

# Meteorološka analiza vremenskih uvjeta i rekonstrukcija požara u Istri 9. srpnja 2022.

---

**Dobranić, Jasmina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:641703>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-30**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

Jasmina Dobranić

Meteorološka analiza vremenskih uvjeta i  
rekonstrukcija požara u Istri 9. srpnja 2022.

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOFIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ FIZIKA-GEOFIZIKA  
SMJER: METEOROLOGIJA I FIZIČKA OCEANOLOGRAFIJA

Jasmina Dobranić

Diplomski rad

**Meteorološka analiza vremenskih  
uvjeta i rekonstrukcija požara u Istri  
9. srpnja 2022.**

Voditeljica diplomskog rada: izv. prof. dr. sc. Maja Telišman Prtenjak

Suvoditeljica diplomskog rada: dr. sc. Ivana Čavlina Tomašević

Zagreb, 2024.

Zahvaljujem se, najprije, dragoj dr. sc. Ivani Čavlina Tomašević na predanom mentorstvu. Vaš interes i posvećenost požarnoj problematici te agrometeorologiji motivirali su me za ovaj rad. Prava je privilegija i izuzetno zadovoljstvo surađivati s Vama. Posebno hvala na svakom ugodnom susretu i razgovoru punom empatije, razumijevanja i podrške te poneke slastice.

Osobito se zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Maji Telišman Prtenjak na prihvaćanju mentorstva, unatoč brojnim obavezama, i zalaganju te korisnim savjetima pri pisanju ovog rada, ali i tijekom cijelog studija.

Srdačna zahvala dr. sc. Antoniu Stanešiću na pripremi produkata modela ALADIN te Državnom hidrometeorološkom zavodu na ustupljenim podacima. Na isti način, zahvaljujem se Javnoj vatrogasnoj postrojbi Pula, a posebice zapovjedniku mag. ing. admin. chris. Ivici Rojniću i županijskom zapovjedniku Istre dipl. ing. sig. Dinu Kozlevcu, za dostavljene informacije potrebne u rekonstrukciji požara. Zahvaljujem se i DVD-u Žiškovec čije me dvadesetogodišnje članstvo potaknulo na detaljnije istraživanje požarne meteorologije.

Veliko hvala mojim bliskim prijateljicama Anji, Dorotei, Eni i Joani na ogromnoj podršci tijekom cijelog studija. Posebno hvala mojoj dragoj „lektorici“ Petri na neizmjerne i beskrajnoj potpori u najtežim trenucima studija, ali i na dugim i smirujućim razgovorima prilikom svih životnih nedaća.

Izuzetno se zahvaljujem djedu Stjepanu, ujaku Davoru te kumi Mireli na poticanju i riječima podrške. Duboku zahvalnost i sjećanje upućujem djedu Franji te bakama Ani i Karolini kojih više nema.

Najveća i beskrajna zahvala mojoj obitelji. Bratu Mišelu i šogorici Maji, hvala na zbijanju šala kad mi je to najviše trebalo i na najdražem poklonu, nećaku. HVALA mojim dragim roditeljima, mami Draženki i tati Tihomiru, koji su mi omogućili školovanje i bili bezuvjetna podrška na ovom putu. Od srca se zahvaljujem na razumijevanju, strpljenju i neizmjerne ljubavi koju ste mi pružili. Hvala mama na riječima ohrabrenja kad je bilo najteže.

Hvala svima koji su vjerovali u mene, čak i kad to sama nisam.

## Sažetak

U ovom radu detaljno je analizirana vremenska situacija za vrijeme požara kod Pule 9. srpnja 2022. godine. Napravljena je detaljna rekonstrukcija požara te su vremenski uvjeti povezani s ponašanjem požara u ovom slučaju. U požaru je izgorjelo oko 40 ha vegetacije, a požar je gorio unutar naseljenog područja. Uz napore vatrogasaca i naknadno poboljšanje vremenskih uvjeta, požar je stavljen pod nadzor nakon četiri sata, a u njemu je nastala samo materijalna šteta. Ocjena klimatskih prilika pokazala je da je srpnju 2022. godine prethodilo uglavnom sušno do vrlo sušno razdoblje te toplo do ekstremno toplo vrijeme, posebice u lipnju 2022. Požaru je prethodio toplinski val od 17 vrućih dana, a ukupna količina oborine 30 dana prije požara iznosila je 1,7 mm. Prema FWI indeksu postojala je velika do vrlo velika opasnost od izbijanja šumskih požara u danima koji su prethodili požaru. U sinoptičkoj analizi utvrđeno je da se nad područjem Istre rasprostiralo polje visokog tlaka, a frontalni sustavi su prolazili sjevernije. Dan prije izbijanja požara nad Istrom je prošao zapadni rub visinske ciklone te je nad područjem požara došlo do konvergencije i spuštanja suhog zraka. U analizi prizemnih podataka zabilježeno je da je požaru prethodilo toplo vrijeme s toplim noćima. Na sam dan požara maksimalna temperatura zraka dosegla je vrijednost od 27,5 °C, a relativna vlažnost zraka do 30 %. Dva sata prije i u trenutku izbijanja puhala je umjereno jaka bura sa žestokim udarima. Sredinom dana vjetar je oslabio i promijenio smjer na zapadni (smorac) što je pomoglo vatrogascima u stavljanju požara pod nadzor. U dnevniku motrenja postaje Pula-aerodrom evidentirana je pojava oblaka pirokumulusa. S obzirom na rijetka i udaljena radiosondažna mjerenja, analizirani su simulirani vertikalni profili za svaka tri sata dobiveni numeričkim modelom ALADIN-HR2. Opažena je pojava niske mlazne struje nekoliko sati prije izbijanja požara. Prizemna meteorološka polja dobivena numeričkim modelom prilično se poklapaju s mjerenjima.

**Ključne riječi:** požar u Istri, Pula, ALADIN, bura, smorac, niska mlazna struja

# **Meteorological analysis of weather conditions and reconstruction of the fire in Istria on July 9, 2022.**

## **Abstract**

In this paper, a detailed analysis of the weather conditions prior and during the fire near Pula on July 9, 2022, is presented. A detailed reconstruction of the wildfire was prepared, and the weather conditions were linked with the fire behavior in this case. The wildfire burned approximately 40 ha of vegetation within inhabited area. With the efforts of firefighters and subsequent improvement of weather conditions, the wildfire was brought under control after four hours, resulting in only material damage. Evaluation of climate conditions indicated, that prior to the wildfire conditions were mostly dry to very dry and warm to extremely warm, especially in June 2022. The wildfire was preceded by the heatwave of 17 hot days, and the total amount of precipitation 30 days before the wildfire was 1.7 mm. According to FWI, there was high to very high forest fire risk in days that preceded the wildfire. Using synoptic analysis, it was revealed that there was a high-pressure system dominating the area of the wildfire while frontal systems were passing further north. The day before the ignition, the western edge of deep upper-level shortwave trough passed over the Istria region leading to convergence and subsidence of dry air over the wildfire area. Surface measurements recorded warm weather with warm nights preceding the wildfire. On the day of the ignition, the maximum air temperature reached 27.5 °C, and relative humidity dropped to 30 %. Two hours prior and at the time of the ignition, moderately strong bura wind with strong gusts dominated the fire behavior. In the middle of the day the bura wind weakened and wind drifted to westerly direction (sea breeze), which helped firefighters to put the fire under control. The occurrence of pyrocumulus cloud was recorded in the observation of the Pula-airport station. Due to rare and distant radiosonde measurements, simulated vertical profiles were analyzed for every three hours from the numerical model ALADIN-HR2. The low-level jet occurred couple of hours before fire ignition. Surface meteorological fields obtained from the numerical model are closely correlated with surface measurement.

**Keywords:** wildfire, meteorological analysis, ALADIN, bura wind, sea breeze, low-level jet

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERIJALI</b> .....	<b>4</b>
2.1. Rekonstrukcija požara.....	4
2.2. Meteorološki podaci .....	4
2.3 Sinoptička analiza .....	6
2.4 Numerički model ALADIN/HR.....	6
<b>3. METODE</b> .....	<b>8</b>
3.1 Metoda procjene opasnosti od šumskih požara.....	8
3.2 Sezonske i srednje mjesečne žestine .....	9
3.3 Hainesov indeks.....	10
3.3 Niska mlazna struja.....	11
<b>4. REZULTATI I DISKUSIJA</b> .....	<b>12</b>
4.1 Rekonstrukcija požara.....	12
4.2 Klimatska ocjena razdoblja koje je prethodilo požaru.....	17
4.2.1 Analiza vrućih i sušnih razdoblja.....	19
4.3 Meteorološka analiza opasnosti od šumskog požara .....	21
4.4 Vremenske značajke u sinoptičkim razmjerima .....	23
4.5 Prizemna prostorna i vremenska mezoanaliza .....	25
4.5.1 Dnevni hodovi temperature zraka, relativne vlažnosti zraka i vjetra.....	25
4.5.2 Dnevnik motrenja .....	27
4.5.3 Radiosondažna mjerenja.....	27
4.6 Analiza produkata modela ALADIN/HR.....	29
4.6.1 Prizemna polja.....	29
4.6.2 Vertikalna struktura atmosfere.....	32
4.6.3 Niska mlazna struja.....	35
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>38</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>41</b>
<b>Popis kratica</b> .....	<b>i</b>
<b>Dodatak A</b> .....	<b>ii</b>

# 1. UVOD

Požar je pojava u kojoj dolazi do stihijskog gorenja čime su ugroženi ljudski životi, imovina i priroda. Može poprimiti široke razmjere i time biti proglašen prirodnom katastrofom (Sharples i sur., 2016). Glavnina požara uzrokovana je ljudskim djelovanjem (nepažnjom ili namjerom), a tek nekolicina požara započeta je prirodnim pojavama poput udara groma. Ukoliko se požar širi na otvorenom prostoru i zahvaća šumsku vegetaciju, livade, sl. tada se klasificira kao požar otvorenog prostora odnosno šumski požar ili požar raslinja.

Vrijeme je vrlo važna komponenta u nastanku šumskih požara koja uvelike određuje dinamiku širenja požara. Suho i vruće vrijeme povećava dostupnost gorive tvari (Zscheischler i sur., 2018). Niska relativna vlažnost, manjak oborine i visoka temperatura pogoduju isušivanju vegetacije i time se stvara suhi i zapaljivi materijal. Vjetar povećava dostupnost kisika i može proširiti požar na udaljenije područje prenošenjem plamena. Grmljavinske oluje mogu stvoriti potencijalno rizičnu situaciju za zapaljenje kao npr. udar groma u suhu vegetaciju. Kombinacija takvih meteoroloških uvjeta uz određenu vrstu terena i topografiju može stvoriti opasne uvjete za nastanak i širenje požara.

Svaka specifična lokacija ima svoj požarni režim i uključuje određena obilježja: veličinu, intenzitet, žestinu, učestalost, sezonalnost i vrstu požara. Klimatski i vremenski aspekti imaju znatan utjecaj na požarni režim nekog područja. Šumski požari su u posljednjim desetljećima sve češći i razorniji. U mnogim istraživanjima potvrđeno je kako klimatske promjene utječu na svako od, prethodno navedenih, šest obilježja (npr. Collins i sur., 2021; Kelly i sur., 2020).

Iako je teško procijeniti i utvrditi daljnji razvoj klime i time promjenu požarnog režima, ponajprije zbog antropogenih djelovanja, prema Međuvladinom panelu za klimatske promjene (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) postoje različiti scenariji razvoja klime. Globalni klimatski modeli pokazuju da je porast globalne prizemne temperature zraka u budućem razdoblju neizbježan. Predviđa se nejednolik porast na cijeloj Zemlji, a Sredozemlje (i Jadran) se ističu kao posebno osjetljivo područje s obzirom na klimatske promjene (Giorgi, 2006).



Klimatske promjene utječu na broj toplinskih valova, dnevnu i ukupnu količinu oborine i broj sušnih dana itd. Kao posljedica toga neizbježna je promjena požarnog režima nekog područja (Di Virgilio i sur., 2019, Ruffault i sur., 2020). Vezano uz promjene požarnih režima, na području Europe napravljena su istraživanja i potvrđena je povećana opasnost od požara na srednjem jadranskom priobalju i u istočnoj Hrvatskoj (Camia, 2008). Osim toga istražen je utjecaj klimatskih promjena na opasnost od požara na području Sredozemlja. Krajem ovog stoljeća očekuje se povećanje broja ekstremnih događaja tijekom svake sezone na dijelu Hrvatske (Moriondo i sur., 2006). Potencijalna opasnost od šumskih požara u Hrvatskoj najveća je u Dalmaciji tijekom ljeta, a porast opasnosti primijećen je na području Istre i Kvarnera te istočne Hrvatske (Barešić, 2011).

Navedene okolnosti upućuju na nužnost provođenja detaljnih meteoroloških analiza požara u Hrvatskoj, a posebice na Jadranu. Najranija sinoptička i mezoskalna analiza za šumski požar datira iz 1987. godine za požar na otoku Korčuli iz 1985. godine. Utvrđeno je kako meteorološki uvjeti (male količine oborine pri prolazu fronte) nisu bili dovoljni za potpuno gašenje požara. Dapače, u ovoj situaciji s požarom raslinja došlo je do dodatnog rasplamsavanja požara (Vučetić, 1987). U toj analizi, kao u analizi požara na otoku Hvaru iz 1990. godine, došlo je do smanjenja opasnosti od požara zbog male količine oborine nakon prolaska hladne fronte. Istaknuto je kako je vrlo važno ostati na oprezu nakon prelaska fronte zbog mogućeg ponovnog pojačavanja vjetra (Vučetić, 1992). Prva detaljnija istraživanja s modeliranim vertikalnim profilima vjetra napravljena su za dva požara na otoku Hvaru iz 1997. godine i jedan na Pelješcu iz 1998. godine (Vučetić i Vučetić, 1999). U te tri situacije zabilježeni su jako jugo i umjereno jaki maestral na Hvaru te jaka bura na Pelješcu. Iako je vjetar bio različitih smjerova, pomoću modela ALADIN uočene su tri gotovo podjednake situacije s maksimalnom brzinom vjetra u donjoj troposferi na visini od 250 do 900 metara. U najtragičnijem Kornatskom požaru, koji se dogodio 30. kolovoza 2007. godine, stradalo je dvanaest vatrogasaca, a jedan je teško ozlijeđen. Detaljno je istražen šumski požar i ustanovljeno je da je kombinacija vremenskih prilika potpomognula tragičnom ishodu. Opažen je prolaz hladne fronte dan ranije i pojava niske mlazne struje (Vučetić i sur., 2007) što se u prijašnjoj američkoj studiji pokazalo vrlo važnim čimbenikom koji može utjecati na ponašanje požara na otvorenom (Pyne i sur., 1996). Ujedno, to je prvo hrvatsko istraživanje požara na

otvorenom prostoru u kojem se upućuje na povezanost niske mlazne struje i hladne fronte s ponašanjem šumskog požara. U istraživanju požara raslinja u razdoblju od 2001. do 2010. godine analizirani su vertikalni profili za osam situacija i još je jednom potvrđena korelacija niske mlazne struje i hladne fronte u većini situacija (Tomašević, 2012).

Pomoću vertikalnog profila vjetra dobivenog numeričkim modelom za požar na Pelješcu iz 2015. godine nije uočena pojava niske mlazne struje, ali je požaru prethodilo intenzivno vruće i suho razdoblje (Omazić, 2016). Sušni i iznadprosječno topli vremenski uvjeti pripomogli su požaru koji se dogodio u kontinentalnoj Hrvatskoj na Strahinjčici u ožujku 2012. godine (Kuraži, 2015). U oba je požara veliku ulogu u ponašanju imao i strmi teren na kojem su gorjeli.

Splitski požar iz srpnja 2017. jedini je požar koji je detaljno rekonstruiran pomoću audio snimaka radio veze vatrogasaca s intervencije, svjedočenja vatrogasaca te pilota s požarišta, očevidaca, digitalnih fotografija i vatrogasnih kamera. Rekonstrukcija je povezana s temeljitom vremenskom analizom i numeričkim simulacijama te je pomno opisano ponašanje požara. Sinoptički gledano postojao je velik gradijent prizemnog tlaka između Azorske anticiklone i ciklone na jugoistoku Balkanskog poluotoka. Puhala je jaka bura i potvrđena je pojava niske mlazne struje, što je već potkrijepljen vremenski uzorak koji znatno utječe na ponašanje požara. U ovom radu po prvi puta je istaknuta situacija u kojoj je moguće da je prolaz zapadnog ogranka mlazne struje na 300 hPa, iznad lokacije požara, utjecao na spuštanje suhog zraka iz viših slojeva, što je u konačnici moglo potaknuti na ekstremno ponašanje požara kod Splita (Čavlina Tomašević i sur., 2022).

Cilj istraživanja u ovom diplomskom radu je pomno analizirati vremensku situaciju za vrijeme požara u Puli u srpnju 2022. godine i povezati vremenske uvjete s ponašanjem požara. Osim toga, provjeriti ukoliko se uvjeti poklapaju s ranije istraženim požarima na području Hrvatske, a posebno Jadrana. Ujedno, ovaj rad prezentira i prvu detaljnu rekonstrukciju i meteorološku analizu jednog požara raslinja s područja Istre.

## **2. MATERIJALI**

### ***2.1. Rekonstrukcija požara***

Za potrebe rekonstrukcije požara korišteni su podaci koje je ustupila Javna vatrogasna postrojba Pula (JVP Pula). Rekonstrukcija je napravljena prema hodogramu dolaska vozila i izvješću voditelja koji je prvi stigao na intervenciju. Uz to, obavljen je razgovor sa županijskim zapovjednikom Istarske županije te zapovjednikom JVP Pula. U svrhu izrade karte rekonstrukcije požara korištena je karta ukupne spaljene površine s lokacijom početka požara i vatrogasnih vozila na dan 9. srpnja 2022. Na tu kartu su dodatno ucrtavani podaci o vrsti vegetacije te napredovanje i smjer širenja požara. Radi lakše usporedbe s meteorološkim podacima sva vremena naznačena u rekonstrukciji požara će se izražavati u srednjoeuropskom vremenu (SEV) koje je -1 h s obzirom na srednjoeuropsko ljetno vrijeme (SELJV) koje se koristi od kraja ožujka do kraja listopada.

### ***2.2. Meteorološki podaci***

Za potrebe meteorološke analize požara korišteni su podaci s automatskih postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) koje su najbliže lokaciji požara kod Pule. Najbliža automatska postaja požaru je Monte Kope, potom Porer, Sveti Ivan na Pučini te najdalja postaja korištena u ovom radu je Pazin (slika 2.1). Na svim postajama analizirani su 10-minutni podaci prizemnog tlaka zraka, temperature zraka na visini 2 m iznad tla, relativne vlažnosti zrake te brzine i smjera vjetra (Dodatak A, slika A.1). Na postaji Sv. Ivan na Pučini nisu ispravno zabilježene vrijednosti relativne vlažnosti zraka te neće biti analizirani. Podaci o dnevnoj količini oborine preuzeti su s glavnih meteoroloških postaja (GMP) na području Istre i Kvarnera (Rijeka i Pazin) te meteorološke postaje Pula-aerodrom od Hrvatske kontrole zračne plovidbe s koje je korišten i opis vremena. Svi podaci su izraženi u srednjoeuropskom vremenu (SEV). Također, u analizi su korišteni podaci indeksa meteorološke opasnosti od šumskih požara za postaju Pula-grad. Indeksi proizlaze iz podataka o temperaturi zraka, relativnoj vlažnosti zraka, brzini vjetra izmjerenih u 13 h po SEV i 24-satnoj količini oborine zabilježenoj u 13 h po SEV prethodnog dana do 13 h po SEV sljedećeg dana.

Za analizu vertikalne strukture atmosfere korištena su radiosondažna mjerenja na postajama Zadar, Zagreb i Rivolto/Udine (Italija) preuzete sa stranice sveučilišta Wyoming za 9. srpnja 2022. u 00 i 12 UTC (engl. *Coordinated Universal Time*). Podaci s automatskih postaja i radiosondažni podaci su u konačnici obrađeni i vizualizirani pomoću računalnog okruženja Jupyter Notebook i programskog jezika Python.

DHMZ izrađuje klimatske ocjene za pojedine mjesece, sezone i godine koji se uspoređuju s višegodišnjim prosjekom klimatološkog razdoblja 1981–2010. Mjesečne i sezonske ocjene temperature zraka i količine oborine koristan su alat za davanje relevantnih podataka o klimatskim značajkama u određenom razdoblju na nekom prostoru. Služe za izradu procjena i planova u različitim djelatnostima pa tako i u upravljanju rizicima od katastrofe poput požara. S internetskih stanica DHMZ-a preuzete su izračunate ocjene za razdoblje koje je prethodilo požaru.



