatak metode je taj što su ulazni podaci dobiveni radiosondažnim mjerenjima, koja se u Hrvatskoj rade na samo dvije postaje Zagreb-Maksimir i Zadar-Zemunik, pa se zbog toga znaju koristiti mezoskalni numerički modeli. Hainesov indeks se u operativnom radu u DHMZ-u primjenjuje od 2013. godine.

3.4. STANDARDIZIRANI OBORINSKI INDEKS

Indeksi meteorološke opasnosti od izbijanja požara *FWI* i *HI* određuju se jednom dnevno. Pomoću njih ne možemo ocijeniti nalazi li se područje od interesa trenutno u sušnom ili vlažnom razdoblju. Ukoliko se nalazi u sušnom razdoblju i ako ono traje posljednjih mjesec dana, sezoni ili cijelu godinu, mogućnost izbijanja požara bit će veća. Indeks kojim se određuju sušna i vlažna razdoblja na određenom području naziva se standardizirani oborinski indeks (*Standardized Precipitation Index, SPI*). Definirali su ga američki znanstvenici McKee, Doesken i Kleist 1993. godine (Svoboda i sur, 2012). *SPI* je jednostavan i lako ga je izračunati zbog toga što je oborina jedini ulazni parametar. Za njegovo određivanje su potrebne mjesečne vrijednosti količine oborine posljednjih 50–60 godina ili više. *SPI* je moguće odrediti za različite vremenske skale kao što su 1–12 mjeseci, te se prema tome naziva *SPI1*, *SPI3*, *SPI6* i *SPI12*. Zbog toga može dati rano upozorenje na sušu te procijeniti jačinu suše, a s time povezano i povećanu mogućnost za izbijanje požara. Indeks se određuje na način da se dugačkom nizu podataka pridruži normalna razdioba, a vrijednosti *SPI* su zapravo izražene u standardnim devijacijama. Tako će pozitivne vrijednosti *SPI* upućivati na količinu oborine veću od srednjaka, a negativne na količinu oborine manju od srednjaka.

Ukoliko je *SPI* kontinuirano negativan, te poprima $SPI \leq -1,0$, smatra se da je područje zahvaćeno sušom (tablica 3.6). Prestankom suše se smatra kada *SPI* poprimi pozitivne vrijednosti. Tako je svaka suša definirana svojim početkom, krajem i intenzitetom.

Tablica 3.6. Vrijednost *SPI* i pridruženi opis razdoblja.

SPI	Opis razdoblja
$\geq 2,00$	ekstremno vlažno
1,50–1,99	vrlo vlažno
1,00–1,49	umjereno vlažno
-0,99–0,99	u granicama normale
-1,00– -1,49	umjereno suho
-1,50– -1,99	vrlo suho
$-2,00 \leq$	ekstremno suho

S obzirom da je *SPI* normaliziran, jednako dobro se može primijeniti za razne tipove klime (tablica 3.7). Iz normalne razdiobe koja mu se pridružuje, može se odrediti učestalost nastupa različitih vrsta suše. Tako je na temelju podataka države Kolorado , SAD, ustanovljeno da će blaga suša biti prisutna u 24% vremena, umjerena suša 9,2% vremena, jaka 4,4% vremena, a ekstremno jaka suša 2,3% vremena. Učestalost pojave određenog tipa suše navedena je u tablici 3.7 i može se primijeniti na različitim klimatskim i geografskim područjima.

Tablica 3.7. Učestalost pojave određenog tipa suše na temelju *SPI* vrijednosti.

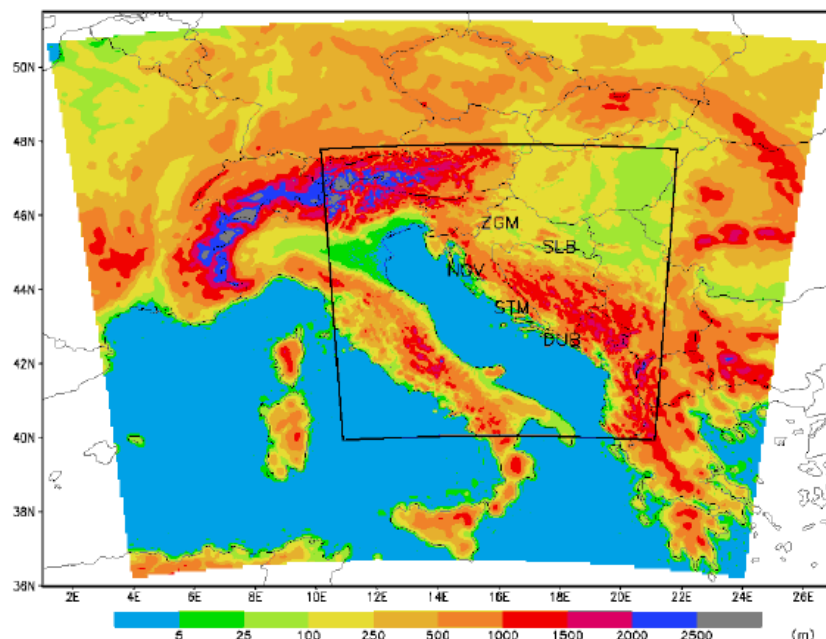
SPI	Opis razdoblja	Učestalost pojave u 100 godina
0,00– -0,99	blaga suša	33
-1,00– -1,49	umjerena suša	10
-1,50– -1,99	jaka suša	5
$\leq -2,00$	ekstremno jaka suša	2,5

Kao što je već spomenuto, *SPI* možemo određivati za različite vremenske skale. Koji ćemo od njih izabrati, ovisi o različitim vodnim resursima i o duljini vremena koje nas zanimaju, a prethodilo je tekućem mjesecu. *SPI1* za određen mjesec, npr. ožujak, je vrijednost kojom se uspoređuje količina oborine za taj ožujak sa svim ožujcima iz dugačkog niza podataka. *SPI3* za određen mjesec, npr. ožujak, je vrijednost kojom se uspoređuje količina oborine za siječanj, veljaču i ožujak te godine s istim mjesecima iz prethodnih godina iz dugačkog niza podataka. Pomoću njega možemo ocijeniti nalazi li se određena sezona u sušnom ili vlažnom razdoblju. Isto vrijedi za *SPI6* te za *SPI12* osim što se promatra dulje razdoblje koje je prethodilo trenutnom stanju. Valja napomenuti da je *SPI* i dalje u prednosti pred Palmerovim indeksom (*Palmer Drought Severity Index*, *PDSI*) jer ima brže vrijeme odgovora na promjene vodnih resursa, jednostavniji je izračun sa samo jednim ulaznim parametrom i manje su pogreške pri ocjeni ekstremnih razdoblja.

3.5. MODEL ALADIN/HR

ALADIN (*Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International*) je numerički prognostički mezoskalni model koji u skoro realnom vremenu prati stanje u atmosferi, a ALADIN/HR je hrvatska operativna verzija tog modela (Ivatek-Šahdan i Tudor, 2004). Sustav primitivnih jednadžbi u modelu, za temperaturu zraka, tlak zraka na morskoj razini, specifičnu vlažnost, komponente vjetra, kišu, snijeg te vodu i led u oblacima, rješava se pomoću semi-implicitne semi-lagrangeovske sheme s dva vremenska koraka. ALADIN je spektralni model s hibridnom η koordinatom koja uvažava reljef tla. Osim toga, to je hidrostatički model s horizontalnom razlučivosti od 8 km i 37 vertikalnih razina od kojih je najniža razina modela na 17 m. Prognostičko razdoblje modela je 72 h. U njemu se koriste fizikalne parametrizacije za vertikalnu difuziju (emuliranje efekata turbulencije), vertikalni prijenos vlage i topline, plitku konvekciju, kratkovalno i dugovalno zračenje. Stratiformni i konvektivni procesi se razmatraju pojedinačno s Kesslerovim tipom parametrizacije velike skale tzv. „razlučenom oborinom“ i modificiranom Kuovom shemom duboke konvekcije. Tlo, uključujući i more, je opisano s dva sloja što uključuje razmjenu topline i vlage između tla i atmosfere.

Početni i rubni uvjeti se operativno uzimaju iz globalnog modela ARPÈGE (*Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle*) iz francuske meteorološke službe (*Météo-France*, Grbec i sur., 2010). Kako bi se dobili bolji početni uvjeti, primjenjuje se asimilacija podataka. Za implementaciju asimilacije podataka potrebno je uspostaviti asimilacijski ciklus tj. niz neprestanih analiza i 6-satnih prognoza (Stanešić, 2011). Zbog nedostatka računalnih kapaciteta, asimilacijski ciklus i produkcija modela se obavljaju u kvazi-operativnom vremenu. To znači da se podaci meteoroloških mjerenja uzimaju u operativnom vremenu, a analiza i integracija modela se rade sa zakašnjenjem. Na slici 3.5 prikazane su domene integracije modela. Veće područje s rjeđom mrežom točaka se odnosi na horizontalnu razlučivost od 8 km koja se dobiva nakon integracije modela. Dinamičkom adaptacijom prelazi se na horizontalnu razlučivost od 2 km i time se dobiva gušća mreža točaka (*downscaling*). Dinamička adaptacija se koristi kroz 30 minuta računajući samo čisto dinamička polja, dok se ostala drže konstantnima. Time je omogućena dinamička prilagodba brzine i smjera vjetra na reljef tla fine razlučivosti. Broj vertikalnih razina je pritom smanjen na 15 uz redovitu hidrostatičku pretpostavku i parametrizaciju vertikalne turbulentne difuzije.



Slika 3.3. Integracijska domena modela ALADIN/HR na 8 km horizontalne razlučivosti (vanjska domena) i domena dinamičke adaptacije na 2 km horizontalne razlučivosti (unutrašnja domena) s pripadajućim modelima terena (Bajić, 2011).

3.6. METEOROLOŠKI PARAMETRI

3.6.1. Potencijalna temperatura

Potencijalna temperatura (θ) je temperatura koju bi čest suhog zraka pri tlaku p i temperaturi T imala kada bi se adijabatički (nema razmjene energije termodinamičkog sustava s okolišem) komprimirala ili ekspanzirala na tlak p_s (obično se uzima da je to 1000 hPa). θ je očuvana veličina u suhom adijabatičkom procesu pa tako svaka čest ima svoju vlastitu potencijalnu temperaturu. U područjima gdje nema oborine, θ je kvaziočuvana veličina, jer su gibanja u sinoptičkim razmjerima, gdje nema oborine, približno adijabatičan. Izraz za θ dobiva se integracijom prvog stavka termodinamike (Holton, 2004).

$$\theta = T (p_s/p)^{R/C_p} \quad (3.6.1)$$

T označava temperaturu česti (K), p tlak zraka (hPa), p_s standardni tlak (1000 hPa), R plinsku konstantu za suhi zrak ($= 287 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), a C_p specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku ($= 1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

3.6.2. Uzgonska (Brunt-Väisälä) frekvencija i stabilnost atmosfere

Uzgonska (Brunt-Väisälä) frekvencija (N) je frekvencija vertikalnih oscilacija česti u statički stabilnom fluidu (npr. Holton, 2004). Kvadrat uzgonske frekvencije dan je izrazom 3.6.2.

$$N^2 = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (3.6.2)$$

θ označava potencijalnu temperaturu, g akceleraciju sile teže, a $\partial\theta/\partial z$ vertikalnu promjenu potencijalne temperature s visinom koja određuje predznak izraza, odnosno statičku stabilnost. Ukoliko je $\partial\theta/\partial z > 0$, tada je $N^2 > 0$, N je realan broj i kažemo da se čest nalazi u statički stabilnoj atmosferi. Ako ju pomaknemo duž vertikale, ona će nastaviti vertikalno oscilirati oko ravnotežnog položaja. U slučaju kada je $\partial\theta/\partial z = 0$, $N = 0$, čest se nalazi u statički neutralnoj atmosferi. Ako ju u tom slučaju pomaknemo duž vertikale, ostat će u novom položaju i oscilacija neće biti. Za slučaj kada je $\partial\theta/\partial z < 0$, $N^2 < 0$, N je kompleksan, čisto imaginaran broj, čest se nalazi u statički nestabilnoj atmosferi. Ako ju tada pomaknemo duž vertikale, ona će se nastaviti udaljavati od ravnotežnog položaja tj. poremećaj će amplificirati.

Ukoliko se nalazimo na mjestu požara, moguće je pomoću vizualnih pokazatelja u grubo procijeniti stabilnost atmosfere (NWCG, 2008). S obzirom da stabilna atmosfera sprječava uzlazna gibanja, vizualni pokazatelji koji na to upućuju su: slojasti oblaci, stupac dima koji se počinje razilaziti na određenoj visini, loša vidljivost uzrokovana dimom ili sumaglicom, slojevi magle i vjetar. U slučaju nestabilne atmosfere, uzlazna gibanja se pojačavaju čime doprinose lakšem razbuktavanju vatre. Vizualni pokazatelji koji na to upućuju su: kumulusni tipovi oblaka, dizanje dima u veliku visinu, dobra vidljivost, udari vjetra, a u krajnjim slučajevima vatreni tornado i prašinski vrtlozi.

3.6.3. Richardsonov gradijentni broj

Richardsonov gradijentni broj (Ri) bezdimenzionalni je parametar pomoću kojeg se ocjenjuje dinamička stabilnost zračne struje u kojoj postoji vertikalno smicanje horizontalne brzine ($\partial u/\partial z$) i vertikalni gradijent temperature ($\partial\theta/\partial z$) (npr. Holton, 2004). Izraz za Ri se može odrediti iz energijske jednadžbe u kojoj je ukupna energija (B) jednaka zbroju promjene potencijalne energije (δPE) i promjene kinetičke energije (δKE).

$$B = \delta PE + \delta KE \quad (3.6.3)$$

Promjena potencijalne i kinetičke energije definira se pomoću modela u kojem postoje dva homogena polubeskonačna priljubljena sloja geofizičkog fluida od kojih svaki ima svoju gustoću, potencijalnu temperaturu i brzinu. Ukoliko je $B > 0$, sustav prima energiju i stabilan je. Ako vrijedi $B = 0$, sustav je neutralan, a za $B < 0$ sustav gubi energiju i nestabilan je. Uz pretpostavku da je sustav neutralan, dobiva se izraz za kritičnu vrijednost $Ri_{crit} \approx 0,25$, a Ri definiran je kao:

$$Ri = \frac{g}{\theta_0} \frac{\frac{\partial \theta}{\partial z}}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} \quad (3.6.4)$$

Definiran na način kao u (3.6.4), Richardsonov gradijentni broj je tradicionalni način definiranja turbulentnog stanja geofizičkog fluida te je jedan od najvažnijih parametara u meteorologiji. Ukoliko je $Ri > 0,25$, tada upućuje na dinamičku stabilnost slojeva, za $Ri < 0,25$ na dinamičku nestabilnost slojeva, a $Ri \approx 0,25$ upućuje na dinamički neutralne slojeve. Ipak, u praksi se češće koristi kriterij $Ri_{crit} \approx 1$ zbog nekoliko razloga (npr. Jeričević i Grisogono, 2006), od kojih je jedan činjenica da je $Ri \propto \Delta z$ pa Ri umjetno raste kad se računa u konačnim razlikama.

3.6.4. Niska mlazna struja

Mlazna struja je područje relativno jakog vjetra koncentrirano duž kvazihorizontalne osi, obično u višoj troposferi ili stratosferi, i karakterizirano jakim vertikalnim i horizontalnim gradijentima vjetra (npr. Pandžić, 2002). Niskom mlaznom strujom (*Low Level Jet*, *LLJ*) smatra se signifikantni maksimum brzine vjetra u nižoj troposferi tj. u prvih 1500 m visine (Blackadar, 1957). Osnovni kriteriji brzine vjetra po kojima se definira *LLJ* su navedeni u tablici 3.8 (prema Bonneru, 1968). Postavljeni su prema subjektivnoj procjeni i prilagođeni tako da sezonske, geografske i dnevne razdiobe maksimalne brzine vjetra nisu posebno osjetljive na određeni kriterij. Tako je npr. prvi kriterij za *LLJ*-u zadovoljen ako je maksimalna brzina vjetra veća ili jednaka 12 m/s, a nakon toga se do sljedećeg minimuma ili do 3 km visine smanji na 6 m/s.

Tablica 3.8. Kriteriji brzine vjetra za određivanje niske mlazne struje (Bonner, 1968).

Kriterij	Maks. brzina vjetra (m/s)	Smanjivanje brzine do 3 km visine (m/s)
1	≥ 12	6
2	≥ 16	8
3	≥ 20	10

4. REZULTATI I DISKUSIJA

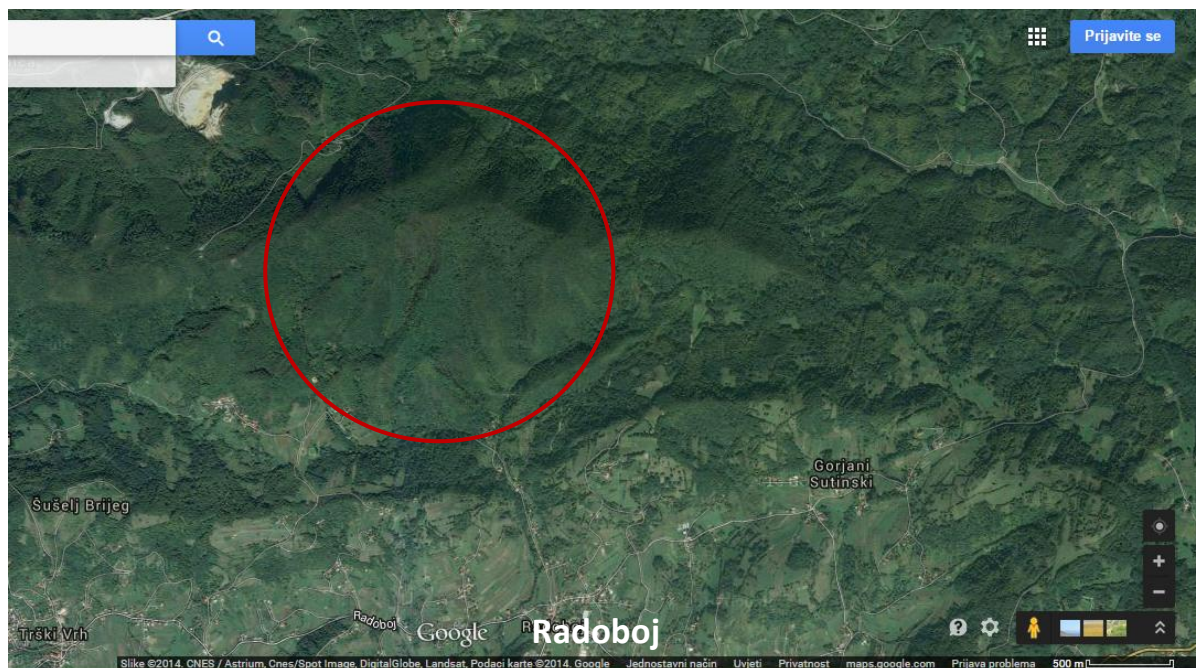
4.1. OPIS ŠUMSKOG POŽARA

U četvrtak 22. ožujka 2012. godine oko 15 h, u općini Radoboj, kod zaseoka Kamenečki, izbio je šumski požar na gori Strahinjčica (<http://www.jvp-krapina.hr/index.php/dogadjanja/39-vjezbe/412-u-radoboju-odana-analiza-intervencije-qstrahinjica-2012q>).

Vrste šumskog drveća koje je požar bio zahvatio su: bukva, hrast i crnogorica. Požar je imao više fronti, a ukupna dužina požarne fronte bila je oko 2 km. Osim nepostojanja protupožarnih putova koji bi pomogli u gašenju, problem je stvarala složena konfiguracija terena i vjetar promjenljivog smjera. Zbog vrlo strmog terena, na mjestima i do 60°, doprema vode nije bila moguća vozilima, već pješke u naprtnjačama i spremnicima nekoliko km uz strminu (slika 4.1 lijevo). Osim nedostatka vode, širenju požara potpomagala je i velika količina gorive tvari. Na tlu u šumi se nalazio lako zapaljiv 10–15 cm debeo sloj suhog lišća. Gorjelo je i krupno gorivo kao što su šuplja stabla i panjevi, koji su nakon zapaljenja dugo tinjali. Padom takvih stabala ili kotrljanjem panjeva niz klance stvarali su se novi požari. Suho korijenje koje je gorjelo, te vruće kamenje u dubini koje je pronađeno nakon gašenja, daju nam naznake da se radilo i o podzemnom požaru. Požar se gasio vodom, metodom uklanjanja gorive tvari (slika 4.1 desno) i paljenjem protuvatre.



Slika 4.1. Vatrogasci dopremaju vodu u spremnicima (lijevo) i gašenje požara metodom uklanjanja gorive tvari (desno) (izvor: Javna vatrogasna postrojba Krapina).



Slika 4.2. Satelitska karta općine Radoboj. Crvenim krugom je približno označeno spaljeno područje na gori Strahinjčici (izvor: <https://www.google.hr/maps>).

Prvog dana požara (četvrtak, 22. ožujka) je aktivno gašenje završeno oko 21 h, no drugog dana (petak, 23. ožujka) se požar ponovno razbuktao oko 10 h. Toga dana su bili prisiljeni koristiti rovokopače kako bi proširili put i malim terenskim vozilima dopremili vodu do određenih točaka. U večernjim satima gašenje je prekinuto zbog nepristupačnosti terena i mogućeg ozljeđivanja gasitelja. Trećeg dana požara (subota, 24. ožujka) je akcija gašenja započela rano ujutro u 3 h. Požar su zaustavili tek oko 15 h. Dogašivanje je trajalo sljedeća dva dana (nedjelja–ponedjeljak, 25–26. ožujka), a šestog dana (utorak, 27. ožujka) proglašen je kraj intervencije.

Iako je 2009. godine izbio požar na gotovo istom mjestu, ovaj požar se smatra najvećim na području Krapinsko-zagorske županije. S obzirom da se radilo o mozaičnom požaru, spaljenu površinu teško je procijeniti (slika 4.2). Prema procjenama, iznosi oko 350 ha. Na samoj intervenciji sudjelovalo je 326 gasitelja i 24 vozila. Budući da se Strahinjčica nalazi u ekološkoj mreži u kojoj se štiti 6 biljnih zajednica, ovim požarom je osim drvene mase učinjena velika šteta i cjelokupnoj prirodi. U Krapinsko-zagorskoj županiji, u prvih 20 dana ožujka, zabilježeno je više od 100 požara otvorenog prostora. Od toga je njih 33 izbio 17.3.2012. Valja napomenuti kako je tog ožujka i u drugim dijelovima sjeverne, sjeverozapadne i istočne Hrvatske bio iznimno velik broj požara (npr. Pomoravec, 2012; Šutler, 2012; Đurić, 2012; Banjan, 2012; Mihoković, 2012).

4.2. METEOROLOŠKA ANALIZA OPASNOSTI OD POŽARA

Glavna meteorološka postaja koja se nalazi najbliže Strahinjčici je Krapina. Iz slike 7.1.1 i iz priloga 1. može se vidjeti kako na području Krapine, od sredine prosinca 2011. do kraja ožujka 2012., nije bilo dana s količinom oborine većom od 8 mm. U razdoblju od 30 dana koje je prethodilo požaru, zabilježeno je 5 dana s ukupnom količinom oborine od 1,5 mm te 25 dana bez oborine. Na slici 7.1.2 i iz priloga 1. vidi se da je u siječnju i veljači 2012. bilo 18 dana s visinom snježnog pokrivača ≥ 1 cm i 10 dana u veljači s visinom snježnog pokrivača ≥ 10 cm. Prva polovica veljače bila je vrlo hladna kada su temperature zraka u 14 h bile negativne, najniže do $-9,7$ °C. Nakon toga slijedi postupno zatopljenje da bi u ožujku, za vrijeme trajanja požara, iznosile visokih $17,9$ – $22,6$ °C. Relativna vlažnost zraka je bila ispod 40%, a vjetar slab 2–4 m/s. U tablici 4.1 nalaze se vrijednosti meteoroloških veličina i indeksa opasnosti od požara te procjena opasnosti od nastanka požara. Osim Krapine, vrijednosti meteoroloških veličina i indeksa opasnosti promatrane su na glavnoj meteorološkoj postaji Varaždin i na klimatološkim postajama Zabok i Bednja.

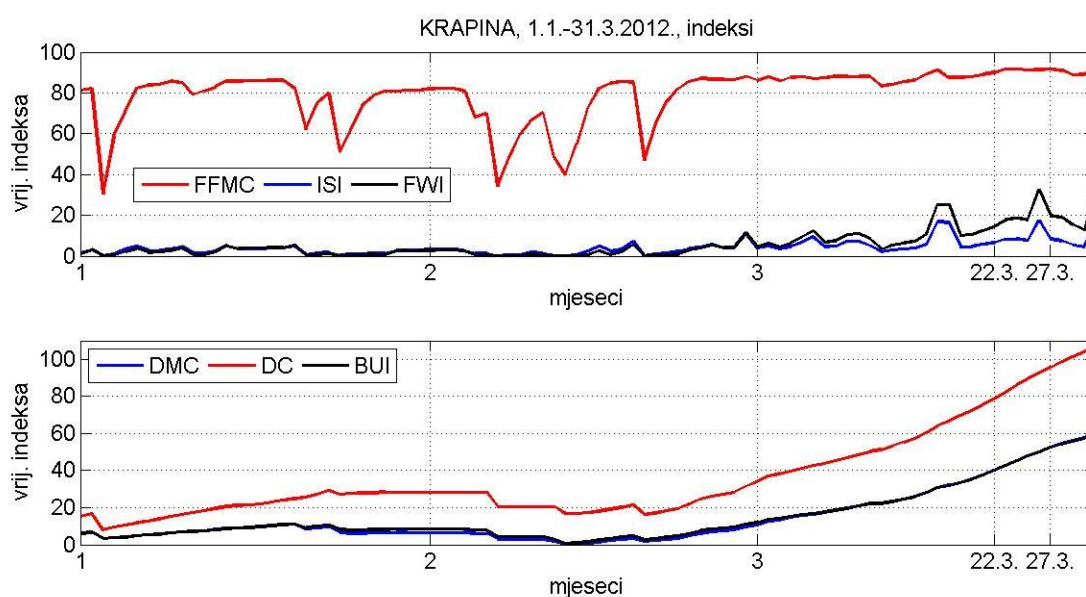
Uzevši u obzir sve četiri postaje, vidi se da je dan prije izbijanja požara postojala mala opasnost od izbijanja požara. Na sam dan izbijanja požara, opasnost je bila mala na tri postaje, osim za Zabok gdje je bila umjerena. Za ostale dane požara, opasnost je bila uglavnom umjerena. Velika opasnost od izbijanja požara je bila pretposljednog dana požara u Krapini kada je požar već bio u fazi dogašivanja.

U tablici 4.1, na slici 4.3 za postaju Krapina i u prilogu 1. slike 7.1.3–7.1.5 za postaje Zabok, Bednja i Varaždin vidi se da pokazatelj vlažnosti finog goriva (*FFMC*) ima visoke vrijednosti oko 90. To upućuje da je gorivi materijal u prvom sloju, kao što je lišće, bio iznimno suh, a time i lako zapaljiv. Indeks početnog širenja vatre (*ISI*) na dan izbijanja požara na tri postaje, osim u Bednji, ukazuje na sporo širenje požara brzinom od 1,5 m/min. Ostale dane *ISI* ukazuje na umjerenu brzinu širenja požara od 3 m/min. Zanimljivo je da je pretposljednog dana požara brzina širenja požara mogla porasti na 6,1 m/min dok je u Varaždinu bila moguća i brzina od 18,3 m/min. Razlog porasta *ISI* leži u tome da jako ovisi o brzini vjetra koja je pretposljednog dana požara porasla u Varaždinu na umjeren do jak vjetar.

Tablica 4.1. Ulazne meteorološke veličine (T – temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$), RV – relativna vlažnost zraka (%), V – brzina vjetra (m/s) i P – oborina (mm)) potrebne za određivanje indeksa meteorološke opasnosti od požara FWI ($FFMC$ – pokazatelj vlažnosti finog goriva, DMC – pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva, DC – pokazatelj vlažnosti krupnog goriva, ISI – indeks početnog širenja vatre i BUI – indeks ukupnog goriva) za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012.

Meteorološke veličine					Indeksi opasnosti od požara						
datum	T ($^{\circ}\text{C}$)	RV (%)	V (m/s)	P (mm)	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	opasnost
KRAPINA											
21.03.	19,0	38	2	0,0	89,0	37,5	75,3	5,7	37,4	12,5	mala
22.03.	20,0	35	2	0,0	89,9	39,8	78,6	6,4	39,7	14,2	mala
23.03.	22,6	28	2	0,0	91,6	42,7	82,3	8,3	42,6	17,8	umjerena
24.03.	22,3	32	2	0,0	91,7	45,4	86,1	8,3	45,3	18,5	umjerena
25.03.	20,3	39	2	0,0	91,2	47,7	89,4	7,7	47,5	17,9	umjerena
26.03.	17,9	27	4	0,0	91,4	50,0	92,3	17,4	49,8	32,6	velika
27.03.	18,2	26	2	0,0	91,6	52,5	95,3	8,3	52,3	19,8	umjerena
BEDNJA											
21.03.	17,4	39	2	0,0	88,7	34,8	55,8	5,4	34,6	11,6	mala
22.03.	19,2	36	3	0,0	89,6	37,1	59,0	8,8	36,8	17,4	umjerena
23.03.	21,6	31	3	0,0	91,0	39,7	62,6	10,7	39,5	20,8	umjerena
24.03.	21,1	32	3	0,0	91,0	42,3	66,1	10,8	42,0	21,5	umjerena
25.03.	19,0	38	3	0,0	90,9	44,4	69,2	10,7	44,1	21,9	umjerena
26.03.	16,8	28	4	0,0	91,0	46,6	71,9	16,5	46,3	30,4	umjerena
27.03.	18,1	30	3	0,0	91,1	48,9	74,9	10,9	48,6	23,3	umjerena
ZABOK											
21.03.	20,4	43	1	0,0	88,5	32,7	62,1	4,0	32,5	8,6	mala
22.03.	20,7	43	1	0,0	88,7	34,8	65,6	4,1	34,6	9,1	mala
23.03.	23,1	33	3	0,0	90,7	37,5	69,4	10,4	37,4	19,7	umjerena
24.03.	22,1	35	2	0,0	90,8	40,1	73,1	7,3	39,9	15,7	mala
25.03.	19,9	47	2	0,0	89,8	42,0	76,4	6,3	41,8	14,5	mala
26.03.	18,3	32	4	0,0	90,3	44,3	79,4	15,0	44,1	27,8	umjerena
27.03.	19,0	39	2	0,0	90,4	46,3	82,5	6,9	46,1	16,3	mala
VARAŽDIN											
21.03.	17,7	38	2	0,0	89,4	34,8	60,2	6,0	34,6	12,4	mala
22.03.	18,9	34	2	0,0	90,0	37,0	63,3	6,5	36,8	13,8	mala
23.03.	22,8	24	3	0,0	92,5	40,1	67,1	13,4	39,9	24,4	umjerena
24.03.	20,3	37	2	0,0	91,7	42,4	70,5	8,3	42,2	17,8	umjerena
25.03.	19,9	36	2	0,0	91,5	44,7	73,7	8,1	44,5	18,0	umjerena
26.03.	16,3	20	6	0,0	92,6	47,1	76,4	57,4	46,8	67,2	umjerena
27.03.	16,9	28	1	0,0	92,6	49,3	79,1	7,1	49,0	17,2	umjerena

Indeks ukupnog goriva (*BUI*) bio je oko 40 na dan izbijanja požara te nikako nije dosežao kritičnu vrijednost od 119, a ostale dane je *BUI* najviše dosego 52,3 i to u Krapini. Iz iskustva Kanadske šumarske službe (*Canadian Forestry Service*) za vrijednosti *FWI* od 24 javlja se vrlo jaka vatra u tzv. donjim slojevima šume (npr. Vučetić, 2001). Vrijednost indeksa *FWI* na početku požara bila je na svim postajama manja od 20. Ostale dane požara *FWI* je bio ispod kritične vrijednosti na svim postajama, osim predposljednjeg dana požara kad je dosego i drugu kritičnu vrijednost od 34. Za vrijednosti *FWI* od 34 i više, javlja se najgori oblik šumskog požara tzv. požar krošnji (*crown fire*). Tada plameni jezici mogu biti visoki i do 30 m ili 10 m viši od stabala što također ovisi i o tipu šume koja gori.



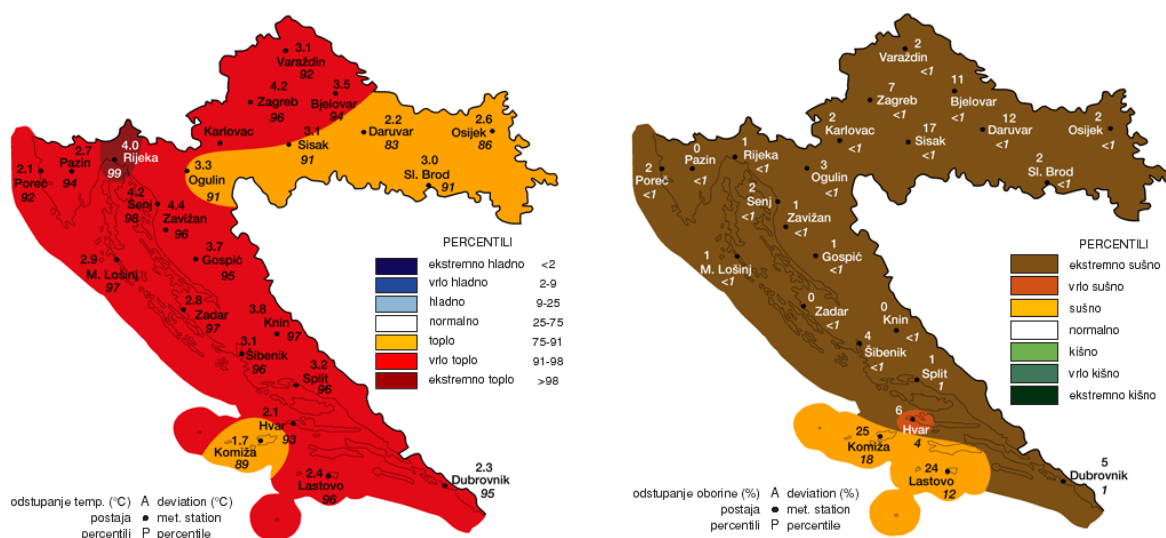
Slika 4.3. Indeksi kanadske metode za procjenu opasnosti od šumskog požara za Krapinu za razdoblje 1.1.–31.3.2012. Vertikalnim linijama označeno je vrijeme trajanja požara na Strahinjčici 22.–27.3.2012. Gore: pokazatelj vlažnosti finog goriva (*FFMC*), indeks početnog širenja (*ISI*) i indeks meteorološke opasnosti *FWI*. Dolje: pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*DMC*) i krupnog goriva (*DC*), te indeks ukupnog goriva (*BUI*).