Slika 2.1. Karta meteoroloških postaja u Istri (Izvor: [https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze\\_postaja&param=pmm](https://meteo.hr/infrastruktura.php?section=mreze_postaja&param=pmm))

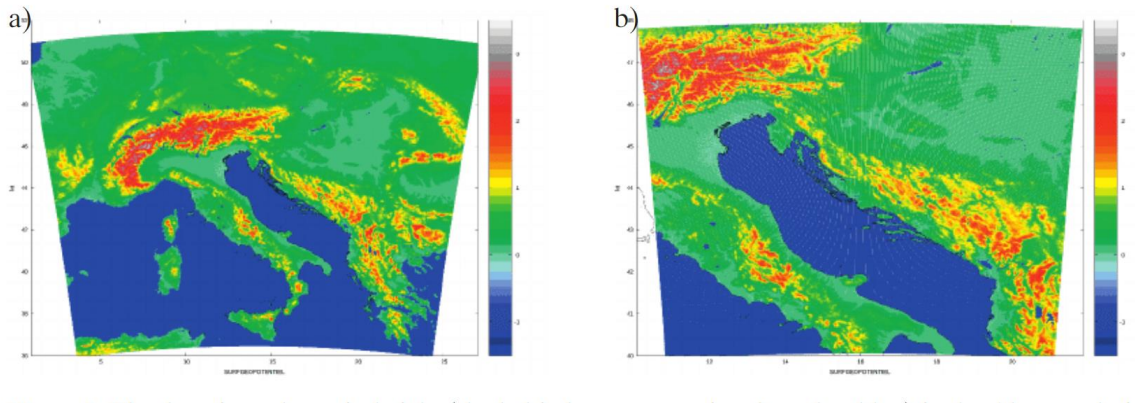
## **2.3 Sinoptička analiza**

Za vremensku analizu sinoptičkih razmjera upotrijebljene su prizemne i visinske sinoptičke karte njemačke meteorološke službe (*Deutscher Wetterdienst, DWD*) za 8. i 9. srpnja 2022. Satelitska snimka Airmass RGB za isti dan u 00 UTC preuzeta je od međunarodnog projekta EUMeTrain. Airmass RGB produkt koristi se za vizualizaciju zračnih masa te ovisno o određenoj boji mogu se pratiti zračne mase različitih karakteristika.

## **2.4 Numerički model ALADIN/HR**

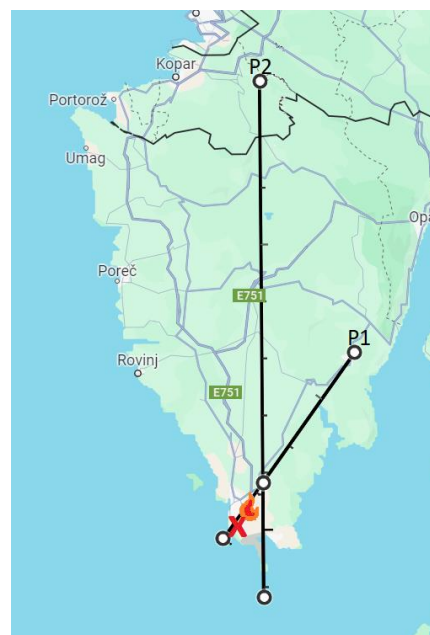
U svrhu provođenja dodatne analize meteoroloških prilika korišten je numerički atmosferski prognostički model ALADIN (*Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational, ALADIN International Team, 1997*). Sustav ALADIN je razvojni projekt u kojem je sudjelovalo više međunarodnih meteoroloških instituta. ALADIN/HR hrvatska je inačica koja se koristi u operativnim aktivnostima DHMZ-a od 2000. godine. Detaljne informacije o parametrima i konfiguraciji modela nalaze se u radu Tudor i sur. (2015). Kroz godine se taj spektralni numerički model unaprjeđuje i između ostalog mijenja operativne konfiguracije. U ovom radu primijenjena je konfiguracija ALADIN-HR4 koji ima horizontalni korak mreže 4 km, a vertikalno 72 nivoa te detaljniji ALADIN-HR2 s 2 km horizontalne razlučivosti (slika 2.2).

Za numerički izračun prognoze koriste se rubni i početni uvjeti. Rubni uvjeti preuzimaju se iz globalnog modela, i potrebni su za uvrštavanje atmosferskih uvjeta izvan granica domene regionalnog modela. Početni uvjeti prolaze proces asimilacije podataka (Stanešić, 2011). U tom procesu koriste se mnogobrojna meteorološka mjerenja i motrenja nad područjem Hrvatske te okolice za unos što preciznijeg trenutnog stanja atmosfere. U to su uključena prizemna mjerenja, avionska mjerenja, satelitska mjerenja i radiosondažna mjerenja. Asimilacijski ciklus uključuje neprekinuti niz analiza i kratkoročnih prognoza. U operativi DHMZ-a svakih 6 h se rade novi proračuni prognoze s vremenima inicijalizacije redom u 00, 06, 12 i 18 UTC. Prognostičko razdoblje s dostupnim produktima iznosi do 72 h unaprijed. Izlazni rezultati iz modela ALADIN iskazani su u UTC, što je SEV -1 h, odnosno SELJV -2 h.



Slika 2.2. Domena modela ALADIN na (a) 4 km horizontalnog koraka mreže i domena (b) na 2 km horizontalnog koraka mreže. (iz Tudor i sur., 2015)

Numerički atmosferski model ALADIN/HR primijenjen je za simulaciju prostornih meteoroloških polja s horizontalom razlučivošću od 2 km te izlaznim rezultatima svaka 3 h. Vrijeme inicijalizacije je 8. i 9. srpnja 2022. u 00 UTC. Osim toga, izrađena su dva vertikalna presjeka preko područja Istre. Jedan presjek (P1) je u smjeru sjeveroistoka, odnosno u smjeru puhanja prevladavajućeg vjetrova, a drugi (P2) od juga prema sjeveru Istre (slika 2.3). Sjeveroistočni presjek duljine je 40 km, a lokacija izbijanja požara nalazi se na 5 km od početka presjeka. Drugi presjek u smjeru sjevera prelazi preko cijelog područja Istre i ukupne je duljine od 90 km, a lokacija izbijanja požara otprilike je udaljena na 14 km od početka presjeka s južne strane.



Slika 2.3. Lokacija požara označena je ikonom vatre. Crne linije označavaju položaje vertikalnih presjeka P1 i P2 iz modela ALADIN koju su kasnije analizirani. Lokacija pseudotempa iz modela ALADIN je označena crvenom oznakom X. (izvor: Google Karte)

### 3. METODE

#### 3.1 Metoda procjene opasnosti od šumskih požara

Za analizu meteoroloških prilika, prije i za vrijeme požara, za postaju Pula-grad primijenjen je kanadski sustav indeksa opasnosti od šumskih požara (engl. *Canadian Forest Fire Weather Index, CFFWIS*). Indeks meteorološke opasnosti od požara raslinja važna je metoda za prevenciju i procjenu opasnosti od šumskih požara u Republici Hrvatskoj. Taj sustav se već kontinuirano provodi u DHMZ-u od 1982. godine (Dimitrov, 1982), a rezultati se redovito prosljeđuju vatrogasnim centrima. Detaljni opis ove metode i relacije za izračun indeksa navedeni su u radu Van Wagner i Pickett (1985) te Stocks i sur. (1989), a ovdje će se navesti najvažniji koraci u provedbi ove metode.

Tablica 3.1. Klase opasnosti od požara raslinja na osnovi statističke analize i odgovarajućih pokazatelja za razdoblje od sedam godina na području Jadrana (Dimitrov, 1982).

FWI	BUI	Klase opasnosti
FWI < 5	BUI < 49	Vrlo mala
5 ≤ FWI < 9	49 ≤ BUI < 86	Mala
9 ≤ FWI < 17	86 ≤ BUI < 119	Umjerena
17 ≤ FWI < 33	119 ≤ BUI < 159	Velika
FWI ≥ 33	BUI ≥ 159	Vrlo velika

Za izračun se koristi kombinacija indeksa kako bi se dobio ukupni pokazatelj potencijalne opasnosti od požara. Ulazni podaci su meteorološki elementi koji se prikupljaju u određenom terminu motrenja (14 SEV) i to su: temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, brzina vjetra te 24-satna količina oborine. Tri osnovne veličine za izračun razlikuju se po vrsti mrtvog gorivog materijala i to fino, srednje te krupno. Pokazatelj vlažnosti finog goriva (engl. *Fine Fuel Moisture Code, FFMC*) je vlažnost sloja sitnih materijala (npr. sloj borovih iglica) do dubine 2–3 cm u terminu kada je opasnost od požara najveća (između 14 i 16 h SEV). Isto tako, pokazatelj vlažnosti srednjeg krupnog goriva (engl. *Duff Moisture Code, DMC*) je vlažnost rahlog materijala u dubini od 5–10 cm, a pokazatelj vlažnosti krupnog goriva (engl. *Drought Code, DC*) odnosi se na vlažnost dubokog krupnog goriva do dubine od 20 cm. Pomoću

tih indeksa izračunaju se preostala dva indeksa početnog širenja vatre (engl. *Initial Spread Indeks, ISI*) i indeks prikladnosti materijala za gorenje (engl. *Buildup Indeks, BUI*). Konačno, dobiva se vrijednost meteorološkog indeksa opasnosti od požara raslinja (engl. *Fire Weather Indeks, FWI*) koji je kvantitativna procjena mogućeg intenziteta požara za gorivo standardnog tipa (tablica 3.1).

### **3.2 Sezonske i srednje mjesečne žestine**

Sezonska ocjena žestine (engl. *Seasonal Severity Rating, SSR*; tablica 3.2) odnosi se na razdoblje požarne sezone (lipanj-rujan) i mjesečna (engl. *Monthly Severity Rating, MSR*) za određeni mjesec te daju moguću opasnost od požara raslinja. U izračunu vrijednosti SSR i MSR koristi se FWI stoga je u ocjenama žestine sadržana informacija koja povezuje vremenske uvjete i količinu vlage u gorivom materijalu. I srednja mjesečna i sezonska ocjena žestine primjenjuju se za cjeloviti klimatološki prikaz opasnosti od požara na određenom području u požarnoj sezoni. Dnevne vrijednosti (engl. *Daily Severity Rating, DSR*) korisne su za uviđaj žestine u kratkom vremenskom razmaku i za pomoć vatrogascima pri donošenju brzih odluka prilikom intervencije.

Za procjenu dnevne žestine (DSR) koriste se podaci s meteoroloških postaja prikupljeni u 14 SEV, obuhvaćajući temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka i brzinu vjetra. Za količinu oborine koristi se dnevna količina oborine u 7 SEV. Višegodišnje srednje vrijednosti MSR i SSR za razdoblje od 1981. do 2010. godine, dobivene su iz tih podataka prikupljenih s glavnih meteoroloških postaja i klimatoloških postaja. Požarna sezona je definirana od lipnja do rujna, ali zbog prilagodbe modela izračuni žestine počinju s početkom travnja i traju do listopada. Krajnji rezultat su karte srednjih vrijednosti MSR i SSR.

Tablica 3.2. Opasnost od požara raslinja na osnovu sezonske ocjene žestine (SSR).

<b>SSR</b>	<b>Opasnost od požara raslinja</b>
$SSR \leq 1$	Mala
$1 < SSR \leq 3$	Umjerena
$3 < SSR \leq 7$	Velika
$SSR > 7$	Vrlo



### 3.3 Hainesov indeks

Hainesov indeks (HI) također je jedna od metoda koja se koristi za identificiranje opasnosti od požara posebice u nestabilnoj i suhoj atmosferi. Uveo ga je Donald Haines (1988) po kojem je indeks kasnije nazvan, a temelji se na empiričkim relacijama koje uvažavaju vertikalne profile atmosfere. Ova metoda procjene opasnosti od požara napravljena je za Sjedinjene Američke Države, no pokazala se učinkovitom i u drugim područjima stoga se primjenjuje i u operativi DHMZ-a od 2013. godine. Relacija za računanje indeksa ovisi o temperaturi i vlažnosti zraka na različitim visinama atmosfere te su podaci dobiveni radiosondažnim mjerenjima najpogodniji za izračun. Indeks se računa za niske, srednje i visoke nadmorske visine. Dobiva se kombinacijom vrijednosti pridodanih dobivenim razlikama temperature zraka i razlikama temperature zraka i temperature rosišta na dvije različite geopotencijalne visine prikazano u tablici 3.3. Konačna kvantitativna procjena opasnosti određuje se zbrajanjem veličina A i B stupaca te se opasnost klasificira kao vrlo niska za HI od 2 do 3, niska za HI = 4, umjerena za HI = 5 te visoka za HI = 6.

Tablica 3.3. Određivanje faktora za klasifikaciju opasnosti od požara (Haines, 1988) .

	Faktor	Stabilnost (A)	Vlažnost zraka (B)
<b>niska nadmorska visina (950 hPa-850 hPa)</b>		$\Delta T = T_{950} - T_{850}$	$\Delta T = T_{850} - T_{d850}$
	<b>1</b>	$\Delta T \leq 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>2</b>	$4 \leq \Delta T \leq 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$6 \leq \Delta T \leq 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>3</b>	$\Delta T \geq 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>srednja nadmorska visina (850 hPa-700 hPa)</b>		$\Delta T = T_{850} - T_{700}$	$\Delta T = T_{850} - T_{d850}$
	<b>1</b>	$\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \leq 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>2</b>	$6 \leq \Delta T \leq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$6 \leq \Delta T \leq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>3</b>	$\Delta T \geq 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \geq 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<b>visoka nadmorska visina (700 hPa-500 hPa)</b>		$\Delta T = T_{700} - T_{500}$	$\Delta T = T_{700} - T_{d700}$
	<b>1</b>	$\Delta T \leq 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \leq 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>2</b>	$18 \leq \Delta T \leq 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$15 \leq \Delta T \leq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	<b>3</b>	$\Delta T \geq 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T \geq 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$

### **3.3 Niska mlazna struja**

Niska mlazna struja (NMS, engl. *Low Level Jet*) definirana je kao maksimalno strujanje zraka u nižim slojevima atmosfere odnosno troposfere (Blackadar, 1957). NMS može imati znatan utjecaj na razvoj i širenje šumskih požara. Prema Bonner (1968) mlazna struja se klasificira na osnovi maksimalne brzine vjetra te opadanju brzine vjetra s visinom:

1. kriterij – Maksimalna brzina vjetra između 12 i 16 m s<sup>-1</sup> sa smanjenjem brzine za 6 m s<sup>-1</sup> do 3 km visine.
2. kriterij – Maksimalna brzina vjetra između 16 i 20 m s<sup>-1</sup> sa smanjenjem brzine za 8 m s<sup>-1</sup> do 3 km visine.
3. kriterij – Maksimalna brzina vjetra veća ili jednaka od 20 m s<sup>-1</sup> sa smanjenjem brzine za 10 m s<sup>-1</sup> do 3 km visine.

Prošla istraživanja (npr. Vučetić i sur., 2007) pokazala su da model ALADIN u nekim vremenskim situacijama podcjenjuje brzinu vjetra kod manjih brzina, stoga je uveden dodatni kriterij 0 za definiranje niske mlazne struje (Čavlina Tomašević i sur., 2022).

0. kriterij – Maksimalna brzina vjetra između 10 i 12 m s<sup>-1</sup> sa smanjenjem brzine za 4 m s<sup>-1</sup> do 3 km visine.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

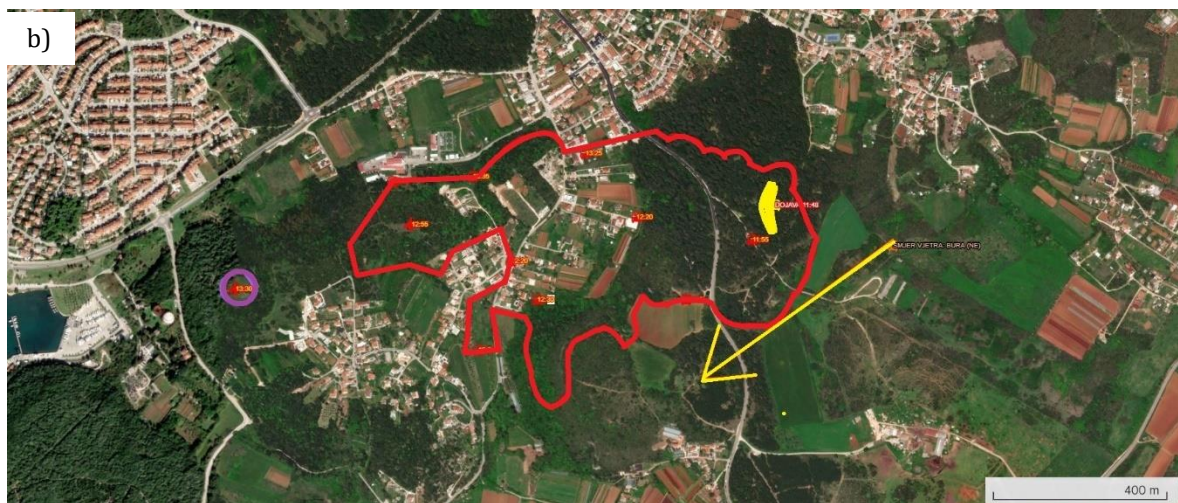
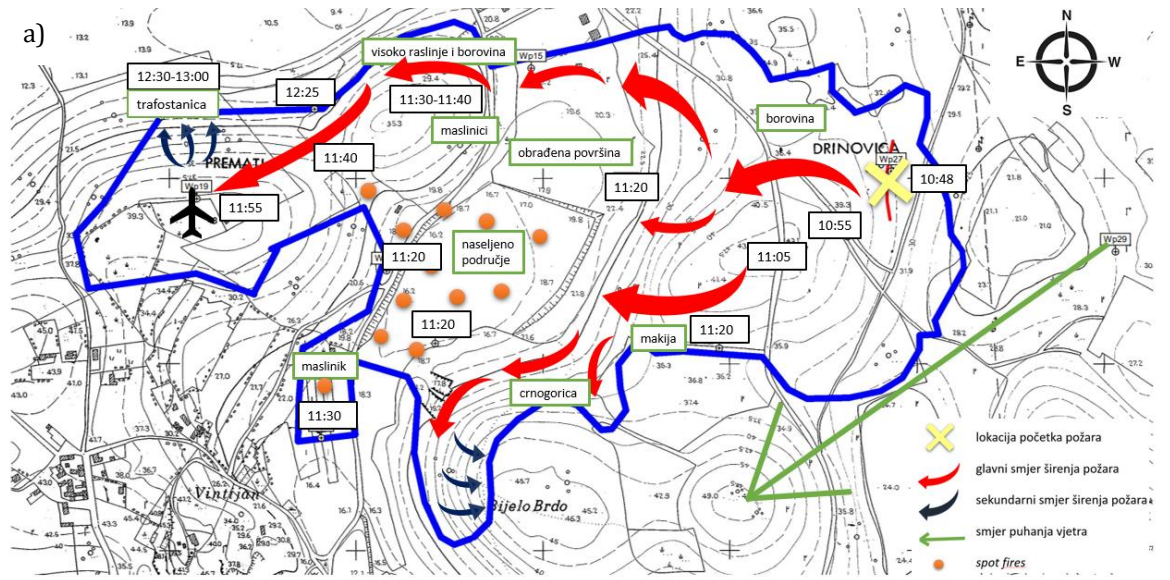
### 4.1 Rekonstrukcija požara

Dana 9. srpnja 2022. u 10:48 SEV (nadalje h) u Županijski vatrogasni operativni centar Pula zaprimljena je dojava o požaru na otvorenom prostoru na području grada Pule – Valdabeka, Dolinke i Vintijana. Pri dolasku na požarište prvi vatrogasci javljaju o zahvaćenoj borovoj šumi na predjelu Drinovica (slika 4.1a) te da požar od samog početka gori u krošnjama drveća visokima oko 15 m, a gusti dim se širi oštro i nisko prema jugozapadu i zapadu (slika 4.4a). Požar se u početku širio većinom u smjeru zapada, kroz predjel s većom količinom suhog gorivog materijala, odnosno kroz borovu šumu (slika 4.3a,b) te uz brdo (43 mnv<sup>1</sup>) do Premanturske ceste. Lokacija početka širenja požara i vrh brda na Premanturskoj cesti udaljeni su oko 160 m, što daje procijenjenu početnu brzinu širenja vatre od 10.6 m min<sup>-1</sup>. Međutim, u razgovoru s vatrogascima prema nekim procjenama požar je na nekim linijama prešao ovu udaljenost u 2 do 3 minute, što daje puno veću početnu brzinu širenja (moguće i do 150 m min<sup>-1</sup>).

Nakon vrha brda na Premanturskoj cesti požar se nastavlja širiti dalje na zapad, blago usporavajući na sjevernoj strani padine brda, dok je na zapadnom i južnom dijelu padine požar dalje ubrzavao te je u dolini s naseljem i obrađenom površinom (16,2 mnv do 19,8 mnv) uzrokovao nove požare. Stanovnici ovog područja prijavljuju sporadične požare u njihovim ulicama i dvorištima. Južni ogranak fronte se od vrha brda na Premanturskoj cesti kroz makiju i crnogoricu širio prema zapadu i jugozapadu s najvećom procijenjenom brzinom od 36,13 m min<sup>-1</sup> (udaljenost i vrijeme nalaze se na karti na slici 4.1a). Istovremeno sjeverni dio fronte se dalje nastavio kretati prema zapadu kroz puteve s niskim raslinjem i dolazi do ceste Kavzerski put. Prelaskom ceste požar se nastavlja širiti kroz visoko raslinje, borovinu te poneki maslinik dalje na zapad do predjela Premati, gdje požar gase tri kanadera od 11:55 h. Oko 12:30 h jedan od kanadera javlja o novom požaru koji je glavni požar prebacio na više od 250 m udaljenosti (ljubičasta krivulja na slici 4.1b).