Iz analize ovih indeksa može se zaključiti da je u požaru na Strahinjčici najviše bilo ugroženo fino gorivo, a manje srednje i krupno gorivo. Tome u prilog govori i činjenica da je požar ugašen za tri dana uz dogašivanje sljedeća tri dana. No, važno je naglasiti da je ovaj šumski požar bio izniman jer se dogodio u kontinentalnoj Hrvatskoj i nastupio je početkom proljeća, izvan požarne sezone, kada se ne očekuje ni umjerena, a kamo li velika opasnost požara raslinja. Pri obilasku sagorjele površine u veljači 2014., vatrogasci Javne vatrogasne postrojbe Krapina su nam rekli da je ljudska glupost započela požar tj. zbog paljenja korova u proljeće. Mi bismo samo nadodali da je ljudska mudrost i spretnost vatrogasaca, spriječila još

veću katastrofu, koja se mogla dogoditi, zbog toga što je pretposljednog dana požara, s pojačanjem vjetra, i vrijednost određenih indeksa znatno porasla. Dakle, to upozorava na puno veće posljedice da požar nije bio na vrijeme lokaliziran.

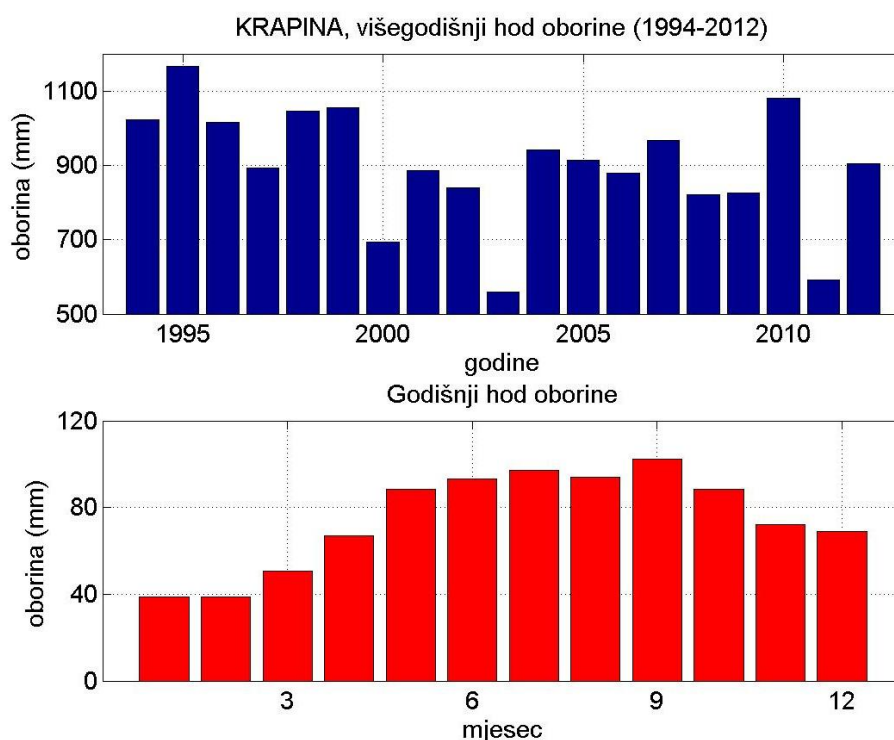
4.3. KLIMATSKA OCJENA OŽUJKA 2012. GODINE

Kao što smo vidjeli u potpoglavlju 4.1, ožujak 2012. imao je velik broj požara otvorenog tipa u unutrašnjosti zemlje. Tako se postavlja pitanje je li ožujak odstupao i u klimatskom smislu što je potpomoglo u nastanku požara. Na mrežnim stranicama DHMZ-a postoje karte Hrvatske s ocjenama tekućeg mjeseca, sezone i godine za temperaturu zraka i količinu oborine u odnosu na višegodišnji prosjek 1961.–1990. Na slici 4.4 može se vidjeti kako je ožujak 2012. godine na području Krapine (na temelju podataka za Zagreb-Maksimir i Varaždin) bio vrlo topao s temperaturama 3,1–4,2 °C iznad prosjeka i ekstremno suh s količinom oborine samo 2–7% višegodišnjeg prosjeka za ožujak. U prilogu 2. na slikama 7.2.1 i 7.2.2 može se vidjeti ocjena veljače 2012. i ocjena za godinu 2011. Tako je veljača na području Krapine bila hladna s temperaturama zraka -3.3– -3.7 °C ispod prosjeka i normalna do sušna s oborinom 46–90% višegodišnjeg prosjeka za veljaču. Godina 2011. bila je ekstremno topla s temperaturom zraka 1,7 °C iznad prosjeka i ekstremno sušna s količinom oborine 55–59% višegodišnjeg prosjeka.



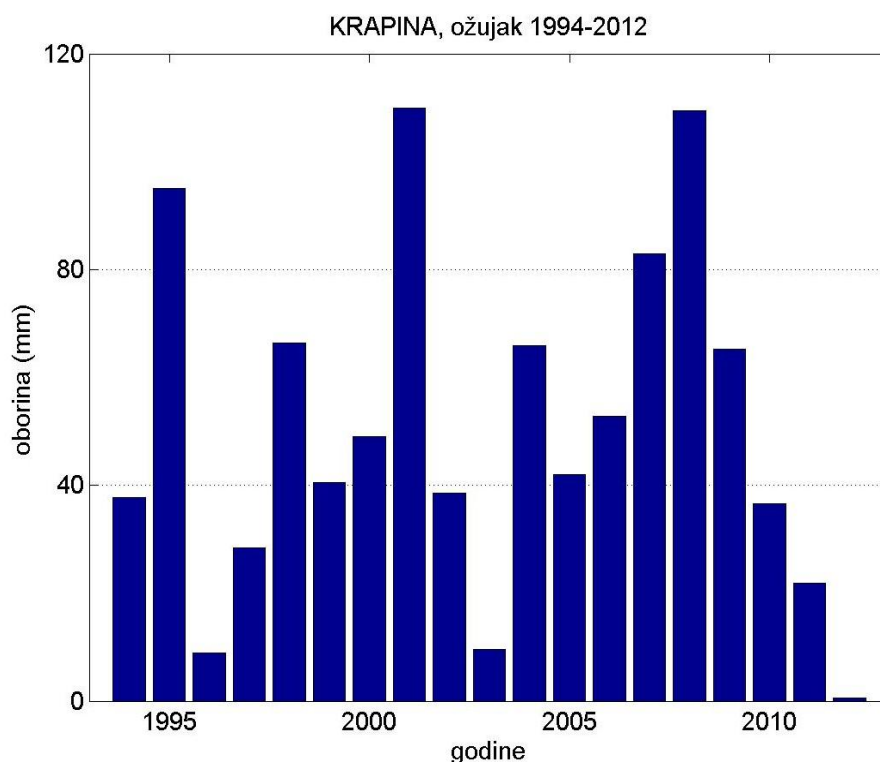
Slika 4.4. Odstupanja srednje mjesečne temperature zraka (°C, lijevo) i količine oborine (% , desno) za ožujak 2012. godine od višegodišnjeg prosjeka 1961.–1990. (izvor: http://klima.hr/ocjene_arhiva.php).

Analiza oborine s glavne meteorološke postaje Krapina za razdoblje 1994.–2012. pokazuje da je 2011. godina bila predzadnja po količini oborine u tom razdoblju (slika 4.5 gore). Prosječna količina oborine u ožujku je 50,6 mm (slika 4.5 dolje), a u ožujku 2012. je iznosila samo 0,6 mm (slika 4.6) i to je najsušniji ožujak posljednjih 19 godina od kada postoje mjerenja u Krapini. U prilogu 2. na slici 7.2.3 prikazan je broj dana s količinom oborine $\geq 0,1$ mm i ≥ 10 mm u razdoblju siječanj 2011. – ožujak 2012.



Slika 4.5. Višegodišnji hod količine oborine za Krapinu (gore) i godišnji hod srednje mjesečne količine oborine (dolje) za razdoblje 1994.–2012.

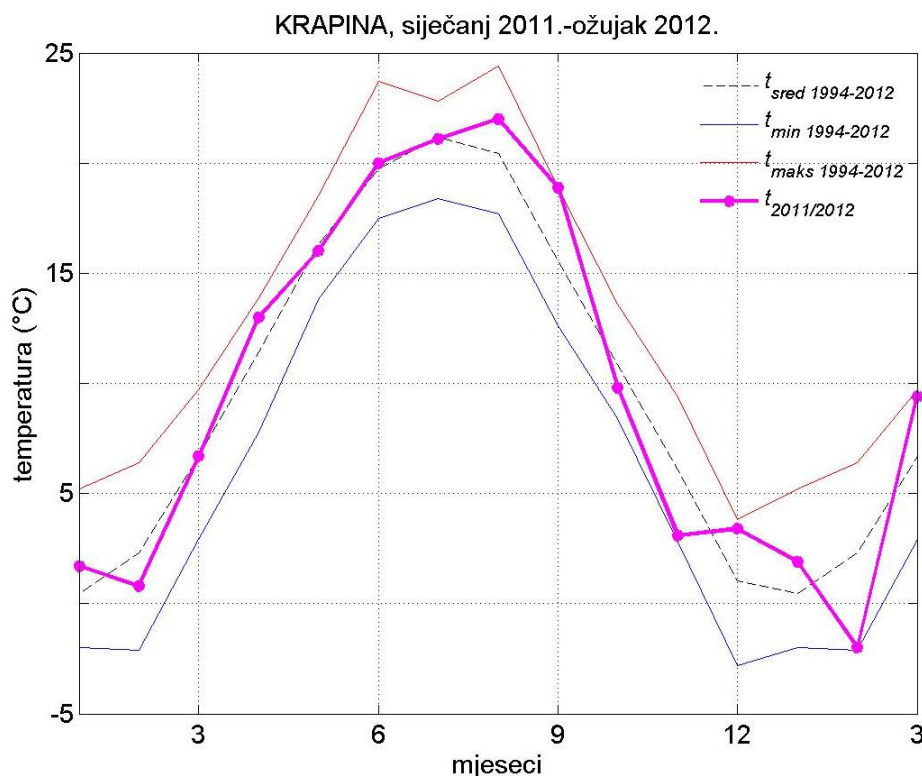
Višegodišnji hod broja dana s visinom snježnog pokrivača za pragove ≥ 1 cm te ≥ 10 cm za razdoblje 1994.–2012. nalazi se u prilogu 2. na slici 7.2.4. Na istoj slici prikazan je i godišnji hod srednjeg broja dana s visinom snježnog pokrivača za iste pragove i za isto razdoblje. Iz toga se može vidjeti kako je 2011. godine zabilježen najmanji broj dana sa snježnim pokrivačem. Srednji broj dana s visinom snježnog pokrivača ≥ 1 cm u ožujku je 2,5 dana, a za ≥ 10 cm je 0,5 dana. No, u ožujku 2012. takvih dana uopće nije bilo (prilog 1., slika 7.1.2).



Slika 4.6. Višegodišnji hod količine oborine za Krapinu za ožujak iz razdoblja 1994.–2012.

Za Krapinu, za razdoblje 1994.–2012., su analizirane i temperature zraka. Na slici 4.7 uočava se da je srednja mjesečna temperatura zraka u veljači 2012. bila $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a hladnija od nje je samo 2001. godina s $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za razliku od toga, ožujak 2012. bio je vrlo topao sa srednjom mjesečnom temperaturom od $9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koliko je bio topao pokazuje podatak da je ta vrijednost jednaka srednjoj maksimalnoj temperaturi zraka u ožujku iz višegodišnjeg razdoblja 1994.–2012. Ipak to nije bio najtopliji ožujak u promatranom razdoblju, već je to bio ožujak 1994. godine s $9,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Osim toga, zapaža se da su i prosinac 2011. i siječanj 2012. bili iznadprosječno topli, a kako je veljača 2012. bila iznimno hladna, ispada da je zima 2011/12. bila u granicama višegodišnjeg prosjeka.

U prilogu 2. na slici 7.2.5 nalazi se godišnji hod broja hladnih ($t_{min} < 0^{\circ}\text{C}$), ledenih ($t_{min} \leq -10\text{ }^{\circ}\text{C}$) i studenih dana ($t_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) te broja dana s temperaturom zraka na visini 5 cm iznad tla $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, u Krapini za razdoblje siječanj 2011. – ožujak 2012. Zanimljivo je primijetiti da se ledeni dani nisu pojavili cijelu 2011. godinu, a u veljači 2012. ih je bilo čak 11 dana. Kao što je već napomenuto, ožujak 2012. je u prosjeku bio vrlo topao i zabilježeno je samo 7 hladnih dana. Međutim, minimalna temperatura zraka na 5 cm iznad tla je ipak bila niža od 0°C tijekom 15 dana.

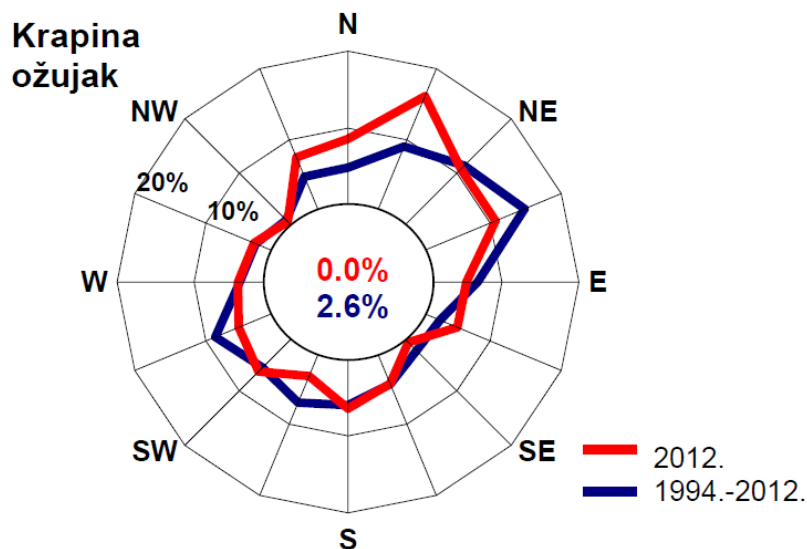


Slika 4.7. Godišnji hod višegodišnje srednje ($t_{sred\ 1994-2012}$, crna isprekidana crta), maksimalne ($t_{maks\ 1994-2012}$, crvena crta) i minimalne mjesečne temperature zraka ($t_{min\ 1994-2012}$, plava crta) za Krapinu iz razdoblja 1994.–2012. i srednje mjesečne temperature ($t_{2011/2012}$, ružičasta crta) za Krapinu za razdoblje siječanj 2011.–ožujak 2012.

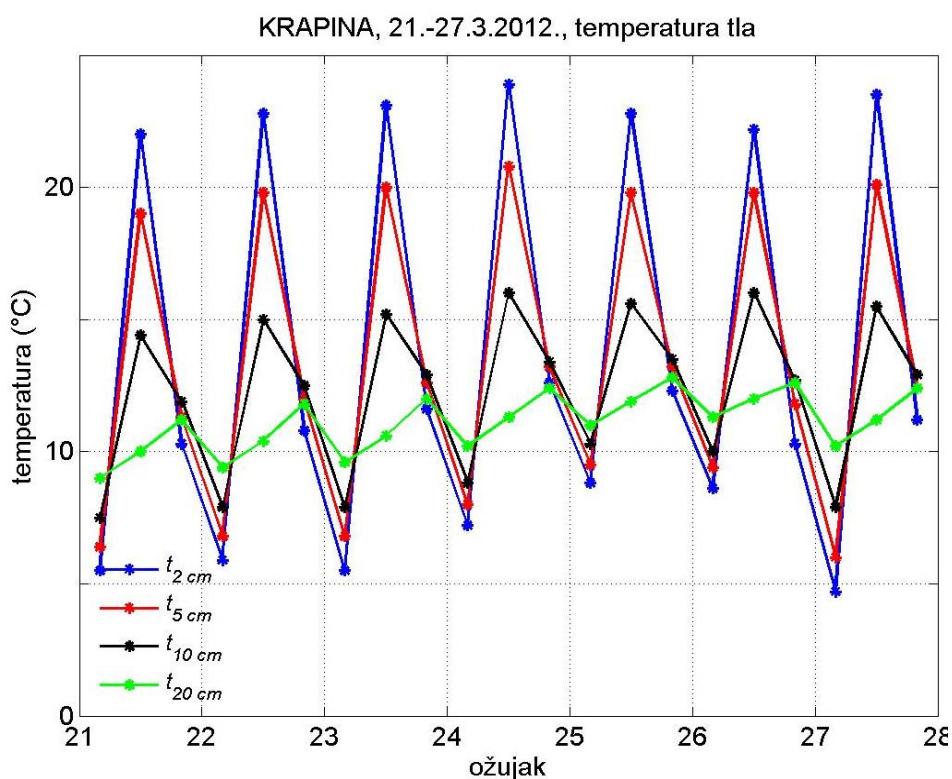
Usporedba relativne čestine smjera vjetra za Krapinu za ožujak 2012. s višegodišnjom učestalošću u ožujku 1994.–2012. pokazuje najveće pozitivno odstupanje od 7.1% za NNE smjer, a zatim 3.7% za N smjer (slika 4.8). U ožujku 2012. najviše je nedostajalo ENE smjera (–4.1%). Međutim, ako se promatra NE kvadrant (N–ENE smjerova), u ožujku 2012. je relativna čestina bila veća za 6.1%. Ostali smjerovi su inače manje zastupljeni, ali iz SSW smjera je bilo manje vjetra za 3,7% i iz WSW za 3.2% u ožujku 2012. Za SW kvadrant (S–WSW smjerovi) taj manjak je bio 5.8%. Iz svega slijedi da je u ožujku 2012. puhalo više vjetra iz NE kvadranta, a manje iz SW kvadranta u odnosu na višegodišnju učestalost vjetra.

Podatak o tome da je nakon požara pronađeno vruće kamenje u dubini i da je gorjelo duboko korijenje i krupni gorivi materijal, što je inače karakteristika požara u Dalmaciji, navodi nas na analizu temperature tla. Analizirane su temperature tla na dubinama od 2 cm, 5 cm, 10 cm i 20 cm za Krapinu u razdoblju 1994.–2012. (slika 4.9). U prilogu 2. na tablici 7.2.1 nalaze se minimalne, srednje i maksimalne temperature tla (°C) za Krapinu za ožujak u razdoblju 1994.–2012. na navedenim dubinama. Zapaža se kako je 2012. druga po redu

godina, odmah nakon najtoplije 1994., sa srednjim temperaturama tla od 9,8 °C na 2 cm, 9,6 °C na 5 cm i 8,8 °C na 10 cm dubine. U 2012. godini izmjerene su najveće maksimalne temperature tla od 16,7 °C na 10 cm i 13,4 °C na 20 cm dubine.



Slika 4.8. Ruža vjetra s relativnom čestinom (%) smjera vjetra za Krapinu za ožujak 2012. i za sve ožujke iz razdoblja 1994.–2012. U središtu je prikazana relativna čestina tišine.



Slika 4.9. Temperature tla (°C) u Krapini na dubinama od 2 cm (t_{2cm} , plava linija), 5 cm (t_{5cm} , crvena), 10 cm (t_{10cm} , crna) i 20 cm (t_{20cm} , zelena), izmjerene u 7, 14 i 21 h SEV. za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012.

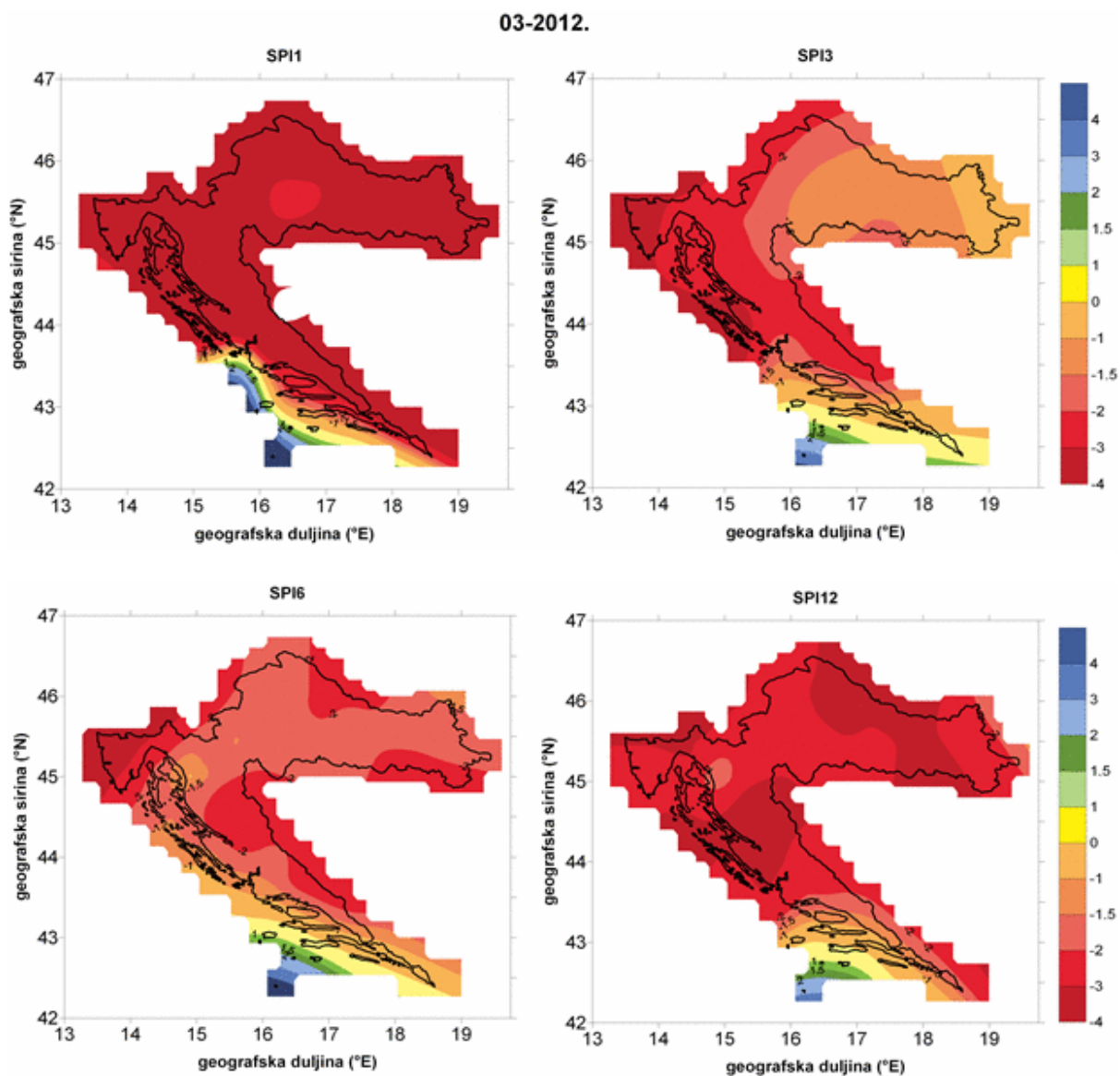
Tablica 4.2. . Izmjerena i višegodišnja srednja terminska (1994.–2012.) temperatura tla (°C) na dubinama od 2 cm, 5 cm, 10 cm i 20 cm za Krapinu u 7, 14 i 21 h SEV. za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012.

KRAPINA, temperatura tla (°C) 21.–27.3.2012.												
dubina	2 cm			5 cm			10 cm			20 cm		
datum	7 h	14 h	21 h	7 h	14 h	21 h	7 h	14 h	21 h	7 h	14 h	21 h
21.3.	5,5	22,0	10,3	6,4	19,0	11,3	7,5	14,4	11,9	9,0	10,0	11,2
22.3.	5,9	22,8	10,8	6,8	19,8	12,0	7,9	15,0	12,5	9,4	10,4	11,8
23.3.	5,5	23,1	11,6	6,8	20,0	12,6	7,9	15,2	12,9	9,6	10,6	12,0
24.3.	7,2	23,9	12,6	8,0	20,8	13,2	8,8	16,0	13,4	10,2	11,3	12,4
25.3.	8,8	22,8	12,3	9,5	19,8	13,2	10,3	15,6	13,5	11,0	11,9	12,8
26.3.	8,6	22,2	10,3	9,4	19,8	11,8	10,0	16,0	12,7	11,3	12,0	12,6
27.3.	4,7	23,5	11,2	6,0	20,1	12,4	7,9	15,5	12,9	10,2	11,2	12,4
KRAPINA, 1994.–2012.												
21.3.	3,2	12,6	5,8	3,8	10,7	6,5	4,5	8,3	7,0	6,1	6,8	7,4
22.3.	3,4	12,9	5,9	4,0	11,1	6,6	4,7	8,5	7,1	6,2	6,8	7,6
23.3.	3,3	13,6	6,4	3,8	11,8	7,0	4,6	9,0	7,6	6,2	6,9	7,8
24.3.	3,6	14,0	7,3	4,0	12,1	7,7	4,8	9,4	8,0	6,4	7,2	8,1
25.3.	4,6	14,6	7,9	4,8	12,7	8,4	5,4	10,0	8,8	6,8	7,8	8,6
26.3.	5,3	14,1	7,4	5,6	12,5	7,9	6,1	10,1	8,5	7,3	8,1	8,7
27.3.	4,6	13,2	7,1	5,0	11,8	7,7	5,7	9,6	8,2	7,3	7,9	8,5

Iz tablice 4.2 i priloga 2. slike 7.2.6 i 7.2.7 može se vidjeti kako je dan prije izbijanja požara i za vrijeme trajanja požara temperatura tla bila iznad višegodišnjeg prosjeka na sve četiri dubine. Temperatura gornjeg sloja tla mijenja se od minimuma ujutro do maksimuma koji je izmjeren u 14 h. Plići slojevi se zagrijavaju i hlade brže u odnosu na dublje, pa su rasponi veći na dubinama 2 cm i 5 cm (prilog 2., slika 7.2.6) nego što su na dubinama 10 cm i 20 cm što je u skladu s molekularno-difuznim prijenosom topline u tlu. Iako je šumski požar na Strahinjčici bio na samom početku proljeća, temperature tla su se ponašale prema ljetnom temperaturnom režimu kada su površinski slojevi tla topliji od dubljih slojeva. Iznimno je bilo to da su temperature tla u površinskom sloju tla bile više oko 10 °C od višegodišnjeg prosjeka u danima prije i za vrijeme požara. Tako visoka temperatura gornjih slojeva tla je svakako pogodovala nastanku i širenju šumskog požara.

Prostorna raspodjela standardiziranog oborinskog indeksa *SPI* je pomogla u analizi procjene sušnosti ne samo ožujka 2012., već i onoga što je prethodilo godinu dana prije (slika 4.10). Vrijednosti indeksa proračunatih iz mjesečnih količina oborine, još jednom potvrđuju pomoću *SPI1*, da se na području Krapine radilo o ekstremno suhom ožujku 2012. *SPI3* ukazuje na vrlo suho tromjesečje siječanj–ožujak 2012. *SPI6* prikazuje vrlo suho razdoblje listopad 2011. – ožujak 2012., a *SPI12* da je 11 mjeseci koji su prethodili požaru na Strahinjčici i mjesec ožujak u kojem se požar dogodio, bili ekstremno suhi.

Ako tome nadodamo prethodnu analizu o vrlo malim količinama oborine, o iznadprosječnim temperaturama zraka, više vjetra iz NE kvadranta u odnosu na višegodišnju učestalost vjetra te iznadprosječnim temperaturama tla u gornjim slojevima, može se zaključiti kako je ožujak 2012. odstupao u svim meteorološkim elementima i bio vrlo povoljan za izbijanje požara.



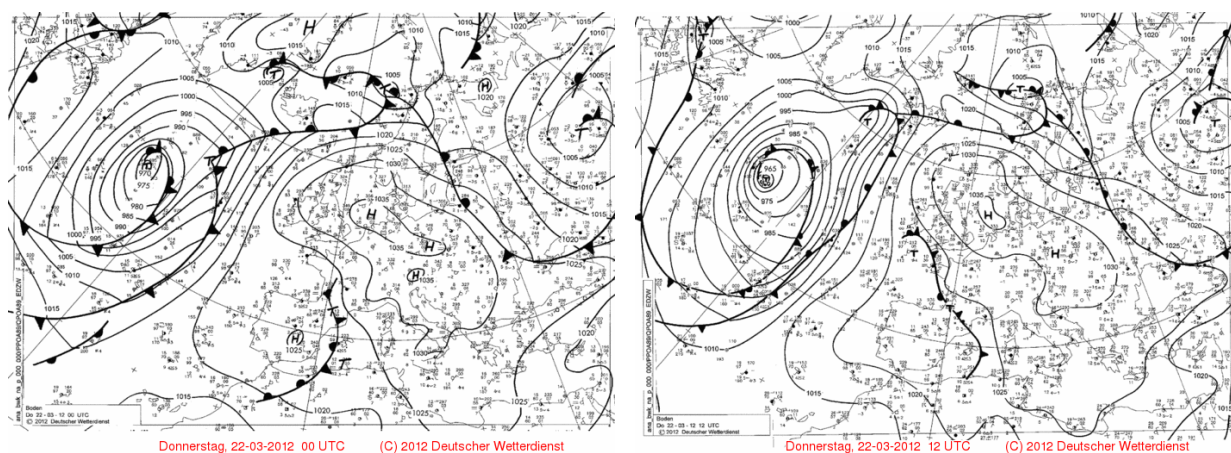
Slika 4.10. Prostorna razdioba standardiziranog oborinskog indeksa *SPI* za ožujak 2012. godine (*SPI1* gore lijevo, *SPI3* gore desno, *SPI6* dolje lijevo, *SPI12* dolje desno).

Legenda: $\geq 2,00$ (plavo): ekstremno vlažno, $1,50-1,99$ (tamno zeleno): vrlo vlažno, $1,00-1,49$ (svijetlo zeleno): umjereno vlažno, $-0,99-0,99$ (svijetlo narančasto i žuto): u granicama normale, $-1,00- -1,49$ (tamno narančasto): umjereno suho, $-1,50- -1,99$ (svijetlo crveno): vrlo suho, $-2,00 \leq$ (crveno i tamno crveno): ekstremno suho (izvor: <http://klima.hr/spi.php?id=prostorna&G odina=2012&Mjesec=03>).

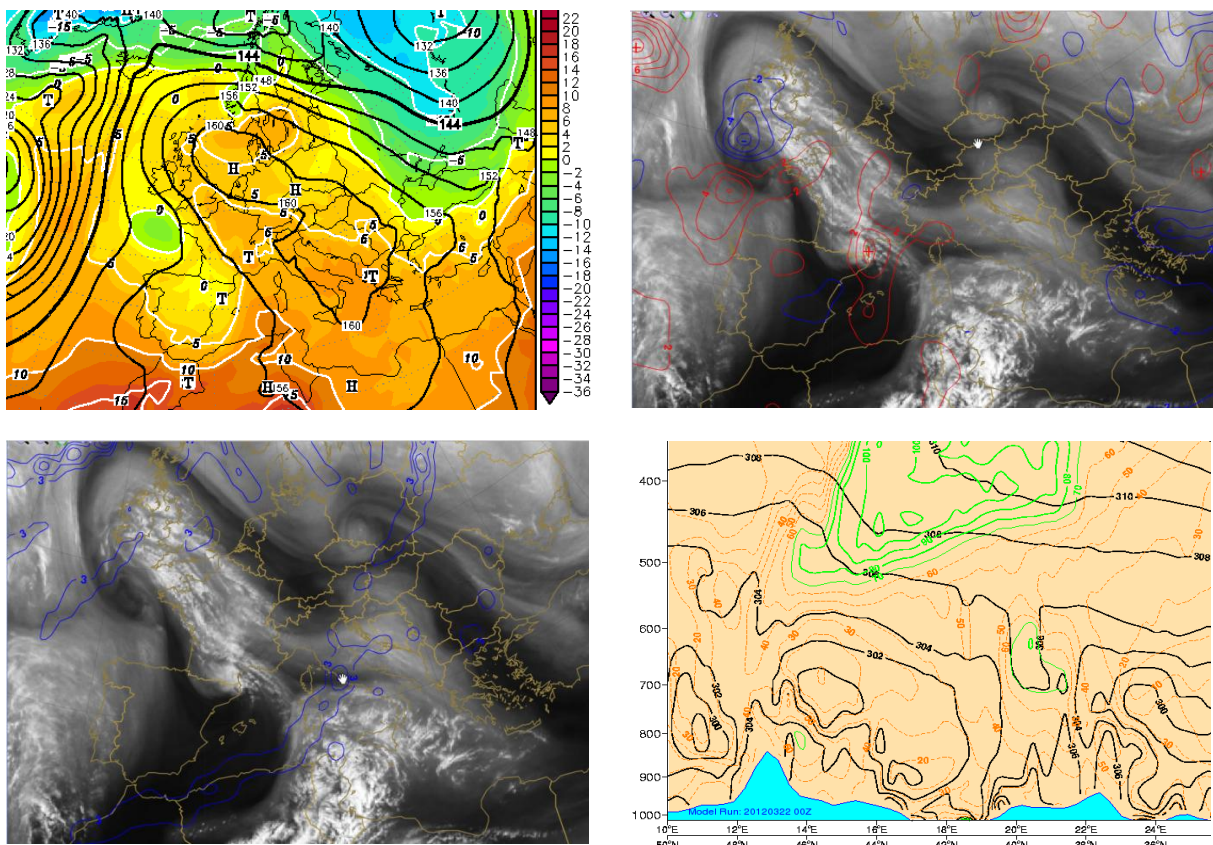
4.4. VREMENSKE ZNAČAJKE U SINOPTIČKIM RAZMJERIMA

U noći 21/22.3.2012. se od Velike Britanije do Grčke prostiralo polje visokog tlaka zraka s dva područja sa zatvorenom izobarom od 1035 hPa i nad Pirenejskim poluotokom sa zatvorenom izobarom od 1025 hPa (slika 4.11 lijevo). Istodobno se na zapadnom Sredozemlju formirala ciklona koja je do sredine dana ojačala, a polje visokog tlaka je oslabilo (slika 4.11 desno). S obzirom da nije postojao značajan gradijent tlaka nad unutrašnjosti Hrvatske, puhao je slab vjetar.

Takvu prizemnu sinoptičku situaciju je na visini od 850 hPa pratilo polje visokog tlaka zraka nad cijelom srednjom Europom uz temperature zraka oko 6 °C nad unutrašnjosti Hrvatske (slika 4.12 gore lijevo). Prikazana je i satelitska snimka (druge generacije Meteosat satelita, *Meteosat Second Generation*) u spektru vodene pare. Tamne pruge sjeverno i istočno od Hrvatske predstavljaju područja mlazne struje i mjesta spuštanja suhog stratosferskog zraka. Na slici 4.12 (gore desno) se vidi da nije bilo horizontalne advekcije temperature na plohi od 700 hPa za vrijeme požara. Na istoj slici 4.12 (dolje lijevo) prikazan je i termalni frontalni parametar koji prikazuje postojanje slabe fronte sjeveroistočno i jugozapadno od unutrašnjosti Hrvatske. Da je na početku požara zrak bio vrlo suh vidi se i na vertikalnom presjeku od Alpa duž jadranske obale (slika 4.12 dolje desno) relativne vlažnosti zraka gdje je relativna vlažnost zraka bila ispod 40% do visine od 600 hPa.

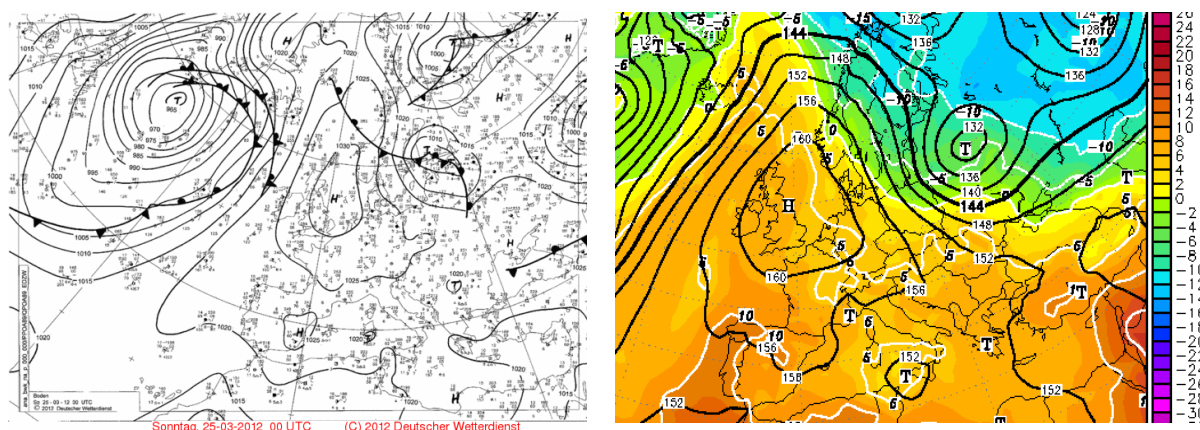


Slika 4.11. Prizemna sinoptička karta nad Europom 22.3.2012. u 00 UTC (lijevo) i 12 UTC (desno) (izvor: <http://www.wetter3.de/Archiv/>).

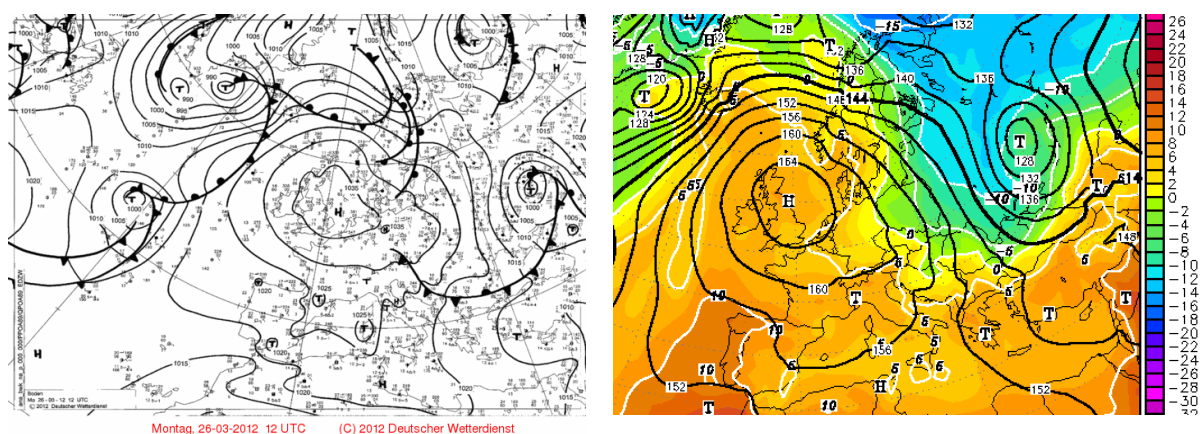


Slika 4.12. Europa 22.3.2012. u 12 UTC. AT 850 nad Europom uz prikaz temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$) (gore lijevo) (izvor: <http://www.wetter3.de/Archiv/>), satelitska snimka u spektru vodene pare uz prikaz horizontalne advekcije temperature na 700 hPa (crvene izolinije topla, a plave hladna advekcija) (gore desno), termalni frontalni parametar (dolje lijevo) i prikaz relativne vlažnosti zraka na vertikalnom presjeku od Alpa duž jadranske obale (smeđe izolinije suh, zelene vlažan zrak, a crne su izentropie) (dolje desno) (izvor: <http://www.eumetrain.org/eport>).

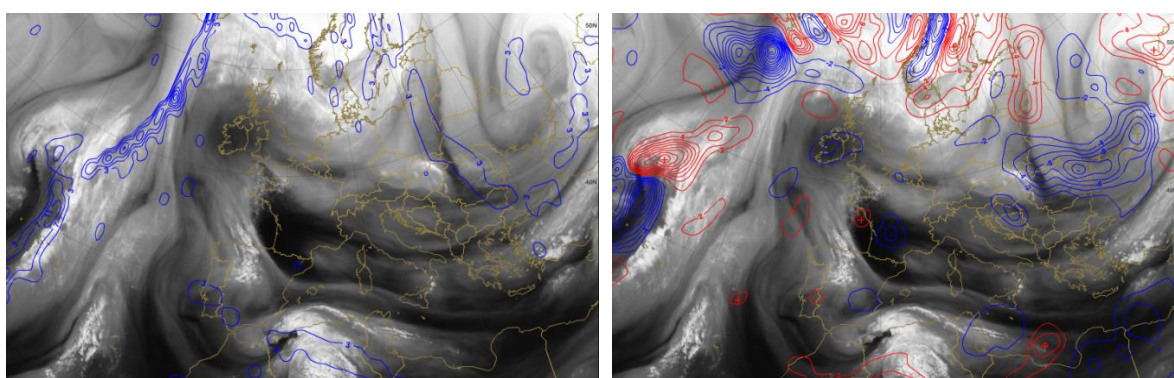
Sljedećih dana se unutrašnjost Hrvatske i dalje nalazila pod poljem visokog tlaka zraka od 1025 hPa, a satelitske snimke nisu pokazale postojanje fronti ni horizontalne advekcije temperature. Dana 25. ožujka u 00 UTC vidi se anticiklona nad Sjevernim morem sa zatvorenom izobarom od 1030 hPa i ciklona nad Finskom sa središtem od 1010 hPa (slika 4.13 lijevo). Oba barička sustava vidljiva su i na visinskoj karti od 850 hPa u 12 UTC (slika 4.13 desno). Veliki gradijent tlaka zraka između ta dva sustava ukazuje na jak vjetar u donjoj troposferi, a izražen je i gradijent temperature zraka. Sljedećeg dana 26. ožujka 2012. u 12 UTC je anticiklona ojačala sa središtem od 1035 hPa, a središte ciklone se pomaklo prema Ukrajini i produbilo do 995 hPa (slika 4.14 lijevo).



Slika 4.13. Prizemna sinoptička karta nad Europom 25.3.2012. u 00 UTC (lijevo) i AT 850 u 12 UTC uz prikaz temperature zraka (°C) (desno) (izvor: <http://www.wetter3.de/Archiv/>).



Slika 4.14. Prizemna sinoptička karta nad Europom 26.3.2012. u 12 UTC (lijevo) i AT 850 u 12 UTC uz prikaz temperature zraka (°C) (desno) (izvor: <http://www.wetter3.de/Archiv/>).



Slika 4.15. Satelitska snimka u spektru vodene pare za Europu 26.3.2012. u 12 UTC. Termalni frontalni parametar (lijevo) i horizontalna advekcija temperature na 700 hPa (crvene izolinije – topla, a plave – hladna advekcija) (desno), (izvor: <http://www.eumetrain.org/eport/>).

Hladna fronta se 26.3.2012. u popodnevnim satima premještala sa sjevera prema jugu istočno od Hrvatske što se vidi i na satelitskoj snimci pomoću termalnog frontalnog parametra (slika 4.15 lijevo). Gradijent tlaka zraka koji je nastao između baričkih sustava uzrokovao je pojačanje vjetra koje je zabilježila najsjevernija promatrana postaja Varaždin. Tamo je vjetar jačao od slabog na umjereni do jakog. Na visinskoj karti 850 hPa mogu se vidjeti oba barička sustava. Prodor hladnog zraka sa sjevera najviše je zahvatio istok Hrvatske (slika 4.14 desno), a na satelitskoj snimci zabilježena je advekcija hladnog zraka (slika 4.15 desno).

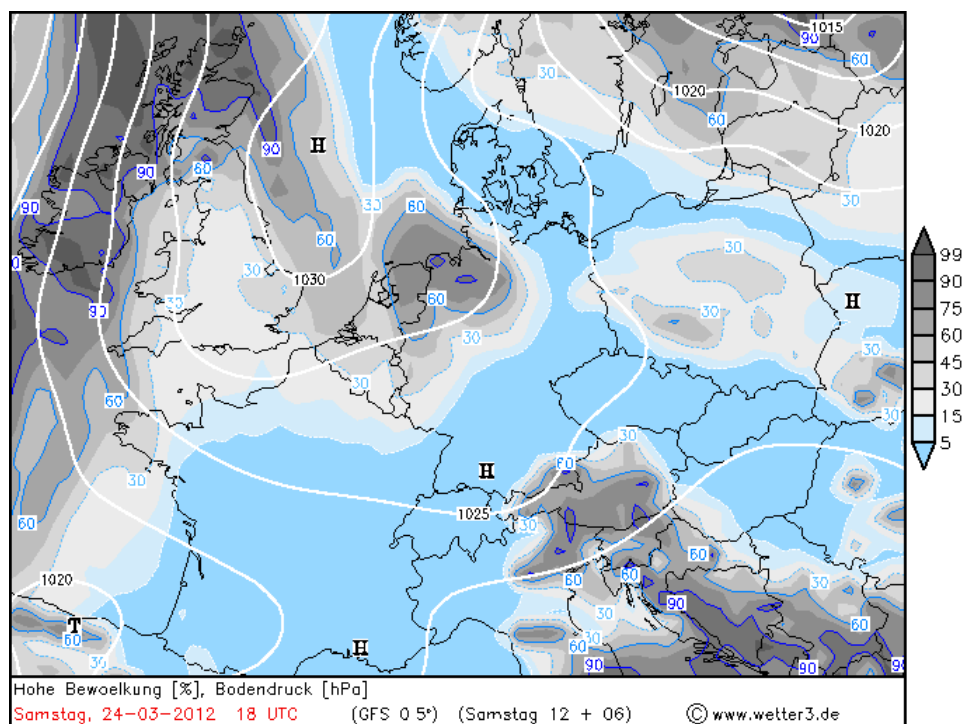
Iz prethodne analize može se zaključiti da polje visokog tlaka zraka, slab vjetar, nepostojanje horizontalne advekcije temperature i frontalnih sustava na početku požara nisu ukazali na vremensku situaciju koja bi posebno pogodovala nastajanju šumskog požara. Sinoptičke analize za vrijeme velikih požara na Jadranu su upravo ukazale da približavanje hladne fronte i jak vjetar u donjoj troposferi pogoduju izbijanju požara na otvorenom (npr. Vučetić i sur., 2007). Stoga je najpovoljnija situacija za izbijanje i širenje požara na Strahinjčici nastupila pretposljednog dana požara 26.3.2012., kada je došlo do promjene vremena, no požar je tada već bio u fazi dogašivanja.

4.5. PRIZEMNA PROSTORNA I VREMENSKA MEZOANALIZA

4.5.1. Dnevni hodovi temperature i relativne vlažnosti zraka te vjetra

Naoblaka (izražena u postocima) za sjeverozapadnu Hrvatsku je analizirana pomoću karata Njemačke meteorološke službe (DWD) i motrenja vrste oblaka na glavnoj meteorološkoj postaji Krapina. Zbog velikog broja karata prikazana je karta samo s najvećom naoblakom od 24.3.2012. (slika 4.16). Prvog dana izbijanja požara 22.3.2012., vrijeme je bilo pretežno vedro prekriveno srednjim (5–15%) i visokim oblacima (15%) pod utjecajem visokog tlaka zraka. Nad krapinskim područjem su u jutarnjim satima prevladavali *Ac*, a poslije *Ci*. Vidljivost je bila vrlo dobra do udaljenosti od 25 km. Drugog dana požara 23.3.2012. je bilo promjenjivo oblačno uz naoblaku 45–60% s *Ac*, *Cc* i *Ci*. Trećeg dana 24.3.2012. promjenjivo oblačno se nastavilo s *Ac* (5–30%) i *Ci* (30–60%), a u popodnevnim satima razvili su se *Cu* i poslije *Sc* iznad Krapine. Razvedranje počinje četvrtog dana požara 25.3.2012., a iznad područja zahvaćeno šumskim požarom bilo je potpuno vedro i suho sve do

kraja požara 27.3.2012. godine. Za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici niskih konvektivnih oblaka bilo je samo trećeg dana požara što ukazuje i na izraženiju konvekciju toplog zraka.



Slika 4.16. Prostorni prikaz naoblake (%) za visoke oblake na području srednje Europe za 24.3.2012. u 18 UTC (bijelo – izobare, osjenčano – naoblaka (izvor: <http://www.wetter3.de/Archiv/>).

Najviša točka gore Strahinjčica je vrh Sušec, 846 m, a za daljnju analizu dnevnih hodova temperature i relativne vlažnosti zraka te brzine i smjera vjetra, korišteni su podaci automatskih mjerenja s glavne meteorološke postaje Krapina koja se nalazi na 241 m nadmorske visine jugozapadno od Strahinjčice. U tablici 4.3 nalaze se minimalne, maksimalne i srednje dnevne temperature zraka, te relativna vlažnost zraka u 14 SEV i srednja dnevna relativna vlažnost, za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara 22.–27.3.2012. godine. Prvog dana požara nije zabilježena najveća temperatura zraka ni najniža relativna vlažnost zraka u promatranoj vremenskoj situaciji. No, maksimalnih 21,5 °C ukazuje na toplo vrijeme za to doba godine, a relativna vlažnost zraka od 38% u 14 h na suho vrijeme, koji su pogodovali nastajanju požara. Maksimalna temperatura zraka zabilježena je drugog dana požara i iznosila je 23,3 °C. Srednja dnevna temperatura zraka je rasla sve do četvrtog dana požara kada je iznosila 15,7 °C, nakon čega se s prodorom hladnog zraka sa sjevera smanjuje na 11,9 °C. Srednja dnevna relativna vlažnost smanjivala se s 56% prvog dana požara do 34% pretposljednog dana požara što je posljedica prolaska hladne fronte istočno od unutrašnjosti Hrvatske.

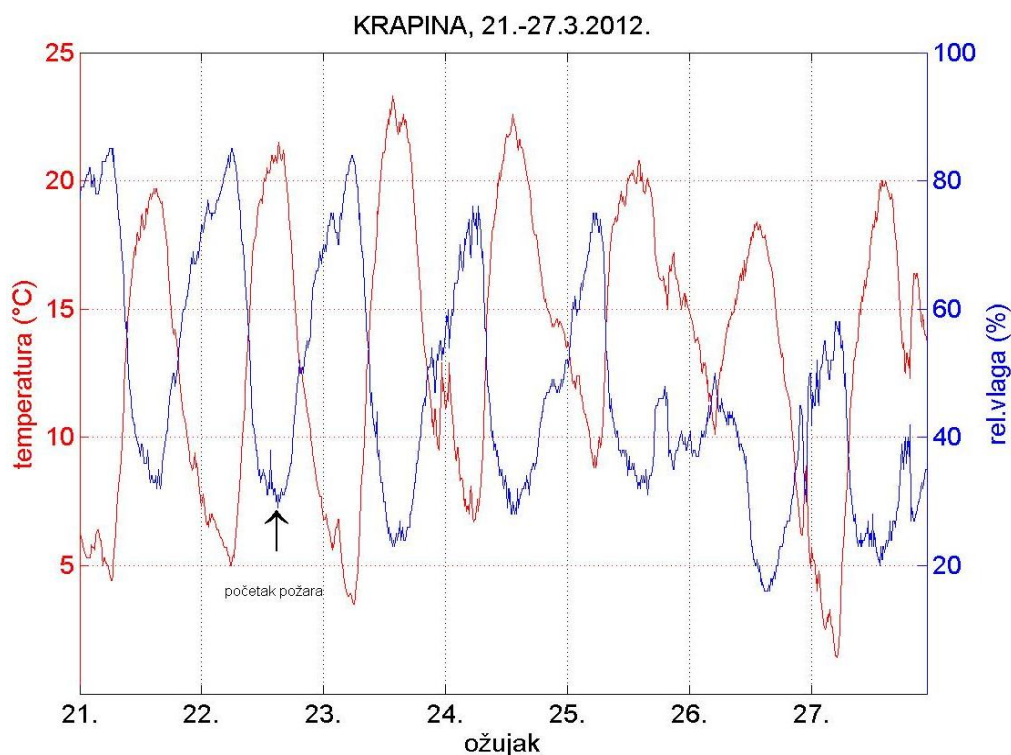
Tablica 4.3. Minimalna, T_{min} (°C), maksimalna, T_{maks} (°C) i srednja dnevna, T_{sred} (°C), temperatura zraka te relativna vlažnost zraka, $RV_{14 SEV}$ (%) u 14 SEV i srednja dnevna relativna vlažnost, RV_{sred} (%) prema automatskim mjerenjima na glavnoj meteorološkoj postaji Krapina za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012. Ljetno ukazno vrijeme, LJUV, vrijedi od 25.3.2012. na način da se na SEV dodaje 1 h.

KRAPINA					
datum	T_{min} (°C)	T_{maks} (°C)	T_{sred} (°C)	$RV_{14 SEV}$ (%)	RV_{sred} (%)
21.3.	4,4	19,7	11,8	34	59
22.3.	5,0	21,5	12,6	38	56
23.3.	3,5	23,3	13,3	24	51
24.3.	6,7	22,6	15,0	30	49
25.3.	8,8	20,8	15,7	36	48
26.3.	6,2	18,4	13,8	20	34
27.3.	1,4	20,0	11,9	22	36

Na slici 4.17 prikazan je dnevni hod srednje 10-minutne temperature zraka i relativne vlažnosti zraka za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara. Na početku požara vidi se neporemećen uobičajen suprotan hod temperature zraka od relativne vlažnosti zraka. Jačanjem anticiklone sjeverozapadno od Hrvatske i premještanjem hladne fronte prema jugu, vidi se kako dolazi do pada temperature zraka i do smanjenja relativne vlažnosti zbog čega se remeti uobičajeni dnevni hod. Tako je 26.3.2012. zabilježena relativna vlažnost zraka od samo 16% između 16 i 17 h, a idućeg jutra 27.3.2012. je minimalna temperatura iznosila samo 1,4 °C.

Na početak i širenje požara, osim temperature zraka i relativne vlažnosti zraka, utječe i brzina te smjer vjetra. Iz tog razloga analizirane su srednje 10-minutne brzine vjetra i prevladavajući smjer vjetra unutar 10 minuta, te maksimalni udari vjetra. Prvog dana požara 22.3.2012. maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra iznosila 2,5 m/s uz najjači udar vjetra od 6,4 m/s. Obje vrijednosti zabilježene su između 16 i 18 h kada je požar neposredno izbio i bio u početnoj fazi gašenja. Sljedeća tri dana (23.–25.3.2012.) puhao je slab vjetar s maksimalnom srednjom 10-minutnom brzinom od 4,8 m/s uz umjerene do jake udare vjetra s maksimalnim udarom od 10,6 m/s u večernjim satima 25.3.2012. Sljedećeg dana 26.3.2012., kao što je spomenuto u prošlom potpoglavlju, je gradijent tlaka između ciklone sjeveroistočno i anticiklone sjeverozapadno od Hrvatske bio najjači. Zbog toga je istog dana zabilježena maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra od 7 m/s s jakim udarima vjetra, najviše do 12,8 m/s. Međutim, u to vrijeme šumski požar je već bio lokaliziran i spriječeno je da se požar nije proširio još na veću površinu. Ovdje se pokazuje koliko je važno pravovremeno djelovati u čemu znatno može pomoći vatrogascima meteorološka služba u dobivanju

specijaliziranih vremenskih prognoza i procjena opasnosti od šumskih požara za područje zahvaćeno požarom.

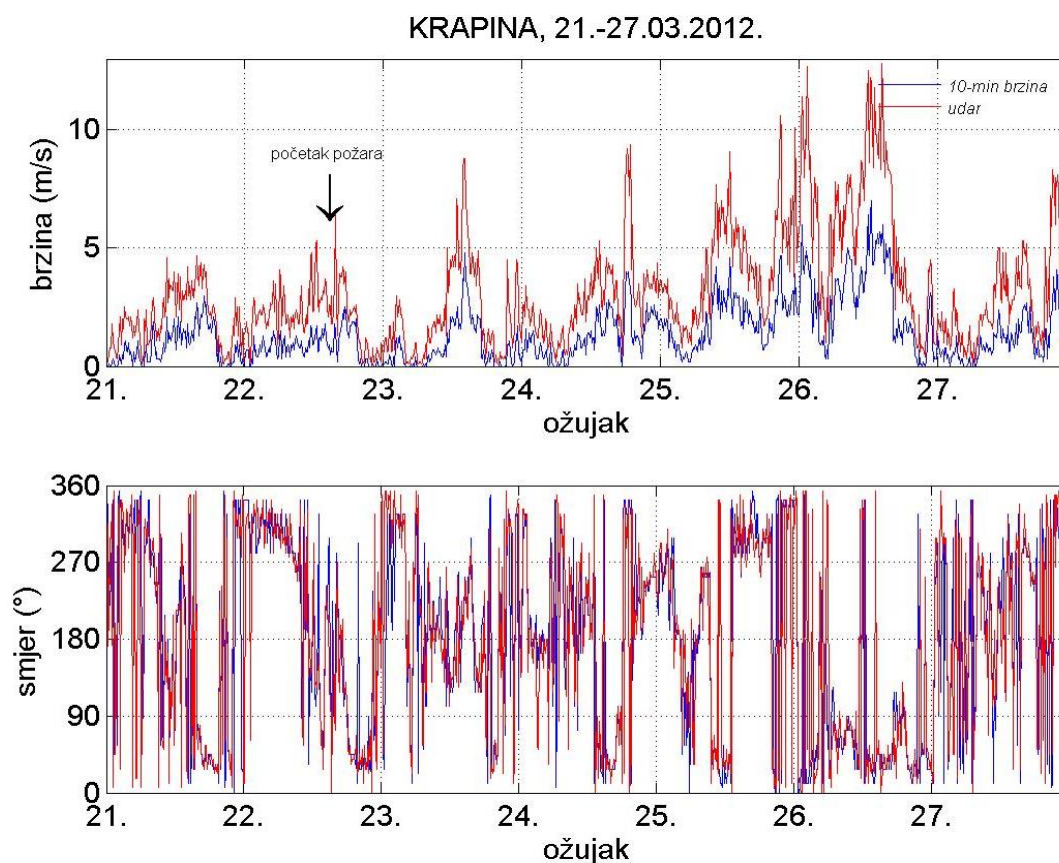


Slika 4.17. Dnevni hod srednje 10-minutne temperature zraka (crveno) i relativne vlažnosti zraka (plavo), za automatsku postaju Krapina, za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara 22.–27.3.2012. godine.

Tablica 4.4. Maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra, $V_{maks\ 10}$ (m/s), maksimalni udar vjetra, V_{udar} (m/s) i vrijeme njihovog nastupa prema srednjem europskom vremenu, SEV (h), na automatskoj postaji Krapina za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012. Ljetno ukazno vrijeme, LJUV, vrijedi od 25.3.2012. na način da se na SEV dodaje 1 h.

KRAPINA				
datum	$V_{maks\ 10}$ (m/s)	SEV (h)	V_{udar} (m/s)	SEV (h)
21.3.	3,0	17:10	4,7	16:00
22.3.	2,5	17:50	6,4	16:10
23.3.	4,8	14:40	8,8	14:30 14:40
24.3.	4,0	18:50 19:10	9,4	19:30
25.3.	4,7	21:40 21:50	10,6	21:40
26.3.	7,0	13:40	12,8	15:30
27.3.	4,1	22:00	8,3	21:10

Iz dnevnog hoda srednje 10-minutne brzine vjetra (slika 4.18 gore), vidi se da je uobičajeni dnevni hod brzine vjetra takav da je brzina minimalna noću, a maksimalna sredinom dana. Takav hod je zadržan prva dva dana požara (22.–23.3.2012.) nakon čega je poremećen. Maksimalni udari vjetra svakog poslijepodneva su bili sve veći, da bi u noći 25/26.3.2012., srednje 10-minutne brzine vjetra i udari vjetra bili približno jednaki onima u poslijepodnevima. Nakon prolaska hladne fronte istočno od unutrašnjosti Hrvatske, vjetar je oslabio krajem 26.3.2012. Smjer vjetra (slika 4.18 dolje) bio je vrlo promjenjiv sve dane požara. Zbog toga se ne može točno odrediti prevladavajući smjer vjetra na više od nekoliko sati. Prema izjavama vatrogasaca, to im je stvaralo velike poteškoće pri gašenju požara jer je i vatra stalno mijenjala svoj smjer širenja. Od poslijepodneva 25.3.2012. NW vjetar počinje jačati, da bi noću 25/26.3.2012. okrenuo na N te sredinom dana na NE smjer. To okretanje smjera vjetra ukazuje na prodor hladnog zraka sa sjevera što se već prije uočavalo i na sinoptičkim kartama.



Slika 4.18. Dnevni hod srednje 10-minutne brzine vjetra (plavo) kao i udari vjetra (crveno) unutar 10 minuta (gore) te prevladavajući smjer vjetra unutar 10 minuta (dolje), za automatsku postaju Krapina, za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara 22.–27.3.2012. godine.

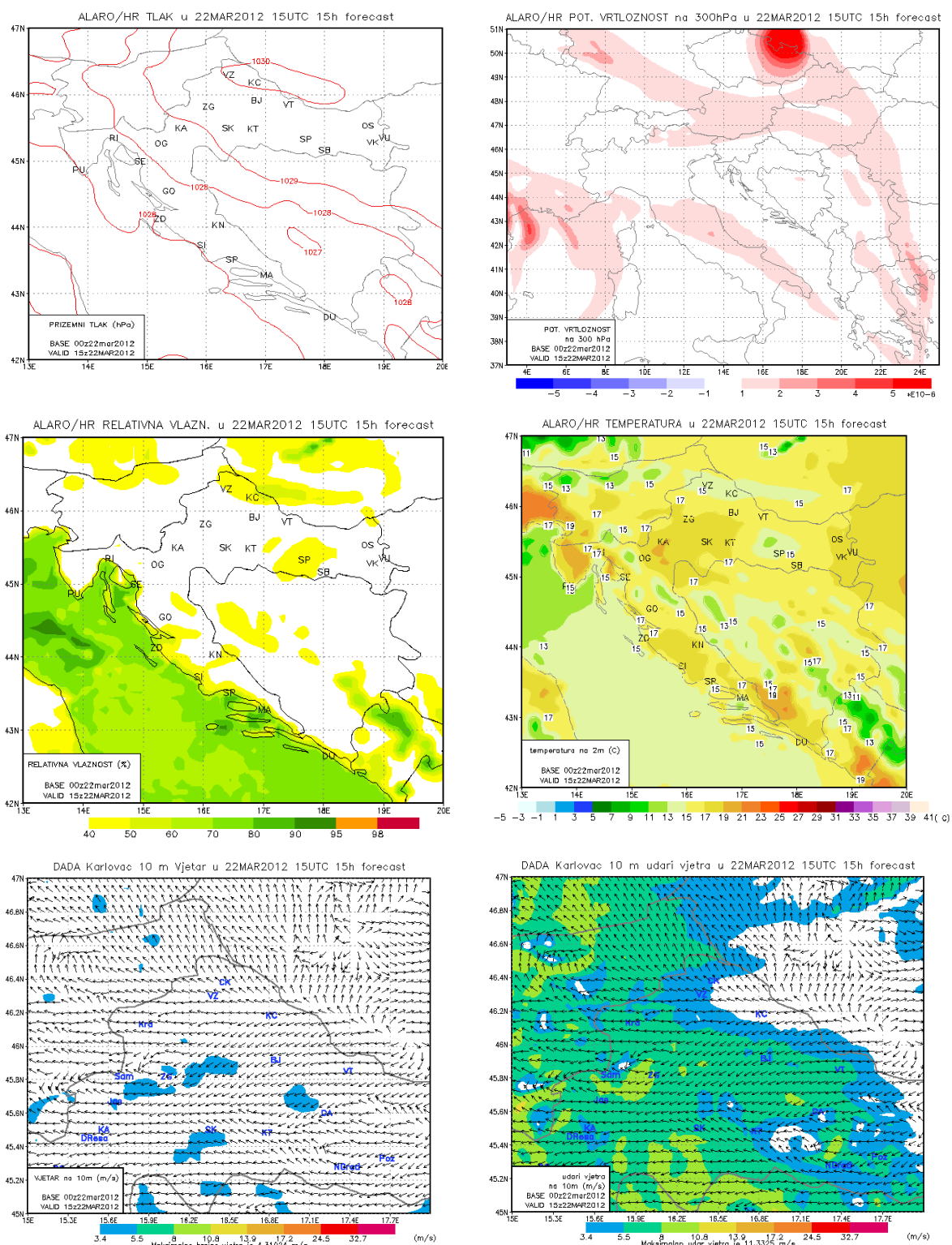
4.5.2. Analiza produkata modela ALADIN/HR

Modelom ALADIN/HR mogu se dobiti razna prostorna prognozirana i analizirana polja s horizontalnom razlučivosti od 8 km svaka 3 sata. Produkt ovog modela su i modelirani vertikalni profili atmosfere tzv. pseudotempovi, koji će posebno biti obrađeni u sljedećem potpoglavlju 4.6. Za početak požara promatrana su polja 22.3.2012. u 15 UTC, što odgovara lokalnom vremenu 16 h (SEV) budući da je požar buknuo, prema analizi intervencije, oko 15 h.

Prognozirano polje tlaka zraka (slika 4.19 gore lijevo) pokazuje da je visoki tlak zraka zahvatio cijelu Hrvatsku. Duž Jadrana se protezala izobara od 1028 hPa, a idući prema sjeveru tlak zraka je blago porastao. Na granici s Mađarskom, zahvaćajući i varaždinsko područje, bilo je središte anticiklone od 1030 hPa što je u skladu s vrijednostima tlaka zraka na sinoptičkoj karti u 12 UTC iz potpoglavlja 4.4. Zbog ovakve raspodjele tlaka zraka nema potencijalne vrtložnosti na 925, 850, 700 ni 500 hPa iznad Hrvatske (karte nisu prikazane). Jedino se na plohi od 300 hPa uočava ciklonalna vrtložnost sjeverno od Hrvatske. Dvije pruge s malom ciklonalom vrtložnošću sjeverno i istočno od Hrvatske podudaraju se tamnim prugama na satelitskim slikama u spektru vodene pare (slika 4.12) ukazujući na pritjecanje suhog zraka. Simulirana relativna vlažnost zraka ispod 40% u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (slika 4.19 sredina lijevo) podudara se s izmjerenom vrijednosti na postaji Krapina. Minimalna relativna vlažnost zraka u popodnevnim satima se zadržala i u ostale dane požara ispod 40% (prilog 3., slika 7.3.1). Jedini dan kada su vrijednosti bile nešto više (40–50%) je 24.3.2012. Za razliku od toga, 26.3.2012. relativna vlažnost je bila niska još i u večernjim satima.

Prognozirana temperatura zraka (slika 4.19 sredina desno) prvog dana požara pokazuje kako je nad krapinskim područjem bilo 15–17 °C u 15 UTC dok je na meteorološkoj postaji izmjereno 20,9 °C. Da model podcjenjuje maksimalne temperature zraka, pokazano je npr. i 24.3.2012. (slika nije prikazana). Tada je prognozirana temperatura zraka bila 15–17 °C, a izmjereno je znatno više (22,6 °C). S druge strane, modelirane minimalne temperature zraka su precijenjene. Npr. 27.3.2012. prognozirana temperatura zraka je bila 3–5 °C, a na postaji Krapina izmjeren je minimum od 1,4 °C. Iz toga se može zaključiti da model podcjenjuje maksimalne i precijenjuje minimalne temperature zraka.