---

<sup>1</sup> mnv – metara nadmorske visine



Slika 4.1. (a) Karta požara s vremenom dolaska vatrogasnih vozila i kanadera uz određenu lokaciju i (b) Google karta lokacije požara gdje žuta linija označava lokaciju početka požara, a strelica označava smjer puhanja bure. Ljubičasta krivulja označava *spot fire* 9. srpnja 2022. oko 12:30 h. Crvena krivulja odgovara plavoj krivulji na slici (a), a označava ukupnu opožarenu površinu. Na karti su označena vremena u SEV +1. (Izvor: JVP Pula)

Prema vatrogascima koji su sudjelovali u intervenciji nije bilo moguće imati veći utjecaj na požar sve dok nije došlo do smirivanja i promjene smjera vjetra oko 13 h. Vatrogasci tada uočavaju i promjenu u dimu požara. Do tada se dim oštro i nisko širio na zapad i jugozapad, no oko 13 h dim se počinje uzdizati iznad predjela Premati. Na samom požarištu problematično je ostalo samo na sjeverozapadnom dijelu gdje je bila ugrožena trafostanica zbog prizemnog požara koji se proširio nizbrdo na sjever od predjela Premati. Oko 14 h vatrogasci sprječavaju daljnje širenje požara.

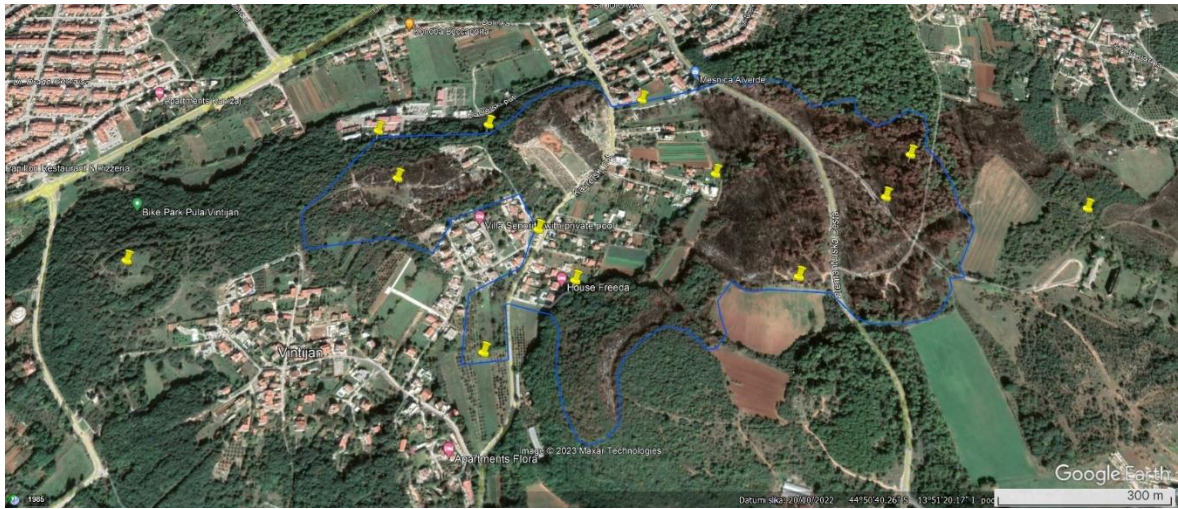
U poslijepodnevnim satima požar se još kratko širio u suprotnom smjeru, prema istoku, na predjelu kod Bijelog brda (plave strjelice na slici 4.1a). Manji dio izgorene površine istočno od lokacije početka požara gorio je između dva udara vjetra, odnosno bure. Daljnje širenje istočno od lokacije početka požara je, osim bure, zaustavljeno i zbog već izgorene površine u požaru koji je gorio pet dana ranije, odnosno 4. srpnja 2022.

U požaru kod Pule 9. srpnja 2022. nije bilo stradalih, ni veće materijalne štete. U požaru nije zahvaćena ni jedna kuća, već su stradale manje kamp prikolice, kućice i manji objekti na poljoprivrednim površinama (Vatrogasni vjesnik, 2022). Ipak, bio je to najsloženiji požar otvorenog prostora s kojim su se tamošnji vatrogasci do danas susreli (Vatrogasni vjesnik, 2022). Požar kod Pule se ističe kao vrlo zahtjevna vatrogasna intervencija zbog kombinacije brzog širenja požara nošenog vjetrom unutar gusto naseljenog područja s nepristupačnim ulicama. Najdramatičnija situacija bila je na području kod Vintijana, gdje su stanovnici i evakuirani. Požarom je bila zahvaćena trava, nisko raslinje, makija te borova šuma na površini oko 40 ha (DVOC, 2022) (slike 4.2 - 4.4).. U intervenciji je sudjelovalo ukupno 76 vatrogasaca s područja Pule, Rovinja, Pazina i Labina te tri protupožarna zrakoplova Canadair CL 415 (tablica 4.1). U intervenciju su uz vatrogasce bili uključeni policija, HEP, vodovod, cestari, komunalna poduzeća i predstavnici Grada Pule i Općine Medulin te brojni građani. Širenje požara zaustavljeno je u 14 h istog popodneva, a lokaliziran je u 18 h. Sanacija i dežurstvo su trajali sve do 12. srpnja 2022. u 16:47 h kada je požar proglašen ugašenim (DVOC, 2022).

Tijekom dana 9. srpnja 2022. zabilježeno je još osam požara otvorenog prostora na području Istarske županije. Iako je požar kod Pule bio najveća i najzahtjevnija intervencija toga dana, u drugim požarima je također zabilježen veliki intenzitet širenja vatre zbog jake bure. Ukupna spaljena površina u ostalim požarima toga dana bila je 5.5 ha.

Tablica 4.1. Tijek intervencije požara kraj Pule 9. srpnja 2022.

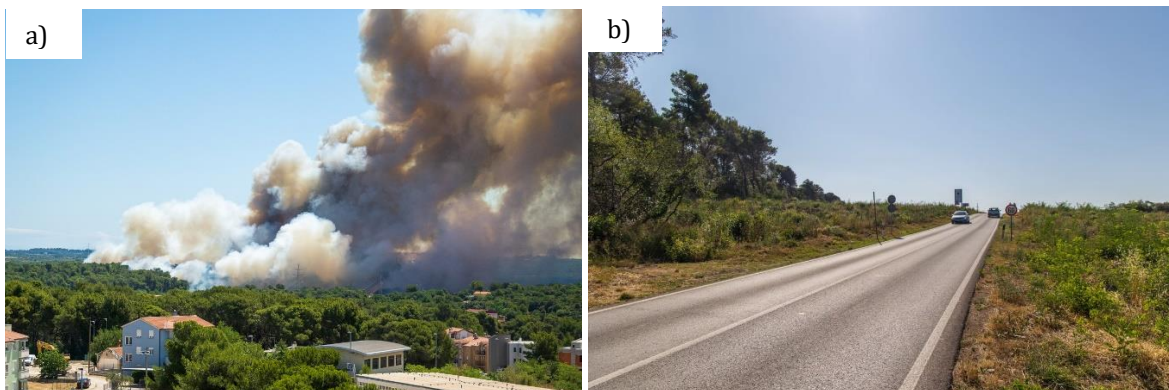
VRIJEME / h	Status intervencije
10:48	Zaprimljena dojava o požaru otvorenog prostora na području Premanturske ceste, skretanje za streljanu.
10:55	Dolazak JVP Pula s vozilom i tri vatrogasca na dojavljenu lokaciju. Požar se vrlo brzo širi nošen NE vjetrom, zahvaćene su krošnje u borovoj šumi, a požar se prebacuje preko Premanturske ceste.
	Pozivaju se dodatne raspoložive vatrogasne snage u ispomoć.
	Premještanje vozila na čelo požara u obranu kuća u naselju.
	Požar se i dalje širi prema naselju Vintijan.
11:05	Dolaskom ostalih vozila vatrogasci se raspoređuju između kuća gdje je to moguće zbog uskih puteva, a dio vozila prema čelu požara uz naselje Vintijan.
	Na intervenciju dolaze DVD Pula s tri vozila i JVP Rovinj s jednim vozilom.
	Zbog daljnjeg širenja požara pozvane su zračne snage za gašenje požara.
	U krugu trafostanice HEP-a zahvaćeni su energetske kablovi na depou.
11:20	Dolazak dodatnih vatrogasnih snaga (JVP Rovinj, JVP Pula)
11:25 / 11:45	Na intervenciju se uključuju DVD Medulin i DVD Ližnjan.
11:55 – 12:02	Dolazak dvije protupožarna eskadrile (93. Zadar Canadair)
12:12 – 12:55	Gašenje se priključuju dodatne snage JVP Pula.
13:04	Na požarište stiže i treća protupožarna eskadrila.
13:05 – 13:30	Pridružuju se ostale raspoložive snage s područja Istre (DVD Fažana, JVP Labin, JVP Pazin)
14:00	<b>Požar je pod nadzorom (spriječeno daljnje širenje požara)</b>
18:00	Požar je lokaliziran.
Od 18:00	Nakon lokalizacije požara započinje se sanacija rubnih dijelova na cijelom zahvaćenom području do normalizacije stanja.
	Kontinuirano se obilazi područje, natapaju se rubni dijelovi požarišta do potpunog gašenja požara.



Slika 4.2. Karta spaljene površine snimljena 20.10.2022. Žute oznake odnose se na lokacije vatrogasnih vozila i kanadera, a plava linija označava opečarenu površinu. (izvor: Google Earth Pro)



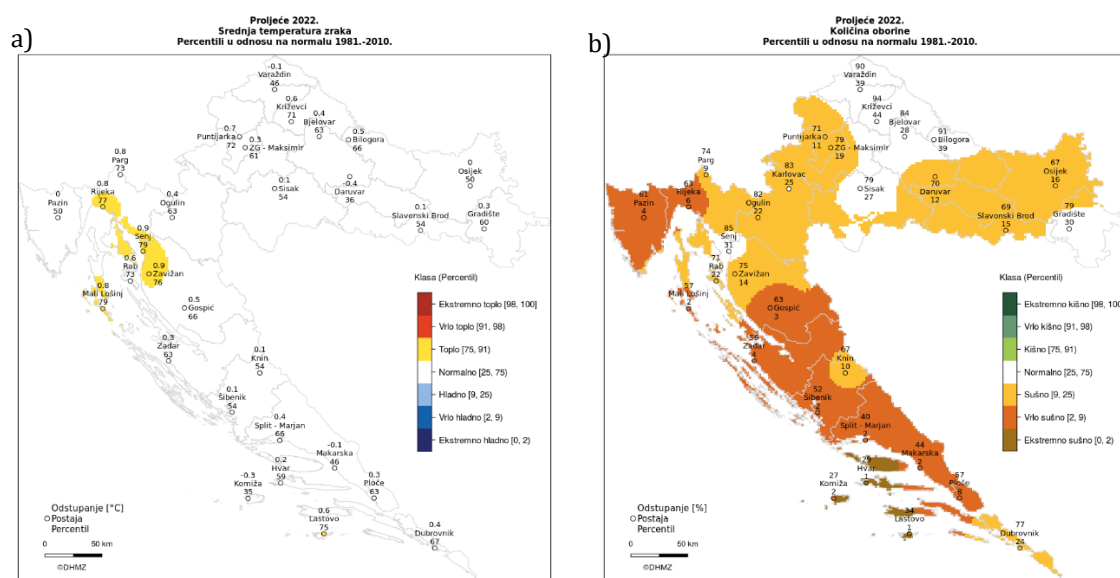
Slika 4.3. Fotografije snimljene 9. srpnja 2022. (a) Probijanje požara preko Premanturske ceste i (b) stanje nakon gašenja na istoj lokaciji (fotografirao Luka Batelić).



Slika 4.4. (a) Širenje dima prema zapadu (fotografirao Roberto Bilić) i (b) Premanturska cesta godinu dana nakon požara (fotografirao Manuel Angelini).

## 4.2 Klimatska ocjena razdoblja koje je prethodilo požaru

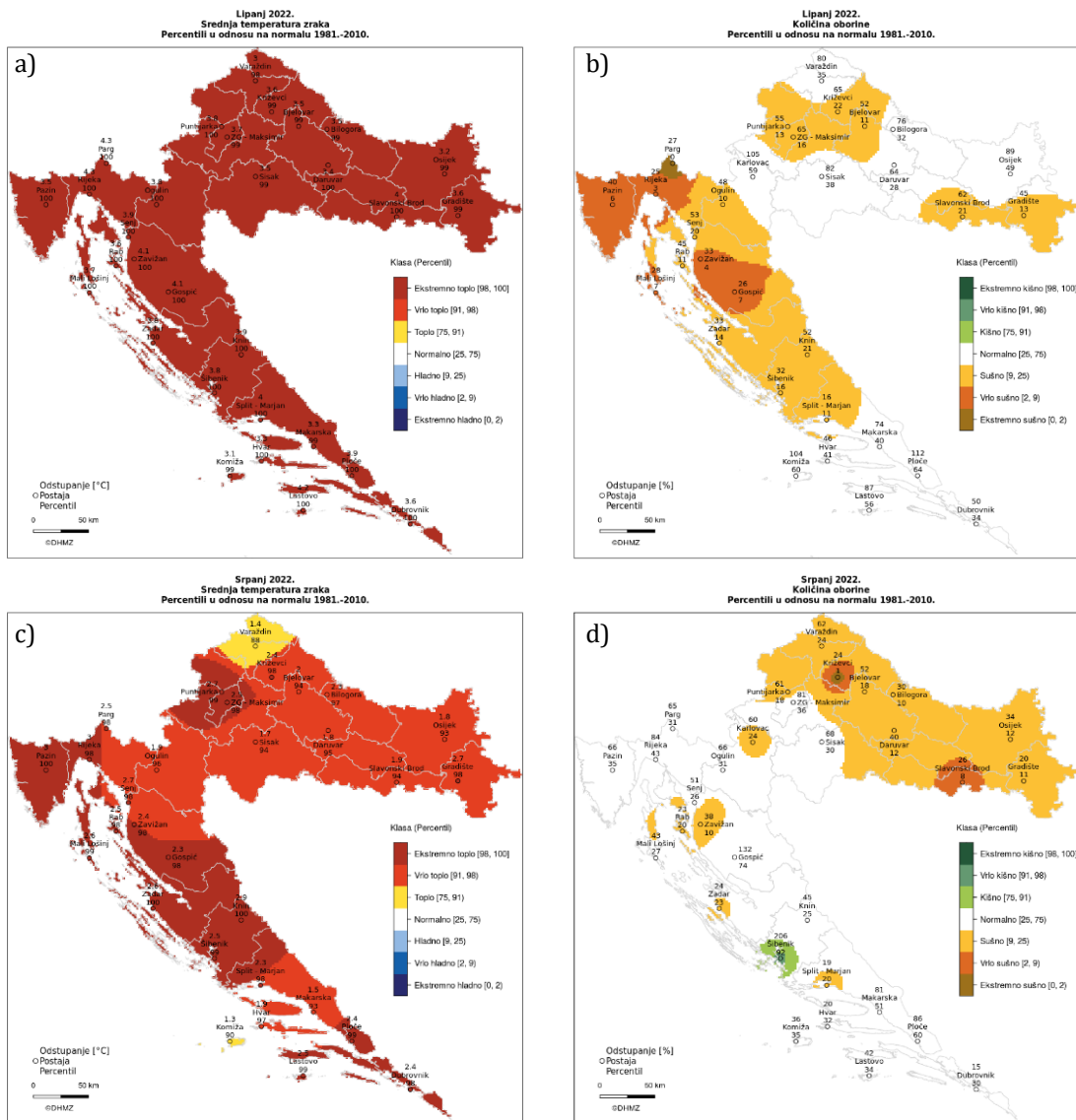
Srednja temperatura zraka u sezoni zima 2021./22. je na svim postajama odstupala u odnosu na standardno klimatološko razdoblje (Dodatak A, slika A.5a). Veći dio Hrvatske je s obzirom na razdiobu percentila okarakteriziran kao topao. Unutrašnjost Istre bila je u granicama prosječnih vrijednosti s obzirom na referentno razdoblje 1981.–2010. Količina oborine (Dodatak A, slika A.5b) je u većem dijelu Hrvatske bila nešto niža od višegodišnjeg prosjeka, ali u granicama normale.



Slika 4.5. Odstupanje (a) temperature zraka i (b) količine oborine od višegodišnjeg prosjeka u sezoni proljeće 2021./22. (Izvor: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracenje&param=ocjena&el=](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje&param=ocjena&el=))

Odstupanja srednje temperature zraka u proljeće 2022. u Hrvatskoj (slika 4.5a) bila su uglavnom neznatna, osim na manjem području Kvarnera i sjevernog Velebita. Sušno je bilo u većem dijelu kontinentalne Hrvatske, na Kvarneru i južnoj Dalmaciji te u okolici Knina. U proljeće 2022. na području Istre, širem riječkom području, Lici te sjevernoj i srednjoj Dalmaciji bilo je vrlo sušno (slika 4.5b). Lipanj 2022. najviše se isticao zbog velikog odstupanja srednje temperature zraka od prosječnih vrijednosti. Na nekoliko postaja čak su zabilježena i ekstremna odstupanja od kada postoje mjerenja. Na cijelom području Hrvatske bilo je ekstremno toplo (slika 4.6a). Oborinske prilike su u većem dijelu normalne ili sušne. Na području Istre su se nakon vrlo sušnog proljeća i u lipnju nastavile vrlo sušne vremenske prilike, kao i na širem području Rijeke te dijelu gorske Hrvatske (slika 4.6b).





Slika 4.6. Odstupanje od višegodišnjeg prosjeka (a) temperature i (b) količine oborine u lipnju 2022. te (c) temperature i (d) količine oborine u srpnju 2022. (Izvor: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracenje&param=ocjena&el=](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje&param=ocjena&el=))

U srpnju 2022., mjesecu kad je izbio požar, temperatura je na svim postajama bila viša od prosječne. Najveće odstupanje srednje temperature u odnosu na normalu u iznosu od 3,0 °C zabilježeno je u Pazinu i Rijeci. Sa slike 4.6c također je vidljivo ekstremno toplo područje Istre. S druge strane, u srpnju su oborinske prilike (slika 4.6d) bile uglavnom prosječne (Istra) ili sušne. Ističe se šire područje Šibenika kao kišno i vrlo kišno, a s druge strane nizinska Hrvatska koja je bila sušna do ekstremno sušna.

#### 4.2.1 Analiza vrućih i sušnih razdoblja

U prilog tom ekstremno toplom vremenu, na postaji Pula-grad zabilježen je niz od 17 vrućih dana koji je započeo 21. lipnja, a završio 7. srpnja 2022. godine, dva dana prije izbijanja požara (tablica 4.2). Vrući dan je onaj u kojem je maksimalna temperatura zraka veća ili jednaka 30 °C. Osim toga, početkom mjeseca srpnja minimalna temperatura zraka se nije smanjivala ispod 20 °C što pokazuje da su noći bile tople.

Tablica 4.2. Broj uzastopnih dana  $\leq 10$  dana za postaju Pula-grad u 2022. godini. (izvor: DHMZ)

<b>Vrući dani</b> $t_{\text{maks}} \geq 30 \text{ °C}$		
od	do	dani
21.6.2022.	7.7.2022.	17
13.7.2022.	29.7.2022.	17
31.7.2022.	12.8.2022.	13
<b>Vrlo vrući dani</b> $t_{\text{maks}} \geq 32 \text{ °C}$		
od	do	dani
15.7.2022.	26.7.2022.	12

Osim temperaturom zraka, požari raslinja često su povezani sa sušom i stoga se analizira količina oborine (P). Ovisno o vrsti goriva potrebno je da količina oborine premaši određeni kritični prag da bi imala utjecaj. Tako za fino gorivo dnevna količina oborine koja ima utjecaj na količinu vlažnosti u zraku/tlu iznosa do 0,5 mm smatra se kritičnom, za srednje krupno gorivo prag je 1,5 mm, a za krupno gorivo 2,8 mm. Sve vrijednosti dnevne količine oborine manje od specifičnog praga za svaku vrstu goriva, smatraju se sušnim razdobljem. Za razdoblja trajanja dulje od mjesec dana postoji velika opasnost od izbijanja i širenja požara.

Na postaji Pula-aerodrom u 2022. godini registrirano je jedno sušno razdoblje dulje od 30 dana s količinom oborine manjom od 0,5 mm u ožujku kada je u većini Hrvatske zabilježen nedostatak oborine. Drugo po duljini trajanja sušno razdoblje s obzirom na fino gorivo završilo je pet dana prije požara, točnije 4. srpnja, a trajalo je 24 dana. Kroz godinu evidentirano je ukupno 12 razdoblja u kojima je količina oborine bila manja od 0,5 mm u barem 10 dana. S obzirom na fino gorivo, maksimalan broj uzastopnih dana s količinom oborine manjom od 0,5 bio je 36. Isto tako, za srednje krupno gorivo ( $P \leq 1,5$  mm) sušni uvjeti trajali su 46 dana, a za krupno gorivo

( $P \leq 2,8$  mm) čak 50 dana koja su trajala od 10. lipnja do 29. srpnja 2022. godine (tablica 4.3).