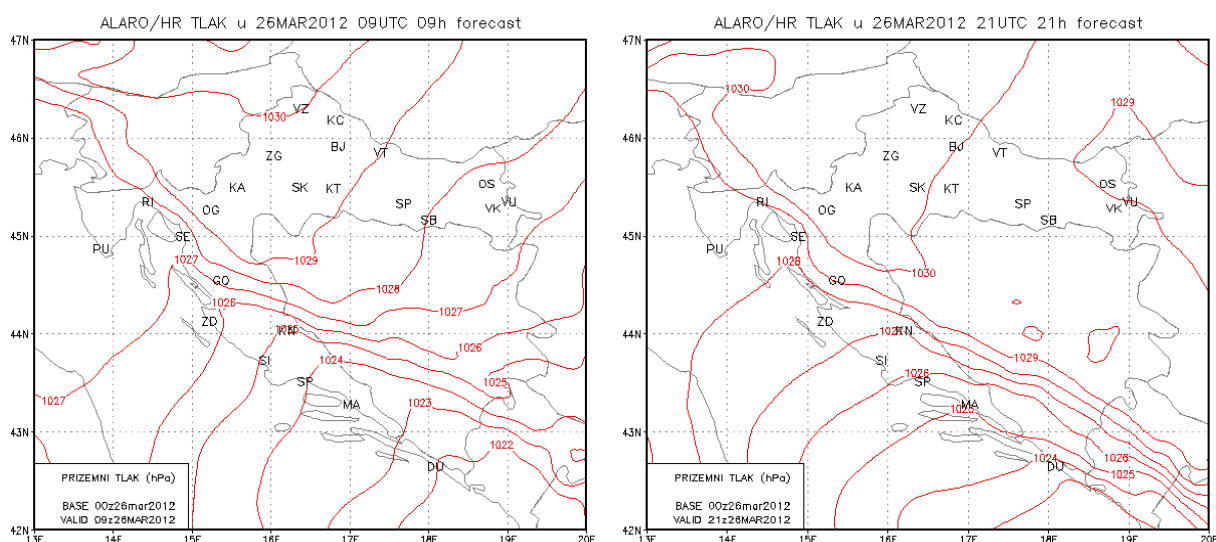
Dinamičkom adaptacijom dobiva se finija horizontalna razlučivost od 2 km i pomoću nje su prikazana polja brzine i smjera vjetra, te udari vjetra za sjeverozapadnu Hrvatsku. Prognozirana je brzina vjetra na većem dijelu analiziranog područja manja do 3,4 m/s E



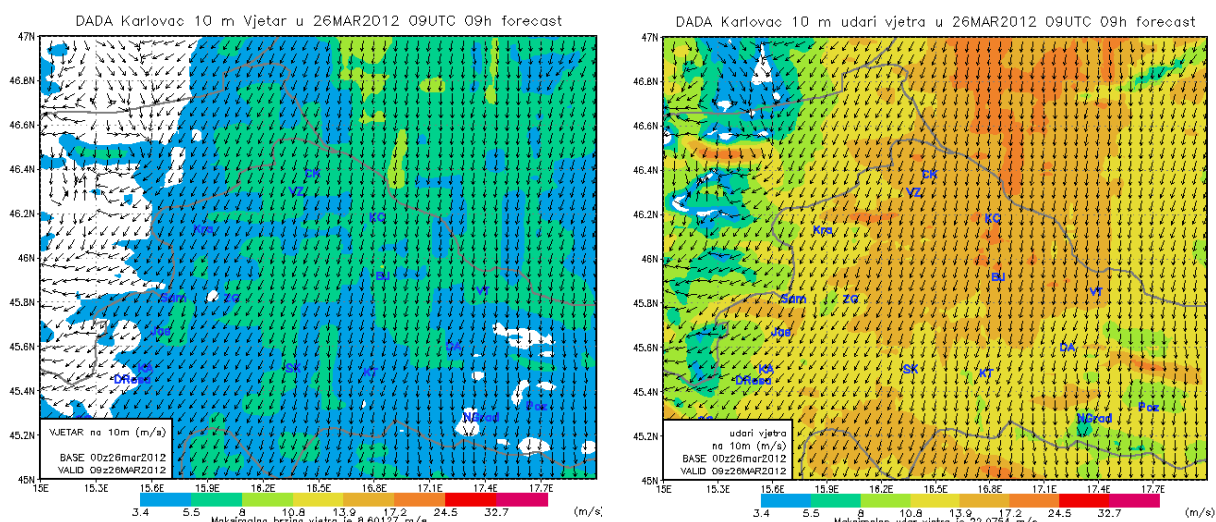
Slika 4.19. Prognozirana meteorološka polja prizemnog tlaka zraka (crvene linije, gore lijevo), potencijalne vrtložnosti na 300 hPa (gore desno), relativne vlažnosti zraka na 2 m (sredina lijevo), temperature zraka na 2 m (sredina desno) na horizontalnoj razlučivosti od 8 km te brzina (osjenčano) i smjer (strelice) vjetra na 10 m (dolje lijevo) i udari vjetra (dolje desno) dobiveni dinamičkom adaptacijom s horizontalnom razlučivosti od 2 km, za 22.3.2012. godine u 15 UTC. Početak simulacije modela ALADIN/HR je 22.3.2012 u 00 UTC.

smjera što se podudara s izmjerenim vrijednostima na postaji Krapina. Prognozirani udari vjetra (slika 4.19 dolje desno) 3,4–8 m/s također se podudaraju s vrijednostima na promatranoj postaji.

Nakon početka požara, idućeg dana požara 23.3.2012. polje visokog tlaka zraka ima tendenciju laganog pada na 1023 hPa. Tlaka zraka 25.3.2012. ponovo malo raste, a sljedećeg dana do 21 UTC iznosio je 1030 hPa na krapinskom području (slika 4.20 desno) Slika 4.20 prikazuje jačanje gradijenta tlaka zraka nad Dalmacijom i Bosnom i Hercegovinom koja je i očekivana s obzirom na prolaz hladne fronte nad tim područjem što se također vidi na prizemnim sinoptičkim kartama (slika 4.14).



Slika 4.20. Prognozirano polje tlaka zraka (crveno) za 26.3.2012. u 09 UTC (lijevo) i 26.3.2012. u 21 UTC (desno). Simulacija modela ALADIN/HR je započeta 26.3.2012. u 00 UTC



Slika 4.21. Brzina (osjenčano) i smjer (strelice) vjetra (lijevo) te maksimalni udari vjetra (desno) dobiveni dinamičkom adaptacijom horizontalne razlučivosti od 2 km za 26.3.2012. u 09 UTC. Početak simulacije modela ALADIN/HR je 26.3.2012 u 00 UTC.

Vjetar NE smjera je počeo jačati 25.3.2012. da bi između 03 i 15 UTC postizao vrijednosti do 5,5 m/s, a udari vjetra 10,8–13,9 m/s su u 09 UTC zahvatili cijelo područje sjeverozapadne Hrvatske (prilog 3., slika 7.3.2). Između 06 i 12 UTC 26.3.2012. je prognozirana brzina NE vjetra 3,4–8,0 m/s, a maksimalni udari vjetra i veći od 17,2 m/s (slika 4.21) što je početak olujne jačine. Usporedba modelirane i izmjerene brzine i smjera vjetra (slika 4.18) postaje Krapina pokazuju dobro podudaranje. Izmjereni jaki udari vjetra za Krapinu također se podudaraju s prognoziranim. No, zanimljivo je da su olujni udari vjetra upravo simulirani na području Strahinjčice, te da vatrogasci nisu dan prije djelovali uspješno u gašenju vatre, sigurno bi i posljedice ovog šumskog požara bile nesagledive.

Iz prethodne analize vidi se da je modelom ALADIN/HR dobro prognozirano prizemno polje tlaka zraka koje se podudara sa sinoptičkim kartama te smjer i brzina vjetra koji su u skladu s izmjerenim podacima postaje Krapina. Temperaturni ekstremi u danu su malo podcijenjeni/precijenjeni, a relativna vlažnost zraka je u većini dana dobro prognozirana. Može se zaključiti kako je model ALADIN/HR „prepoznao“ približavanje hladne fronte tj. prodor hladnog zraka i pad temperature zraka, a upravo su to glavni pokazatelji za mogući razvoj požara na Jadranu. S obzirom da se takva vremenska situacija dogodila u posljednje dane požara kada je požar bio u fazi dogašivanja, nije utjecalo na njegovo ponovno rasplamsavanje.

4.6. VERTIKALNA STRUKTURA ATMOSFERE

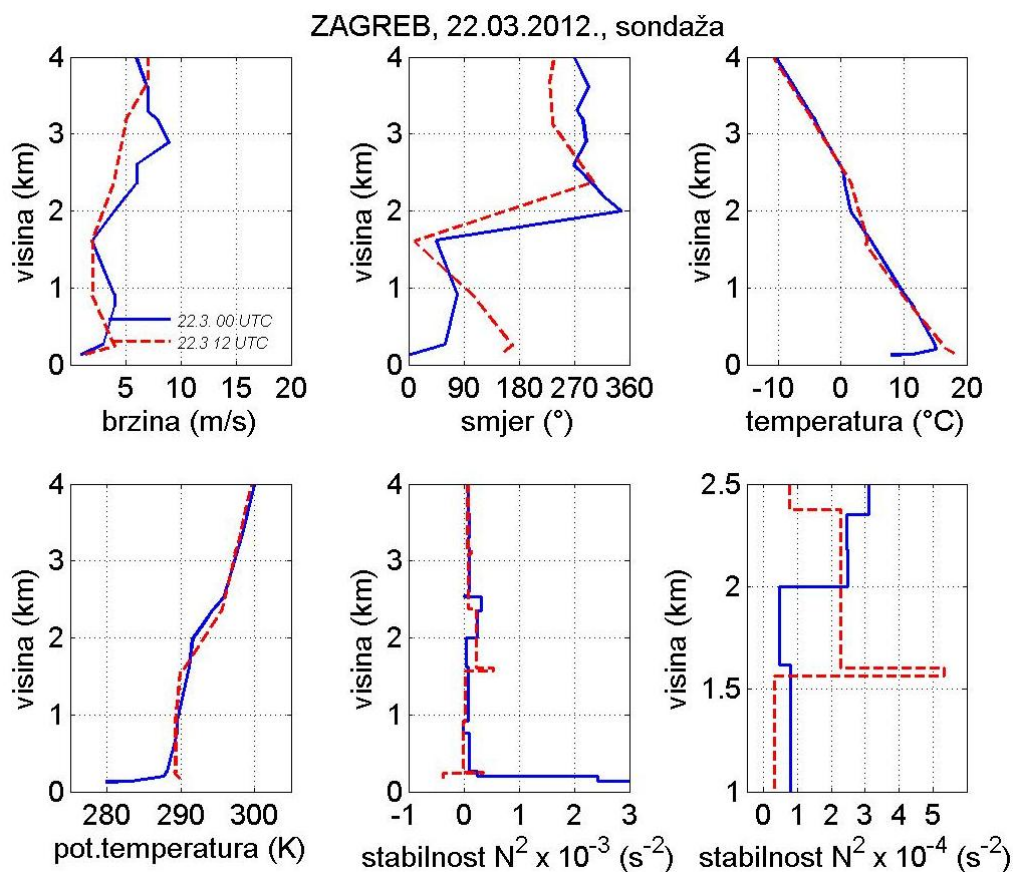
4.6.1. Usporedba vertikalnih profila sondažnih mjerenja i numeričkih simulacija

Za vertikalne profile atmosfere korištena su radiosondažna mjerenja s glavne meteorološke postaje Zagreb-Maksimir što se izvode dva puta dnevno u terminima 00 i 12 UTC. Osim vertikalnih profila brzine i smjera vjetra te temperature zraka koji se dobivaju mjerenjem, prikazani su i vertikalni profili izvedenih veličina kao što su potencijalna temperatura, θ i statičke stabilnosti, tj. kvadrat uzgonske frekvencije, N^2 . Navedeni meteorološki parametri analizirani su u sloju do visine od 4 km.

Na vertikalnom profilu za 22.3.2012. (slika 4.22) vidi se kako je u prvih 2 km visine puhao slab vjetar do 4 m/s, nakon čega je postigao maksimum od 8,5 m/s na visini oko 2900 m u 00 UTC, odnosno 7 m/s na oko 3670 m u 12 UTC. Iz toga se može zaključiti kako nije zadovoljen ni jedan kriterij za postojanje LLJ-e što su navedeni u potpoglavlju 3.6.3. U

noćnom terminu 00 UTC vjetar puše iz NE kvadranta do 1600 m nakon čega okreće na W smjer. Zbog noćnog se ohlađivanja tada javlja prizemna temperaturna inverzija debljine oko 70 m s vertikalnim temperaturnim gradijentom od $10,1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. N^2 je pozitivan u donjoj troposferi, osim u sloju 760–920 m gdje ima negativnu vrijednost od $-0,08 \cdot 10^{-4}\text{ s}^{-2}$.

Za podnevni termin, koji je najbliži početku požara, uočava se okretanje vjetra s visinom od SE smjera pri tlu preko E smjera na N smjer na visini od 1600 m. Nakon toga vjetar ponovno mijenja smjer preko S na W na visini od 2370 m. Temperatura zraka pada s visinom do 1,6 km gdje iznosi $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ da bi blago porasla do 1604 m na $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Taj sloj debljine od 40-m s temperaturnom inverzijom opisuje vertikalni temperaturni gradijent od $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i odgovara visini na kojoj vjetar naglo mijenja smjer. θ postupno raste s visinom, a nagli porast od 290,5 K na 295,7 K zabilježen je u sloju 1600–2370 m. To upućuje na stabilan sloj koji je prepoznat i pomoću N^2 . U prizemnom sloju 130–240 m N^2 poprima



Slika 4.22. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 22.3.2012. u 00 i 12 UTC.

negativne vrijednosti od $-3,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$ što ukazuje na labilno stratificirani zrak kao posljedicu Sunčevog zagrijavanja. No, na taj sloj se nastavlja tanki statički stabilni sloj s N^2 od $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$ na visini 240–260 m. U sloju 260–910 m atmosfera je ponovno statički nestabilna ($-0,01 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$). Iznad te visine atmosfera je opet statički stabilna, a sloj povećane statičke stabilnosti ($5,3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$) nalazi se u sloju oko 1,6 km tj. tamo gdje je opažena temperaturna inverzija i nagla promjena smjera vjetra.

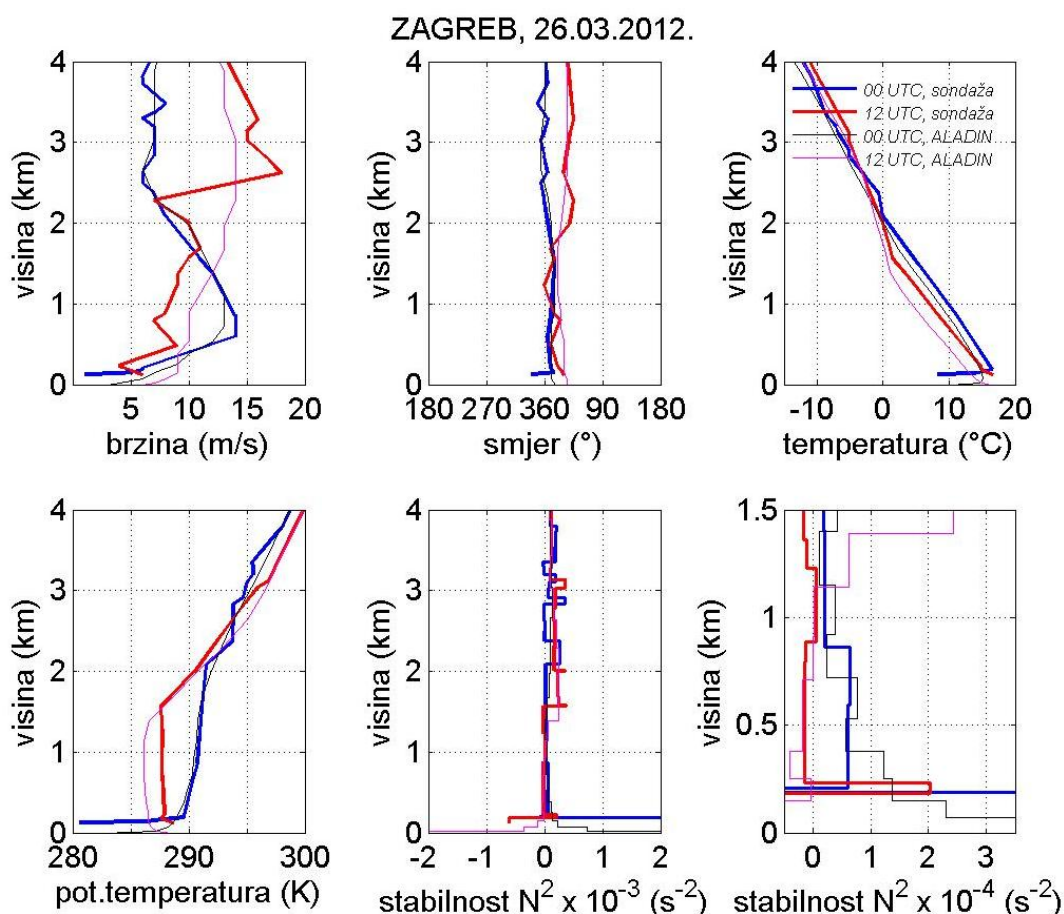
Dakle, možemo zaključiti da je u vrijeme izbijanja požara atmosfera bila statički nestabilna u prvih 1 km visine što je pogodovalo uzlaznom gibanju. Temperaturna inverzija na visini od oko 1,6 km je područje gdje dolazi do nagle promjene smjera vjetra i iznad toga atmosfera je statički stabilno stratificirana. Vizualni pokazatelji nestabilnosti donje troposfere je stupac dima koji se, uz miješanje, proteže u visinu (slika 1 gore lijevo). Došavši do statički stabilnog sloja zraka, koji sprečava daljnja uzlazna gibanja, dim skreće prema sjeveru.

S obzirom da se radiosondažna mjerenja u kontinentalnoj Hrvatskoj obavljaju samo na postaji ZagrebMaksimir, modelom ALADIN/HR mogu se simulirati određene točke modela koje su najbliže lokaciji šumskog požara na Strahinjčici. Tako su dobiveni vertikalni profili atmosfere iz tzv. pseudotempova za glavne meteorološke postaje Zagreb-Maksimir i Krapina. Usporedbom vertikalnih profila sondaže i pseudotempova za Zagreb, za 22.3.2012. (prilog 4., slika 7.4.1) vidi se da je model simulirao brzine vjetra do maksimalnih 5 m/s i podcijenio je maksimume brzine vjetra dobivene sondažom od 8,5 m/s i 7 m/s za oba termina prvog dana požara. Smjer vjetra pri tlu simuliran je kao E–NE, a sondažom u 12 UTC dobiven je SE. Na visini od 1 km, kao i na 2,5 km i više, smjer vjetra je dobro simuliran, a promjena smjera nije toliko izražena kao ona izmjerena sondažom. Simulirana temperatura zraka pada s visinom u cijelom sloju te je podcijenjena za nekoliko stupnjeva u prvih 1,5 km. θ u oba termina raste s visinom. U 00 UTC N^2 ima također najveće vrijednosti pri tlu kao i profil dobiven sondažom. Simulacijom u 12 UTC je dobiven negativni N^2 od tla do 250 m i u sloju 380–540 m. Stabilan sloj iznad 540 m simuliran je niže nego onaj dobiven sondažom iznad 910 m, a maksimum N^2 od $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$ na visini 1,6 km je u pola manji u odnosu na sondažu. LLJ-e nije bilo ni sljedećih dana požara 23.–25.3.2012. što se vidi na vertikalnim profilima vjetra (prilog 4., slike 7.4.1 i 7.4.2).

Vertikalni profili vjetra dobiveni sondažom i modelom za Zagreb 26.3.2012. u 00 i 12 UTC (slika 4.23) pokazuju kako je u 00 UTC brzina vjetra postigla maksimum od 13,5 m/s u sloju 590–860 m, te se smanjila na 6 m/s na 2,5 km. Time je ispunjen kriterij 1 za pojavu LLJ-e. Model ALADIN/HR je vrlo dobro procijenio maksimum brzine vjetra na 13 m/s i

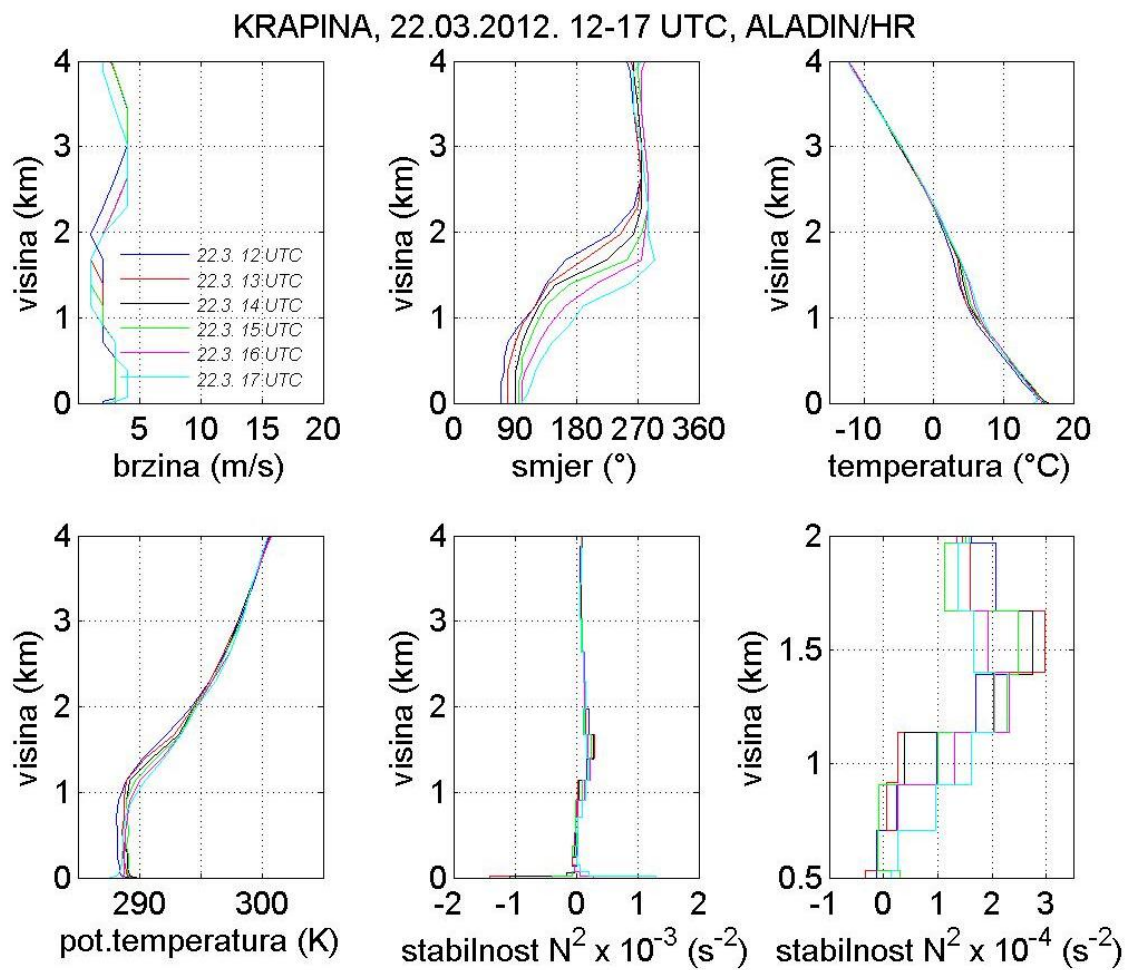
modelirani vertikalni profil brzine vjetra se dobro poklapa sa sondažom. Brzina vjetra danju s maksimumom od 10 m/s na visini od 1580 m ne zadovoljava kriterij za *LLJ*-u. Model ALADIN/HR je brzinu vjetra procijenio na 12 m/s, a daljnji porast brzine vjetra s visinom ne simulira točno. Za razliku od brzine vjetra, smjer je u oba termina dobro simuliran (uglavnom je N smjera).

Pad temperature zraka s visinom vidljiv je na njezinom vertikalnom profilu dobivenom mjerenjem i modelom uz postojanje jake prizemne inverzije pri tlu kao posljedice noćnog ohlađivanja. Model ALADIN/HR je malo podcijenio temperaturu zraka sve do visine od 2 km. Tako je npr. na 860 m u 00 UTC izmjereno 11,2 °C, a simulirano 9,7 °C dok je u 12 UTC izmjereno 8,2 °C na 890 m, a simulirano 5,7 °C. θ u 00 UTC je dobro procijenjena i nakon naglog porasta pri tlu postupno se povećava s visinom.



Slika 4.23. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra (°, gore sredina), temperature zraka (°C, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 26.3.2012. u 00 i 12 UTC.

Danju u 12 UTC je simulirana θ podcijenjena. Sondažna mjerenja pokazuju neutralan sloj atmosfere 800–1360 m čija je temperatura 287,7 °C, a nakon te visine θ raste s visinom. Za razliku od toga, simulirana θ pokazuje pad od 288,5 °C na 286,1 °C do visine od 910 m i tek nakon toga porast. U noćnom terminu simulirani N^2 je pozitivan pri tlu i ostaje takav u donjoj troposferi. Iz sondaže su dobivena dva statički nestabilna sloja: prvi 190–210 m iznosa $-0,7 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$ i drugi 2630–2830 m od $-2,1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-2}$. U podnevnom terminu sondaža pokazuje statički nestabilan sloj do 1580 m uz tanke statički stabilne slojeve na visinama 190–230 m i 890–1230 m. Prema pseudotempu se vidi da je model simulirao statički nestabilan sloj od tla do visine od 910 m.

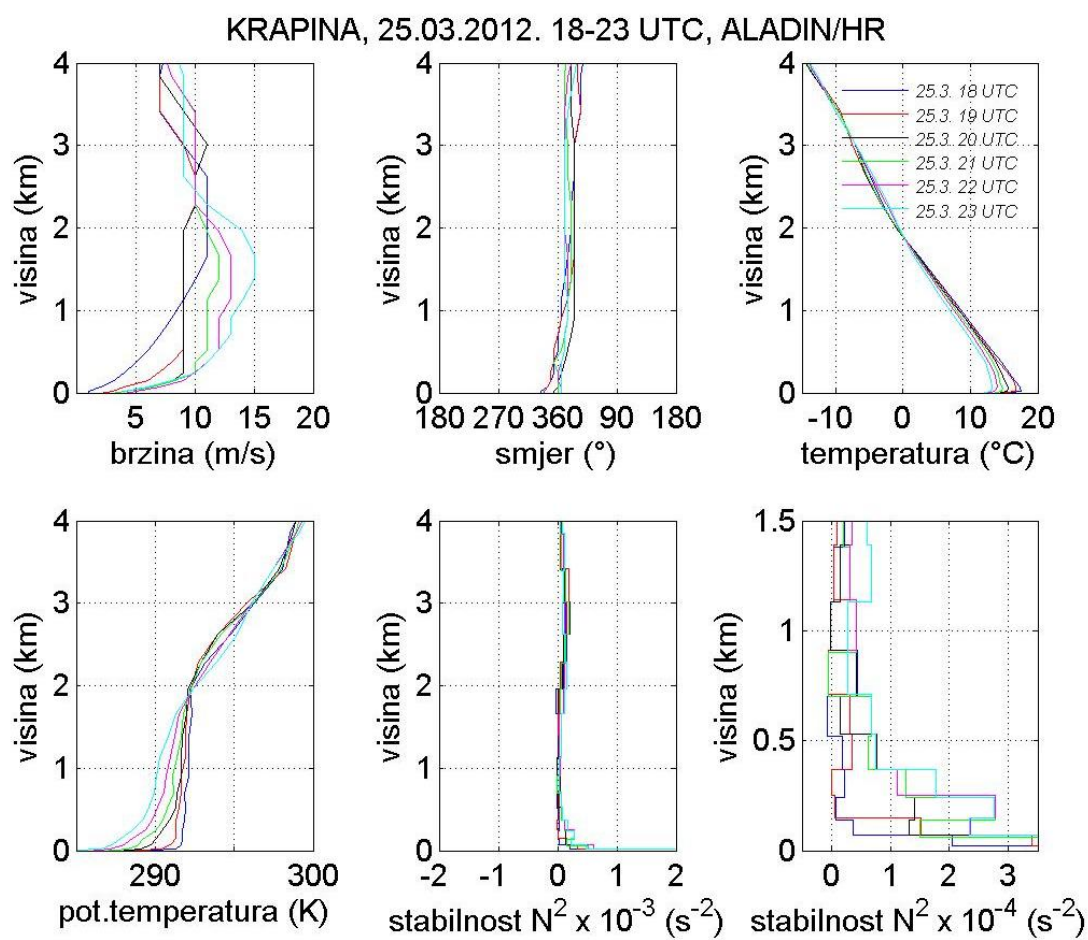


Slika 4.24. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra (°, gore sredina), temperature zraka (°C, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 22.3.2012. od 12 do 17 UTC.

Kako je navedeno prije, Krapina je glavna meteorološka postaja najbliže Strahinjčici, pa su za tu postaju proračunati pseudotempovi modelom ALADIN/HR svakih sat. No, sondaža za Zagreb-Maksimir i pseudotempovi za Zagreb-Maksimir i Krapinu ne mogu se jednostavno usporediti ni u prostoru ni u vremenu (npr. Jeričević i Grisogono, 2006). Na slici 4.24 zapaža se da je 22.3.2012. od 12 do 17 UTC simuliran slab vjetar do 4 m/s duž cijelog promatranog vertikalnog profila. Pri tlu je puhao vjetar ENE u 12 UTC do ESE u 17 UTC, a iznad 2 km okrenuo je na W. Iz usporedbe s vertikalnim profilima za Zagreb-Maksimir (prilog 4., slika 7.4.1) vidi se da je model ALADIN/HR dobro simulirao brzine vjetra do visine od 2 km. Iznad te visine se brzina vjetra povećala do 8,5 m/s pa je tako moguće da je u stvarnosti i u Krapini vjetar bio jači iznad 2 km. Sondažna mjerenja pokazuju S komponentu, a pseudotemp E komponentu. Međutim, kod tako slabog vjetra vrlo je teško dobro modelirati smjer vjetra jer je bio vrlo promjenjiv na što su nam ukazali i sami vatrogasci. Simulacija za Krapinu (slika 4.24) pokazuje pad temperature zraka s visinom, a u sloju 1–2 km je njeno opadanje nešto manje i podudara se s visinom na kojoj vjetar mijenja smjer na W. Modelirana θ i N^2 za Krapinu ukazuju na statički stabilni sloj od 1 km na više, a najstabilniji je na visini od 1,5 km što sprječava daljnja uzlazna gibanja.

U sljedećim terminima od 22.3.2012. u 18 UTC do 25.3.2012. u 17 UTC (prilog 4., slike 7.4.3–7.4.8) se iz pseudotempova za Krapinu može vidjeti kako je 22.–24.3.2012. u prvih 1,5 km simuliran slab do umjeren vjetar promjenjivog smjera, koji je na visini do 4 km ojačao na umjereno jak vjetar brzine do 10 m/s. Jačanjem anticiklone sa sjeverozapada 25.3.2012. vjetar poprima N smjer duž cijelog sloja i počinje jačati. Noću i u jutarnjim satima između 02 i 08 UTC simulirana brzina vjetra poprima vrijednost od 10 m/s u prvih 1 km visine. Sredinom dana vjetar slabi da bi krajem dana, s približavanjem hladne fronte istočno od unutrašnjosti Hrvatske, ponovno ojačao. Tako se može vidjeti da je 25.3.2012. od 18 UTC prema kraju dana simuliran sve jači vjetar (slika 4.25). Na 1380 m visine u 21 UTC je procijenjena brzina vjetra od 12 m/s, u 22 UTC brzina od 13 m/s, a u 23 UTC brzina vjetra od 15 m/s. Iako je maksimalna brzina vjetra u donjem sloju troposfere iznad Krapine premašila 12 m/s, no nakon maksimuma se nije smanjila ispod 6 m/s. Iz tog razloga nije zadovoljen kriterij *LLJ*-e krajem dana 25.3.2012.

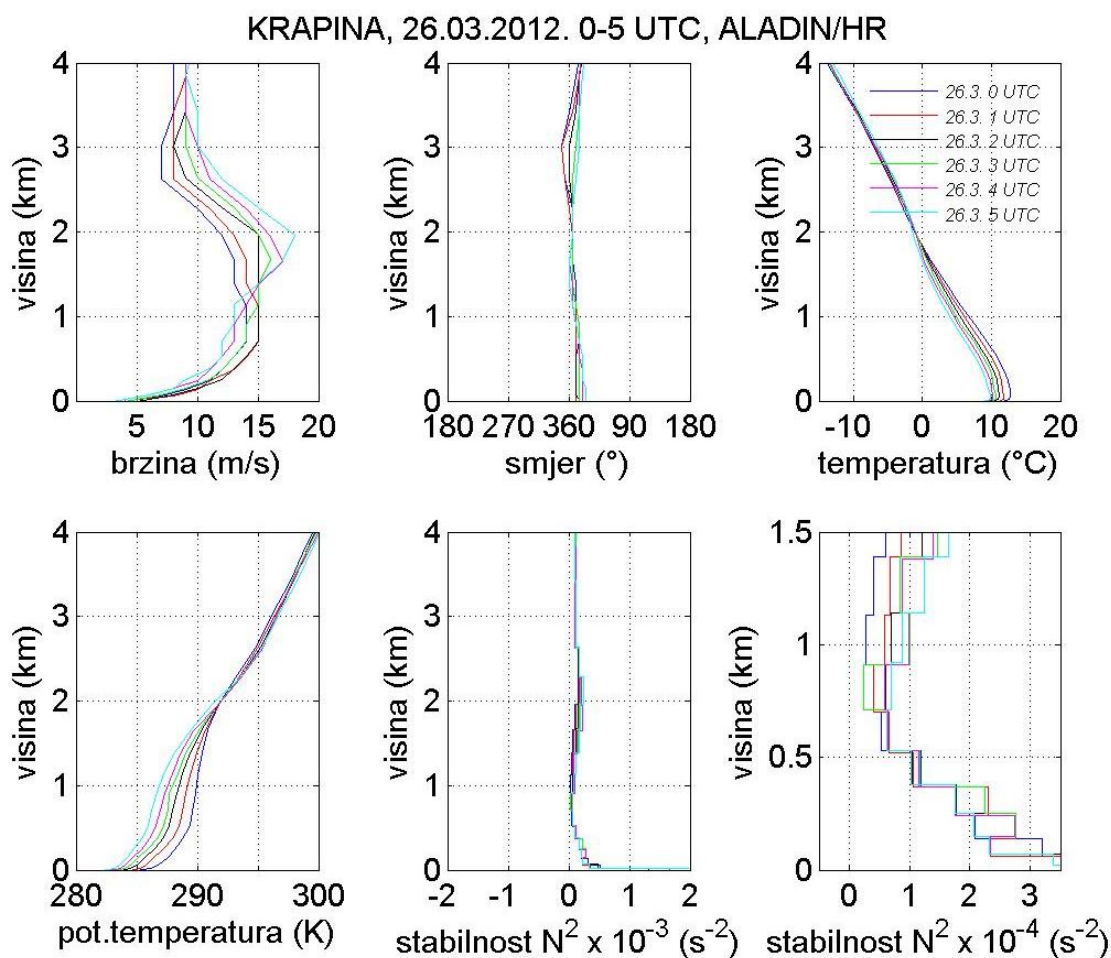
Sljedećeg dana u 00 UTC je maksimum brzine vjetra od 14 m/s je procijenjen u sloju 700–1130 m, a u terminima 01–05 UTC maksimum se postupno povećavao do 18 m/s na visini od 1960 m (slika 4.26). Međutim, prema kriteriju *LLJ*-e (tablica 3.8) maksimum brzine vjetra treba biti do visine od 1500 m pa nije zadovoljen kriterij za termin 05 UTC. Do



Slika 4.25. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra (°, gore sredina), temperature zraka (°C, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 25.3.2012. od 18 do 23 UTC.

pojave *LLJ*-e nije došlo ni u terminima poslije 26.3.2012. 06–23 UTC i 27.3.2012. 00–05 UTC (prilog 4., slika 7.4.9–7.4.10).