Tablica 4.3. Broj uzastopnih dana  $\geq 10$  s količinom oborine  $\leq 2,8$  mm, 1,5 mm i 0,5 mm za postaju Pula-aerodrom u 2022. godini. (izvor: DHMZ)

$P \leq 0,5$ mm			$P \leq 1,5$ mm			$P \leq 2,8$ mm		
od	do	dani	od	do	dani	od	do	dani
12.12.2021.	23.12.2021.	12	10.12.2021.	24.12.2021.	15	10.12.2021.	25.12.2021.	16
22.1.2022.	4.2.2022.	14	11.1.2022.	4.2.2022.	25	11.1.2022.	4.2.2022.	25
23.2.2022.	30.3.2022.	36	23.2.2022.	30.3.2022.	36	6.2.2022.	15.2.2022.	10
8.4.2022.	21.4.2022.	14	4.4.2022.	21.4.2022.	18	17.2.2022.	30.3.2022.	42
26.4.2022.	5.5.2022.	10	26.4.2022.	5.5.2022.	10	4.4.2022.	21.4.2022.	18
8.5.2022.	28.5.2022.	21	8.5.2022.	28.5.2022.	21	26.4.2022.	5.5.2022.	10
11.6.2022.	4.7.2022.	24	11.6.2022.	26.7.2022.	46	8.5.2022.	28.5.2022.	21
13.7.2022.	26.7.2022.	14	31.7.2022.	15.8.2022.	16	10.6.2022.	29.7.2022.	50
31.7.2022.	15.8.2022.	16	24.8.2022.	3.9.2022.	11	31.7.2022.	15.8.2022.	16
24.8.2022.	3.9.2022.	11	2.10.2022.	22.10.2022.	21	24.8.2022.	6.9.2022.	14
2.10.2022.	22.10.2022.	21	24.10.2022.	3.11.2022.	11	2.10.2022.	22.10.2022.	21
24.10.2022.	2.11.2022.	10				24.10.2022.	3.11.2022.	11

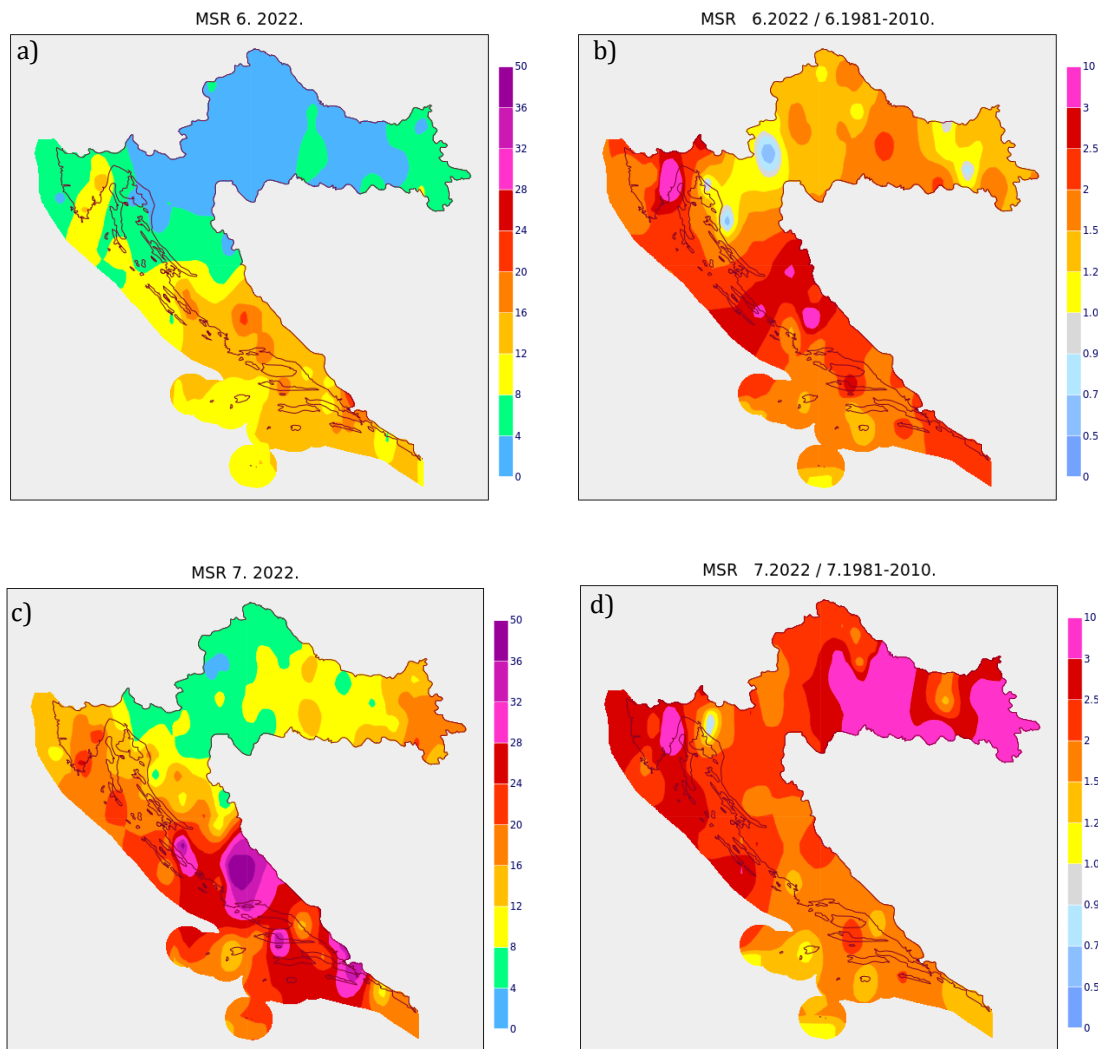
Iz podataka o oborini na postaji Pula-aerodrom uočava se vrlo mala količina oborine tijekom vremena koje je prethodilo požaru. Ukupna količina oborine u razdoblju od 30 dana prije požara iznosila je 1,7 mm. U srpnju je 5. dana izmjerena količina od 0,2 mm, a 6. i 8. dana oborina je zabilježena tek u tragovima. U ostatku Istre (na postajama Pazin i Rijeka, Dodatak A, slika A.4) zabilježene su nešto veće količine oborine, pri čemu je u Rijeci 8. srpnja (dan prije požara) zabilježena količina od 14,4 mm.

### 4.3 Meteorološka analiza opasnosti od šumskog požara

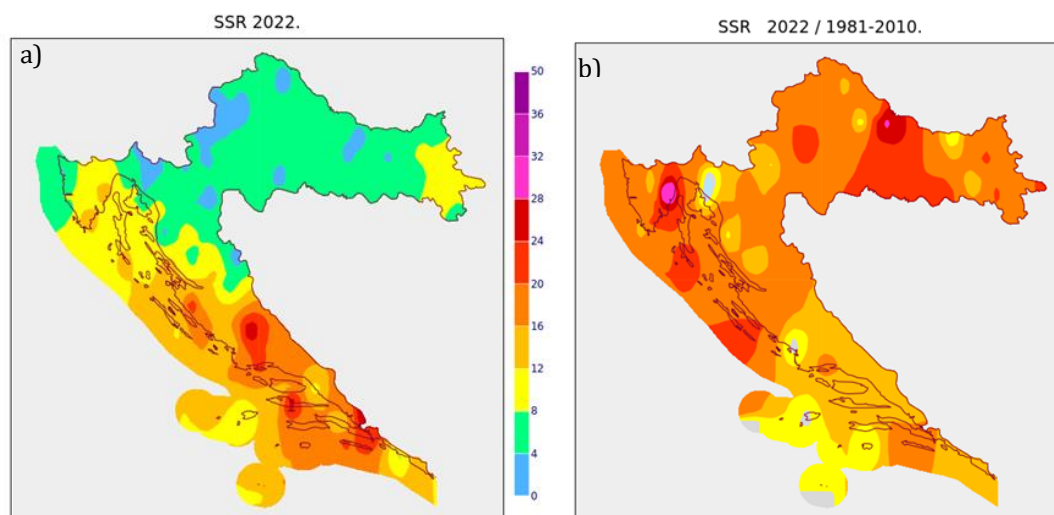
Analizom indeksa opasnosti od požara može se uočiti da je od početka srpnja 2022. FWI bio visok i time je opasnost od požara bila velika do vrlo velika (tablica 4.4). Od 7. srpnja do dana požara 9. srpnja opasnost od šumskog požara bila je vrlo velika. To je očekivano zbog visoke temperature i niske relativne vlažnosti zraka. Prema mjerenjima vidljivo je da je temperatura zraka prije požara bila u rasponu od 25,6 °C do 31,4 °C. Relativna vlažnost zadržala se ispod 71 %, a srednja brzina vjetera uglavnom je bila 2–4 m s<sup>-1</sup>. FFCM indeks je dva dana prije požara bio iznad 90, što upućuje na vrlo zapaljiv materijal u prvom sloju iglica ili lišća. Indeks ISI na dan požara postigao je iznos od 11, što navodi na brzinu širenja požara od 3.0 m min<sup>-1</sup>. Iznos BUI od 163 na dan požara prešao je kritičnu vrijednost od 119 što znači da je gorivi materijal bio dovoljno suh da prihvati vatru koja se dalje mogla širiti.

Tablica 4.4. Ulazni meteorološki elementi potrebni za određivanje indeksa meteorološke opasnosti od požara FWI i podindeksi za postaju Pula-grad u razdoblju od 1. do 10. srpnja 2022. (*T* (°C) – temperatura zraka na 2 m iznad tla, *RV* (%) – relativna vlažnost zraka i *V* (m s<sup>-1</sup>) – brzina vjetera u 14 SEV, *P* (mm) – 24- satna količina oborine u 7 SEV, *FFCM* – pokazatelj vlažnosti finog goriva, *DMC* – pokazatelj vlažnosti srednje krupnog goriva, *DC* – pokazatelj vlažnosti krupnog goriva, *ISI* – indeks početnog širenja vatre, *BUI* – indeks ukupnog goriva).

Datum	Meteorološki elementi				Indeksi opasnosti od požara						Klasa opasnosti
	T (°C)	RV (%)	V (ms <sup>-1</sup> )	P (mm)	FFCM	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	
01.07.2022.	29,7	69	7	0	87	109	433	10	134	36	vrlo velika
02.07.2022.	31,4	55	4	0	88	112	442	7	137	28	velika
03.07.2022.	29,8	71	4	0	87	114	451	6	140	25	velika
04.07.2022.	30,6	53	2	0	88	118	461	5	144	22	velika
05.07.2022.	28,8	72	4	0,8	84	120	469	4	146	19	velika
06.07.2022.	29,8	49	2	0	88	123	478	5	150	23	velika
07.07.2022.	31,2	29	4	0	93	129	488	13	155	45	vrlo velika
08.07.2022.	27,5	40	4	0	92	133	496	12	159	42	vrlo velika
09.07.2022.	25,6	43	4	0	91	136	505	11	163	39	vrlo velika
10.07.2022.	26,9	57	4	0	89	139	513	8	166	32	vrlo velika



Slika 4.7. Prostorna razdioba (a) srednje mjesečne ocjene žestine za Hrvatsku za lipanj 2022. i (b) njezin omjer s normalom 1981–2010. te prostorna razdioba (c) srednje mjesečne ocjene žestine za Hrvatsku za srpanj 2022. i (d) omjer s normalom 1981–2010. (izvor: DHMZ)



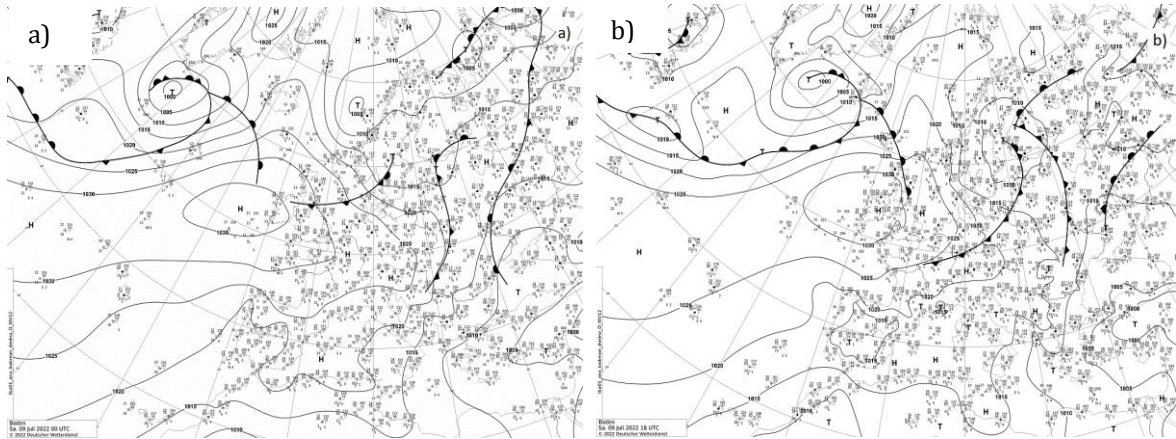
Slika 4.8. Prostorna razdioba (a) srednje sezonske ocjene žestine (SSR) za Hrvatsku za 2022. i (b) omjer s normalom 1981–2010. (izvor: DHMZ)

Navedeni vremenski uvjeti bili su povoljni za nastanak i razvoj požara i postojala je velika opasnost od nastanka šumskih požara u danima koji su prethodili požaru, kao i na sam dan požara. Iznos indeksa FFMC naglašava vrlo suho stanje finih gorivih materijala, a DMD i DC pokazuju veliku suhoću u dubljim slojevima gorivog materijala. Indeks ISI govori o umjereno brzom širenju požara što znači da se požar mogao relativno brzo širiti na nova neizgorena područja. Sva ta razmatranja potvrđuju konačni indeks FWI odnosno veliku opasnost od požara raslinja na dan početka požara.

Meteorološku opasnost od požara raslinja smatramo vrlo velikom kada su vrijednosti MSR ili SSR veće od 7, a omjeri između SSR odnosno MSR i višegodišnjeg prosjeka 1981–2010 veći od 1,5. Najveće vrijednosti MSR, uglavnom veće od 12, u lipnju 2023. bile su u Dalmaciji (slika 4.7a). Povećana žestina zamjećuje se također i na istočnoj obali Istre koja je bila čak 2–3 puta veća od prosjeka (slika 4.7b). Vrijednosti MSR su tijekom srpnja 2022. porasle gotovo na cijelom području Hrvatske, u odnosu na lipanj (slika 4.7c). Izrazito visoke vrijednosti MSR-a izračunate su na području Dalmacije, ali uz nešto niži omjer s normalom. Zbog toga se najviše ističe područje Slavonije gdje su vrijednosti bile puno veće od višegodišnjeg prosjeka (slika 4.7d). U srpnju 2022. velike vrijednosti MSR proširile su se na cijelo područje Istre pa je tako na postaji Pula-aerodrom zabilježena iznadprosječna vrijednost MSR-a od 30.2. Ta vrijednost je za 3,12 puta veća od višegodišnjeg prosjeka za srpanj. Uz to, na toj postaji je u požarnoj sezoni zabilježena druga po redu vrijednost SSR-a u iznosu od 17,98. Sezonske žestine (slika 4.8) na području Istre bile su veće od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981.–2010. te je time opasnost od požara raslinja bila veća.

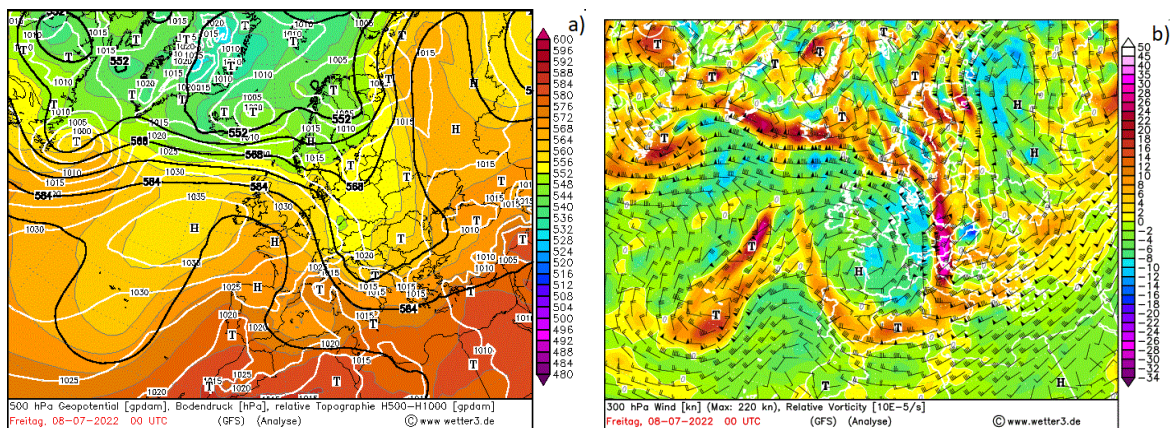
#### ***4.4 Vremenske značajke u sinoptičkim razmjerima***

Noć uoči požara 9. srpnja 2022. godine u 00 UTC se nad većim dijelom Europe prostire polje visokog tlaka zraka sa središtem od 1035 hPa zapadno od Irske. Istovremeno se središte polja sniženog tlaka zraka nalazilo u istočnom Sredozemlju nad Turskom (slika 4.9a). Tijekom dana je područje Hrvatske, uključujući Istru, bilo pod utjecajem većeg gradijenta tlaka što pokazuje pojavu jakog vjetera (Dodatak A, slika A.6). U 18 UTC polje visokog tlaka nad zapadnom Europom se malo smanjilo, a nad Hrvatskom prevladava gotovo bezdivergentno polje (slika 4.9b) što znači da je vjetar oslabio. Frontalni sustavi su prolazili sjevernije od Hrvatske.

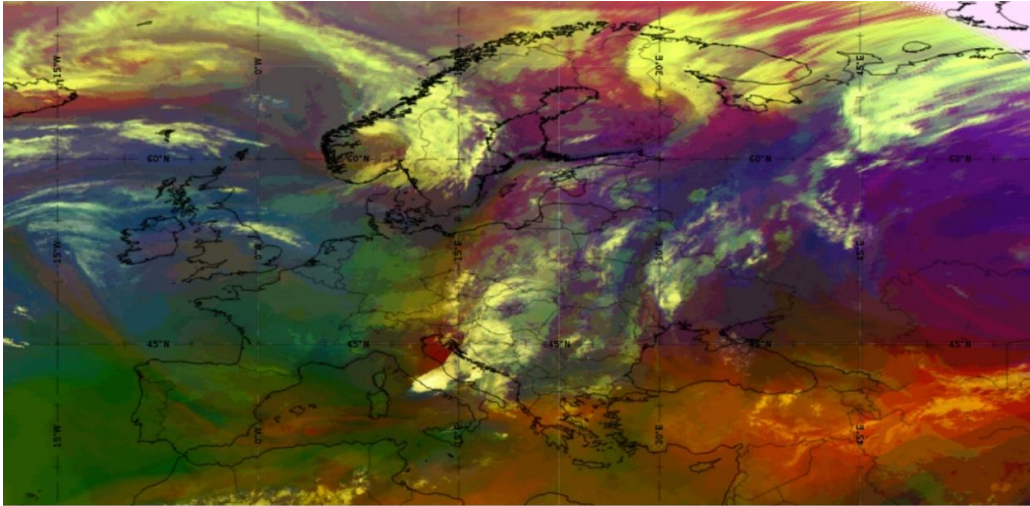


Slika 4.9. Prizemna sinoptička karta nad Europom 9. srpnja 2022. u (a) 00 UTC i (b) 18 UTC. (Izvor: <https://www1.wetter3.de/>)

Dan prije požara, 8. srpnja 2022. godine, na visinskoj karti geopotencijala na 500 hPa nad područjem Istre prolazi stražnja strana visinske doline (slika 4.10a). Također, istovremeno se na karti geopotencijala na 300 hPa nad Istrom uočava područje najveće relativne vrtložnosti. Točnije, lokacija požara se nalazila na samom zapadnom rubu visinske ciklone, što znači da je upravo nad tim područjem došlo do konvergencije i spuštanja zraka s visine. Mlazna struja koja je pratila spomenutu visinsku ciklonu je iznad srednje Europe imala sjeverni smjer, a iznad istočne sjeveroistočni smjer (slika 4.10b). Satelitska slika za identifikaciju zračnih masa Airmass RGB istodobno pokazuje crvenkasto smeđe obojenje na istom mjestu što također potvrđuje intruziju suhog zraka dan prije početka požara (slika 4.11).



Slika 4.10. Visinske karte nad Europom 8. srpnja 2022. u 00 UTC. (a) Geopotencijal (gpdam, crne linije) na AT 500 hPa, prizemni tlak (hPa, bijele linije) i relativna topografija RT 500/1000 (gpdam, obojano), (b) smjer i brzina vjetrova (čv) i relativna vrtložnost ( $10^{-5}$  s $^{-1}$ , obojano). (Izvor: <https://www1.wetter3.de/>)



Slika 4.11. Airmass RGB satelitska snimka nad Europom 8. srpnja 2022. (Izvor: <https://www.eumetrain.org/eport> )

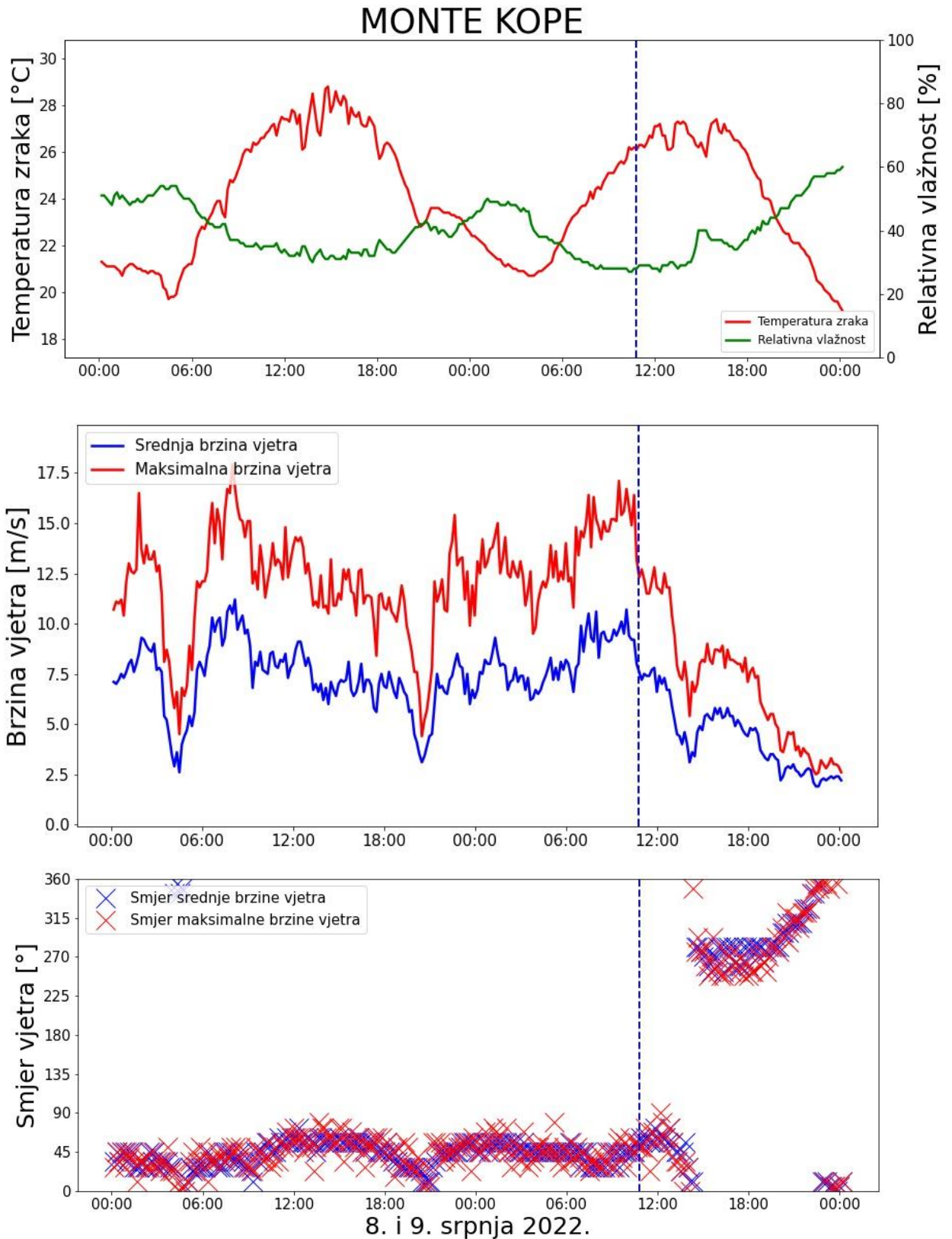
## ***4.5 Prizemna prostorna i vremenska mezoanaliza***

### **4.5.1 Dnevni hodovi temperature zraka, relativne vlažnosti zraka i vjetra**

Meteorološka postaja najbliža lokaciji požara je Monte Kope (slika 2.1). Na dan 9. srpnja 2022. zabilježen je pravilni dnevni hod temperature zraka s najvećom vrijednosti poslijepodne i nešto nižim vrijednostima u noći (slika 4.12a). Maksimalna vrijednost temperature zraka zabilježena je u 16:10 h s vrijednošću 27,5 °C. Minimalna vrijednost temperature zraka nije, kako bi bilo očekivano, zabilježena u ranim jutarnjim, već u večernjim satima, kada je 19,6 °C izmjereno u 23:50 h. U prijašnjem razdoblju 1–8. srpnja 2022. temperatura zraka u svježijem, uglavnom noćnom dijelu dana nije padala ispod 20 °C, što pokazuje da je požaru kod Pule prethodilo toplo vrijeme s toplim noćima. Dan prije požara, 8. srpnja 2022., vrijednost maksimalne temperature zraka (28,9 °C u 14:50 h) bila je nešto viša nego na dan požara. Relativna vlažnost zraka tri dana prije požara bila je ispod 60 % (slika 4.12a), a na dan požara pala je ispod 30 %. Još detaljnije, u razdoblju od 9 do 12 h na dan požara je relativna vlažnost bila ispod 30 %. Nakon 14 h relativna vlažnost je bila u porastu do najviše vrijednosti 70 % koju je postigla idućeg dana, 10. srpnja, u 4:40 h.

Najveća vrijednost srednje i maksimalne brzine vjetra za mjesec srpanj 2022. na postaji Monte Kope zabilježena je 7. srpnja 2022. (13,6 m s<sup>-1</sup> s udarima do 22 m s<sup>-1</sup>, Dodatak A, slika A.2). Od 7. do 9. srpnja prevladavao je vjetar sjeveroistočnog smjera, odnosno bura (Dodatak A, slika A.3). Srednja 10-min brzina bure je 2 sata prije početka





Slika 4.12. Automatska postaja Monte Kope s desetominutnim podacima (a) temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) i relativne vlažnosti zraka (%), (b) srednje i maksimalne brzine vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ) te (c) smjer srednje i maksimalne brzine izmjereni 8. i 9. srpnja 2022. Plava isprekidana linije označava vrijeme početka požara.

požara dosezala  $10,7 \text{ m s}^{-1}$ , a maksimalni udar do  $16,7 \text{ m s}^{-1}$ , odnosno bura je bila umjereno jaka s vrlo jakim ili žestokim udarima (slika 4.12b,c). Nakon toga bura je malo oslabila, ali je i dalje bila umjerena s jakim udarima. Točnije, u trenutku početka požara bura je imala srednju 10-min brzinu od  $7,7 \text{ m s}^{-1}$  i udar od  $12,8 \text{ m s}^{-1}$ . Umjeren sjeveroistočni vjetar puhao je sve do 14:30 h. Nakon toga je došlo do promjene brzine i smjera vjetra koji slabi na  $1,9 \text{ m s}^{-1}$  i prelazi na zapadni do sjeverozapadni smjer.

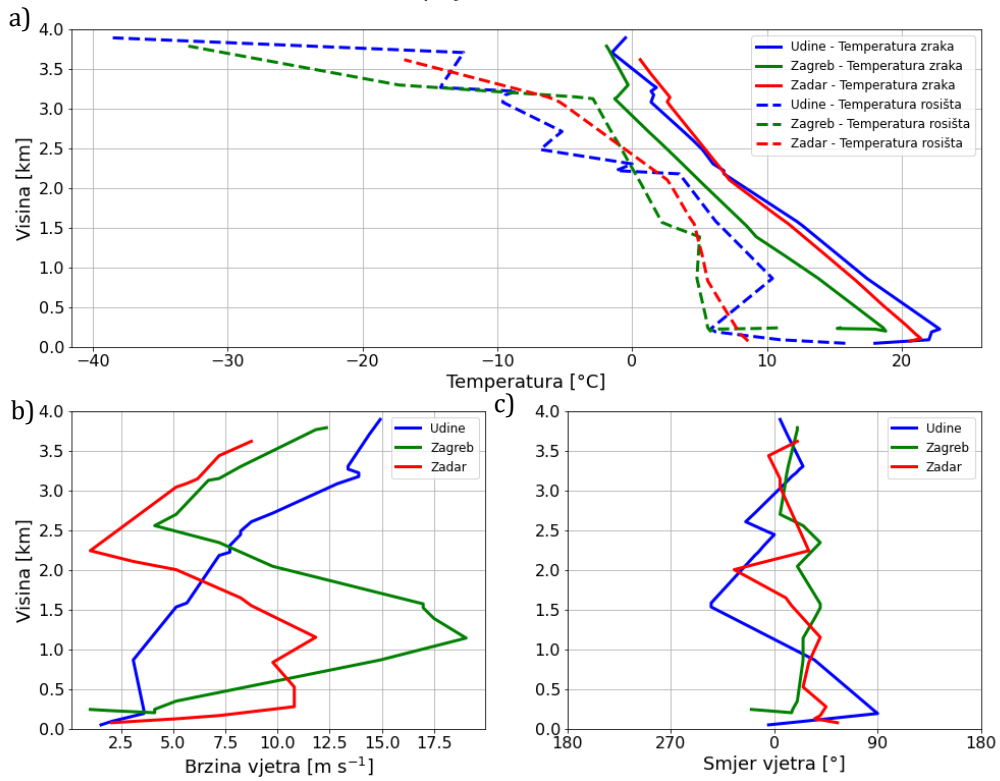
#### **4.5.2 Dnevnik motrenja**

Na postaji Pula-aerodrom motritelji opisuju situaciju koja je identična podacima prizemne postaje Monte Kope. Dan prije požara bilježe umjerenu, na udare žestoku buru, dok je vrijeme opisano kao sunčano uz malu do umjerenu naoblaku. Na sam dan požara, 9. srpnja 2022., u prvom dijelu dana registrirana je oštra i jaka, a na udare žestoka bura. U 10 SEV evidentiran je maksimalni udar vjetra istočno-sjeveroistočnog smjera na zapadnom kraju piste brzine  $15,4 \text{ m s}^{-1}$  (žestok vjetar prema Beaufort-ovoj ljestvici). Sredinom dana došlo je do smirivanja vjetra, a potom i do promjene smjera vjetra na maestral. Motritelj opaža i rodove te vrste oblaka, pa je sredinom dana zabilježena pojava cirusa (Ci) i razvoj kumulusa (Cu). Osim toga, primijećen je dimni zid do visine otprilike 1500 m na udaljenosti 3–5 km od postaje te u više navrata oblak pirokumulus (PyroCu) nastao od požara.

#### **4.5.3 Radiosondažna mjerenja**

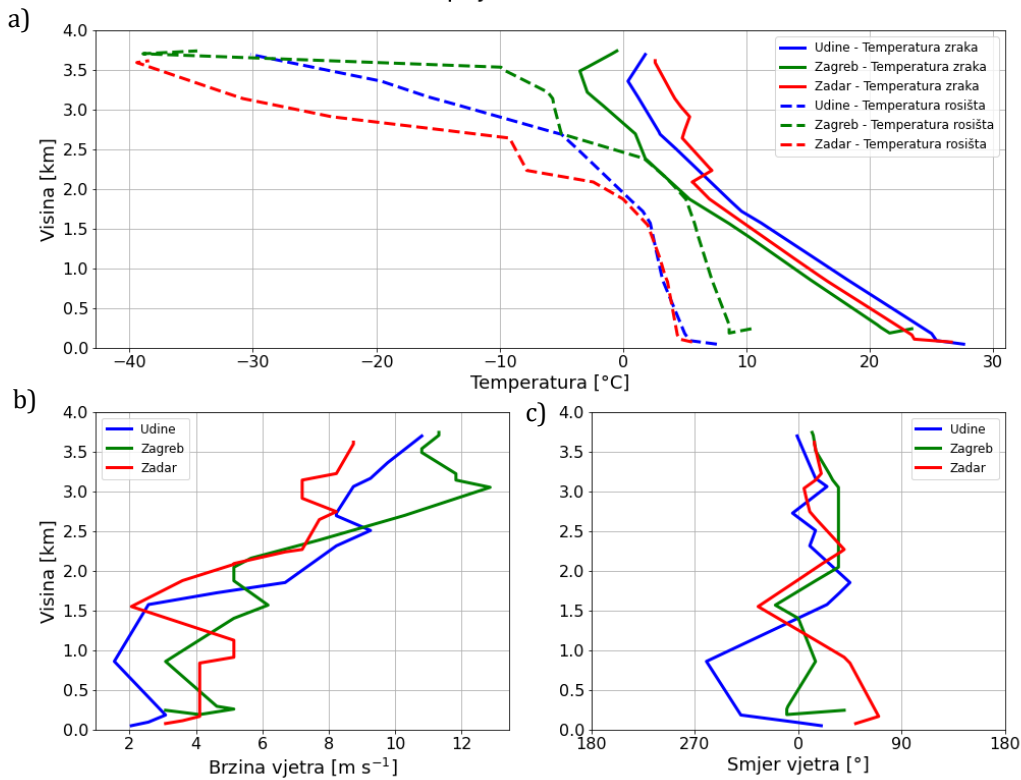
Za vertikalnu analizu atmosfere koriste se radiosondažna mjerenja koja se u Hrvatskoj (Zagreb i Zadar) obavljaju u 00 i 12 UTC. Zbog blizine postaje (oko 140 km zračne udaljenosti) za analizu odabrana je i talijanska postaja Udine. Opisani su vertikalni profili temperature zraka, temperature rosišta, brzine i smjera vjetra do 4 km visine izmjerenih 9. srpnja 2022. u 00 UTC, nekoliko sati prije izbijanja požara. Na vertikalnom profilu temperature zraka (slika 4.13a) izražena je prizemna temperaturna inverzija u sloju atmosfere do 200–300 m na svim postajama. Razlike u temperaturi zraka s temperaturom rosišta su veće što upućuje na relativno suho vrijeme (slika 4.13a). Na vertikalnom profilu vjetra vidljivo je da je prevladavao uglavnom sjeverni do sjeveroistočni smjer vjetra (slika 4.13c). Na profilu u Udinama brzine su bile najmanje, u Zadru je brzina vjetra dosegla najveću brzinu od  $11,8 \text{ m s}^{-1}$  na visini od 1154 m, a u Zagrebu je maksimalna brzina vjetra iznosila  $19,0 \text{ m s}^{-1}$  na visini od 1144 m (slika 4.13b).

9. srpnja 2022. 00 UTC



Slika 4.13. Vertikalni profili (a) temperature zraka i rosišta ( $^{\circ}C$ ), (b) brzine vjetra ( $m s^{-1}$ ) i (c) smjera vjetra u Udinama, Zagrebu i Zadru 9. srpnja 2022. u 00 UTC.

9. srpnja 2022. 12 UTC



Slika 4.14. Vertikalni profili (a) temperature zraka i rosišta ( $^{\circ}C$ ), (b) brzine vjetra ( $m s^{-1}$ ) i (c) smjera vjetra u Udinama, Zagrebu i Zadru 9. srpnja 2022. u 12 UTC.

Iz podataka radiosondaže u 12 UTC nema zabilježene prizemne temperaturne inverzije. Zrak je i dalje suh na postajama Zadar i Udine što pokazuje razlika između temperature zraka i temperature rosišta (slika 4.14a). Brzine vjetra su se znatno smanjile (slika 4.14b), a vjetar je i dalje uglavnom sjevernog do sjeveroistočnog smjera. U Udinama je do 1,5 km visine vjetar sjevernog do sjeverozapadnog smjera (slika 4.14c).

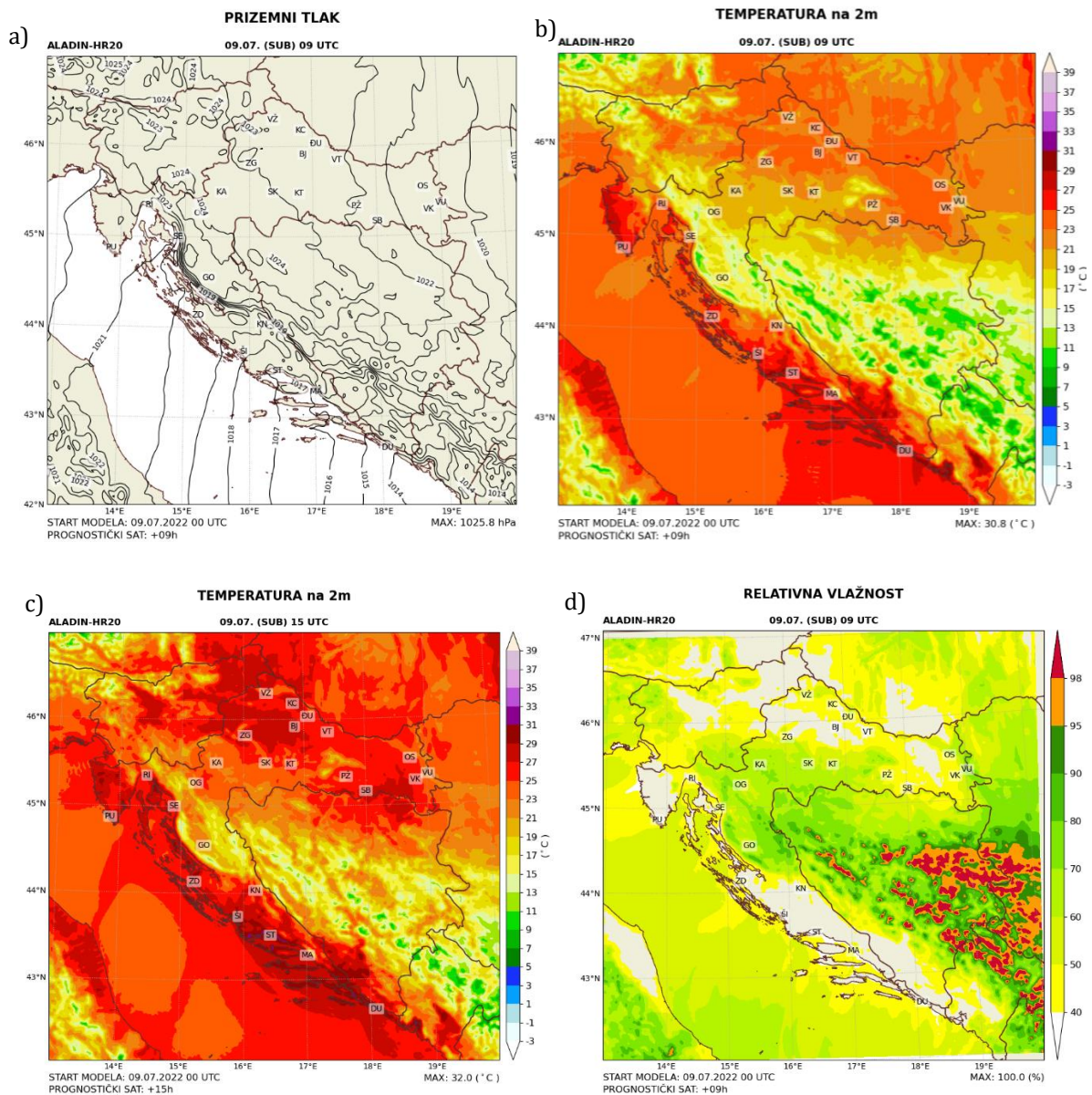
## **4.6 Analiza produkata modela ALADIN/HR**

### **4.6.1 Prizemna polja**

Pomoću numeričkog modela ALADIN/HR dobivena su prostorna meteorološka polja. Na karti raspodjele prizemnog tlaka, nekoliko trenutaka pred izbijanje požara, vidljiva je velika razlika tlaka na području Jadrana od 1022 hPa na sjevernom Jadranu do 1014 hPa na jugu Hrvatske (slika 4.15a). Nad područjem Pule uglavnom se zadržavao tlak od 1021 hPa.

Simulirani dnevni hod temperature zraka uglavnom se podudara s izmjerenim vrijednostima. Tik pred izbijanje požara na području Pule simulirana temperatura zraka na 2 m iznosila je od 25 do 29 °C (slika 4.15b). U 15 UTC je nad područjem Istre, pa tako i Pule, bilo najtoplije (slika 4.15c) te nakon toga temperatura zraka opada. Na području Pule je 24 h prije požara bilo suho. Relativna vlažnost zraka je, ujutro 9. srpnja 2022, bila također vrlo niska, ispod 40 % (slika 4.15d), a do porasta relativne vlažnosti zraka došlo je nakon 16 UTC (Dodatak A, slika A.7).