U prijašnjim radovima (npr. Vučetić, 2007; Tomašević, 2012) je primijećeno kako velikim požarima na otvorenom području na jadranskom području prethodi pojava niske mlazne struje u večernjim, noćnim ili jutarnjim satima. U slučaju šumskog požara na Strahinjčici sondažna mjerenja i model ALADIN/HR ukazali su na pojavu *LLJ*-e nad Zagrebom 26.3.2012. u 00 UTC. Međutim, nad Krapinom pojava je bila moguća istog dana između 00 i 02 UTC iako prema pseudotempu nije u potpunosti zadovoljen kriterij 1 za *LLJ*-u. Nakon maksimuma od 15 m/s brzina vjetra se smanjila na 7 m/s, a ne ispod 6 m/s do visine od 3 km. S obzirom da je šumski požar toga dana već bio u fazi dogašivanja, pojava *LLJ*-e nije utjecala na njegov daljnji razvoj.

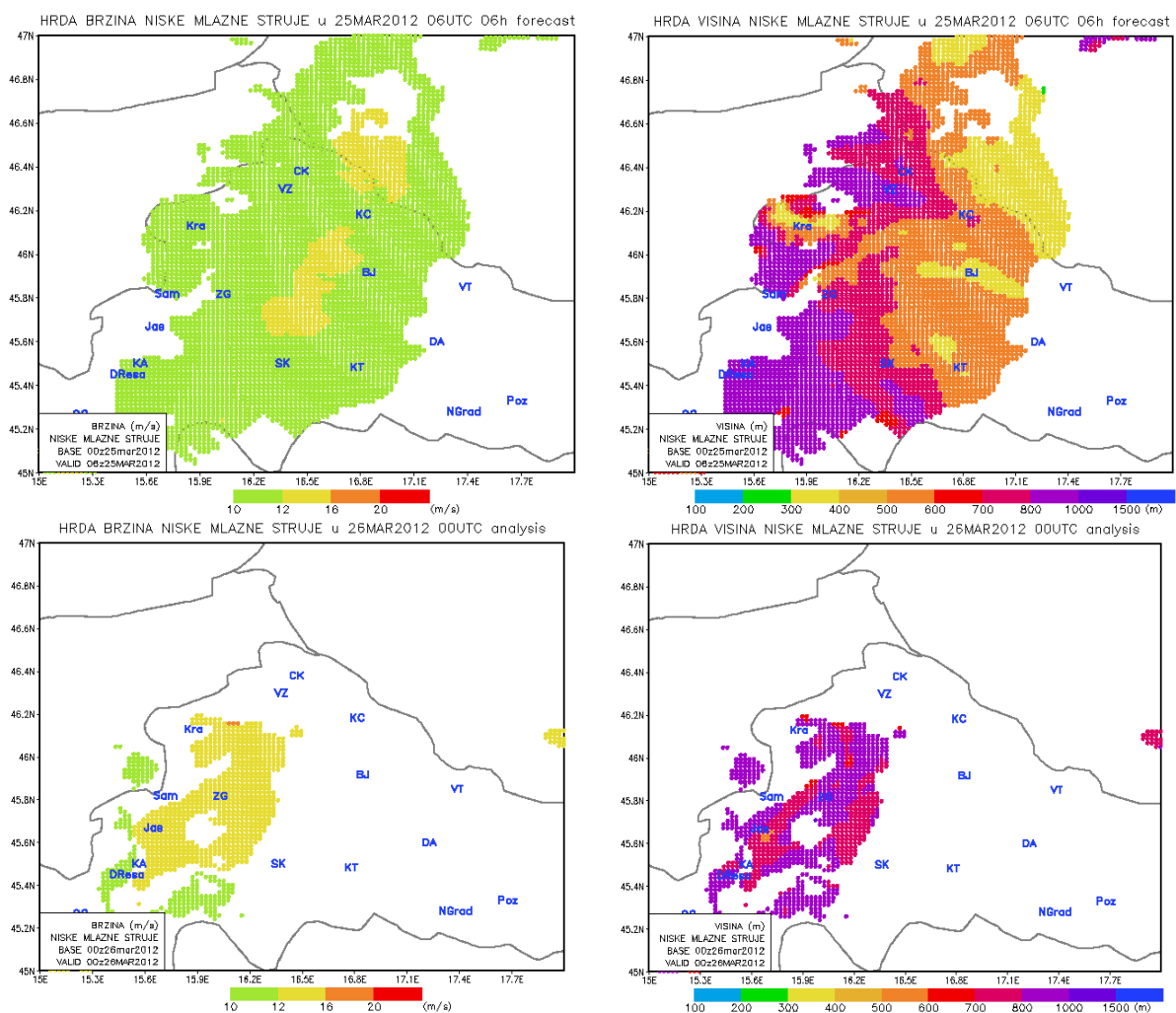


Slika 4.26. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 26.3.2012. od 00 do 05 UTC.

4.6.2. Prostorna raspodjela niske mlazne struje i Richardsonovog broja

Prethodna analiza je pokazala da nije jednostavno ustanoviti pojavu *LLJ*-e iz samo jedne točke modela. Zbog toga je za dobivanje bolje prostorne slike *LLJ*-e, izračunato njezino polje na području sjeverozapadne Hrvatske pomoću dinamičke adaptacije modela ALADIN/HR horizontalne razlučivosti od 2 km. Kao što je već pokazano, *LLJ*-e na početku požara nije bilo, no vjetar u donjoj troposferi počinje jačati 25.3.2012. u 03 UTC. U 06 UTC (slika 4.27 gore) pojavila se *LLJ* jačine 12–16 m/s istočno od Krapine na visini 300–600 m. Nad Strahinjčicom je vjetar bio brzine 10–12 m/s, a za ispunjenje prvog kriterija za pojavu *LLJ*-e mora biti zadovoljen minimalan iznos od 12 m/s (tablica 3.8). Taj pojačani vjetar se nad Strahinjčicom nalazio na visini 500–1000 m.

No, zanimljivo je da je vjetar na visini pojačao 25.3.2012. u međutermima 03 i 06 UTC. To je prikazano na prostornoj razdiobi *LLJ*-e (slika 4.27) gdje je vjetar na području Strahinjčice dosegao brzinu 10–12 m/s na visini 500–1000 m. Sljedećeg dana u 00 UTC najveća brzina je bila 16–20 m/s na visini 700–1000 m na istom području.



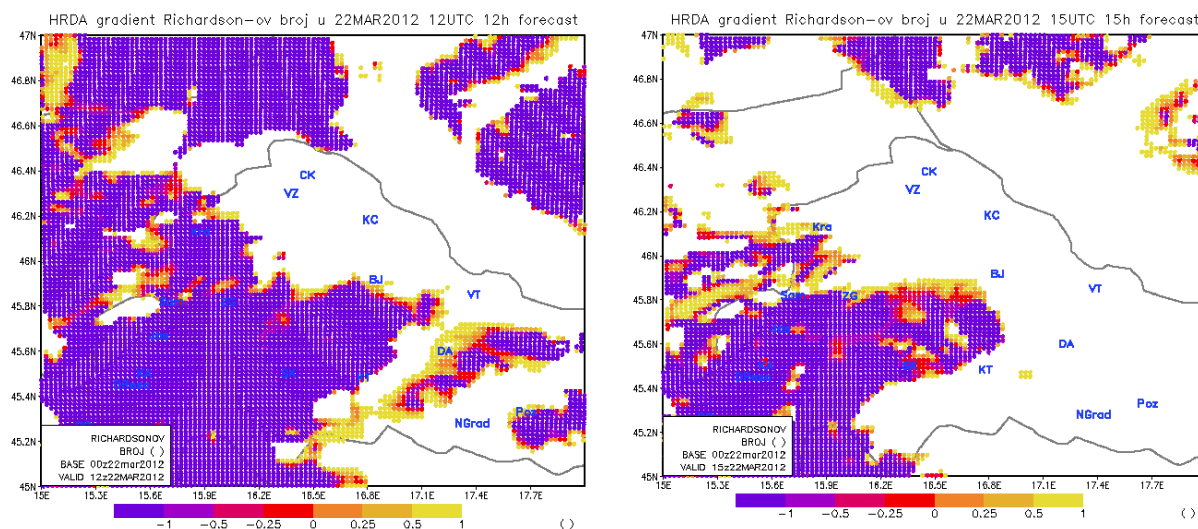
Slika 4.27. Brzina (lijevo) i visina (desno) niske mlazne struje dobivena dinamičkom adaptacijom s horizontalnom razlučivosti od 2 km za 25.3.2012. u 06 UTC (gore), te analizirano polje za 26.3.2012. u 00 UTC (dolje).

Zanimljivo je da model čija je simulacija počela 24.3.2012. u 00 UTC nije dobro prognozirao *LLJ*-u za dan unaprijed (karta nije prikazana). Prema toj prognozi, *LLJ* trebala je biti sjeverno od poteza Varaždin – Bjelovar i to brzine do 12 m/s. Simulacija modela ALADIN/HR s početkom 25.3.2012. u 00 UTC je prognozirala pojavu *LLJ*-e 26.3.2012. u 00 UTC južno od Strahinjčice i to samo kao jednu točku modela brzine 12–16 m/s. Analizom 26.3.2012. u 00 UTC (slika 4.27 dolje) je utvrđeno da je *LLJ* zahvatila područje od Duge Rese brzinom 12–16 m/s do Strahinjčice s maksimumom 16–20 m/s. Njena visina u blizini

Strahinjčice iznosila je 700–1000 m. Toj *LLJ*-i prethodio je prolazak hladne fronte istočno od unutrašnjosti Hrvatske u poslijepodnevnim satima. Kao što smo već prije napomenuli, pojačan vjetar u graničnom sloju nije utjecao na njegovo ponovno rasplamsavanje jer je požar bio praktički ugašen.

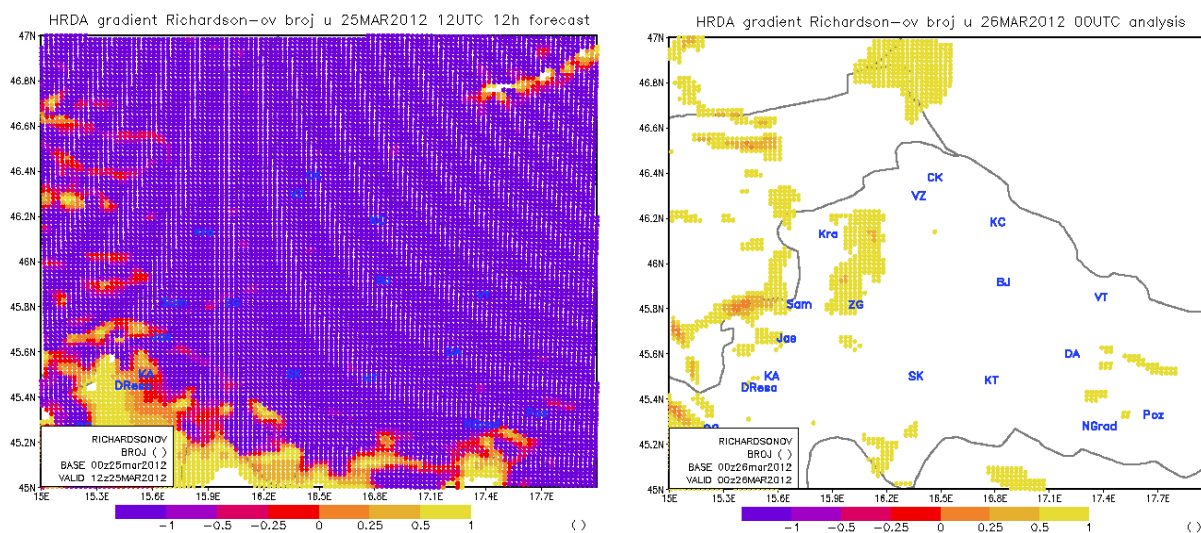
Analizirali smo i prostornu razdiobu Richardsonovoga gradijentnog broja *Ri* pomoću kojega se određuje dinamička stabilnost određenog sloja zraka. Definiran je kao omjer kvadrata uzgonske frekvencije i kvadrata vertikalnog smicanja vjetra (npr. Holton, 2004). Ukoliko je $Ri < 0,25$, tada je brzina smicanja dovoljno velika da dođe do turbulentnog miješanja zraka. Kada je *Ri* velik, tada postoji slabo turbulentno miješanje. *Ri* je određen između tla i visine 1 km, a u slučaju postojanja *LLJ*-e do njezine visine.

Prostorne slike *Ri* za sjeverozapadnu Hrvatsku su izračunate pomoću dinamičke adaptacije modela ALADIN/HR horizontalne razlučivosti od 2 km. Na dan nastanka požara 22.3.2012. u 12 UTC *Ri* je negativan na krapinskom području (slika 4.28), a sjeverozapadno od Krapine na Strahinjčici, bilo je granično područje između negativnih i pozitivnih vrijednosti *Ri*. U sljedećem terminu u 15 UTC na širem području Strahinjčice $Ri > 1$. Iz toga se vidi da nisu postojali povoljni uvjeti za razvoj turbulencije u donjem sloju troposfere koja bi bila odgovorna za brzo širenje požara kao što je to utvrđeno za velike šumske požare na Jadranu (Tomašević, 2012).



Slika 4.28. Richardsonov gradijentni broj za sjeverozapadnu Hrvatsku dobiven dinamičkom adaptacijom s horizontalnom razlučivosti od 2 km za 22.3.2012. u 12 UTC (lijevo) i 15 UTC (desno) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 22.3.2012. u 00 UTC.

Sljedećeg dana 23.3.2012. vidi se (karte nisu prikazane) kako je $Ri > 1$ na području Strahinjčice u terminima između 00–09 UTC. Dinamički stabilan sloj nestaje zbog Sunčevog zagrijavanja te postaje u 12 UTC vrlo nestabilan uz vrijednosti Ri do -1. Iza 15 UTC istoga dana Ri je ponovno > 1 i te vrijednosti Ri zadržale su se tokom cijelog sljedećeg dana 24.3.2012. Dinamički nestabilni donji sloj troposfere ($Ri = -1$) ponovno se javlja 25.3.2012. između 09 i 18 UTC (slika 4.29). S pojavom niske mlazne struje nad Strahinjčicom u noći 25/26.3.2012. prvi puta se pojavio Ri između 0,25 i 0,5. Iz takvih vrijednosti Ri zaključuje se da se nad Strahinjčicom nalazio sloj zraka povoljan za razvoj turbulencije koja može nastati zbog jakog smicanja vjetra i trenja zračne struje o prepreku. Preko dana 26.3.2012. između termina 09 i 15 UTC vrijednost $Ri < 0$ što ukazuje na dinamički nestabilan sloj zraka koji bi podržavao uzlazna gibanja i time širenje šumskog požara uz prepreku, ali tada je on bio praktički ugašen.



Slika 4.29. Richardsonov gradijentni broj za sjeverozapadnu Hrvatsku dobiven dinamičkom adaptacijom s horizontalnom razlučivosti od 2 km za 25.3.2012. u 12 UTC (lijevo) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 25.3.2012. u 00 UTC i analizirano polje za 26.3.2012. u 00 UTC (desno).

4.7. PROSTORNA I VREMENSKA ANALIZA HAINESOVOG INDEKSA

Već je prije spomenuto da su u prijašnjim radovima analizirane vremenske situacije s velikim šumskim požarima koji su se dogodili uz jak vjetar na Jadranu za vrijeme požarne sezone. Osim što je analiza ovog požara na Strahinjčici prva vremenska analiza požara u kontinentalnom dijelu Hrvatske, valja ponovno naglasiti da se on dogodio u ožujku, izvan požarne sezone. Kako je indeks *FWI* dobar pokazatelj za potencijalnu meteorološku opasnost od požara raslinja na Jadranu, postavlja se pitanje je li dobar i za kontinentalni dio Hrvatske. U radu je pokazano da je na početku požara u Krapini i Zaboku bila mala meteorološka opasnost od izbijanja požara, a umjerena u Bednji i Varaždinu. Ostale dane požara je opasnost bila većinom umjerena, no u Krapini je postala čak i velika pretposljednog dana požara. Izvan požarne sezone ne očekuje se ni umjerena, a kamo li velika opasnost, jer gorivi materijal (u ovom slučaju listinac u šumi) i površinski sloj tla trebali bi biti vlažni, a ne suhi kao što se je dogodilo u ožujku 2012. Stoga smo zaključili da je indeks *FWI* ukazao na moguće velike posljedice šumskog požara, a bile bi i katastrofalne da nije bio na vrijeme lokaliziran.

No, jaka ovisnost indeksa *FWI* o vjetru navodi nas na Hainesov indeks (*HI*) koji se primjenjuje u procjeni opasnosti od izbijanja šumskog požara kada vjetar nema dominantnu ulogu u njegovom širenju već konvekcija toplog zraka. Iz hodova brzine vjetra u razdoblju 22.–25.3.2012. je vidljivo da je prizemni vjetar bio slab s najvećom srednjom 10-minutnom brzinom vjetra do 4,8 m/s. Sondažna mjerenja nad Zagrebom su pokazala da je prvog dana požara u sloju visine do 1,5 km puhao slab vjetar, koji je sredinom drugog dana pojačao na umjereni od 6 m/s, te ponovno oslabio trećeg dana na slab vjetar kada je požar lokaliziran.

Prema definiciji Hainesov indeks dobiva se zbrojem dvije vrijednosti od kojih je jedna za stabilnost, a druga za vlažnost atmosfere. U tablici 4.5 navedene su vrijednosti Hainesovog indeksa za glavnu meteorološku postaju Zagreb-Maksimir za vrijeme trajanja požara 22.27.3.2012. S obzirom da je ta postaja na nadmorskoj visini od 127 m, u izračunu se koristila niska varijanta *HI* opisana u tablici 3.4 (Mokorić i sur., 2014). Vrlo mala meteorološka opasnost od izbijanja šumskog požara ($HI = 3$) bila je samo prvog dana požara. Razlog toga je najvjerojatnije mala vrijednost za vlažnost donjeg sloja troposfere tj. relativna vlažnost zraka je bila ispod 40% (poglavlje 4.4). Ostale dane opasnost je bila mala do umjerena ($HI = 4–5$), osim 26.3.2012. u 12 UTC *HI* je pokazao veliku opasnost od 6.

Tablica 4.5. Vrijednosti Hainesovog indeksa (*HI*) dobivene iz radiosondažnih mjerenja pomoću vrijednosti za stabilnost (*A*) i vlažnost (*B*) atmosfere, za glavnu meteorološku postaju Zagreb-Maksimir za vrijeme trajanja požara 22.–27.3.2012.

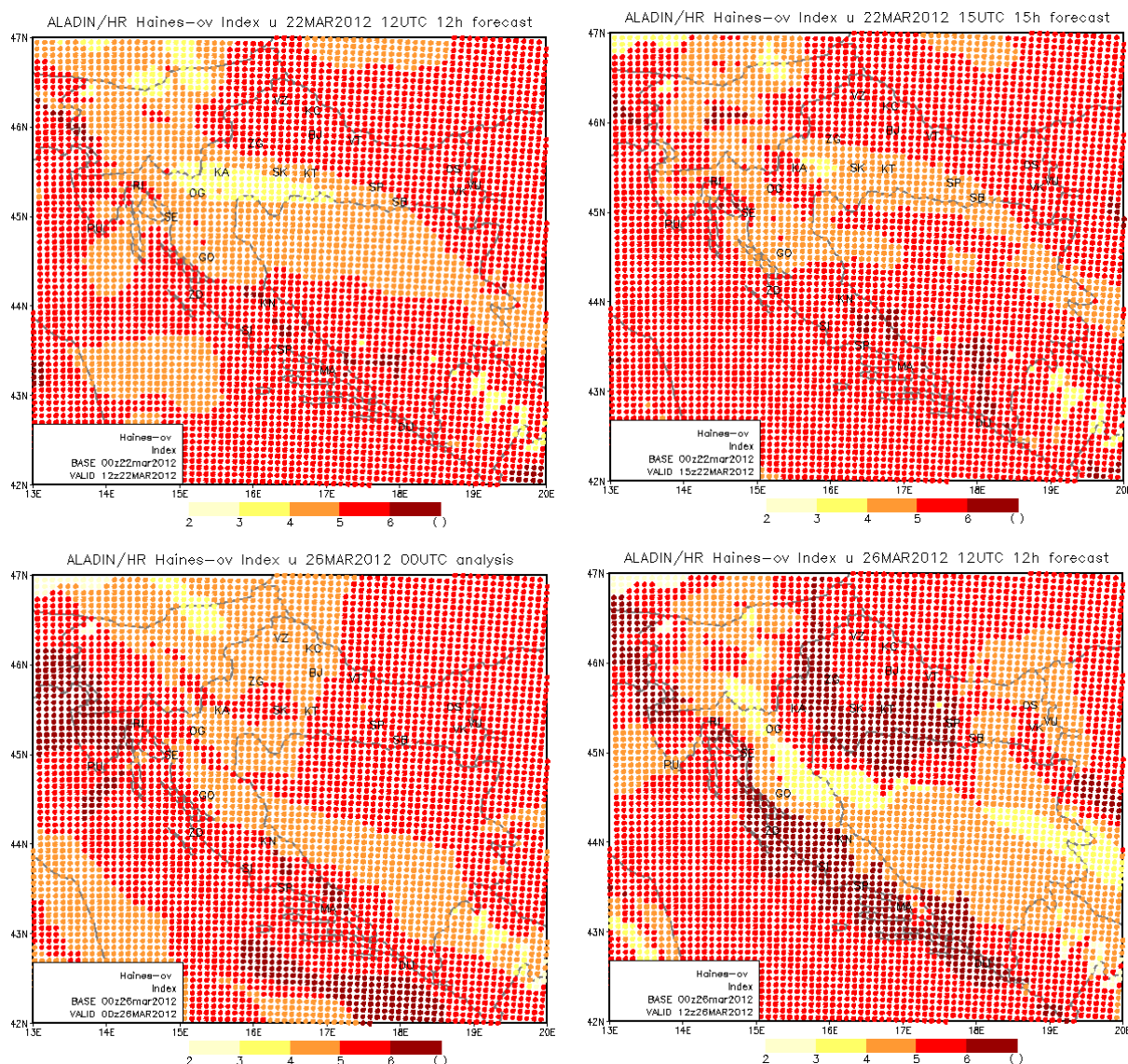
ZAGREB-MAKSIMIR						
	00 UTC		HI	12 UTC		HI
datum	A	B		A	B	
22.3.	2	1	3	2	1	3
23.3.	2	2	4	2	3	5
24.3.	2	3	5	2	3	5
25.3.	2	2	4	3	1	4
26.3.	3	2	5	3	3	6
27.3.	2	3	5	2	2	4

Pomoću modela ALADIN/HR simulirana je prostorna razdioba Hainesovog indeksa svaka 3 h. Usporedbom veličina dobivenih modelom i onih iz radiosondažnih mjerenja postaje Zagreb-Maksimir za 12 UTC prvog dana požara (slika 4.30 gore lijevo) može se vidjeti da je model precijenio vrijednost *HI* s 3 na 5, odnosno s vrlo male na umjerenu opasnost od izbijanja šumskog požara. Tako zaključujemo da je i u sljedećem terminu u 15 UTC (slika 4.30 gore desno), koji je najbliže nastanku šumskog požara, opasnost precijenjena. Prostornom razdiobom analiziranog polja *HI* vidi se da je 23.3.2012. u 00 UTC opasnost od izbijanja šumskog požara bila mala. U 12 UTC je porasla na umjerenu što se slaže s radiosondažnim podacima (prilog 5., slika 7.5.1). S obzirom da je u 12 UTC točno simulirana vrijednost *HI*, zaključujem da je i u sljedećem terminu u 15 UTC na krapinskom području bila velika meteorološka opasnost od požara (*HI* = 6). Do ponovnog smanjenja opasnosti na malu dolazi 25.3.2012. Razlog tome smanjenje je obje vrijednosti za stabilnost i vlažnost atmosfere uzrokovano približavanjem hladne fronte istočno od promatrane unutrašnjosti Hrvatske. Pretposljednog dana požara 26.3.2012. prizemni je vjetar pojačao na umjereni sa maksimalnom srednjom 10-minutnom brzinom vjetra u Krapini od 7 m/s s udarima do 12,8 m/s. Toga dana u 00 UTC simulirana je mala meteorološka opasnost od izbijanja požara za Krapinu (slika 4.30), a taj termin odgovara i početku pojave niske mlazne struje. U sljedećem terminu u 12 UTC krapinsko područje se nalazilo između umjerene i velike opasnosti od šumskog požara, a sondažna mjerenja su dala veliku opasnost.

Posljednjeg dana požara 27.3.2012. vjetar je oslabio te je na postaji Krapina maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra do 4,1 m/s s umjereno jakim udarima do 8,3 m/s. Simulacijom je dobiveno da je nad cijelom unutrašnjosti Hrvatske meteorološka opasnost od izbijanja šumskog požara 27.3.2012. u 12 UTC velika (prilog 5., slika 7.5.2).

Usporedbom sondaže, koja je dala malu opasnost, i modela vidi se da je model znatno precijenio opasnost od izbijanja šumskog požara.

Iz usporedbe *FWI* i *HI* uočava se da su oba indeksa na početku požara 22.3.2012. dala najmanju opasnost od izbijanja požara, a najveću pretposljednog dana požara 26.3.2012. Model ponekad podcjenjuje/precjenjuje vrijednosti *HI*. No, u kombinaciji s sondažnim mjerenjima, može se uvesti korekcija *HI* i u međutermima kada ne postoje mjerenja ukoliko je vjetar slab, što je uvjet za korištenje ovog indeksa.



Slika 4.30. Prostorna razdioba vrijednosti Hainesovog indeksa s horizontalnom razlučivosti od 8 km, za 22.3.2012. u 12 UTC (gore lijevo) i 15 UTC (gore desno) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 22.3.2012 u 00 UTC te za 26.3.2012. u 00 UTC (dolje lijevo) i 12 UTC (dolje desno) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 26.3.2012 u 00 UTC. Legenda: 2–3 vrlo mala (žuto), 4 mala (narančasto), 5 umjerena (crveno) i 6 velika (tamno crveno) meteorološka opasnost od izbijanja požara.

5. ZAKLJUČAK

Na gori Strahinjčica, smještenoj sjeveroistočno od Krapine, izbio je 22.3.2012. šumski požar koji se smatra najvećim na području Krapinsko-zagorske županije. U njemu je stradalo oko 350 ha šume bukve, hrasta i crnogorice. Osim što je ovo prva analiza požara u kontinentalnom dijelu Hrvatske, važnost mu je i veća time što je izbio daleko prije početka požarne sezone (lipanj–rujan) kada se dogodilo mnogo požara raslinja i u drugim dijelovima sjeverne, sjeverozapadne i istočne Hrvatske.

S glavne meteorološke postaje Krapine analizirani su podaci od 1994., od kada postoje mjerenja, do 2012. Ustanovljeno je da je ožujak 2012. bio je vrlo topao sa srednjom mjesečnom temperaturom od 9,4 °C, od kojega je topliji bio samo ožujak 1994. godine s 9,7 °C. Zabilježeno je samo 7 hladnih dana, no minimalna temperatura zraka na 5 cm iznad tla je ipak bila niža od 0 °C tijekom 15 dana. Analiza oborine pokazala je da je prosječna količina oborine u ožujku 50,6 mm, a u ožujku 2012. je iznosila samo 0,6 mm te spada u najsušniji ožujak u promatranom razdoblju. Iako je srednji broj dana s visinom snježnog pokrivača ≥ 1 cm u ožujku je 2,5 dana, u ožujku 2012. takvih dana nije bilo. Analizom vjetra ustanovljeno je da je u ožujku 2012. puhao vjetar više iz NE kvadranta, a manje iz SW kvadranta, u odnosu na višegodišnju učestalost vjetra. S obzirom da je nakon požara pronađeno vruće kamenje u dubini i da je gorjelo duboko korijenje i krupni gorivi materijal, što je inače karakteristika požara u Dalmaciji, navelo nas je na analizu temperatura tla. Ustanovljeno je kako je 2012. druga po redu godina odmah nakon najtoplije 1994. sa srednjim temperaturama tla od 9,8 °C na 2 cm, 9,6 °C na 5 cm i 8,8 °C na 10 cm dubine. U 2012. godini izmjerene su najveće maksimalne temperature tla od 16,7 °C na 10 cm i 13,4 °C na 20 cm dubine. Takvom suhom, toplom i bezoborinskom vremenu koje pogoduje nastanku šumskih požara prethodila je i ekstremno topla 2011. godina s temperaturom zraka 1,7 °C iznad prosjeka i ekstremno sušna s količinom oborine 55–59% od višegodišnjeg prosjeka 1961.–1990. (podatak s mrežnih stranica DHMZ-a <http://meteo.hr>). Isto je potvrdila i prostorna razdioba standardiziranog oborinskog indeksa *SPI*. Iz *SPI1* vidi se da se na području Krapine radilo o ekstremno suhom ožujku 2012., a *SPI12* da je 11 mjeseci koji su prethodili požaru na Strahinjčici i ožujak u kojem se požar dogodio, bili ekstremno suhi.

Na dan izbijanja požara 22.3.2012. se iz sinoptičke situacije i satelitskih snimaka vidi bezgradijentno polje tlaka zraka, slab vjetar, nepostojanje horizontalne advekcije temperature i frontalnih sustava koji nisu ukazali na vremensku situaciju koja bi posebno pogodovala

nastajanju šumskog požara. Analiza prostorne razdiobe naoblake Njemačke meteorološke službe i motrenja s glavne meteorološke postaje Krapina 22. ožujka 2012. pokazala je da vrijeme je bilo pretežno vedro, djelomice prekriveno srednjim (5–15%) i visokim oblacima (15%) pod utjecajem visokog tlaka zraka. Vidljivost je bila vrlo dobra do udaljenosti od 25 km. Temperatura zraka s maksimalnih 21,5 °C ukazuje na toplo vrijeme za ovo doba godine, a relativna vlažnost zraka od 38% u 14 h na suho vrijeme, koji su pogodovali nastajanju požara. Maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra iznosila 2,5 m/s, uz najjači udar vjetra od 6,4 m/s, a smjer vjetra bio je vrlo promjenjiv. Obje vrijednosti zabilježene su između 16 i 18 h kada je požar neposredno izbio i bio u početnoj fazi gašenja. Indeks meteorološke opasnosti od izbijanja šumskog požara (*FWI*) dao je malu opasnost u Krapini, Varaždinu i Bednji te umjerenu u Zaboku koja je neočekivana izvan požarne sezone u kontinentalnom dijelu Hrvatske. Uz to je pokazao da je najviše bilo ugroženo fino gorivo, a manje srednje i krupno gorivo. Hainesov indeks (*HI*) koji se određuje iz stabilnosti i vlažnosti atmosfere, dao je pak vrlo malu meteorološku opasnost od izbijanja šumskog požara (*HI* = 3). Razlog toga je najvjerojatnije mala vrijednost za vlažnost donjeg sloja troposfere tj. relativna vlažnost zraka koja je bila ispod 40%. Sondažna mjerenja na postaji Zagreb-Maksimir i pseudotempovi dobiveni modelom ALADIN/HR za krapinsko područje pokazali su slab vjetar do visine od 3 km. Vertikalni profili temperature zraka na dan nastanka požara u 12 UTC pokazuju njezino smanjivanje s visinom. Atmosfera je bila statički nestabilna u prvih 1 km visine što je pogodovalo uzlaznom gibanju zraka uz strmu prepreku s nagibima i do 60°. Temperaturna inverzija na visini oko 1,6 km je područje gdje dolazi do nagle promjene smjera vjetra i iznad toga atmosfera je stabilno stratificirana. Vizualni pokazatelj nestabilnosti donje troposfere je stupac dima koji se proteže u visinu (slika 1 gore lijevo). Došavši do stabilnog sloja zraka, koji sprečava daljnja uzlazna gibanja, dim skreće prema sjeveru. Prostorna razdioba Richardsonovog gradijentnog broja je veća od 1 prvog dana požara u terminu 15 UTC. Iz toga se vidi da nisu postojali povoljni uvjeti za jači razvoj turbulencije u donjem sloju troposfere koja bi bila odgovorna za brzo širenje požara kao što je to pokazano za velike šumske požare na Jadranu.