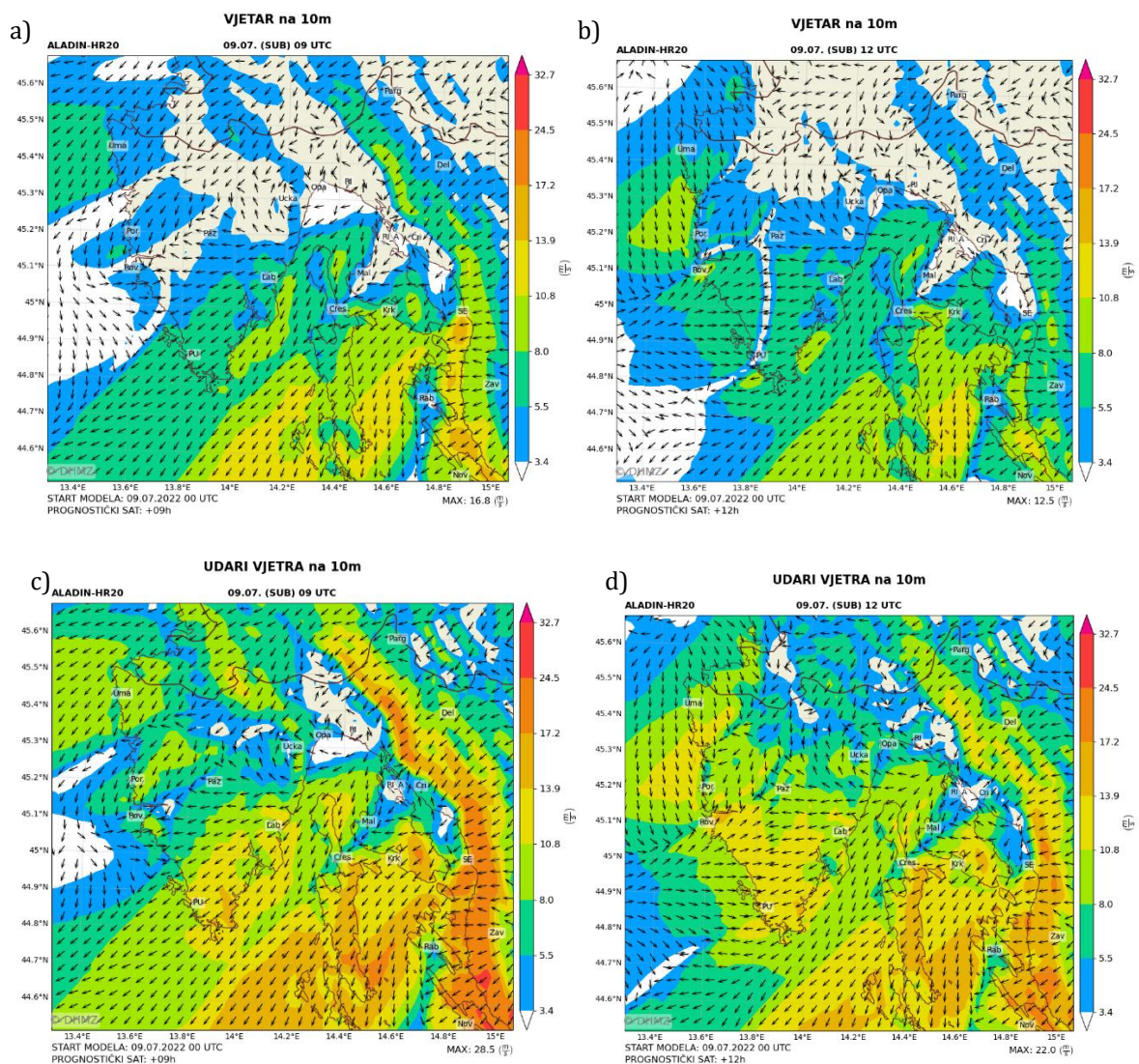
Na kartama prostorne raspodjele smjera i brzine vjetra, dobivenih dinamičkom adaptacijom, vidljivo je da je noć prije, i u trenutku izbijanja požara, na jugu Istre puhala umjerena do umjereno jaka bura s jakim do žestokim udarima (slika 4.16a,c). Tijekom prijepodnevnih sati se uslijed zagrijavanja kopna također stvara termički generirano strujanje prema obali (lokalno se formira zapadni smorac) pojačan pojavom nasuprotnog NE strujanja veće skale iznad istočnog dijela Istre. Takvi uvjeti pogoduju nastanku zone konvergencije u polju strujanja te su već i ranije uočeni i analizirani u istraživanju koje su proveli Telišman Prtenjak i sur. (2010). U studiji je uočeno da postoji nekoliko regija gdje ljetna bura (slabija od  $6 \text{ m s}^{-1}$ ) dopušta razvoj smorca.



Slika 4.15. Prizemne prostorne raspodjele (a) tlaka zraka (hPa) u 09 UTC, (b) temperature zraka (° C) u 09 UTC, (c) temperature zraka (° C) u 15 UTC i (d) relativne vlažnosti zraka (%) u 09 UTC nad Hrvatskom 9. srpnja 2022. dobivene modelom ALADIN-HR.

To su zapadni dijelovi istarskog poluotoka i Riječkog zaljeva te uz sjeverozapadne obale otoka Raba. Uz zapadnu obalu Istre, dinamika razvoja strujanja kao i položaj zone konvergencije u polju strujanja uvelike dodatno ovisi o ravnoteži između područja puhanja bure sjeverno i južno od poluotoka Istre. Tijekom 9. srpnja 2022., tršćanska bura je bila slabija te dominira pruga pojačanog strujanja iznad Kvarnera. Stoga na početku dana 9. srpnja 2022. strujanje prema obali duž zapadne obale Istre predstavlja superpoziciju zakrenutog *mlaza* bure i lokalnog termičkog vjetra (smorca) koji se susreću s prevladavajućim NE strujanjem iznad istočnog dijela poluotoka. Zbog pojave bure, smorac se razvija kasnije u danu, traje kraće s

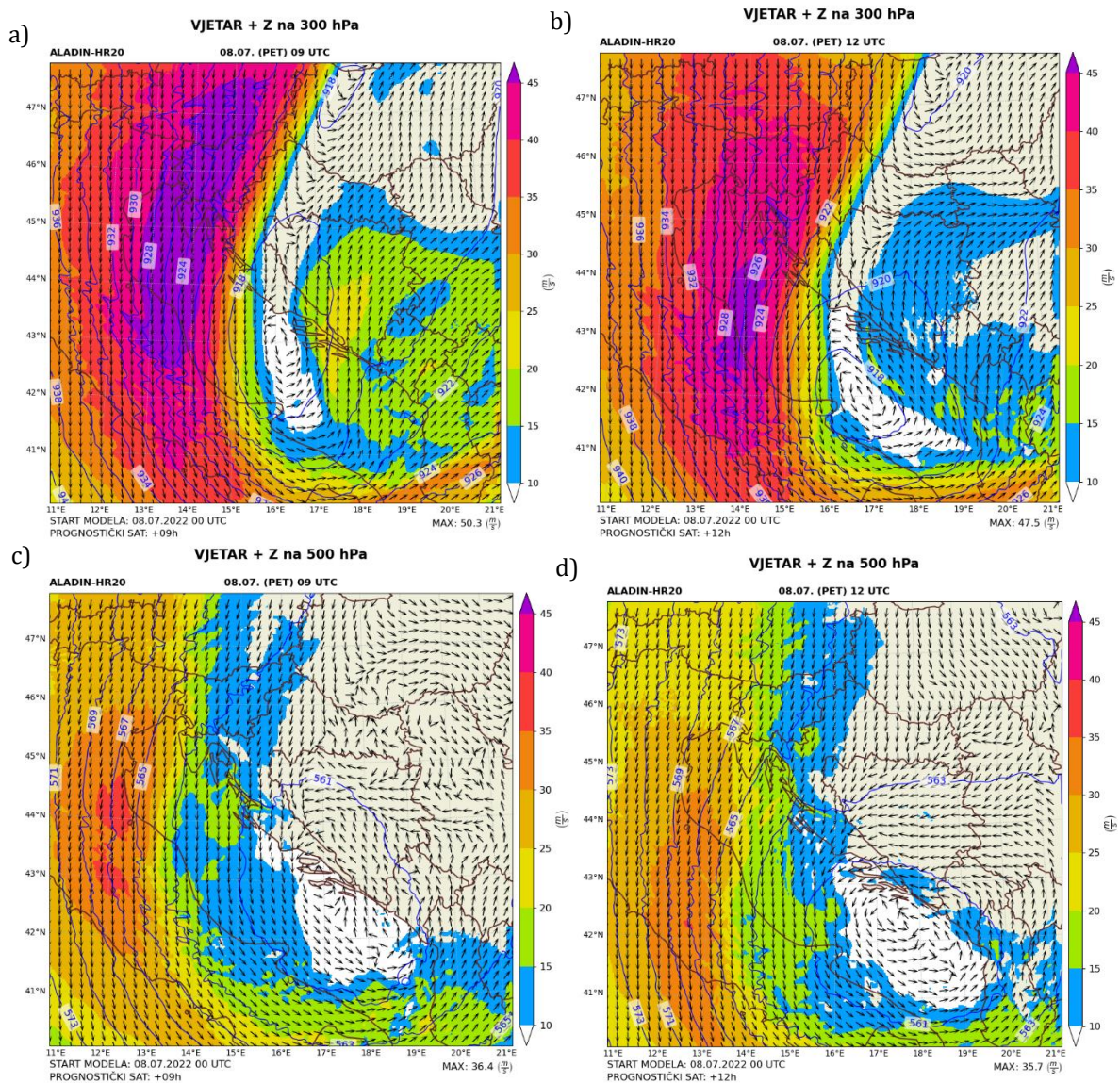
ograničenim horizontalnim dosegom prema unutrašnjosti zapadnog dijela Istre. Ipak formirana linija konvergencije u polju strujanja (slika 4.16b,d) prelazi preko Pule za vrijeme požara u 12 UTC. Nakon toga je nastavio puhati slab do umjereni vjetar zapadnog smjera s jakim do umjereni jakim udarima (Dodatak A, slika A.8) što je jedan od najtipičnijih režima strujanja za vrh istarskog poluotoka (Telišman Prtenjak i Grisogono, 2007).



Slika 4.16. Prostorne raspodjele (a) brzine i (b) udara vjetra na 10 m u 09 UTC te (c) brzine i (d) udara vjetra na 10 m u 12 UTC dobivene pomoću ALADIN-HR2 modela.

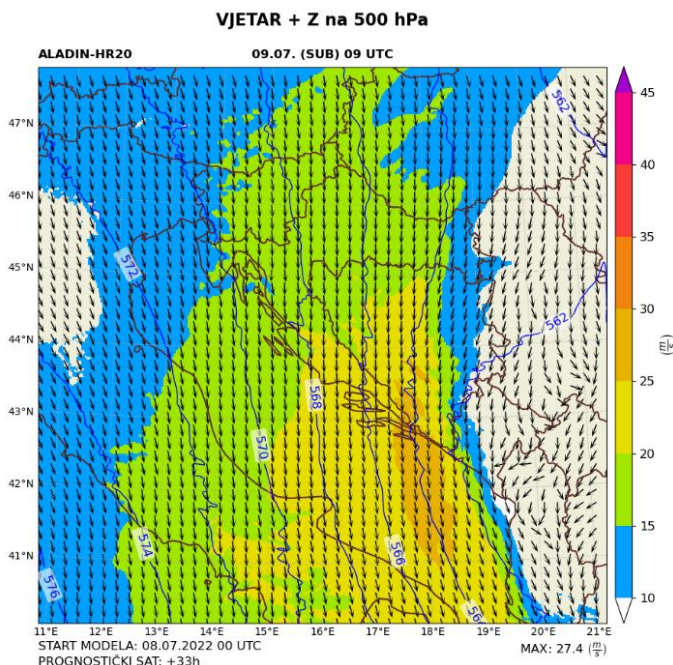
#### 4.6.2 Vertikalna struktura atmosfere

Dana 8. srpnja 2022. u 09 UTC na visinskoj karti 300 hPa dobivenoj numeričkom simulacijom vidljiva je visoka mlazna struja s brzinom većom od  $45 \text{ m s}^{-1}$  nad područjem Istre (slika 4.17a). Nad područjem sjevernog Jadrana u 12 UTC uočava se proces odvajanja visinske ciklone (engl. *cut-off*) (slika 4.17b) koja se do kraja dana premjestila nad područje Albanije. Zapadno od visinske ciklone puhao je vjetar sjevernog smjera, a istočno slab jugozapadnjak. Za vrijeme nastanka požara u 12 UTC mlazna struja je nad područjem Istre oslabila.



Slika 4.17. Brzina vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ , obojano), smjer vjetra (crne strjelice) i geopotencijalna visina (Z, gpdam, plave linije) na 300 hPa 8. srpnja 2022. u (a) 09 UTC i (b) 12 UTC, te na 500 hPa u (c) 09 UTC i (d) 12 UTC dobiveni modelom ALADIN-HR2.

Na visinskim kartama 500 hPa u 09 UTC i 12 UTC od 8. srpnja 2022. (slika 4.17c,d) područje najveće brzine vjetra nalazilo se nad srednjom Italijom. Iznad Istre visinski je vjetar pojačao u 12 UTC na 20-25 m s<sup>-1</sup>. Pred početak požara sljedećeg dana 9. srpnja 2022. u 09 UTC, vjetar na 500 hPa je ponovno oslabio iznad Istre, a područje najveće brzine vjetra se premjestilo nad južni Jadran (slika 4.18).



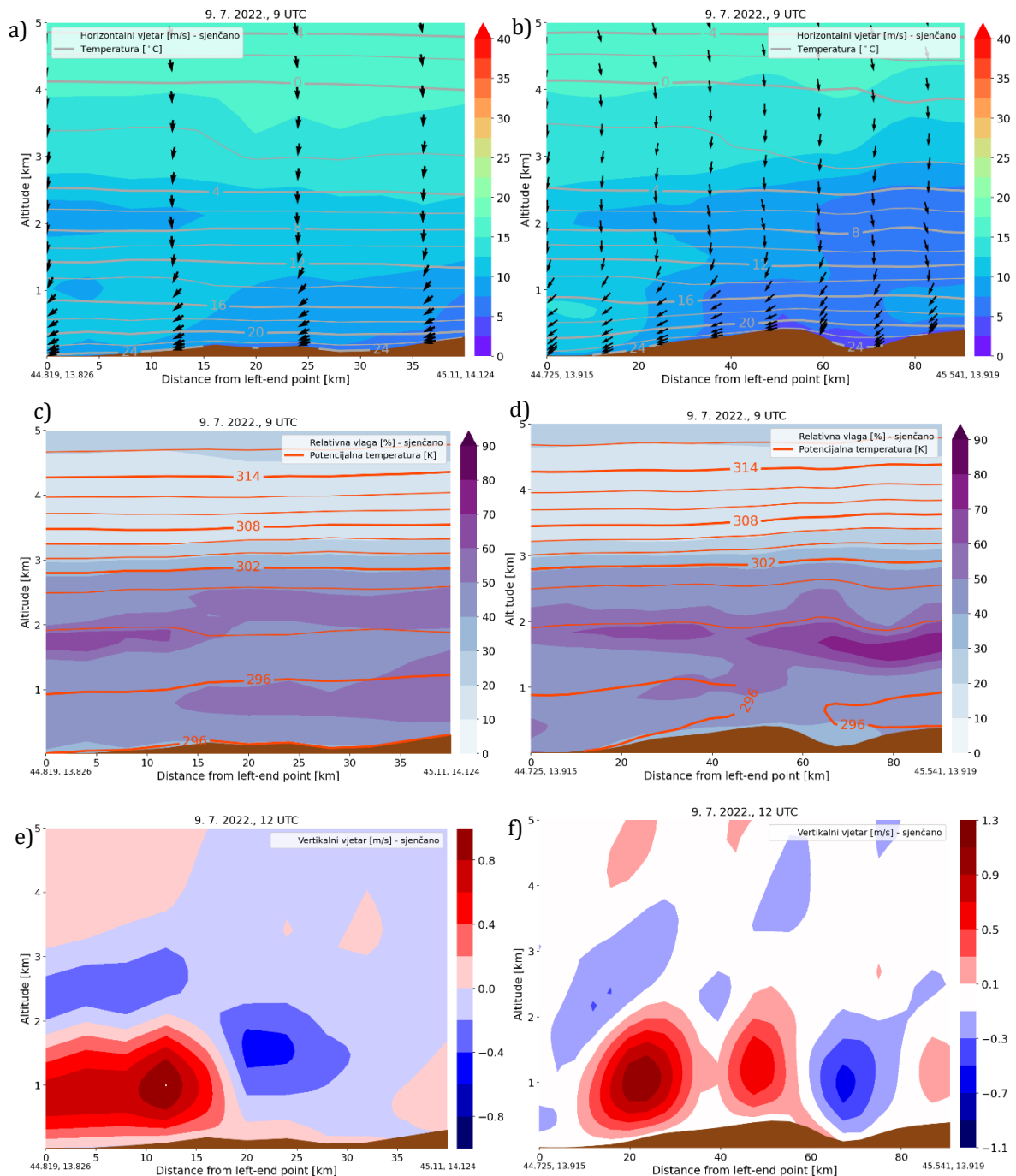
Slika 4.18. Brzina vjetra (m s<sup>-1</sup>, obojano), smjer vjetra (crne strjelice) i geopotencijalna visina (gpdam, plave linije) na 500 hPa za 9. srpnja 2022. u 09 UTC i dobiveni modelom ALADIN-HR2.

Na promatranim vertikalnim presjecima 9. srpnja 2022. u 09 UTC primijećeno je okretanje vjetra sa sjeveroistočnog na sjeverni smjer na visini oko 1,5 km što je potencijalno omogućilo spuštanje sušeg zraka (u sloju 700 hPa – 500 hPa; Dodatak A, slika A.11) u niže slojeve troposfere prije nastanka požara (slika 4.19a,b). Nulta izoterma nalazila se na visini od oko 4 km.

Pred izbijanje požara uz tlo puhala je bura do brzine od 10 m s<sup>-1</sup>, a nad mjestom izbijanja požara brzine su se povećavale do visine od 1 km. U oba vertikalna presjeka je u noći na 9. srpnja 2022. relativna vlažnost zraka bila vrlo niska kroz cijeli presjek (Dodatak A, slika A.9). Relativna vlažnost zraka se u jutro 9. srpnja 2022. povećavala do 3 km visine što pokazuje vertikalni razvoj kumulusa (Cu), a iznad toga zrak je ostao vrlo suh (slika 4.19c,d). Navedeno je vidljivo i na prostornoj raspodjeli relativne vlažnosti zraka po visini (Dodatak A, slika A.11). Vertikalna brzina, odnosno z komponenta vjetra, je iznad područja požara bila značajna. Njezina maksimalna vrijednost na duljem

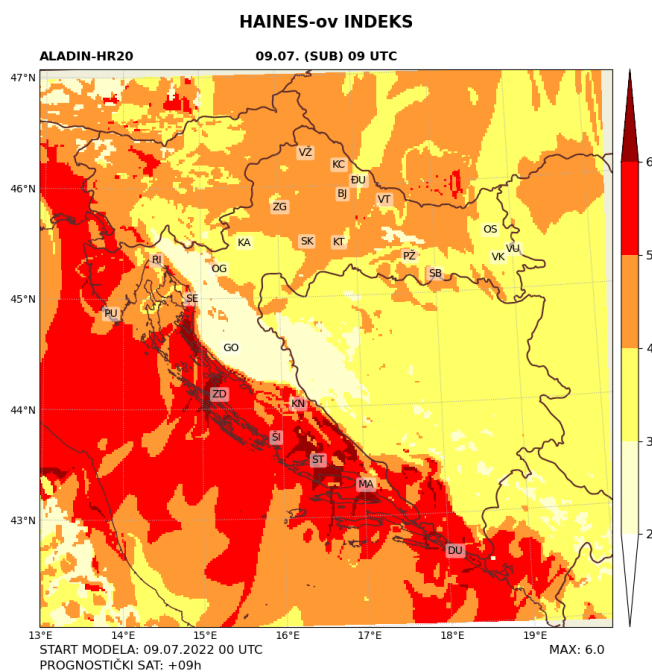


presjeku iznosila je između  $1,1 \text{ m s}^{-1}$  i  $1,3 \text{ m s}^{-1}$  te oko  $0,8 \text{ m s}^{-1}$  na kraćem presjeku u 12 UTC (slika 4.19e,f) što je svakako pogodovalo stvaranju pirokumulusa kojeg je zabilježio motritelj na postaji Pula-aerodrom.



Slika 4.19. Vertikalni presjeci do visine 5 km (a, b) horizontalnog vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ) i temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}$ ) u 09 UTC, (c, d) relativne vlažnosti (%) i potencijalne temperature (K) u 09 UTC te (e, f) vertikalna z komponenta vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ) u 12 UTC za 9. srpnja 2022. Presjeci su do visine od 5 km. Presjek lijevo duljine je 40 km i prostire se u smjeru JI-SZ, a požarište se nalazi otprilike 5 km od lijevog donjeg ruba. Presjek desno je duljine 90 km i prostire se u smjeru J-S, a požarište se nalazi otprilike 14 km od desnog ruba (slika 2.3). Strujanje prevladavajućeg vjetra (NE) je s desna na lijevo. Smeđa boja prikazuje teren.

Vrijednost Hainesovog indeksa je dan prije nastanka požara iznosila 5 što pokazuje umjerenu opasnost od požara. U 09 UTC, tik pred izbijanje požara, Hainesov indeks je između vrijednosti 4 i 5 što odgovara maloj do umjerenoj opasnosti od požara (slika 4.20). Bitno je napomenuti da Hainesov indeks daje bolje procjene opasnosti od požara pri slabom vjetru (Mokorić i sur., 2014) što nije bio slučaj u ovoj vremenskoj situacija kada je puhala jaka bura.



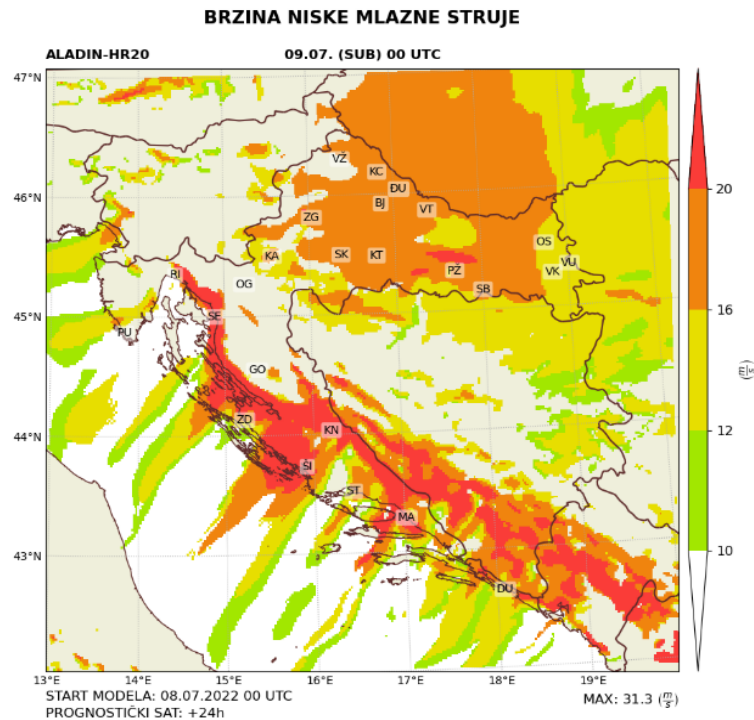
Slika 4.20. Prostorna raspodjela Hainesovog indeksa 9. srpnja 2022. u 09 UTC dobivena modelom ALADIN-HR2.

#### 4.6.3 Niska mlazna struja

Prostorna raspodjela brzine NMS poklapa se s tzv. *mlazovima* bure duž obale (Telišman Prtenjak i sur., 2015; Belušić Vozila i sur., 2023). Na dan prije požara može se uočiti da je NMS bila u jačanju nad Istrom (Dodatak A, slika A.10). Brzina NMS kulminirala je u noći s 8. na 9. srpnja 2022. gdje je kriterij 1 i 2 bio zadovoljen na području sjeverozapadno od Pule (slika 4.21).

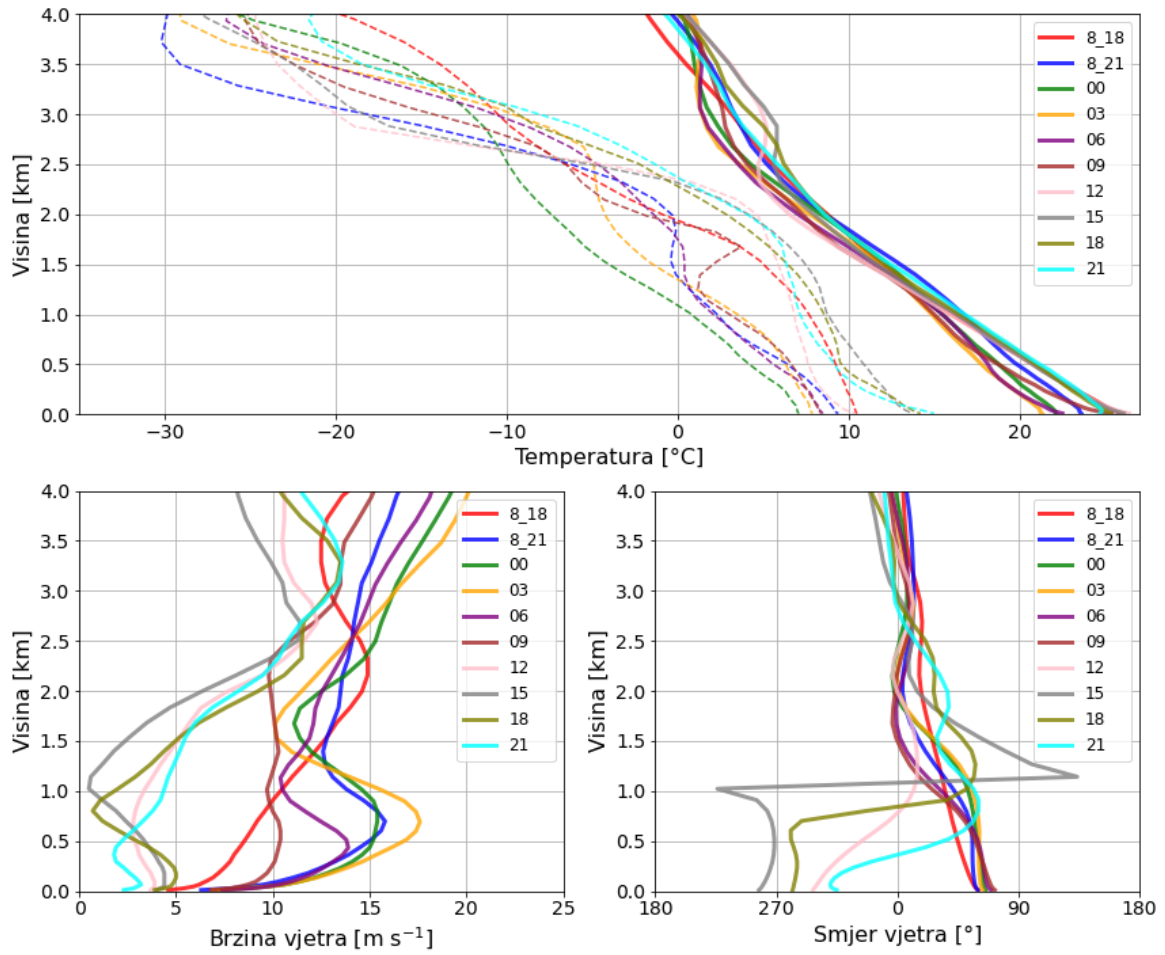
Numerički atmosferski model ALADIN/HR primijenjen je i za simulaciju pseudotempova na određenoj geografskoj lokaciji označenoj na slici 2.3. Za 9. srpnja 2022. svaka tri sata analizirani su vertikalni profili za temperaturu zraka, temperaturu rosišta, brzine vjetra i smjera vjetra (slika 4.22). Temperature inverzije nisu zabilježene ni u jednom terminu, ali u sloju između 2,5 km i 3 km javlja se

izotermija u 12 UTC i 15 UTC. Temperatura zraka se uglavnom razlikuje od temperature rosišta u noći što potvrđuje nisku relativnu vlažnost.



Slika 4.21. Prostorna raspodjela brzine niske mlazne struje (NMS) prema kriterijima 0–3 od 9. srpnja 2022. u 00 UTC dobivena pomoću modela ALADIN-HR2.

Kao i na prostornoj karti NMS, simulirani vertikalni profil vjetra upućuje na prisutnost NMS u noći s 8. na 9. srpnja, odnosno u satima prije izbijanja požara. Maksimalna NMS zabilježena je u 03 UTC 9. srpnja i iznosila je  $17,6 \text{ m s}^{-1}$  i time je zadovoljen kriterij 2 NMS, a zatim redom  $15,4$  i  $13,9 \text{ m s}^{-1}$  u 00 i 06 UTC. Do visine 1,5 km prevladavao je uglavnom sjeveroistočni, a iznad te visine vjetar je okrenuo na sjeverni. U popodnevnim satima vjetar slabi do visine 1 km i dolazi do promjene smjera vjetra u zapadni u donjoj troposferi.



Slika 4.22. Simulirani vertikalni profil temperature zraka (puna linija, ° C), temperature rosišta (isprekidana linija, ° C), brzine vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ) i smjera vjetra dobiveni modelom ALADIN-HR2.

## 5. ZAKLJUČAK

Pulski požar koji je započeo 9. srpnja 2022. oko 10:48 h po SEV nije najveći požar koji je gorio na području Istre, ali je specifičan zbog njegova gorenja unutar naseljenog područja i kompleksnosti vatrogasne intervencije. U požaru je izgorjelo oko 40 ha vegetacije, a nastala je i materijalna šteta na nestambenim objektima i automobilima. U požaru nije bilo ljudskih žrtava. Požar je uz ljudske napore te 3 protupožarne zračne eskadrile stavljen pod nadzor isti dan u 14 po SEV, a službeno je proglašen ugašenim 12. srpnja 2022. godine. Zaustavljanju širenja požara uvelike je pomoglo poboljšanje vremenskih prilika.

Sušno i vruće razdoblje pogoduje nastanku požara zbog povećanja dostupnosti gorivog materijala. Takvi uvjeti obilježili su proljeće 2022., kada su u većem dijelu Hrvatske prevladavale sušne do vrlo sušne prilike. Klimatska analiza pokazala je da je u lipnju na području Istre bilo ekstremno toplo i vrlo sušno čime su stvoreni vrlo povoljni uvjeti za nastanak i širenje požara. Požaru je prethodio toplinski val s 17 vrućih dana i sušno razdoblje s obzirom na fino gorivo u trajanju od 24 dana. Razdoblje je prekinuto 5. srpnja kada je izmjerena neznatna količina oborine te to nije utjecalo na gorivi materijal koji je i dalje vrlo suh. Prema FWI indeksu, na dan požara, postojala je vrlo velika opasnost od izbijanja šumskih požara, što znači da je gorivi materijal bio dovoljno suh da prihvati vatru koja se dalje mogla širiti. Procjena žestine MSR u srpnju bila je iznadprosječno visoka i to 3,12 puta veća od višegodišnjeg prosjeka. Na postaji Pula zabilježena je druga po redu vrijednost srednje sezonske žestine SSR od kada postoje izračuni. Tome je pogodovalo ekstremno toplo vrijeme i mala količina oborine posebice u ljetnim mjesecima. Početkom srpnja, temperatura zraka noću nije opadala ispod 20 °C što karakterizira toplo vrijeme s toplim noćima. Relativna vlažnost zraka tri dana prije požara nije bila viša od 60 %, a tri sata prije požara je pala je ispod 30 %. Konačno, analizom ovih podataka može se izvesti zaključak da su navedeni vremenski uvjeti bili povoljni za nastanak i razvoj požara, odnosno da je postojala velika opasnost od nastanka šumskih požara u danima koji su prethodili požaru, kao i na sam dan požara

U sinoptičkoj analizi utvrđeno je da je nad Hrvatskom bio prisutan veći gradijent tlaka, a nije bilo prolaska frontalnih sustava. Dan prije izbijanja požara je

nad Istrom prošao zapadni rub visinske ciklone, čime je potencijalno došlo do konvergencije i spuštanja sušeg zraka. Suhi zrak zabilježen je na nekim radiosondažnim mjerenjima kroz vertikalni profil, a na simuliranim vertikalnim presjecima do 5 km visine suh zrak je opažen noć prije požara. Spuštanje zraka iz viših slojeva troposfere, uslijed pojave uočene mlazne struje na 300 hPa, u niže slojeve utjecalo je na promjenu vlažnosti zraka, a time hipotetički, i na ponašanje požara. Pojava pirokumulusa dokazuje da atmosfera bila nestabilna, a nestabilnost atmosfere može utjecati i na točkasto širenje vatre na udaljena područja (eng. *spotting*). U ovom požaru je došlo do prebacivanja vatre na više od 250 m udaljenosti, a zabilježeno je i više slučajeva točkastog širenja vatre. Ovakav vremenski uzorak na visini, prolazak visinske doline i jake visoke mlazne struje nad područjem požara te spuštanje suhog zraka dan prije požara, je povezan s velikim požarima raslinja, a prvi puta na Jadranu je uočen je u meteorološkoj analizi Splitskog požara iz 2017. godine (Čavlina Tomašević i sur., 2022).

U trenutku izbijanja požara kod Pule puhala je umjereno jaka bura s vrlo jakim ili žestokim udarima. Unatoč sjeveroistočnom smjeru vjetra, požar se širio uglavnom zapadno zbog dostupnosti gorivog materijala (gusta borova šuma). Moguće je da je požar potpomognut burom dosegnuo početnu brzinu širenja i do  $150 \text{ m min}^{-1}$ . Na prizemnim mjerenjima postaje Monte Kope u 14:30 SEV je zabilježena promjena brzine i smjera vjetra u zapadni. Vatrogasci javljaju smirivanje i promjenu smjera vjetra nešto ranije u 13 SEV i time dolazi do neslaganja s mjerenjima. Na kartama prostorne raspodjele smjera i brzine vjetra, dobivenih dinamičkom adaptacijom, u 13 SEV nad područjem Pule prelazi linija konvergencije i dolazi do promjene smjera vjetra u zapadni (smorac). To potvrđuje riječ vatrogasaca i time se može zaključiti da je do promjene brzine i smjera vjetra došlo u 13 SEV na toj mikrolokaciji jer prizemna postaja nekoliko kilometara udaljena nije zabilježila tu promjenu. Prolazak linije konvergencije na mikrolokaciji iznad požara može potaknuti konvektivna gibanja što rezultira bržem uzdizanju dima, ali i žarećih čestica. Upravo oko 13 SEV vatrogasci opisuju promjenu u širenju dima koji se počeo uzdizati, a nešto ranije, oko 12:30 SEV jedan od pilota javlja o novom požaru zapadno od glavnog požara koji je on prebacio na udaljenosti od 250 m. Prema riječima vatrogasaca, tek nakon smanjenja brzine i promjene smjera vjetra požar je stavljen pod kontrolu. U poslijepodnevnim satima manji se ogranak požara širio u istočnom smjeru potpomognut slabim zapadnim vjetrom.

Teren i tip vegetacije mogu znatno utjecati na širenje požara. Ako vjetar puše niz strminu, požar se može brzo širiti stvarajući izolirane požare ili točkaste požare ispred glavne linije požara (Klečar i sur., 2010). Požar kod Pule se počeo širiti niz padinu. Na zapadnom i južnom ogranku prekrivenim crnogoricom i makijom je ubrzavao nizbrdo potpomognut burom, a na sjevernoj strani padine je blago usporavao. Vatrogascima je zbog nepristupačnih puteva pristup bio ograničen pa su im do pojave povoljnije vremenske situacije pomagale zračne snage.

U vertikalnim profilu temperature zraka dobivenom radiosondažnim mjerenjima za postaju Udine, Zagreb i Zadar zabilježena je temperaturna inverzija u 00 UTC, a u 12 UTC za vrijeme požara nije prisutna. Na simuliranim vertikalnim profilima nije prisutna ni u jednom terminu, ali u 12 i 15 UTC je na 2,5–3 km visine zabilježena izotermija. To označava stabilniji sloj atmosfere u tom području što je moglo otežati disperziju čestica dima, no u tom vremenu vatrogasci stavljaju požar pod nadzor pa izotermija nije imala značajniji utjecaj na dinamiku širenja požara.

Na dinamiku širenja požara utječe i karakteristični uzorak utvrđen u velikim požarima na Jadranu, a to je pojava niske mlazne struje (npr. Zimet i sur., 2007). Niska mlazna struja može ubrzati širenje požara dovođenjem dodatnog kisika u područje požara, ali može i povećati opasnost od pojave točkastih požara na udaljenoj lokaciji, odnosno *spottinga*. U nekoliko slučajeva na Jadranu već je dokazan utjecaj mlazne struje na požare (npr. Mifka i Vučetić, 2012). Pojava niske mlazne struje potaknute burom prisutna je i u radu Čavlina Tomašević i sur. (2022). U ovoj situaciji je prisutnost niske mlazne struje opažena u satima prije početka požara.

Konačno, može se zaključiti da je na ponašanje Požara kod Pule u srpnju 2022. utjecala kombinacija određenih vremenskih prilika. Bura je utjecala na brzo širenje požara od njegova zapaljenja, a naknadno smanjenje brzine i promjena smjera vjetra omogućava lokalizaciju požara u ovom slučaju. Meteorološki uvjeti definirani u ovom slučaju, koji pomažu širenju požara, potvrđuju dosadašnja meteorološka istraživanja situacija s požarima raslinja. Ova, kao i prethodna saznanja moguće je dalje primijeniti u sustavu upozorenja i zaštite od požara raslinja na području Istre i ostatka jadranske obale.

## Literatura

- ALADIN International Team (1997): The ALADIN project: mesoscale modeling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research, *WMO Bulliten*, 46, 317–324.
- Blackadar, A.K. (1957) Boundary layer wind maximum and their significance for the growth nocturnal inversion., *Bulletin American Meteorological Society*, 38, 283–290.
- Barešić, D. (2011) Utjecaj klimatskih promjena na potencijalnu opasnost od požara raslinja u Hrvatskoj. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet
- Belušić Vozila, A., Belušić, D., Telišman Prtenjak, M., Güttler, I., Bastin, S., Brisson, E., Demory, M.-E., Dobler, A., Feldmann, H., Hodnebrog, Ø., Kartsios, S., Keuler, K., Lorenz, T., Milovac, J., Pichelli, E., Raffa, M., Soares, P. M. M., Tölle, M. H., Truhetz, H., de Vries, H., Warrach-Sagi, K. (2023): Evaluation of the near-surface wind field over the Adriatic region: Local wind characteristics in the convection-permitting model ensemble. *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06703-z>
- Bonner, W.D. (1968) Climatology of the low level jet. *Monthly Weather Review*, 96, 833–850.
- Camia, A., Amatulli, G., San-Miguel-Ayanz, J. (2008) Past and Future Trends of Forest Fire Danger in Europe, JRC Scientific and Technical Reports No. 6; European Commission, Joint Research Centre: Ispra, Italy
- Collins, L., Bradstock, R.A., Clarke, H., Clarke, M.F., Nolan, R.H., Penman, T.D. (2021) The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire. *Environ. Res. Lett.*, 16, 044029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9e>
- Čavlina Tomašević, I.; Cheung, K.K.W.; Vučetić, V.; Fox-Hughes, P. (2022): Comparison of Wildfire Meteorology and Climate at the Adriatic Coast and Southeast Australia. *Atmosphere*, 13, 755. <https://doi.org/10.3390/atmos13050755>.
- Čavlina Tomašević, I., Cheung, K. K. W., Vučetić, V., Fox-Hughes, P., Horvath, K., Telišman Prtenjak, M., Beggs, P. J., Malečić, B., and Milić, V. (2022) The 2017 Split wildfire in Croatia: evolution and the role of meteorological conditions, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 22, 3143–3165, <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3143-2022>
- Čavlina Tomašević, I., Meštrić, J., Anić, M. (2022) Meteorološka analiza opasnosti od požara raslinja u Hrvatskoj u 2022. godinu , Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod.
- Dimitrov, T (1982) Šumski požari i sistem procjene opasnosti od požara, poglavlje u knjizi Osnovne zaštite šuma od požara, Centar za informacije i publicitet, Zagreb, 181–256.
- Di Virgilio, G., Evans, J.P., Blake, S.A.P., Armstrong, M., Dowdy, A.J., Sharples, J., McRae, R. (2019) Climate change increases the potential for extreme wildfires. *Geophys. Res. Lett.*, 46, 8517–8526. <https://doi.org/10.1029/2019GL083699>
- Giorgi, F. (2006) Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33, L08707. <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>



- Haines, D.A. (1988) A lower atmosphere severity index for wildland fire. *Natl. Wea. Dig.*, 13, 23–27.
- Hrvatska vatrogasna zajednica: DVOC 10. / 11. srpnja 2022. (2022) Dostupno na: <https://hvz.gov.hr/vijesti/dvoc-10-11-srpnja-2022/3109>
- Hrvatska vatrogasna zajednica: DVOC 12. / 13. srpnja 2022. (2022) Dostupno na: <https://hvz.gov.hr/vijesti/dvoc-12-13-srpnja-2022/3117>
- Istarski vatrogasci u devet mjeseci zabilježili 3.430 intervencija. *Vatrogasni vjesnik 9-10/2022*, 2022., 17-18
- Kelly, L.T., Giljohann, K.M., Duane, A., Aquilué, N., Archibald, S., Batllori, E., Bennett, A.F., Buckland, S.T., Canelles, Q., Clarke, M.F. et al. (2020) Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, 370. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb0355>
- 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.
- Kuraži, D. (2012) Velika analiza velikog šumskog požara na Strahinjčici u ožujku 2012. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet
- Mifka, B. i Vučetić, V. (2012) Vremenska analiza za vrijeme velikog šumskog požara na otoku Braču od 14. do 17. srpnja 2011.. *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, II. (1.), 13-25.
- Mokorić, M., Kozarić, T., Kalin, L. (2014) Analiza Hainesova indeksa na Jadranu s ciljem poboljšanja procjene opasnosti od požara raslinja, *Vatrogastvo i upravljanje požarima*, 2/2014, vol. IV, 46–61.
- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C., Corte-Real, J. (2006.) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Clim. Res.* 31, 85–95. <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v31/n1/p85-95/>
- Omazić, B. (2016) Numeričko modeliranje meteoroloških uvjeta u vrijeme šumskih požara na Pelješcu 2015. godine. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Pyne J.S., Andrews P.L. and R.D. Laven (1996) *Introduction to wildland fire*, John Wiley&Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 796.
- Ruffault, J., Curt, T., Moron, V., Trigo, R.M., Mouillot, F., Koutsias, N., Pimont, F., Martin-St Paul, N., Barbero, R., Dupuy, J.L., et al. (2020) Increased likelihood of heat-induced large wildfires in the Mediterranean basin. *Sci. Rep.*, 10, 13790. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70069-z>
- Sharples, J.J., Cary, G.J., Fox-Hughes, P., Mooney, S., Evans, J.P., Fletcher, M.S., Fromm, M., Grierson, P.F, McRae, R., Baker, P. (2016) Natural hazards in Australia: Extreme bushfire. *Clim. Change*, 139, 85–99.
- Stanešić, A., (2011): Assimilation system at DHMZ: Development and first verification results. *Cro. Meteorol. J.* 44/45, 3-17.