Najpovoljnija vremenska situacija za izbijanje i širenje požara na Strahinjčici nastupila je pretposljednog dana požara 26.3.2012., kada je došlo do promjene vremena. Prodorom hladnog zraka sa sjevera srednja dnevna temperatura se smanjuje na 11,9 °C. Srednja dnevna relativna vlažnost smanjivala se s 56% prvog dana požara do 34% pretposljednog dana požara što je posljedica prolaska hladne fronte istočno od unutrašnjosti Hrvatske. Toga dana je zabilježena relativna vlažnost zraka od samo 16% između 16 i 17 h.

Maksimalna srednja 10-minutna brzina vjetra iznosila je 7 m/s s jakim udarima vjetra, najviše do 12,8 m/s N i NE smjera. Indeks meteorološke opasnosti od izbijanja požara *FWI* dao je veliku opasnost od izbijanja požara u Krapini što je bilo neočekivano visoko. Hainesov indeks (*HI*) dao je veliku opasnost (*HI* = 6). Vertikalni profili vjetra iz sondažnih mjerenja na postaji Zagreb-Maksimir i iz modela ALADIN/HR za krapinsko područje ukazali su na pojavu niske mlazne struje u 00 UTC. Na području Strahinjčice simuliran je maksimum brzine vjetra 16–20 m/s na visini 700–1000 m. Prostorna razdioba Richardsonovog gradijentnog *Ri* dobivena modelom ALADIN/HR dala je između termina 09 i 15 UTC vrijednost $Ri < 0$ što ukazuje na statički i dinamički nestabilan sloj zraka koji podržava uzlazna gibanja i time širenje vatre uz prepreku. Međutim, u to vrijeme šumski požar bio je praktički već ugašen i nije došlo do njegovog ponovnog rasplamsavanja.

Prema tome, nastanku šumskog požara pogodovalo je dugotrajno sušno razdoblje, ekstremno visoke temperature zraka i tla u ožujku 2012. što je isušilo fini gorivi materijal (listinac). Na širenje šumskog požara utjecala je konfiguracija terena koji je vrlo strm, na mjestima i s nagibom do 60° i konvekcija toplog zraka uz prepreku.

Ovaj rad je pokazao koliko je važno pravovremeno djelovati kod nastanka požara. Meteorološka služba pomaže vatrogascima u dobivanju specijaliziranih vremenskih prognoza i procjena opasnosti od šumskih požara za područje zahvaćeno požarom. Međutim, ta suradnja mogla bi biti još bolja jer je za vrijeme velikih požara nužna i prisutnost meteorologa na terenu i obavljanje specijalnih meteoroloških mjerenja.

Šumski požar na Strahinjčici započeo je ljudski nemar najvjerojatnije zbog paljenja korova u proljeće. Na sreću, ljudska mudrost i spretnost vatrogasaca spriječila je još veću katastrofu koja se mogla dogoditi da požar nije bio na vrijeme lokaliziran.

6. LITERATURA

- Bajić, A., 2011: Prostorna raspodjela očekivanih maksimalnih brzina vjetra na složenom terenu Hrvatske kao podloga za ocjenu opterećenja vjetrom, Doktorski rad, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, 58–59.
- Banjan, B., 2012: Nova intervencija u parku prirode „Kopački rit“, *Vatrogasni vjesnik*, **4** 2012, 17–18.
- Blackadar, A.K., 1957: Boundary layer wind maximum and their significance for the growth nocturnal inversion, *Bulletin American Meteorological Society*, **38**, 283–290.
- Bonner, W. D., 1968: Climatology of the low level jet, *Monthly Weather Review*, 96, 833–850.
- Dimitrov, T., 1982: Šumski požari i sistem procjene od opasnosti od požara, poglavlje Osnove zaštite šuma od požara, Centar za informacije i publicitet, Zagreb, 181–256.
- Đurić, V., 2012: Brojne požare otvorenog prostora uspješno ugasili vatrogasci Petrinje, *Vatrogasni vjesnik*, **3** 2012, 26.
- EFFIS, 2011: Meteorological indices, Joint Research Centre, European Commission, 20–28. http://effis-viewer.jrc.ec.europa.eu/documents/general-interest/Indices_description.pdf
- Grbec, B., M. Morović i A. Bajić, 2010: Virtualni laboratorij – Sustav za praćenje promjenjivosti fizikalnih parametara u atmosferi, graničnom sloju atmosfera-more i u moru, 3. <http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory>
- Holton, J. R., 2004: An introduction to dynamic meteorology, University of Washington, Washington, 535 str.
- Ivatek-Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of the high-resolution dynamical adaptation in operational suite and research impact studies, *Meteorologische Zeitschrift*, **13**, 99–108.
- Jeričević, A. i B. Grisogono, 2006: The critical bulk Richardson number in urban areas: verification and application in a numerical weather prediction model, *Tellus*, vol. 58A, Blackwell Munksgaard, 19–27.
- Klečar, S., M. Kratochvil, R. Marotti, M. Paluh, N. Szabo, M. Vinković i M. Vučetić, 2010: Osnove gašenja požara raslinja, Mi Star d.o.o., Zagreb, 21–70.
- Mifka, B., 2011: Vremenska analiza katastrofalnog požara na otoku Braču od 14. do 17. srpnja 2011, Diplomski rad, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, 56 str.
- Mihoković, B., 2012: Velik broj požara, *Vatrogasni vjesnik*, **4** 2012, 91.
- Mokorić, M., T. Kozarić, L. Kalin, 2014: Analiza Hainesova indeksa na Jadranu s ciljem poboljšanja procjene opasnosti od požara raslinja, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, **2/2014, vol. IV**, 46–61.

- NWCG, 2008: Introduction to Wildland Fire behaviour, S-190 http://training.nwcg.gov/pre-courses/s290/S-290%20Student%20CD/S-190_Student%20Workbook.pdf
- Pandžić, K., 2002: Analiza meteoroloških polja i sustava, Hinus, Zagreb, 128.
- Pomoravec, Z., 2012: Nema više nekontroliranog paljenja, *Vatrogasni vjesnik*, **3/2012**, 24.
- Stanešić, A., 2011: Asimilacijski sustav u DHMZ-u: Razvoj i prvi rezultati verifikacije, *Hrvatski meteorološki časopis*, **44/45**, 3–17.
- Svoboda, M, M. Hayes and D. Wood, 2012: Standardized precipitation index user guide, WMO-No. 1090, Geneva, 24 str.
- Šutler, M., 2012: Veliki šumski požar u Starom Topolju, *Vatrogasni vjesnik*, **3/2012**, 24.
- Tomašević, I., 2012: Vertikalni profili atmosfere za vrijeme velikih šumskih požara, Diplomski rad, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, 58 str.
- Van Wagner C.E., Pickett, T. L., 1985: Equations and fortran program for the canadian forest fire weather index system, Canadian forestry service, Government of Canada, Forestry technical report 33, 18 str.
- Viegas, D.X., 2007: Predicting eruptive fire behaviour, Workshop Mathematical modeling and numerical simulation of forest fire propagation, Vigo, 29–30.11.2007., 113 str. <http://www.dma.uvigo.es/fire/pdf/dviegas.pdf>
- Vučetić, M. i T. Dimitrov, 2000: Vremenske prilike i šumski požari u priobalju Republike Hrvatske u 1999. godini, *Šumarski list*, **9–10/2000**, 549–560.
- Vučetić, M. i V. Vučetić, 1999: Požari u različitim vremenskim situacijama, *Vatrogasni vjesnik*, **12/99**, 12–14.
- Vučetić, M., 1987: Meteorološka analiza katastrofalnog šumskog požara na Korčuli 1985, *Rasprave*, **22**, 67–72.
- Vučetić, M., 1992: Vremenske prilike tijekom šumskog požara na otoku Hvaru od 13. do 31.7.1990, *Hrvatski meteorološki časopis*, **27**, 69–76.
- Vučetić, M., 2001: Vremenske prilike i šumski požari na hrvatskom priobalju tijekom 2000, *Šumarski list*, **7–8/2001**, 367–378.
- 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**, 41–65.

OSTALI ONLINE IZVORI:

http://klima.hr/ocjene_arhiva.php

http://klima.hr/spi.php?id=prostorna&G_odina=2012&Mjesec=03

<http://meteo.hr>

http://vrijeme.hr/pozari.php?id=pozar_opis

<http://www.erh.noaa.gov/cae/haines.htm>

<http://www.eumetrain.org/eport>

<http://www.izor.hr/web/guest/virtual-laboratory>

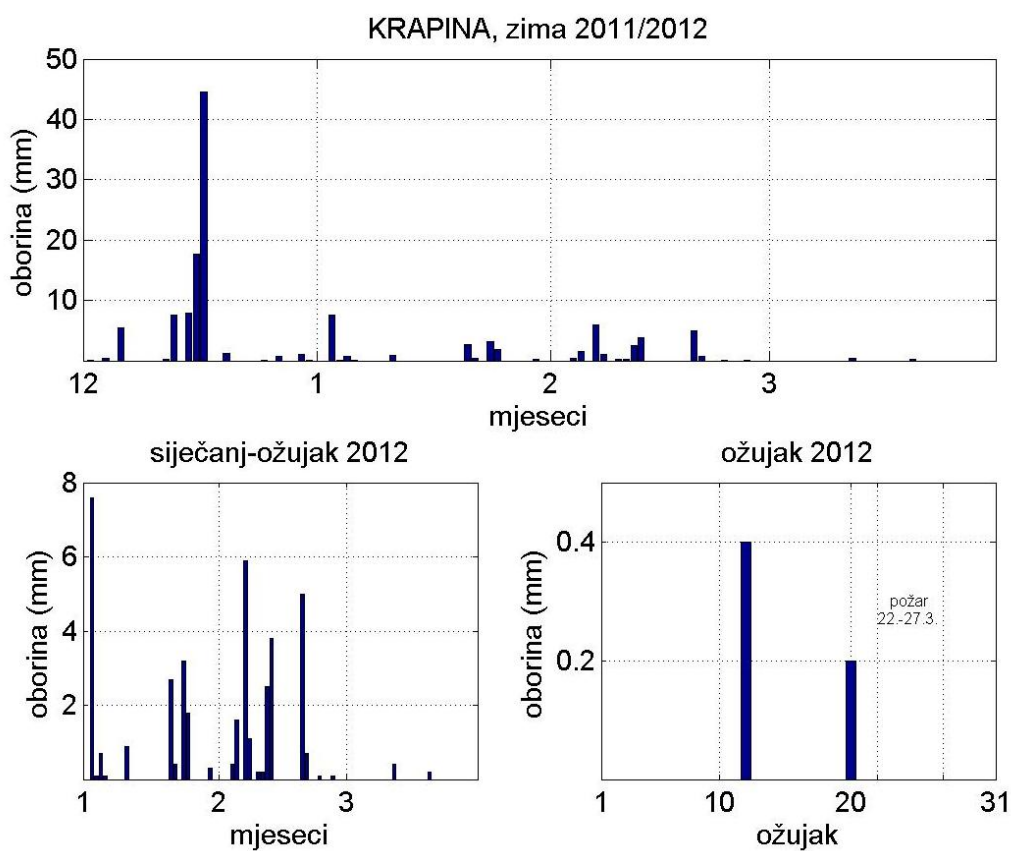
<http://www.jvp-krapina.hr/index.php/dogadjanja/39-vjezbe/412-u-radoboju-odana-analiza-intervencije-qstrahinjica-2012q>

<http://www.wetter3.de/Archiv/>

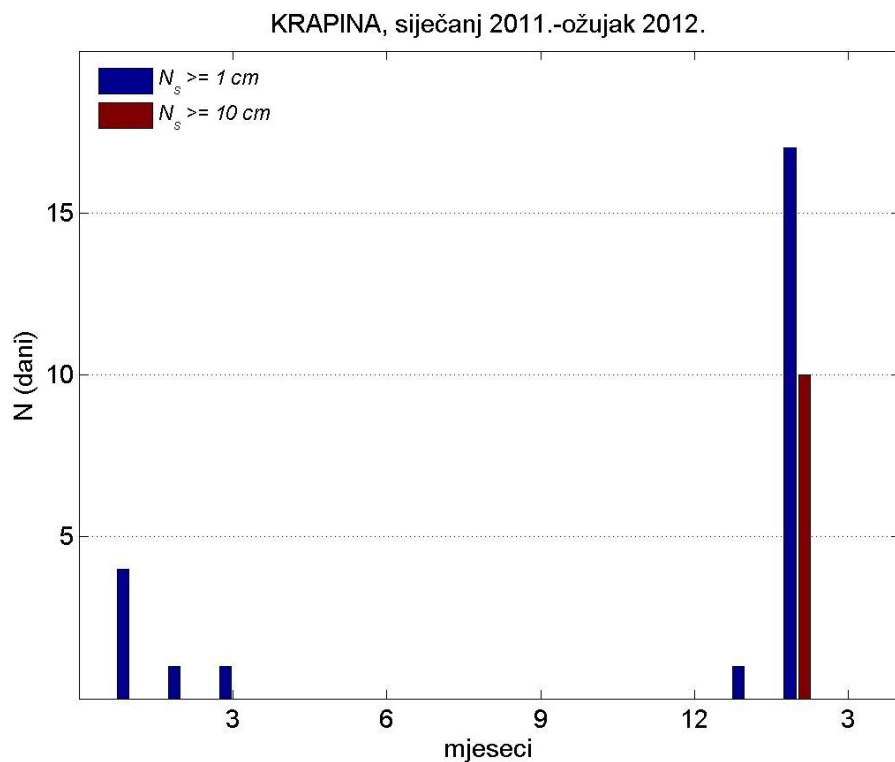
<https://www.google.hr/maps>

7. PRILOZI

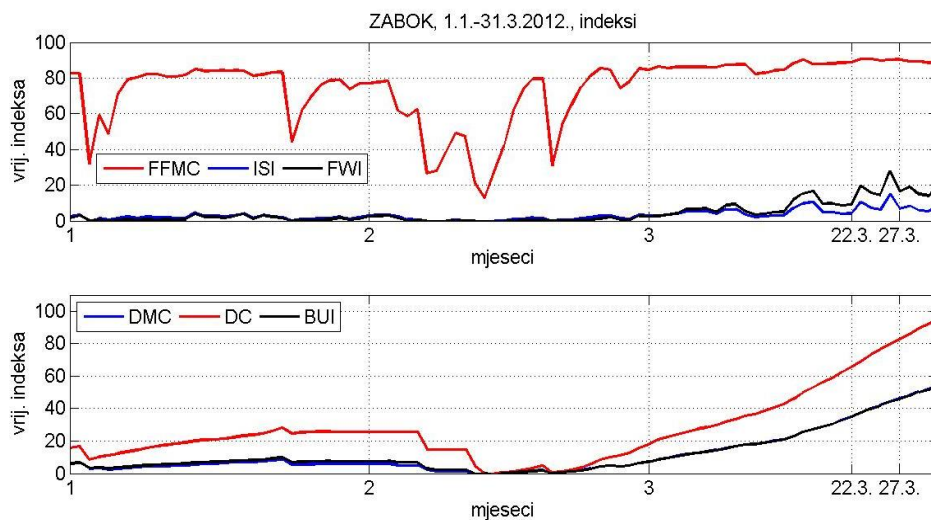
PRILOG 1.



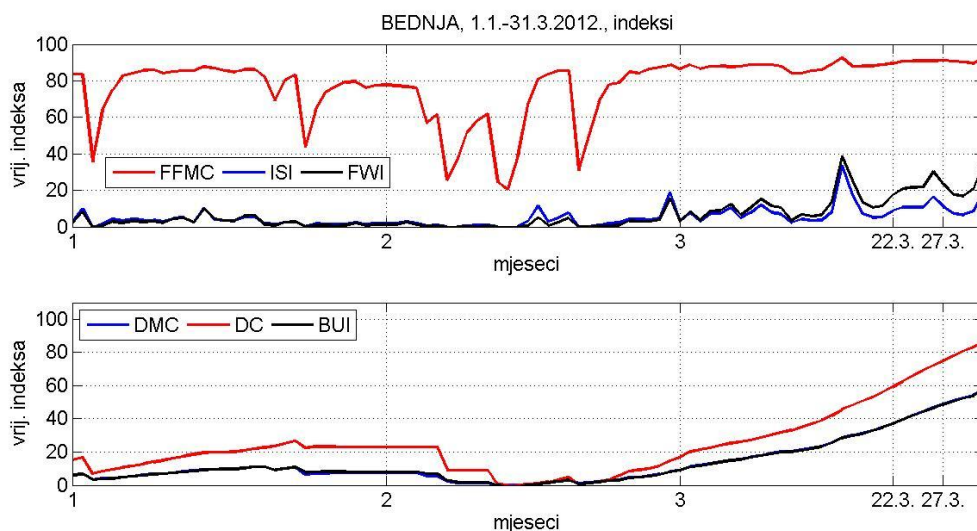
Slika 7.1.1. Količina oborine koja je zabilježena na postaji Krapina za razdoblje: prosinac 2011.–ožujak 2012. (gore), siječanj–ožujak 2012. (dolje lijevo) i samo ožujak 2012. (dolje desno). Na prikazu oborine za ožujak 2012. je vertikalnim isprekidanim crtama označeno vrijeme trajanja požara 22.–27.3.2012.



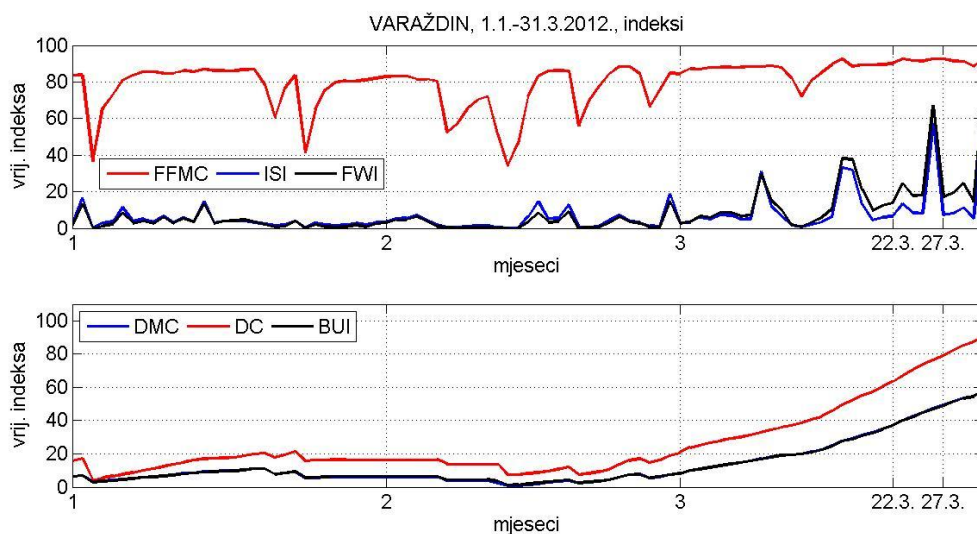
Slika 7.1.2. Broj dana s visinom snježnog pokrivača $N_s \geq 1 \text{ cm}$ i $\geq 10 \text{ cm}$ za Krapinu u razdoblju 1.2011.–3.2012.



Slika 7.1.3. Indeksi kanadske metode za procjenu opasnosti od šumskog požara za Zabok za razdoblje 1.1.–31.3.2012. Vertikalnim linijama označeno je vrijeme trajanja požara na Strahinjčici 22.–27.3.2012. Gore: pokazatelj vlažnosti finog goriva (*FFMC*), indeks početnog širenja (*ISI*) i indeks meteorološke opasnosti *FWI*. Dolje: pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*DMC*) i krupnog goriva (*DC*), te indeks ukupnog goriva (*BUI*).

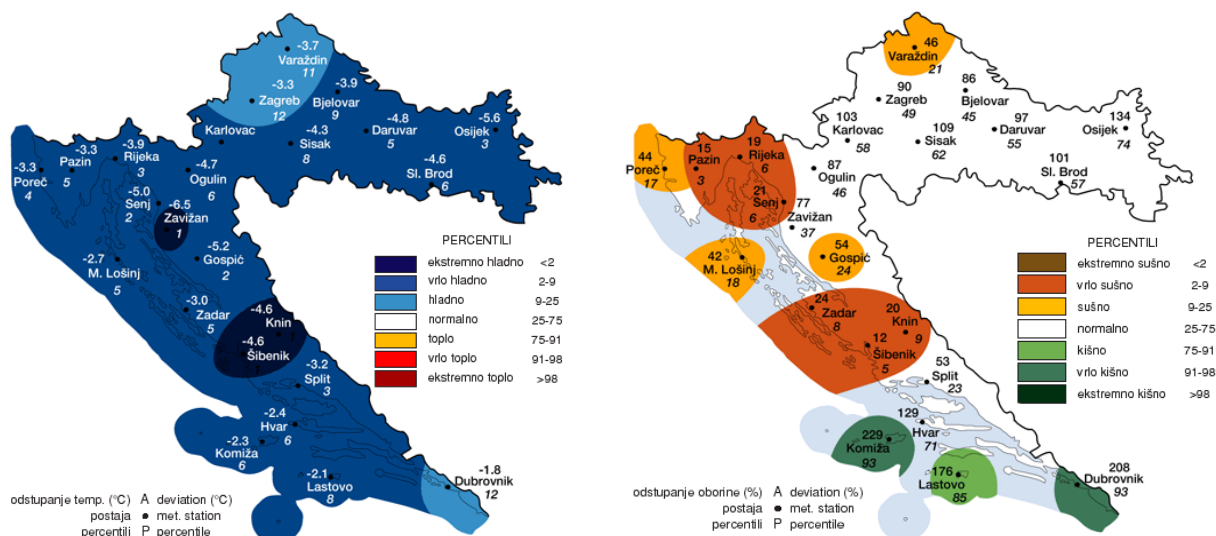


Slika 7.1.4. Indeksi kanadske metode za procjenu opasnosti od šumskog požara za Bednju za razdoblje 1.1.–31.3.2012. Vertikalnim linijama označeno je vrijeme trajanja požara na Strahinjčici 22.–27.3.2012. Gore: pokazatelj vlažnosti finog goriva (*FFMC*), indeks početnog širenja (*ISI*) i indeks meteorološke opasnosti *FWI*. Dolje: pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*DMC*) i krupnog goriva (*DC*), te indeks ukupnog goriva (*BUI*).

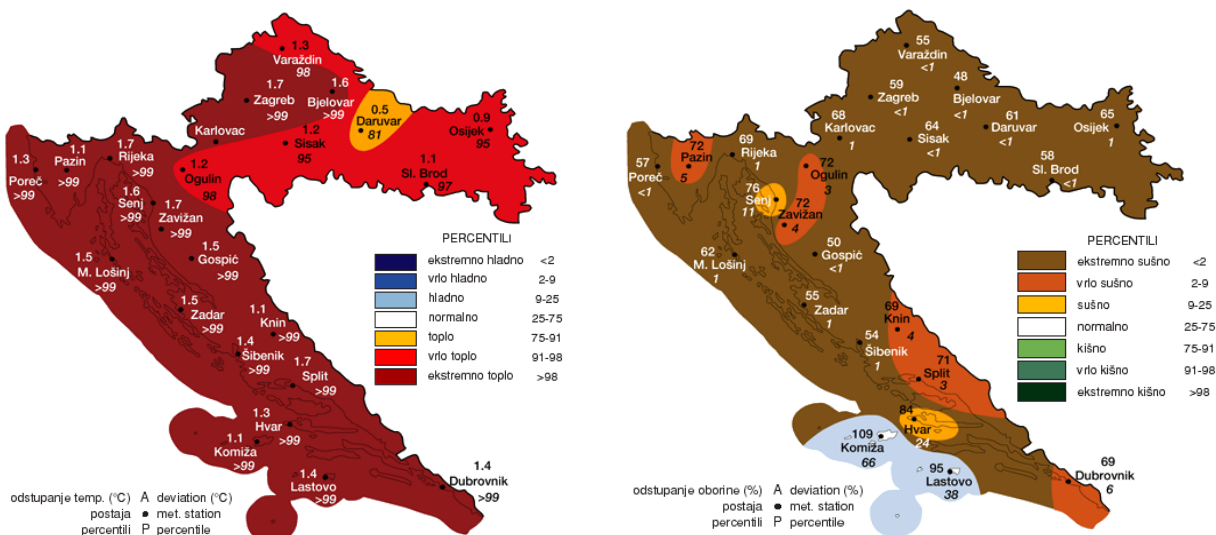


Slika 7.1.5. Indeksi kanadske metode za procjenu opasnosti od šumskog požara za Varaždin za razdoblje 1.1.–31.3.2012. Vertikalnim linijama označeno je vrijeme trajanja požara na Strahinjčici 22.–27.3.2012. Gore: pokazatelj vlažnosti finog goriva (*FFMC*), indeks početnog širenja (*ISI*) i indeks meteorološke opasnosti *FWI*. Dolje: pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva (*DMC*) i krupnog goriva (*DC*), te indeks ukupnog goriva (*BUI*).

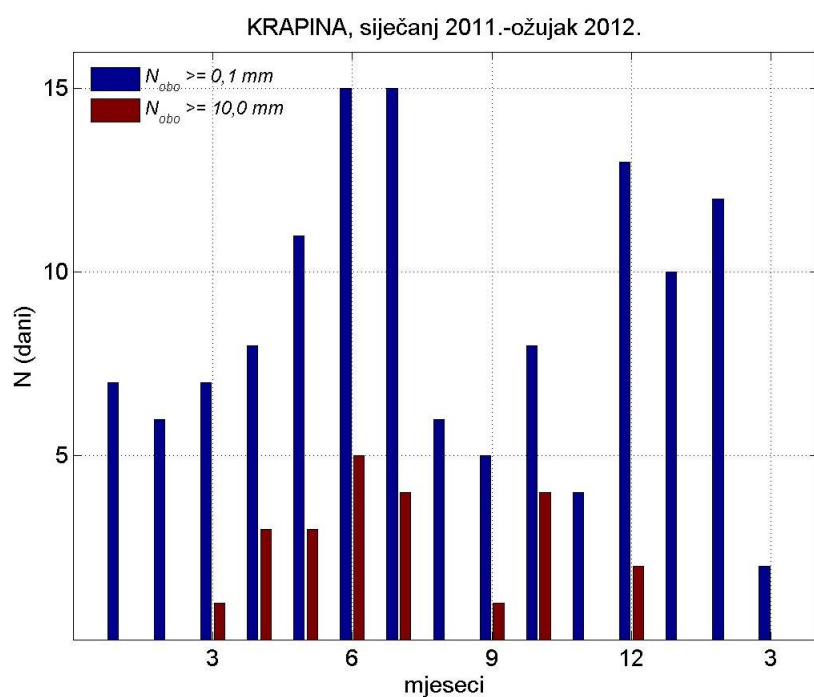
PRILOG 2.



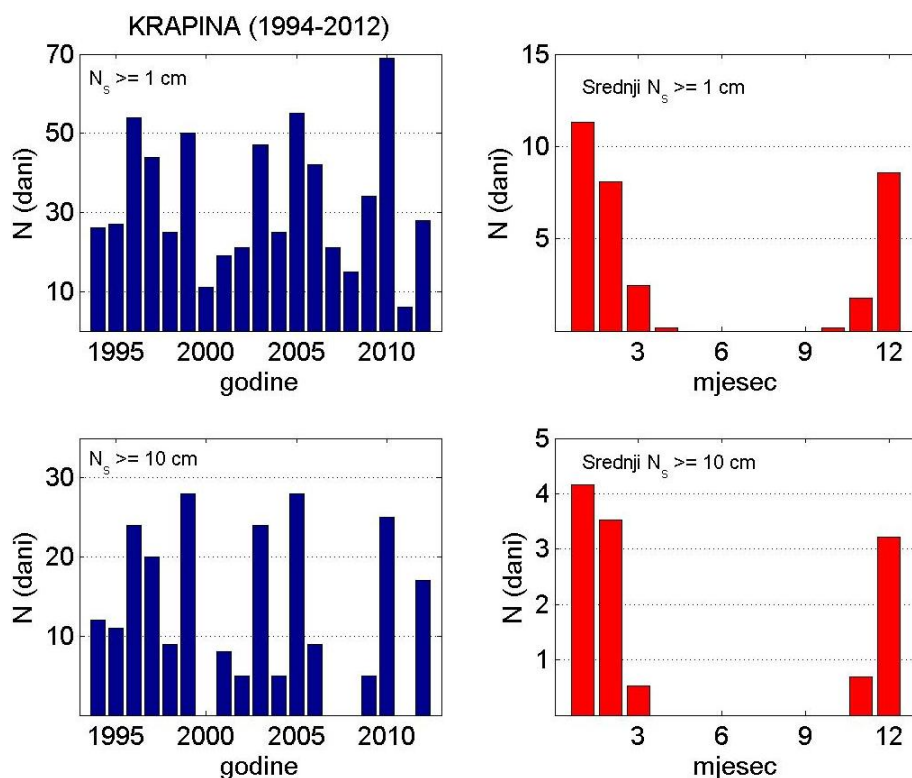
Slika 7.2.1. Odstupanja srednje mjesečne temperature zraka (°C, lijevo) i količine oborine (% desno) za veljaču 2012. od višegodišnjeg prosjeka 1961.–1990. (izvor: http://klima.hr/ocjene_arhiva.php).



Slika 7.2.2. Odstupanja srednje mjesečne temperature zraka (°C, lijevo) i količine oborine (% desno) za 2011. godinu od višegodišnjeg prosjeka 1961.–1990. (izvor: http://klima.hr/ocjene_arhiva.php).

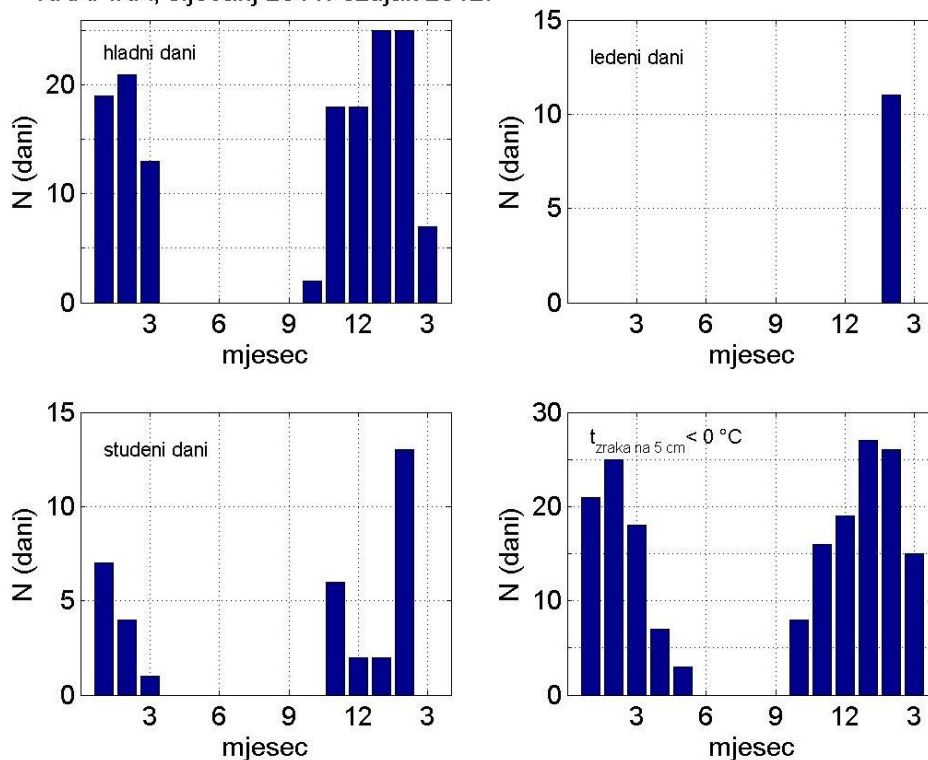


Slika 7.2.3. Broj dana s količinom oborine $N_{obo} \geq 0,1 \text{ mm}$ i $\geq 10 \text{ mm}$ za Krapinu u razdoblju siječanj 2011.–ožujak 2012.



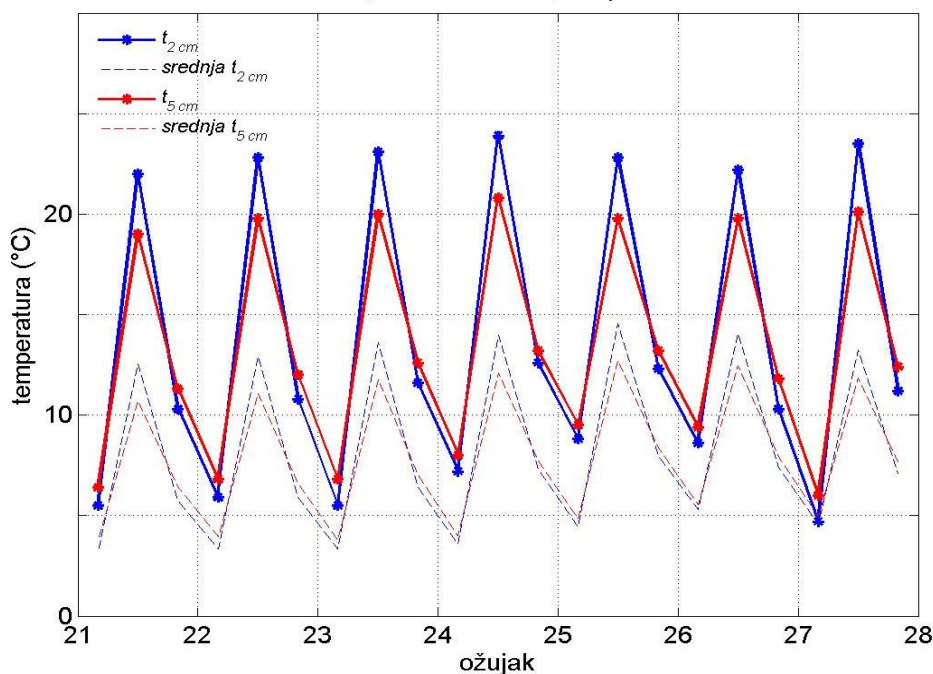
Slika 7.2.4. Višegodišnji hod broja dana s visinom snježnog pokrivača $N_s \geq 1 \text{ cm}$ (gore lijevo) i 10 cm (dolje lijevo) za Krapinu za razdoblje 1994.–2012. Godišnji hod srednjih mjesečnih vrijednosti broja dana s visinom snježnog pokrivača $N_s \geq 1 \text{ cm}$ (gore desno) i $\geq 10 \text{ cm}$ (dolje desno) za isto razdoblje.

KRAPINA, siječanj 2011.-ožujak 2012.

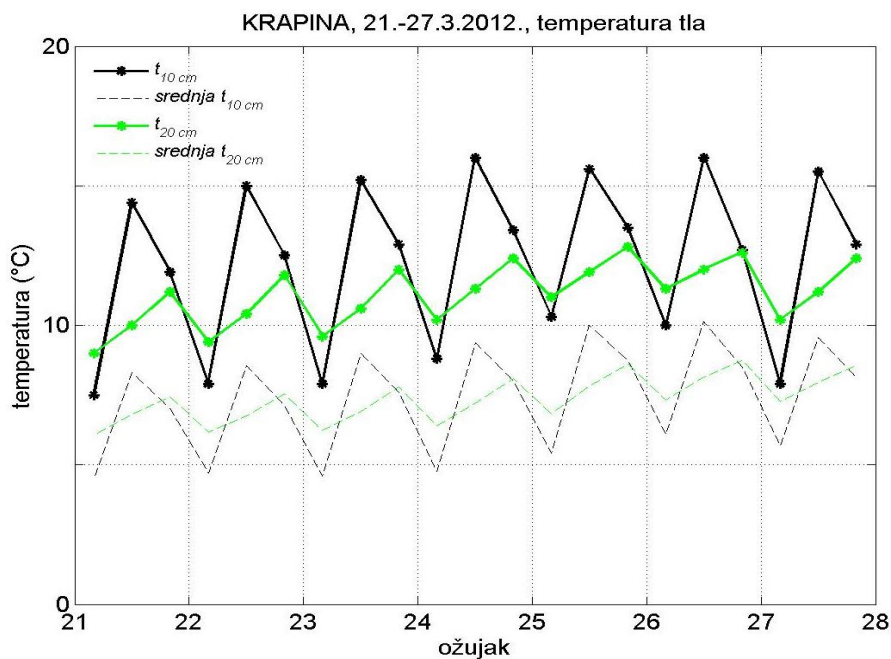


Slika 7.2.5. Godišnji hod broja hladnih ($t_{min} < 0^\circ\text{C}$) (gore lijevo), ledenih ($t_{min} \leq -10^\circ\text{C}$) (gore desno) i studenih dana ($t_{max} < 0^\circ\text{C}$) (dolje lijevo) te broja dana s temperaturom zraka na 5 cm visine $< 0^\circ\text{C}$ (dolje desno), za Krapinu za razdoblje 1.2011.–3.2012.

KRAPINA, 21.-27.3.2012., temperatura tla



Slika 7.2.6. Izmjerena i srednja višegodišnja (1994.–2012.) temperatura tla ($^\circ\text{C}$) za Krapinu na dubinama od 2 cm ($t_{2\text{ cm}}$ i $\text{srednja } t_{2\text{ cm}}$) i 5 cm ($t_{5\text{ cm}}$ i $\text{srednja } t_{5\text{ cm}}$) u 7, 14 i 21 h SEV za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012.

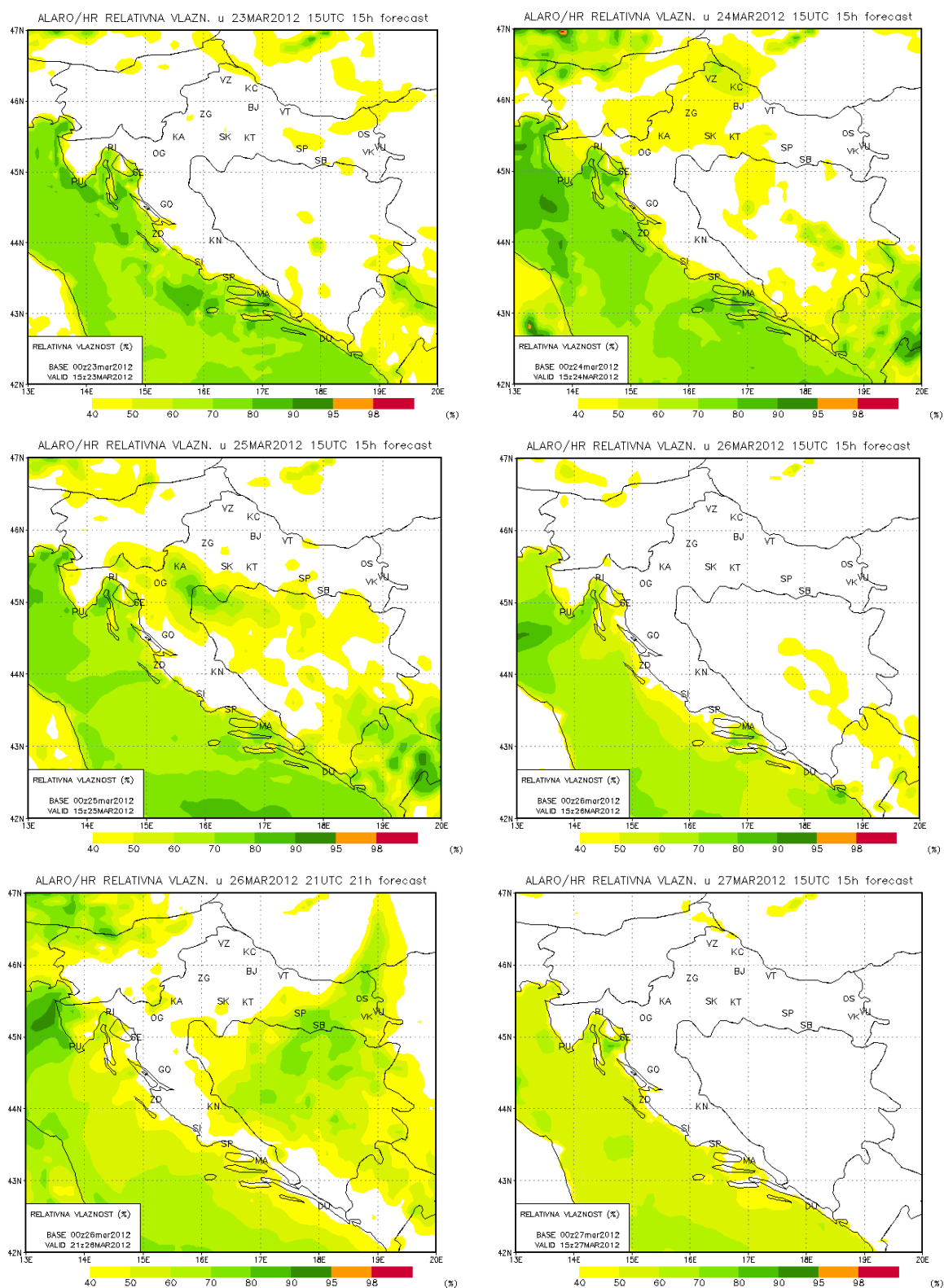


Slika 7.2.7. Izmjerena i srednja višegodišnja (1994.–2012.) temperatura tla (°C) za Krapinu na dubinama od 10 cm ($t_{10\text{ cm}}$ i $\text{srednja } t_{10\text{ cm}}$) i 5 cm ($t_{20\text{ cm}}$ i $\text{srednja } t_{20\text{ cm}}$) u 7, 14 i 21 h SEV za dan prije izbijanja požara 21.3.2012. i za vrijeme trajanja požara na Strahinjčici od 22. do 27.3.2012.

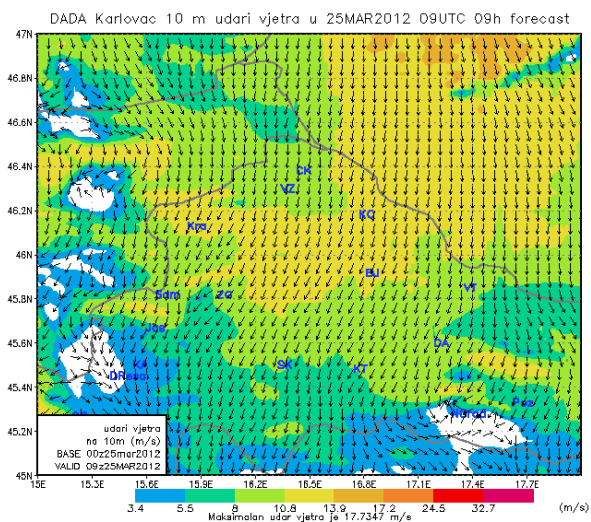
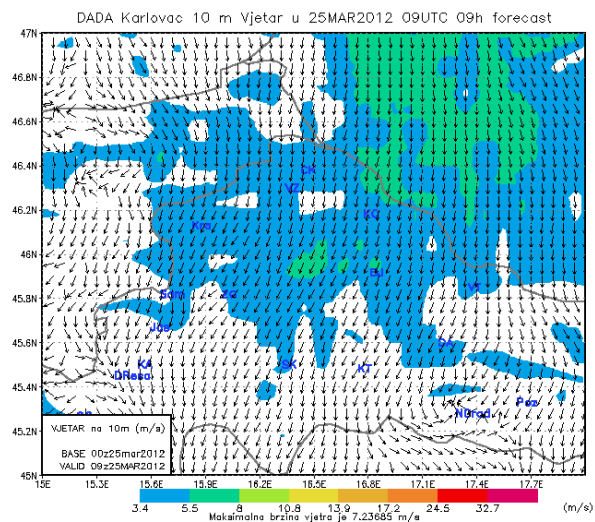
Tablica 7.2.1. Minimalne, srednje i maksimalne temperature tla (°C) na dubinama od 2 cm, 5 cm, 10 cm i 20 cm za Krapinu za ožujak iz razdoblja 1994.–2012. Žutom bojom označene su najtoplije godine.

KRAPINA, temperatura tla (°C), ožujak 1994.-2012.												
	2 cm			5 cm			10 cm			20 cm		
	MIN	SRED	MAKS	MIN	SRED	MAKS	MIN	SRED	MAKS	MIN	SRED	MAKS
1994	0,7	10,1	24,6	1,9	9,7	20,5	3,8	9,0	15,3	5,1	8,9	12,3
1995	0,0	5,5	17,6	1,1	5,4	14,1	1,7	5,2	10,5	2,9	5,5	9,3
1996	-3,0	4,1	14,8	-1,0	3,8	10,5	-0,5	3,5	9,0	0,8	3,7	8,2
1997	-0,5	6,8	19,2	1,5	6,7	14,5	2,5	6,4	11,0	4,1	6,5	9,2
1998	-0,6	5,9	18,3	0,2	5,6	15,5	1,3	5,3	11,4	3,0	5,6	10,0
1999	0,3	7,7	17,5	0,7	7,4	15,5	2,0	6,9	11,9	3,4	6,9	10,2
2000	-0,4	7,2	20,0	0,5	6,7	14,0	0,9	6,4	12,0	3,3	6,4	9,3
2001	0,0	9,1	20,5	0,5	8,7	17,8	0,6	8,4	15,1	2,0	8,3	12,6
2002	0,8	8,7	24,0	1,3	8,5	20,1	2,4	8,0	15,0	5,0	7,8	12,0
2003	-1,9	7,3	28,1	-1,0	6,8	23,2	0,1	6,2	16,4	0,9	5,9	11,5
2004	-0,8	5,5	19,2	-0,5	5,4	17,9	0,2	5,1	13,4	1,4	5,2	10,0
2005	-4,4	5,4	21,5	-3,6	5,1	18,5	-2,3	4,7	14,5	0,3	4,7	11,4
2006	-1,6	4,6	15,2	-1,2	4,4	14,5	-0,2	4,0	10,8	1,0	4,2	9,8
2007	1,2	8,3	19,4	2,3	8,3	16,6	3,4	7,8	13,3	5,8	8,3	11,1
2008	0,4	6,7	20,8	1,0	6,7	17,6	2,0	6,2	13,5	3,7	6,4	10,7
2009	0,6	6,8	17,0	1,0	6,7	14,3	2,0	6,3	11,0	4,0	6,4	8,7
2010	-1,7	6,3	20,0	0,0	6,2	17,7	0,2	5,7	14,3	1,6	5,9	11,4
2011	-1,6	6,4	19,1	-0,6	6,4	17,6	-0,4	5,8	13,7	0,6	5,7	11,4
2012	-0,7	9,8	24,8	0,8	9,6	21,4	1,8	8,8	16,7	3,8	8,2	13,4

PRILOG 3.

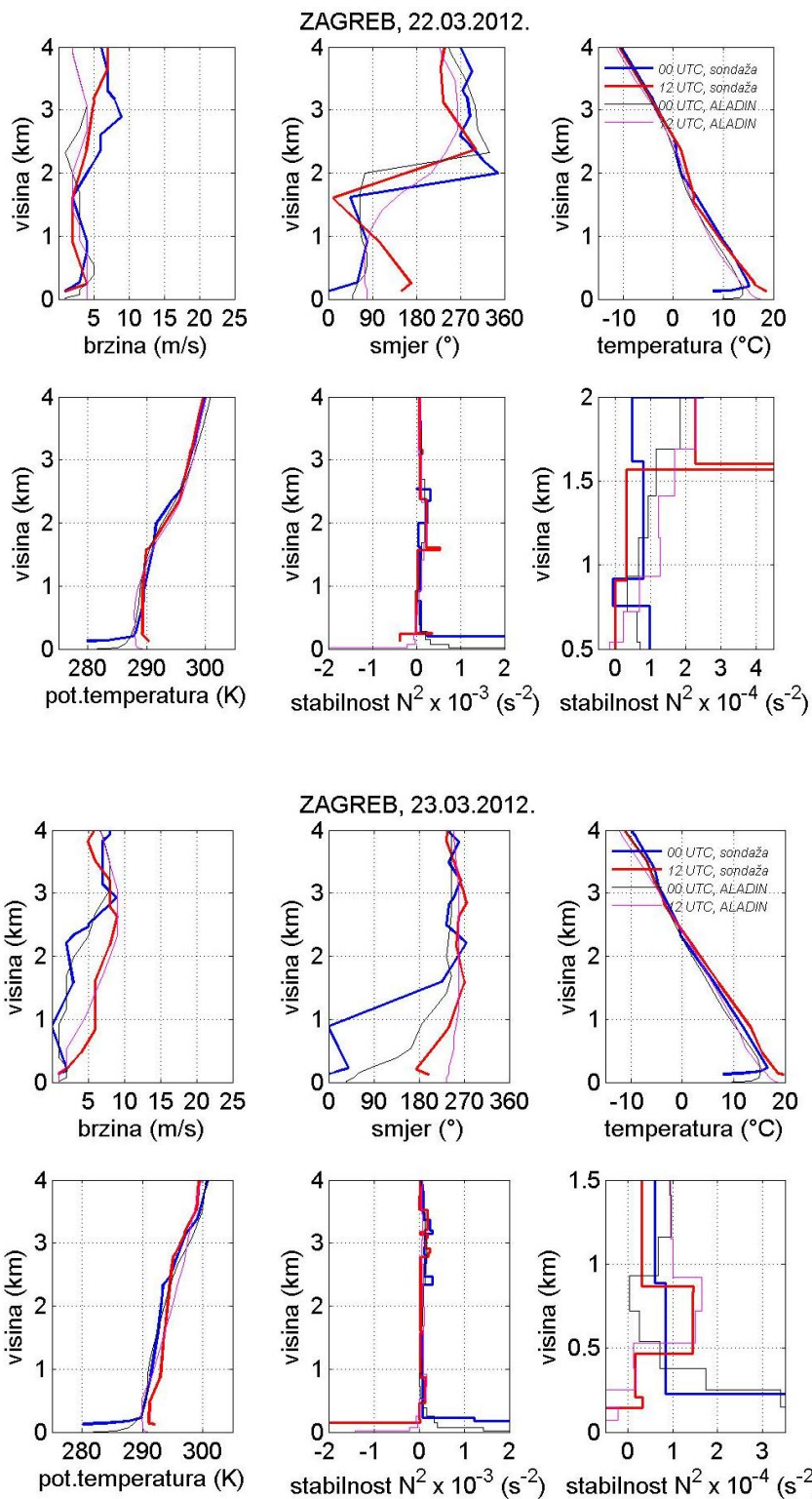


Slika 7.3.1. Prognozirana meteorološka polja relativne vlažnosti zraka za 23.3.2012. u 15 UTC (gore lijevo), 24.3.2012. u 15 UTC (gore desno), 25.3.2012. u 15 UTC (sredina lijevo), 26.3.2012. u 15 UTC (sredina desno) i 21 UTC (dolje lijevo) te 27.3.2012. u 15 UTC. Horizontalna razlučivost modela je 8 km, a početak simulacije modela ALADIN/HR je za svaki navedeni dan istog dana u 00 UTC.

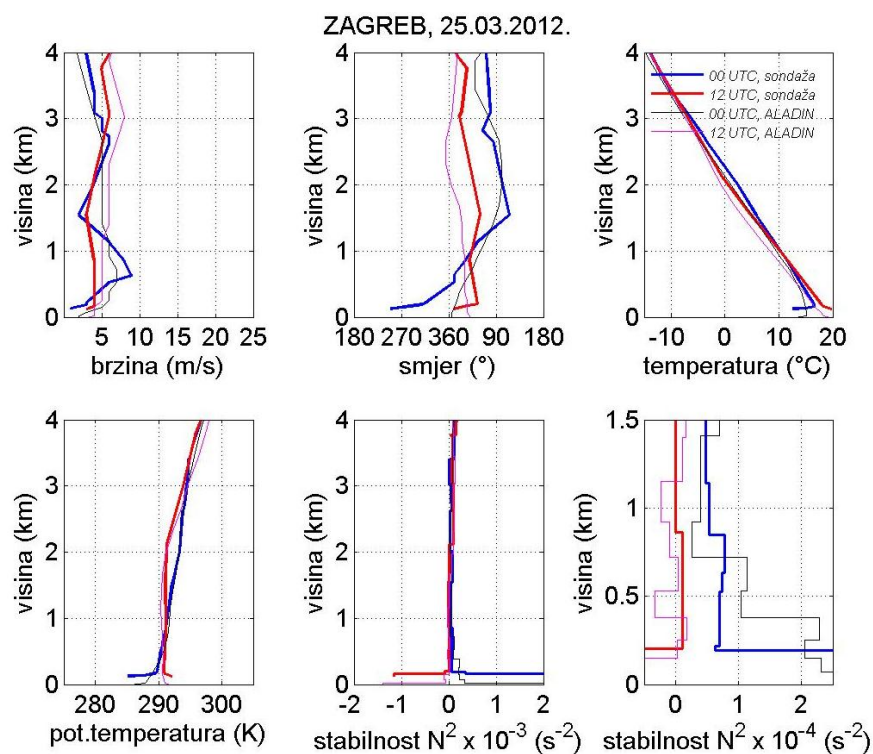
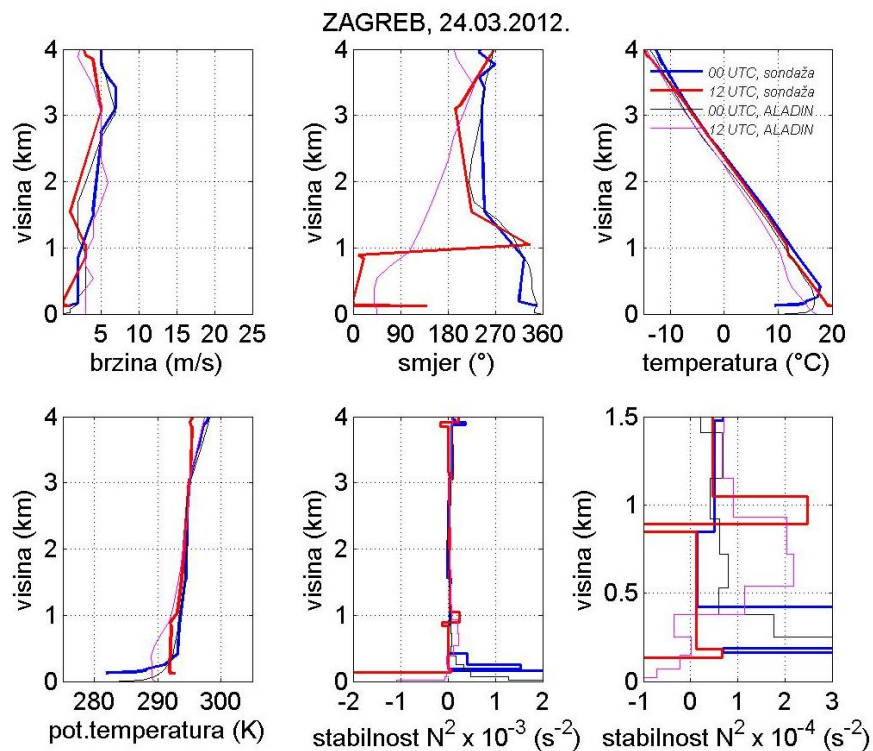


Slika 7.3.2. Brzina (osjenčano) i smjer (strelice) vjetra (lijevo) te maksimalni udari vjetra (desno) dobiveni dinamičkom adaptacijom s horizontalnom razlučivosti od 2 km, za 25.3.2012. godine u 09 UTC s početkom simulacije modela je 25.3.2012 u 00 UTC.

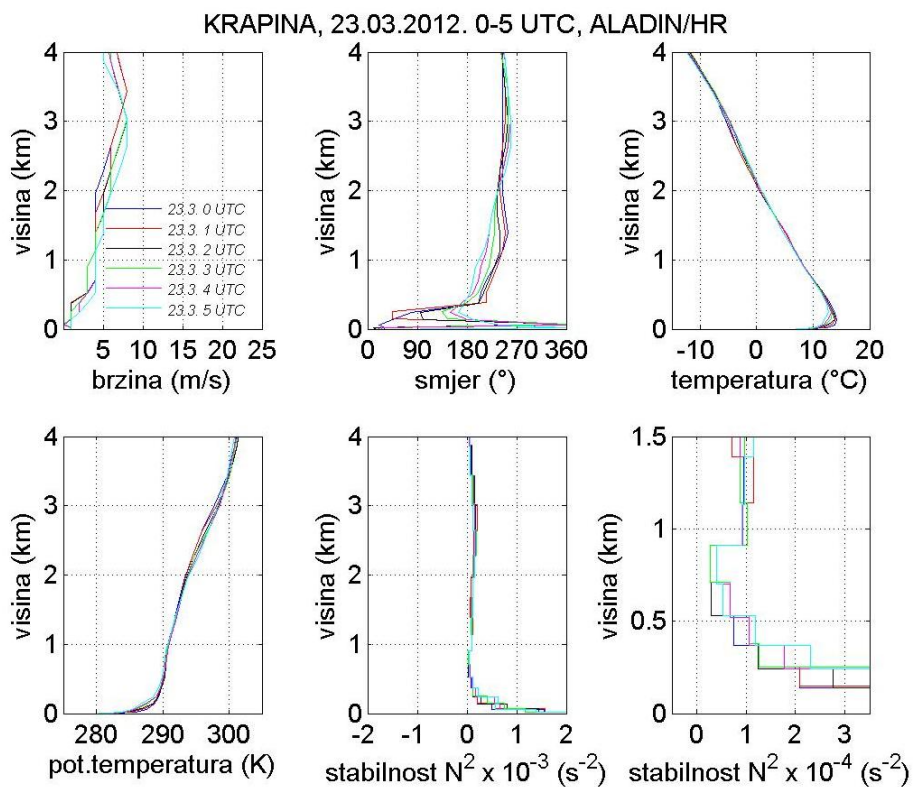
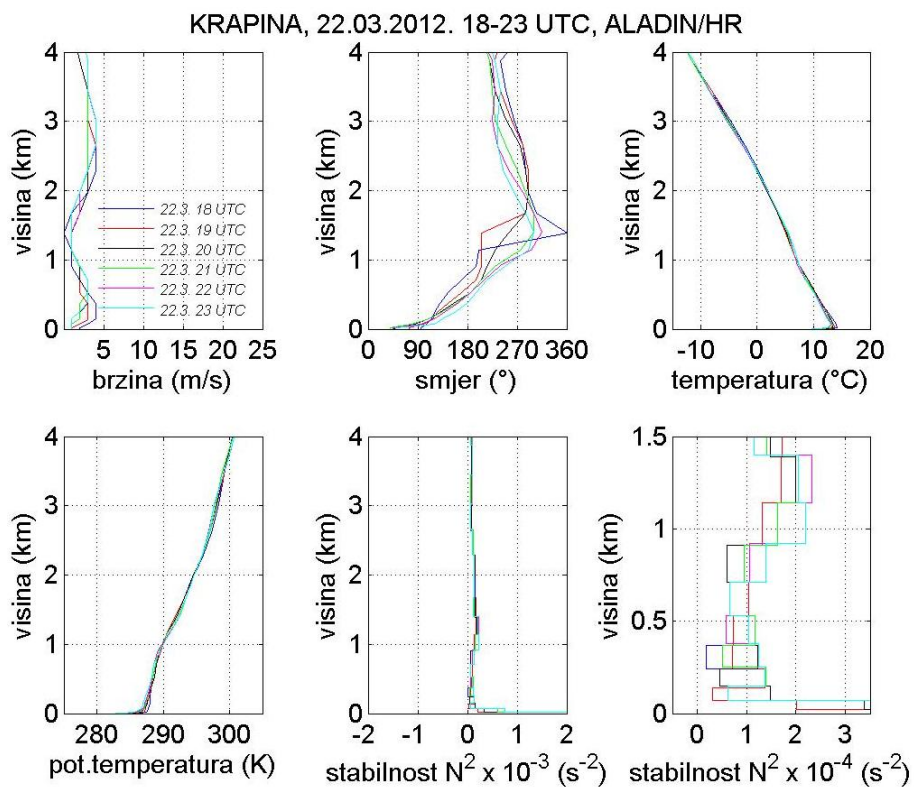
PRILOG 4.



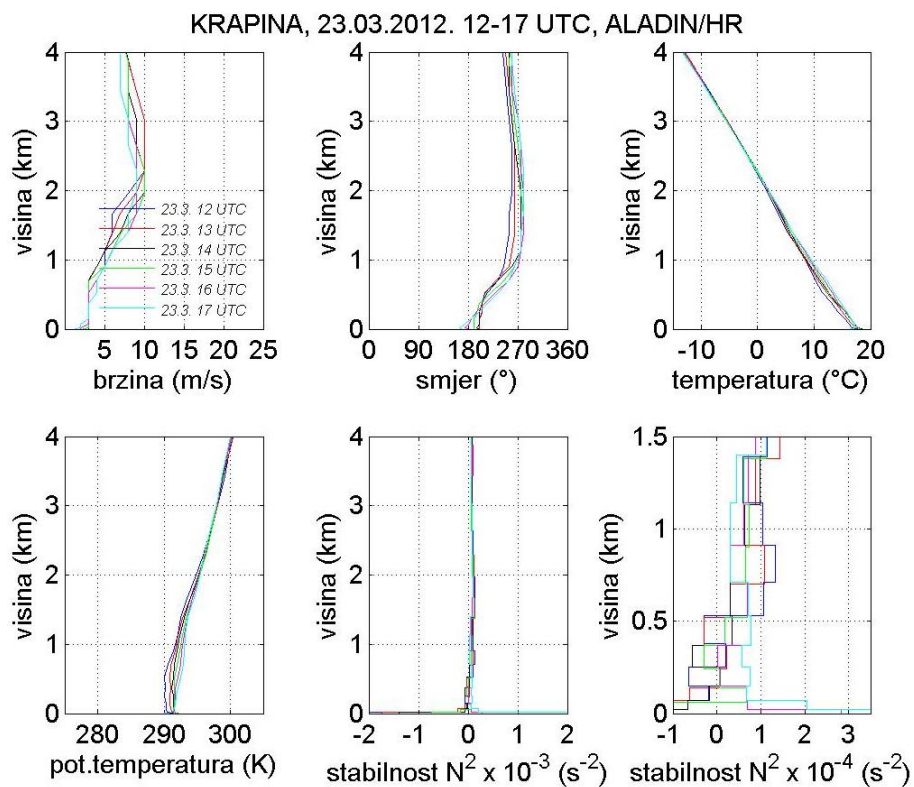
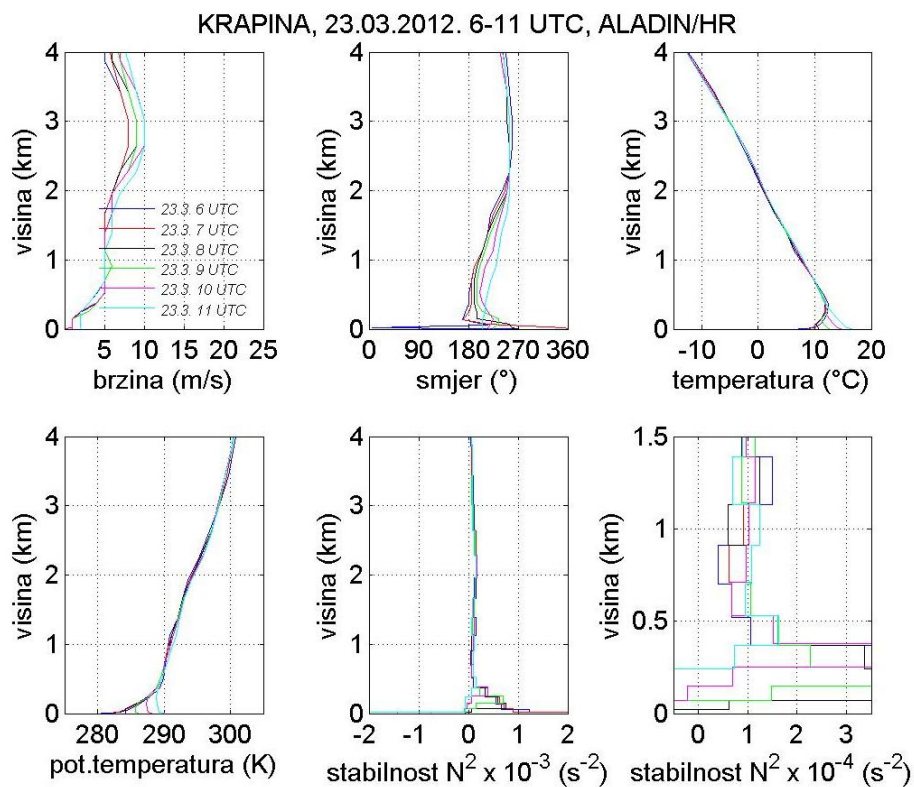
Slika 7.4.1. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 22. i 23.3.2012. u 00 i 12 UTC.



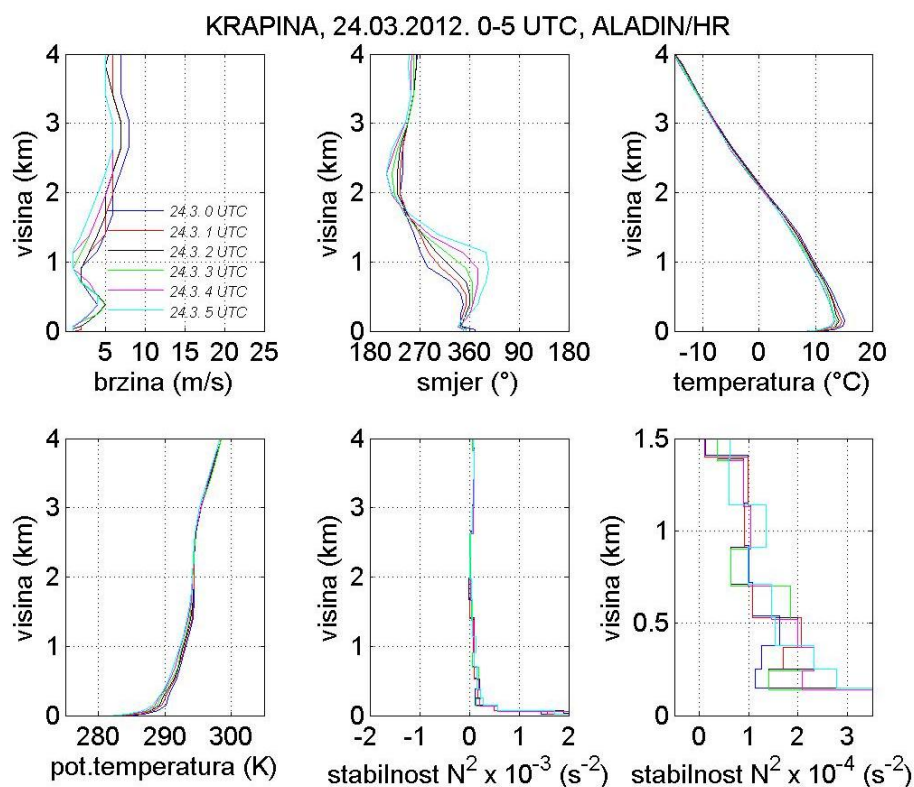
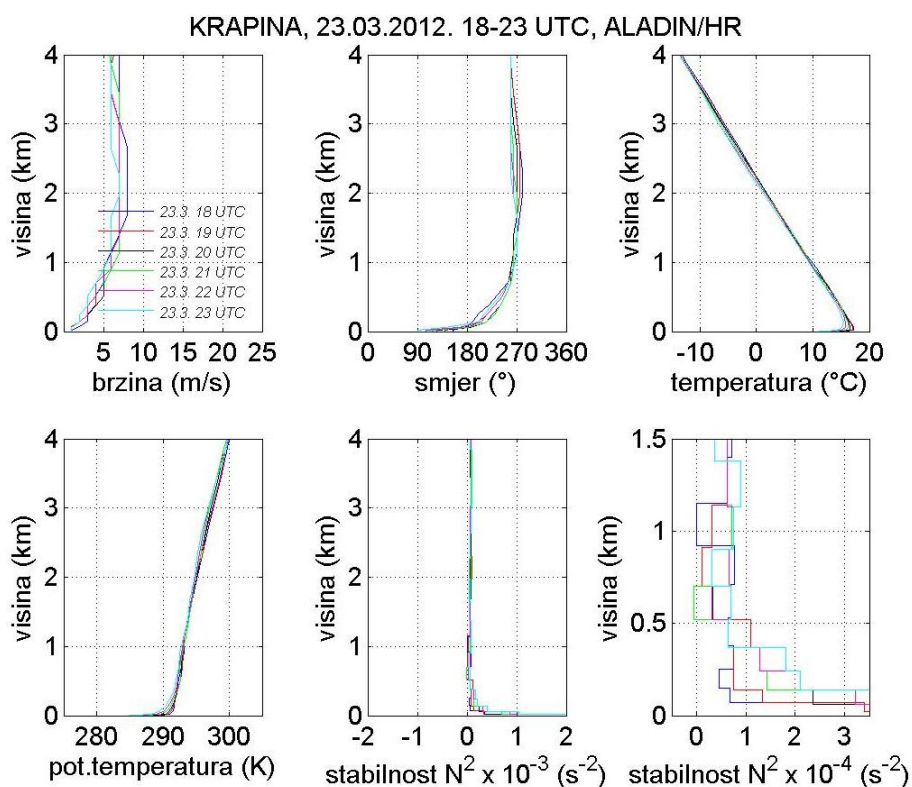
Slika 7.4.2. Vertikalni profil brzine vjeta (m/s, gore lijevo), smjera vjeta ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 24. i 25.3.2012. u 00 i 12 UTC.



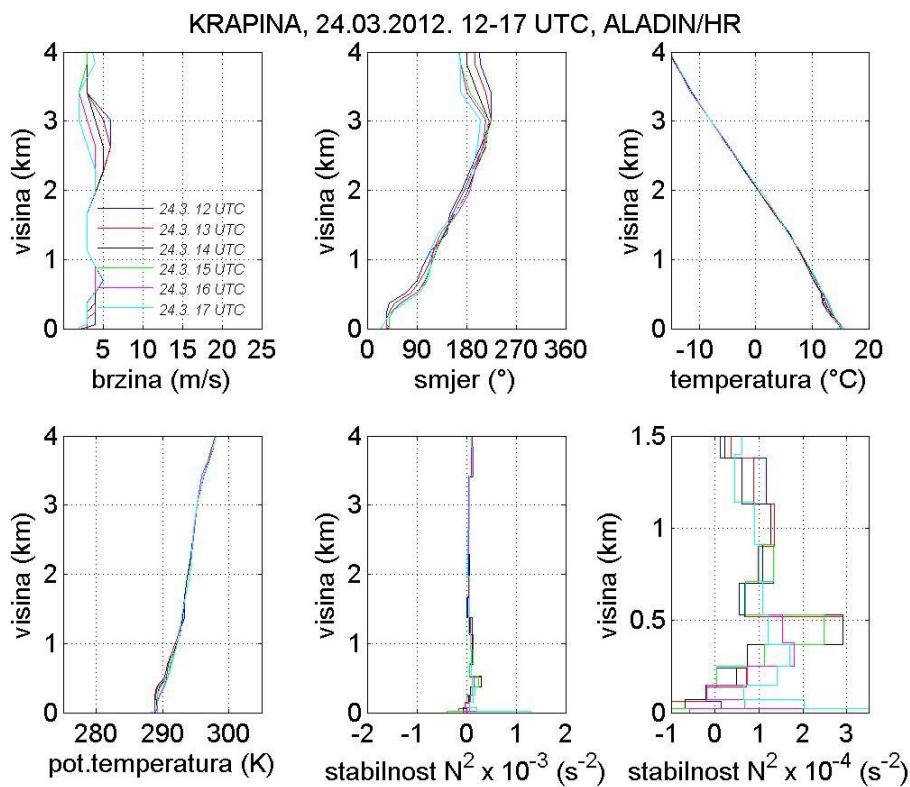
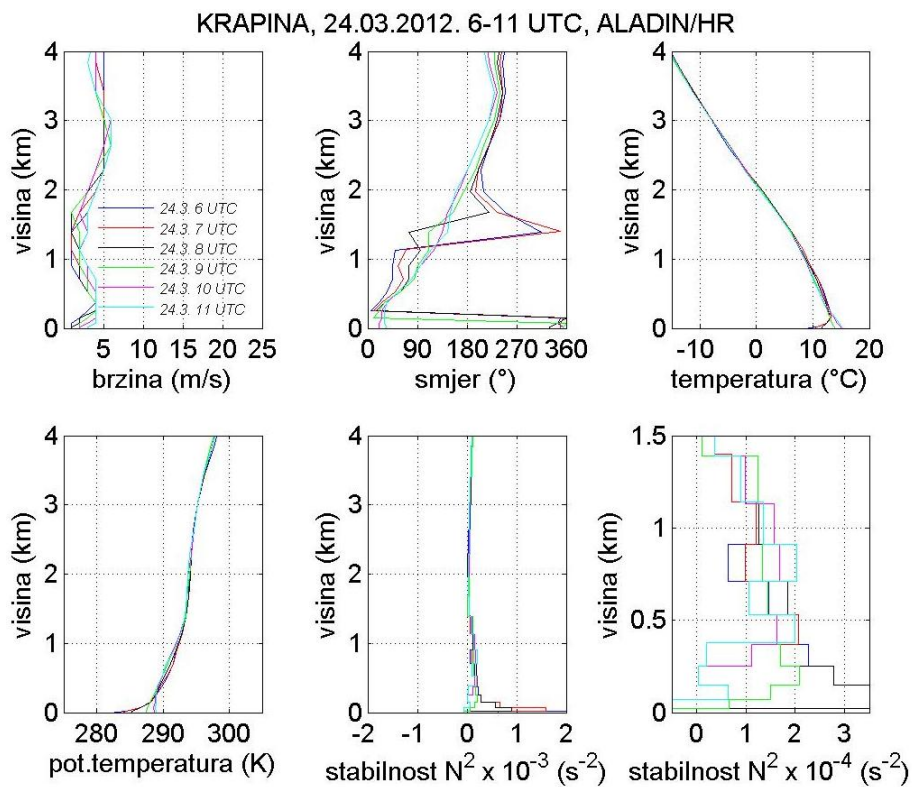
Slika 7.4.3. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}C$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 22.3.2012. 18–23 UTC i 23.3.2012. 00–05 UTC.



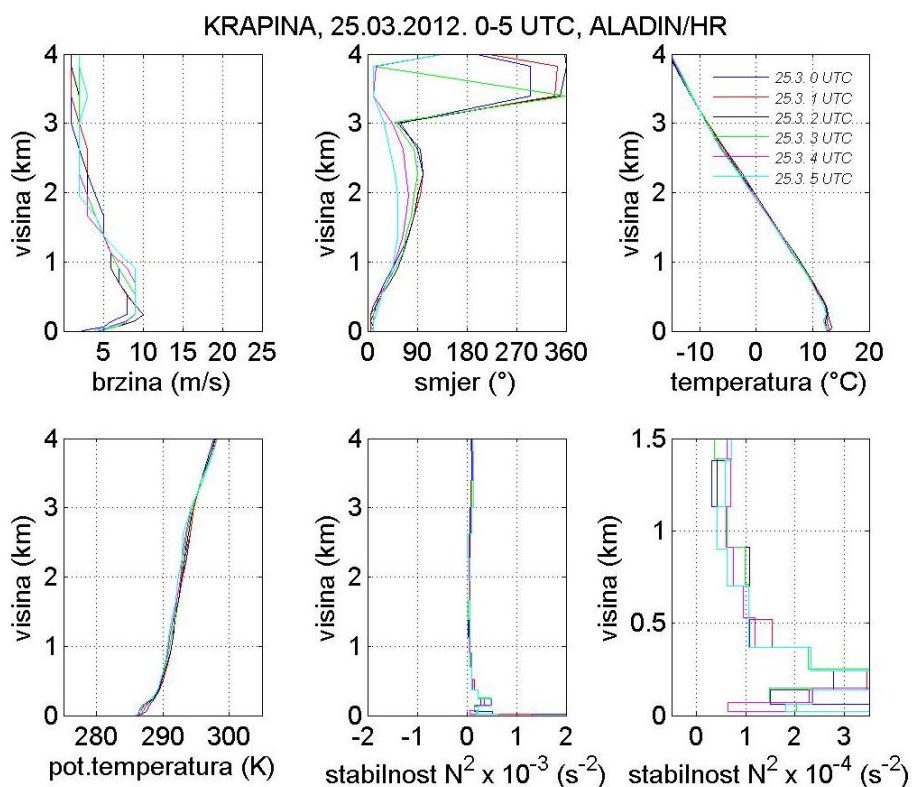
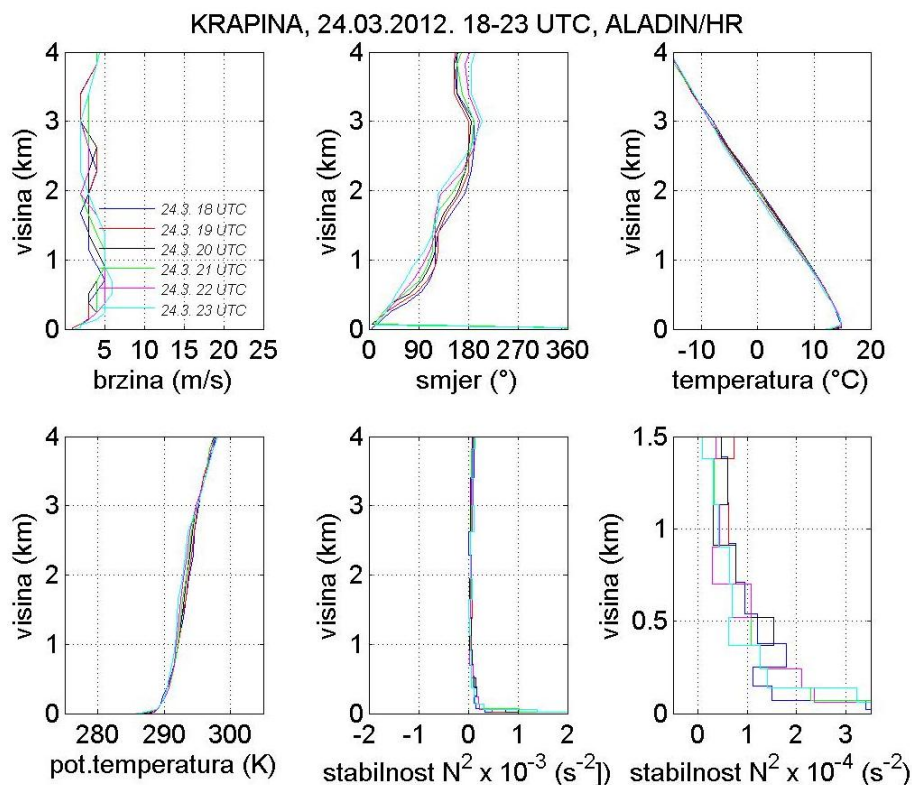
Slika 7.4.4. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra (°, gore sredina), temperature zraka (°C, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 23.3.2012. 06–11 UTC i 12–17 UTC.



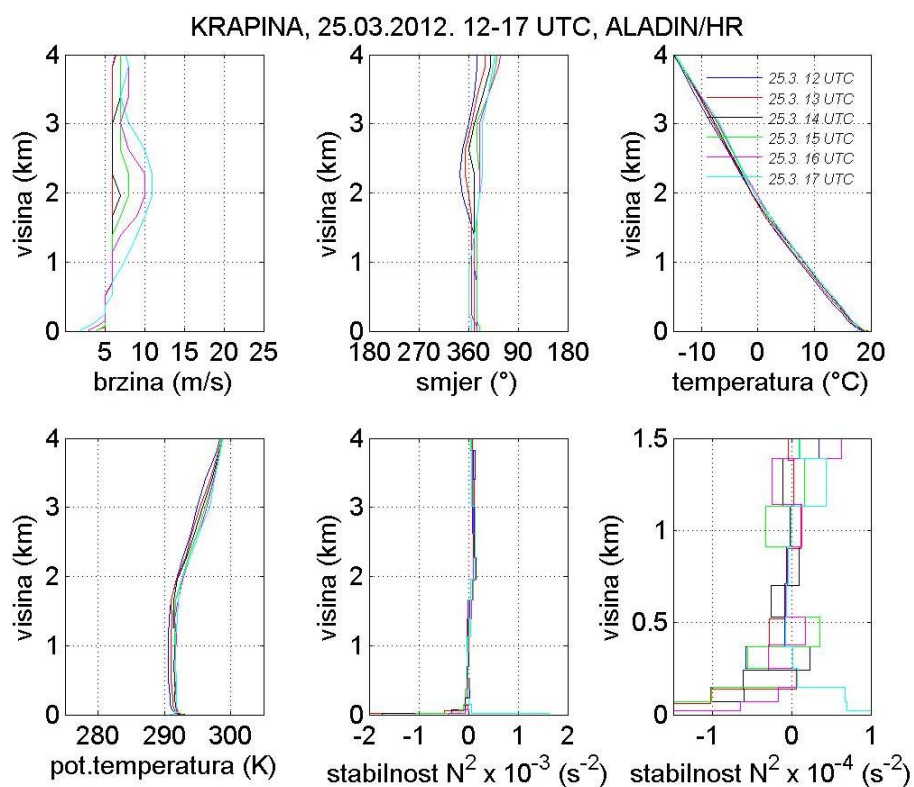
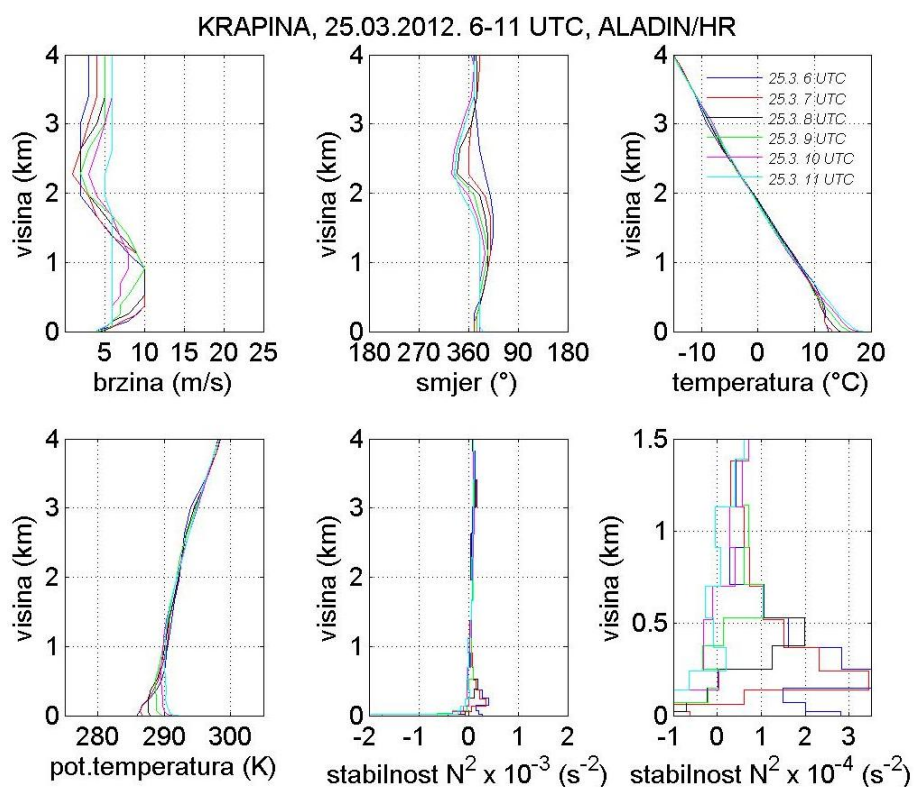
Slika 7.4.5. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 23.3.2012. 18–23 UTC i 24.3.2012. 00–05 UTC.



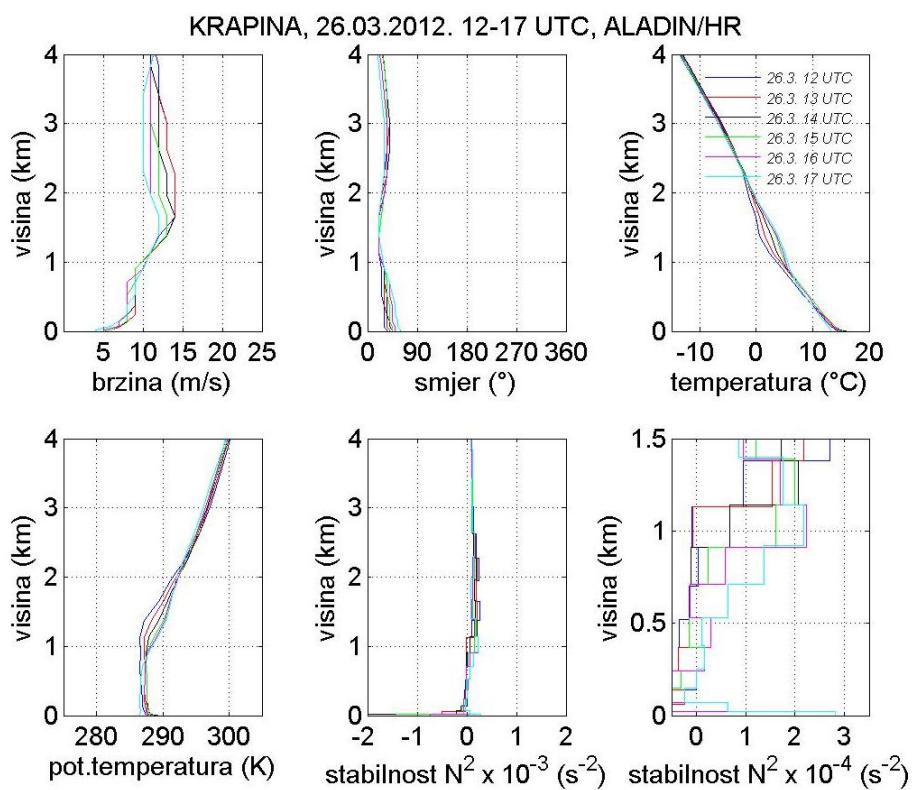
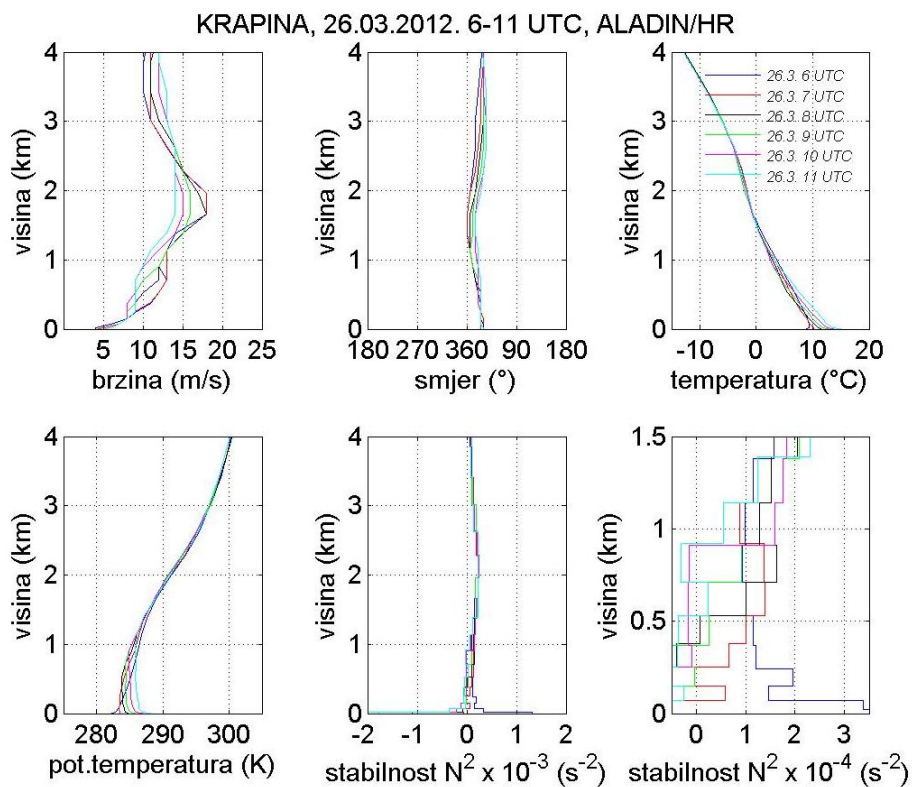
Slika 7.4.6. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 24.3.2012. 06–11 UTC i 12–17 UTC.



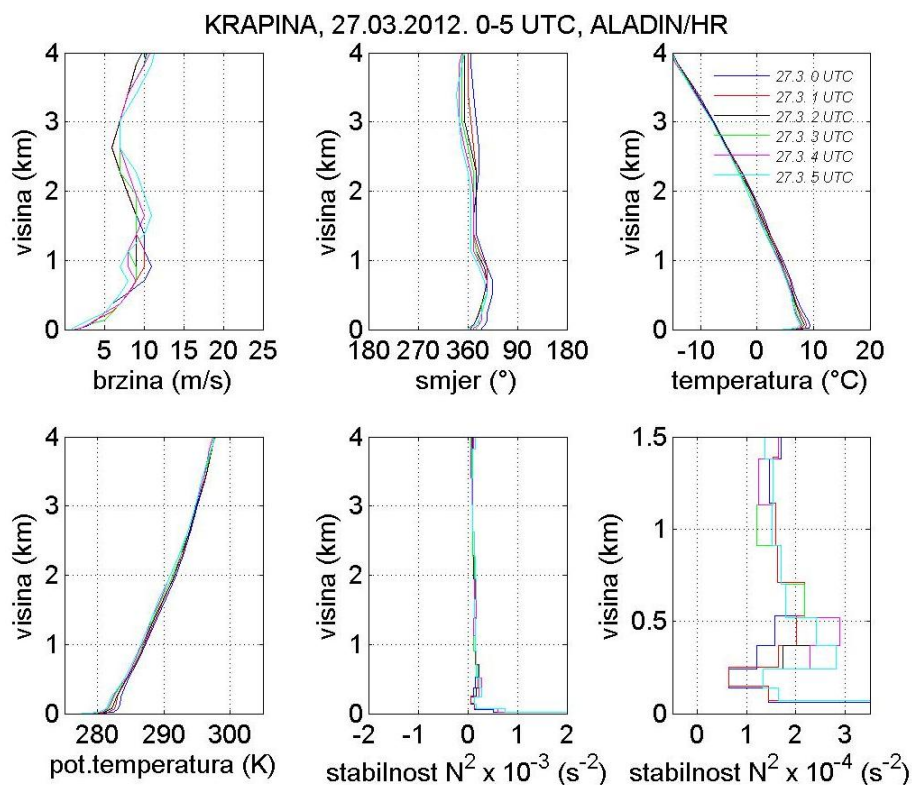
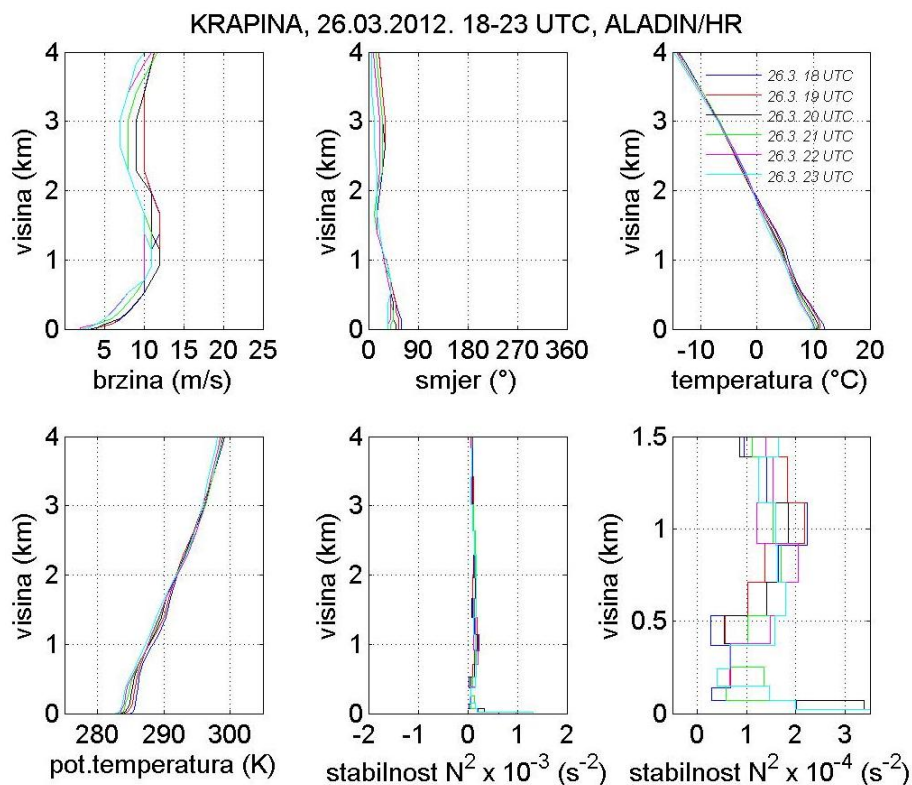
Slika 7.4.7. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra (°, gore sredina), temperature zraka (°C, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 24.3.2012. 18–23 UTC i 25.3.2012. 00–05 UTC.



Slika 7.4.8. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 25.3.2012. 06–11 UTC i 12–17 UTC.

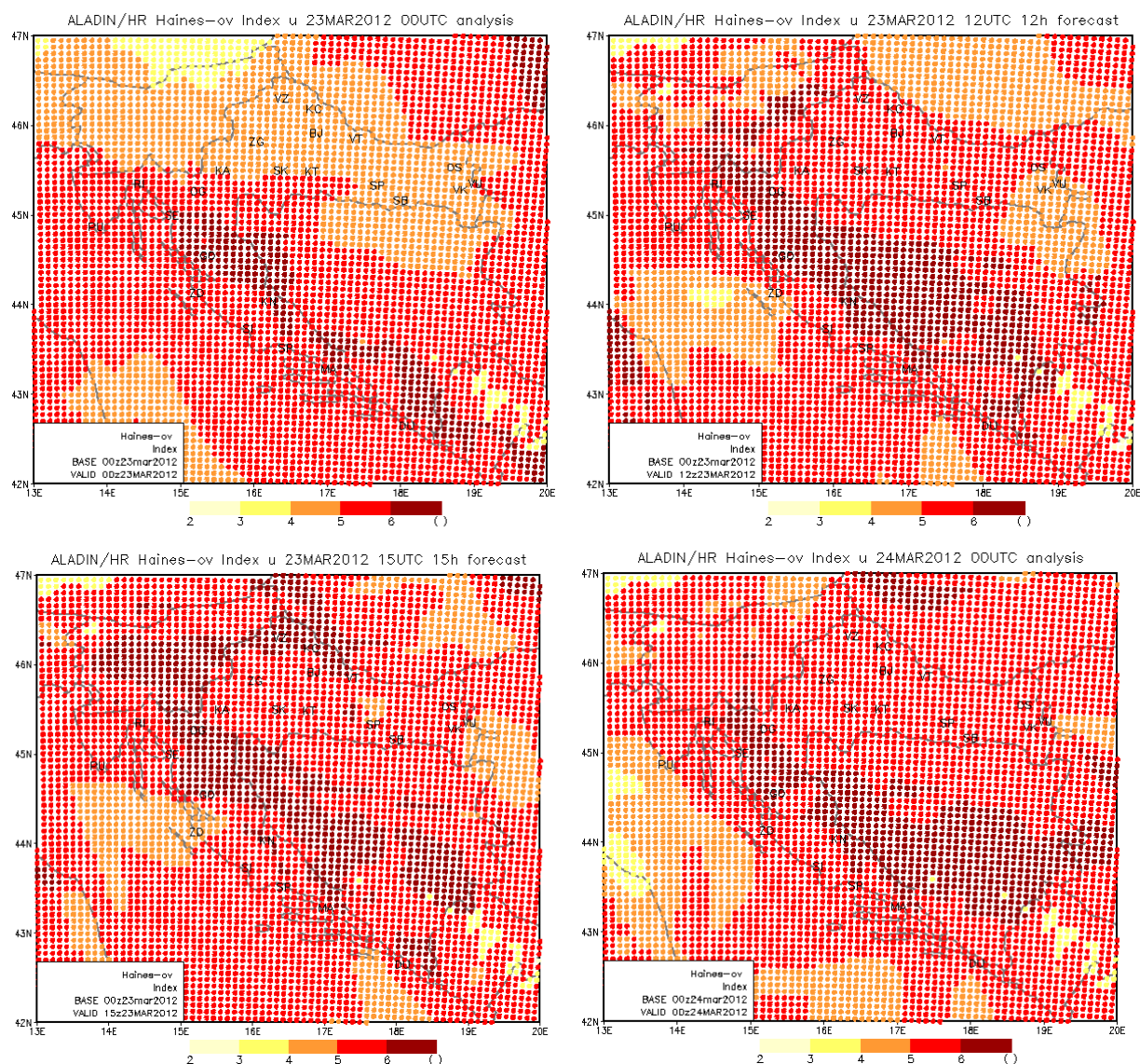


Slika 7.4.9. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 26.3.2012. 06–11 UTC i 12–17 UTC.

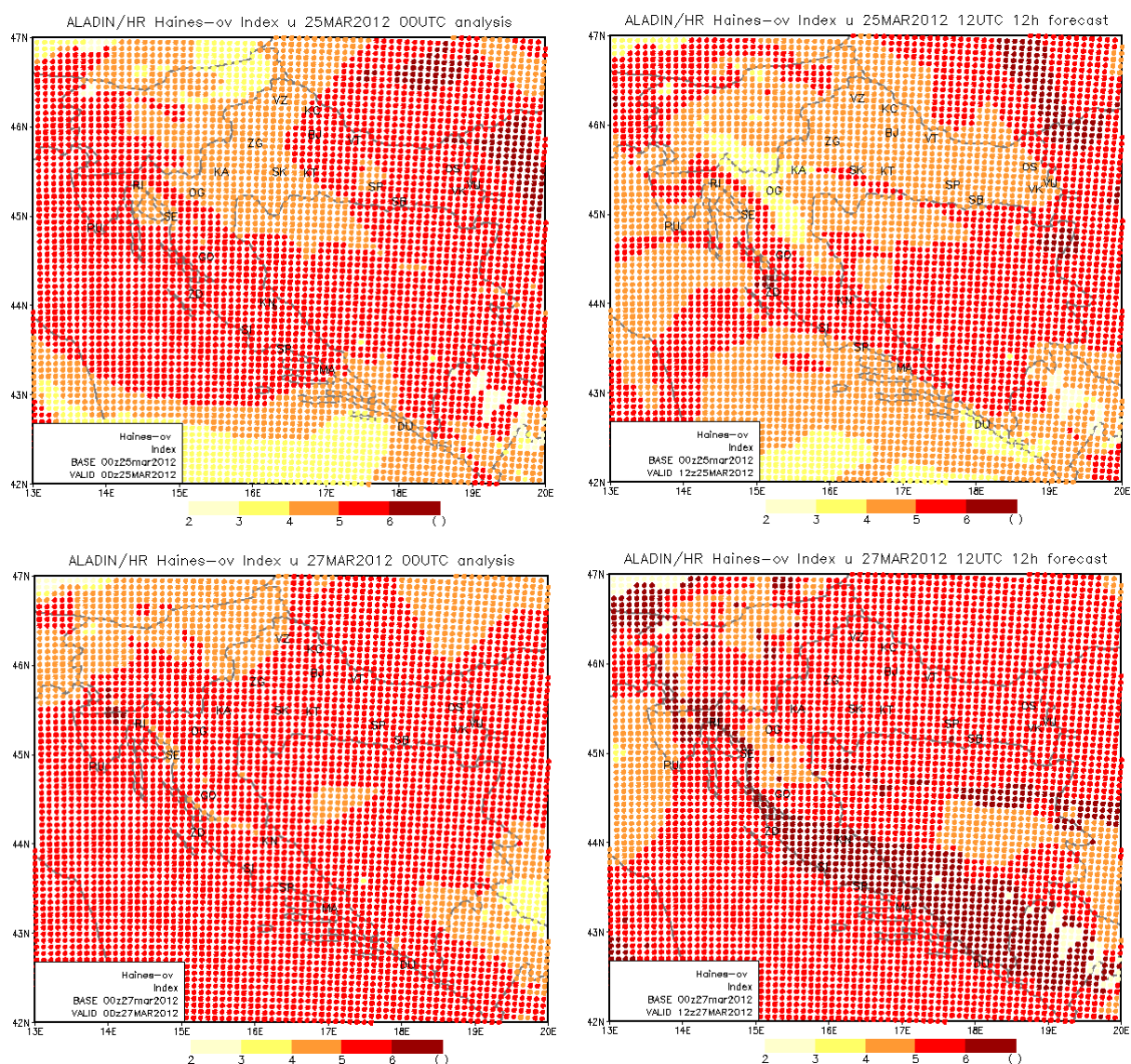


Slika 7.4.10. Vertikalni profil brzine vjetra (m/s, gore lijevo), smjera vjetra ($^{\circ}$, gore sredina), temperature zraka ($^{\circ}\text{C}$, gore desno), potencijalne temperature (K, dolje lijevo), kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje sredina) i uvećani profil kvadrata uzgonske frekvencije (s^{-2} , dolje desno) za 26.3.2012. 18–23 UTC i 27.3.2012. 00–05 UTC.

PPRILOG 5.



Slika 7.5.1. Prostorna razdioba vrijednosti Hainesovog indeksa s horizontalnom razlučivosti od 8 km, za 23.3.2012. u 00 UTC (gore lijevo), 12 UTC (gore desno) i 15 UTC (dolje lijevo) te za 24.3.2012. u 00 UTC (dolje desno). Početak simulacije modela ALADIN/HR (za prve tri slike) je 22.3.2012 u 00 UTC. Legenda: 2–3 vrlo mala (žuto), 4 mala (narančasto), 5 umjerena (crveno) i 6 velika (tamno crveno) meteorološka opasnost od izbijanja požara.



Slika 7.5.2. Prostorna razdioba vrijednosti Hainesovog indeksa s horizontalnom razlučivosti od 8 km, za 25.3.2012. u 00 UTC (gore lijevo) i 12 UTC (gore desno) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 25.3.2012 u 00 UTC te za 27.3.2012. u 00 UTC (dolje lijevo) i 12 UTC (dolje desno) s početkom simulacije modela ALADIN/HR 27.3.2012 u 00 UTC. Legenda: 2–3 vrlo mala (žuto), 4 mala (narančasto), 5 umjerena (crveno) i 6 velika (tamno crveno) meteorološka opasnost od izbijanja požara.