- Stocks, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E., McAlpine, R.S., Lynham, T.J., Dube, D.E. (1989) The Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview, *Forest. Chron.*, 65, 450–457.
- Telišman Prtenjak, M., Horvat, I., Tomažić, I., Kvakić, M., Viher, M., Grisogono, B. (2015): Impact of mesoscale meteorological processes on anomalous radar propagation conditions over the northern Adriatic area. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 120; 8759-8782. doi:10.1002/2014JD022626
- Telišman Prtenjak, M., Viher M., Jurković J. (2010) Sea/land breeze development during a summer bora event along the north-eastern Adriatic coast. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 136, 1554-1571.
- Telišman Prtenjak, M., Grisogono B. (2007) Sea/land breeze climatological characteristics along the northern Croatian Adriatic Coast. *Theoret. Appl. Climatol.*, 90, 201-215.
- Tomašević, I. (2012) Vertikalni profili atmosfere za vrijeme velikih šumskih požara. Diplomski rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet.
- Tudor, M., Ivatek-Šahdan, S., Stanešić, A., Horvath, K., Hrastinski, M., Odak Plenković, I., Bajić, A., Kovačić, T. (2015) Changes in the ALADIN operational suite in Croatia in the period 2011-2015. *Hrvatski meteorološki časopis*, 50, 71–89.
- Van Wagner C. E, Pickett, T. (1985) Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System, Canadian Forestry Service, Government of Canada, Forestry Technical Report 33,18.
- 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., Vučetić, V. (1999) Požari u različitim vremenskim situacijama, *Vatrogasni vjesnik*, 12/99, 12–14.
- Vučetić, V., Ivatek-Šahdan, S., Tudor, M., Kraljević, L., Ivančan-Picek, B., Strelec Mahović, N. (2007) Analiza vremenske situacije tijekom kornatskog požara 30. kolovoza 2007. *Hrvatski meteorološki časopis*, 42, 41–65.
- Zimet, T., Martin, J. E., and Potter, B. E. (2007) The influence of an upperlevel frontal zone on the Mack Lake Wildfire environment, *Meteorol. Appl.*, 14, 131–147, <https://doi.org/10.1002/met.14>
- Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B.J.J.M., Seneviratne, S.I., Ward, P.J., Pitman, A., Aghakouchak, A., Bresch, D.N., Leonard, M., Wahl, T., et al. (2018) Future climate risk from compound events. *Nat. Clim. Change* 8, 469–477.

# Popis kratica

ALADIN/HR - atmosferski numerički model ALADIN (*Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational/Croatia*)

BUI - indeks ukupnog goriva (*Buildup Index*)

CFFWIS - kanadska metoda ocjene indeksa meteorološke opasnosti (*Canadian Forest Fire Weather Indeks*)

Cu – oblak kumululus (*Cumulus*)

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

DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod

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

DVOC - Državni vatrogasni operativni centar

DWD - njemačka meteorološka služba (*Deutscher Wetterdienst*)

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

FWI - indeks meteorološke opasnosti od požara (*Fire Weather Indeks*)

ISI - indeks početnog širenja vatre (*Initial Spread Indeks*)

m<sub>nv</sub> – metara nadmorske visine

MSR - mjesečna ocjena žestina (*Monthly Severity Rating*)

NMS - niska mlazna struja (*Low Level Jet*)

PyroCu - oblak pirokumululus (*Pyrocumulus*)

SEV - srednjoeuropsko vrijeme

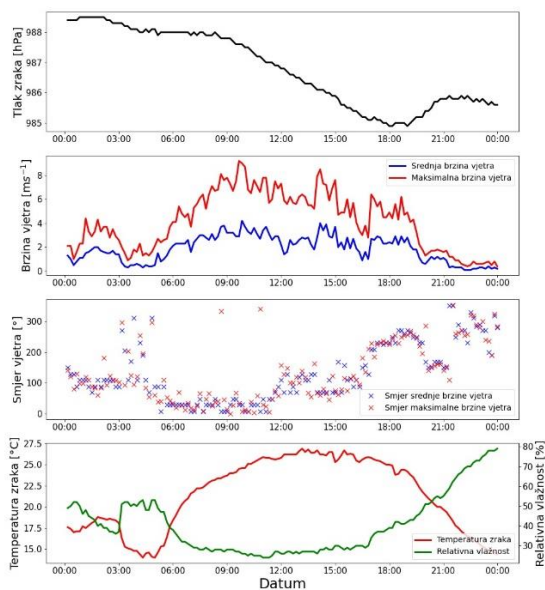
SELJV - srednjoeuropsko ljetno vrijeme

SSR - sezonska ocjena žestine (*Seasonal Severity Rating*)

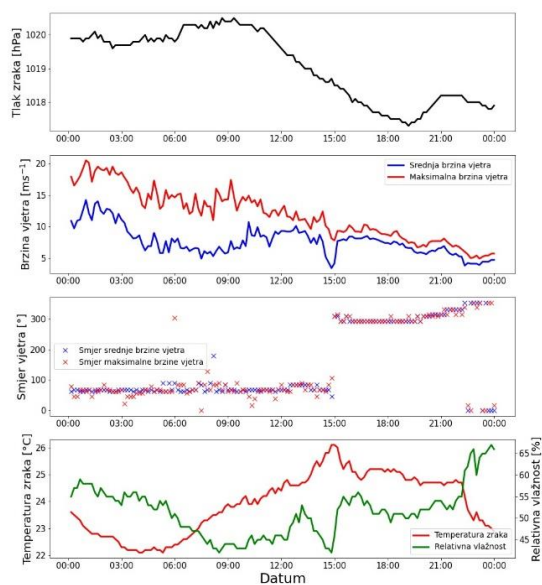
UTC - koordinirano univerzalno vrijeme (*Coordinated Universal Time*)

# Dodatak A

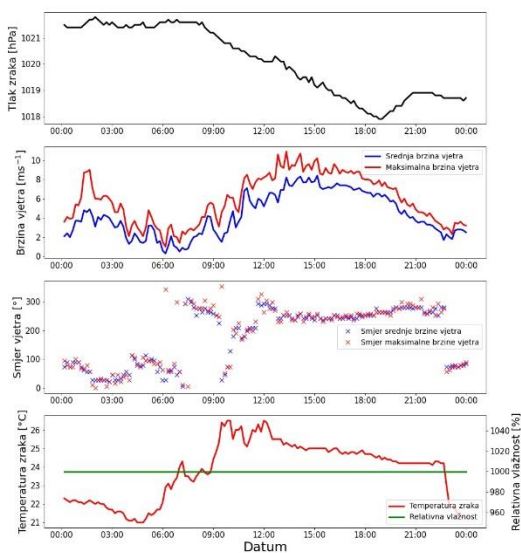
PAZIN 9. srpnja 2022.



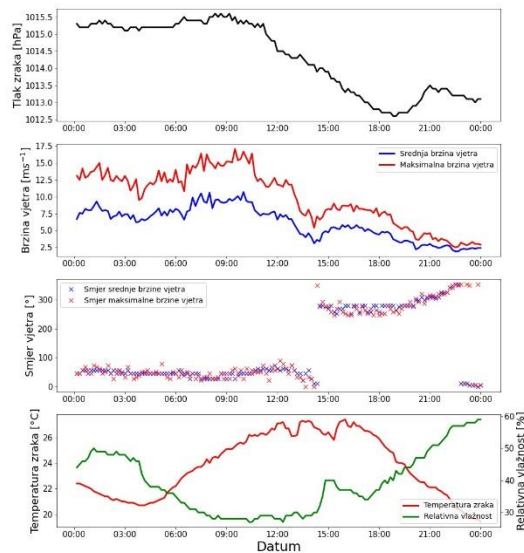
PORER 9. srpnja 2022.



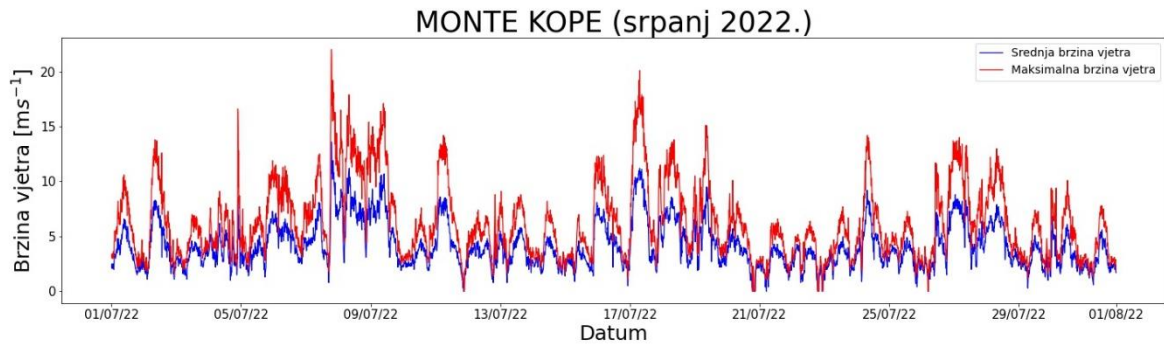
SVETI IVAN NA PUČINI 9. srpnja 2022.



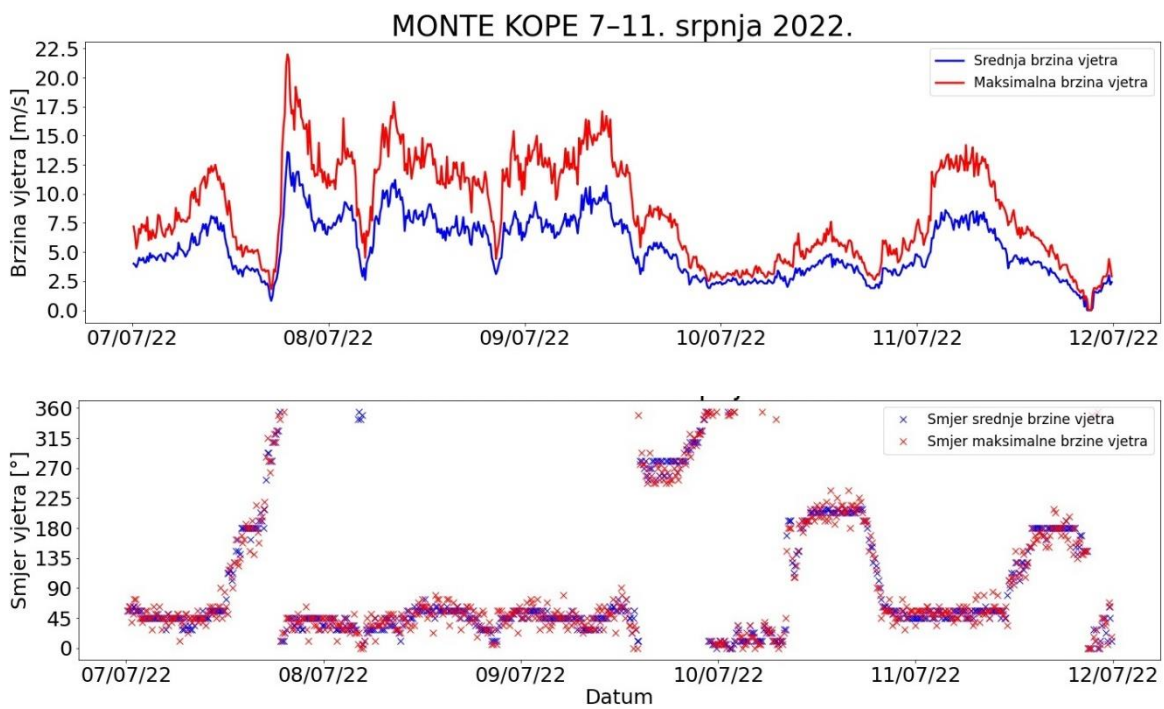
MONTE KOPE 9. srpnja 2022.



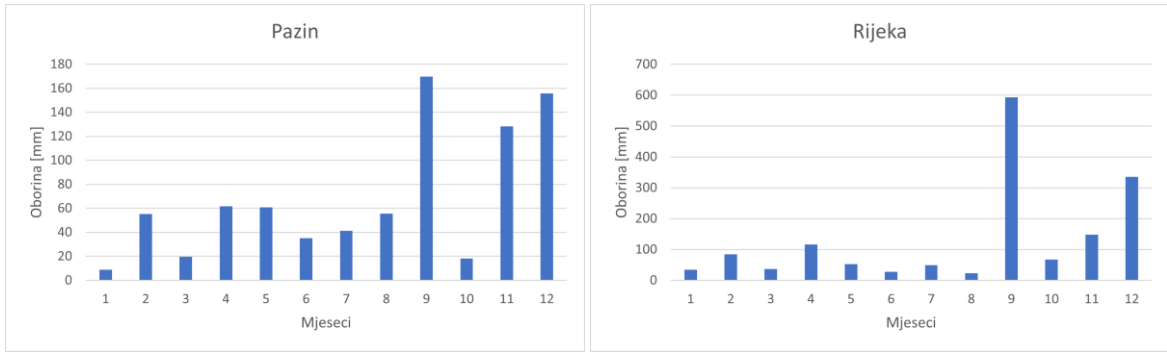
Slika A.1. Automatske postaje Pazin, Porer, Sv. Ivan na Pučini i Monte Kope s desetominutnim podacima tlaka zraka (hPa), temperature zraka (° C) i relativne vlažnosti zraka (%), srednje i maksimalne brzine vjetra (m s<sup>-1</sup>) te smjer srednje i maksimalne brzine izmjereni 9. srpnja 2022.



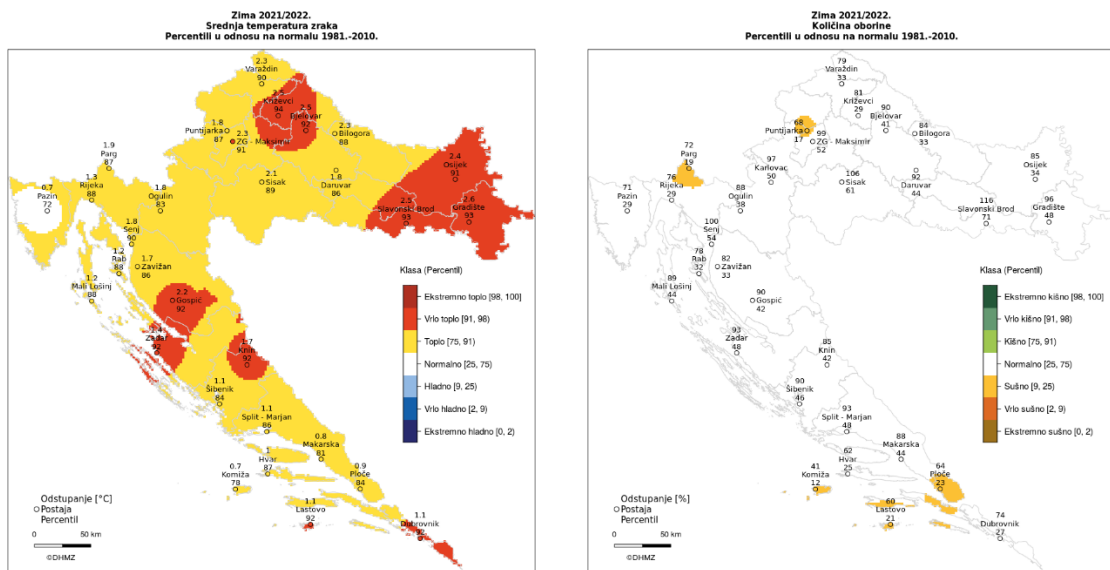
Slika A.2. Automatska postaja Monte Kope s desetominutnim podacima srednje i maksimalne brzine vjetra (m s<sup>-1</sup>) izmjerenih u srpnju 2022.



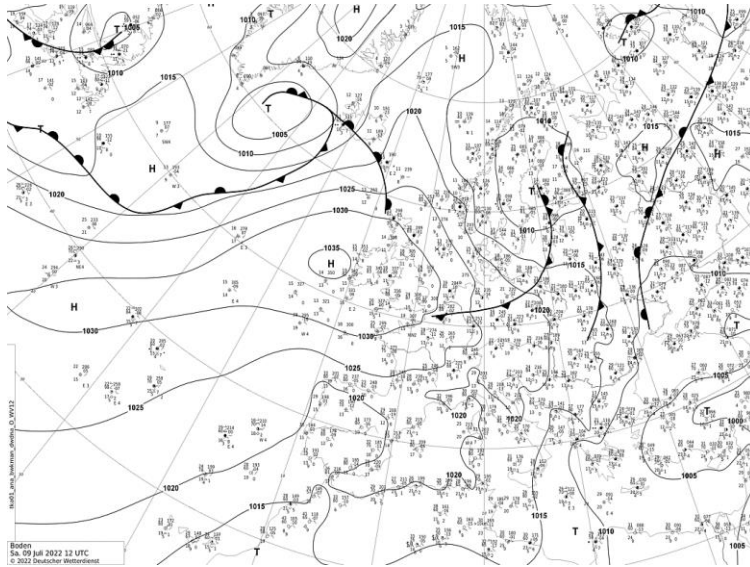
Slika A.3. Automatska postaja Monte Kope s desetominutnim podacima (a) srednje i maksimalne brzine vjetra (m s<sup>-1</sup>) te (b) smjer srednje i maksimalne brzine izmjereni 7-11. srpnja 2022.



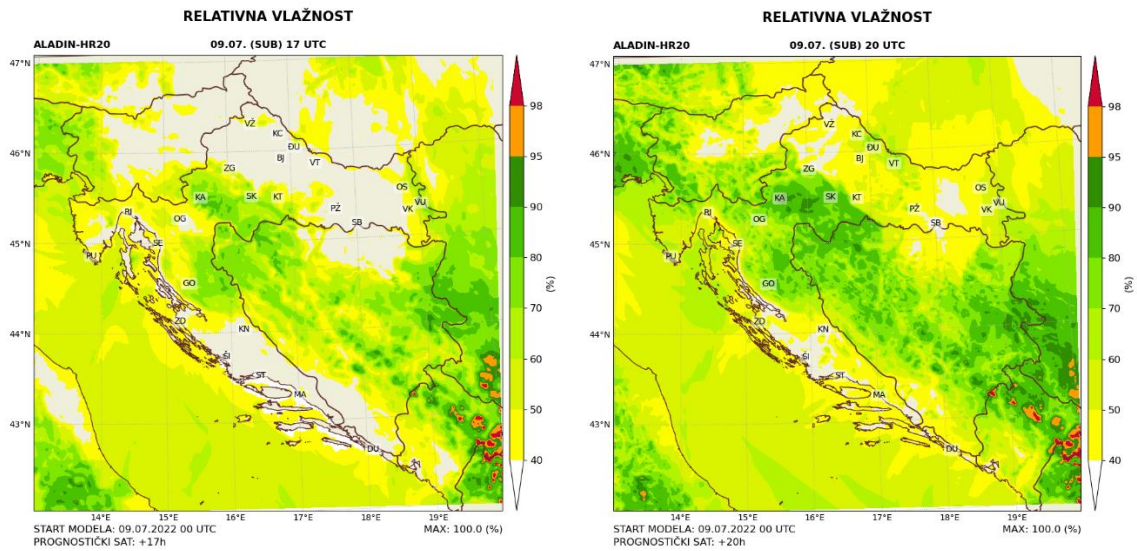
Slika A.4. Količina oborine (mm) zabilježena na glavnim meteorološkim postajama Pazin i Rijeka u 2022. godini



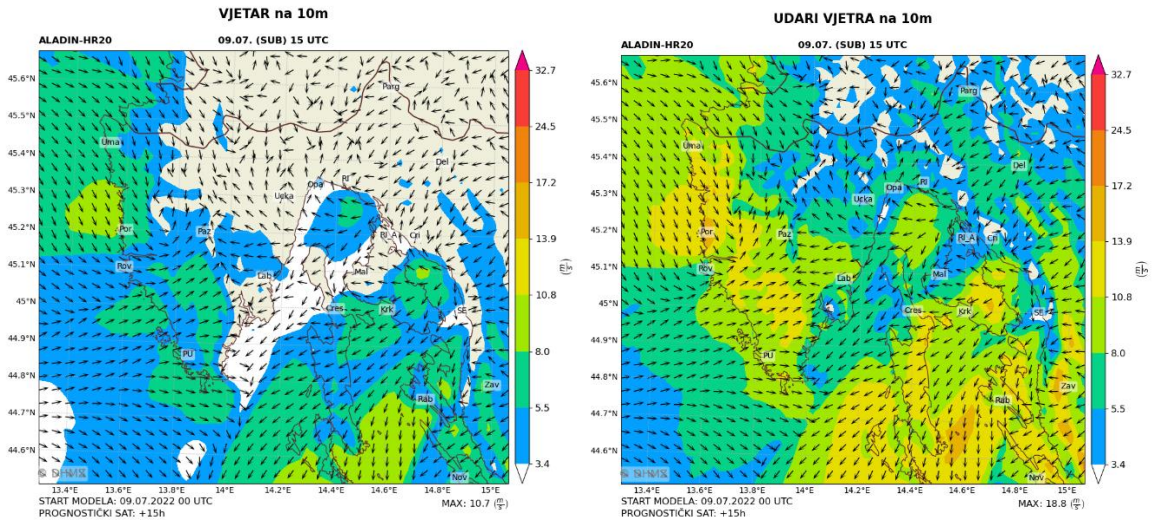
Slika A.5. Odstupanje (a) temperature zraka i (b) količine oborine od višegodišnjeg prosjeka u sezoni zima 2021./2022. u Hrvatskoj. (Izvor: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracenje&param=ocjena&el=](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje&param=ocjena&el=))



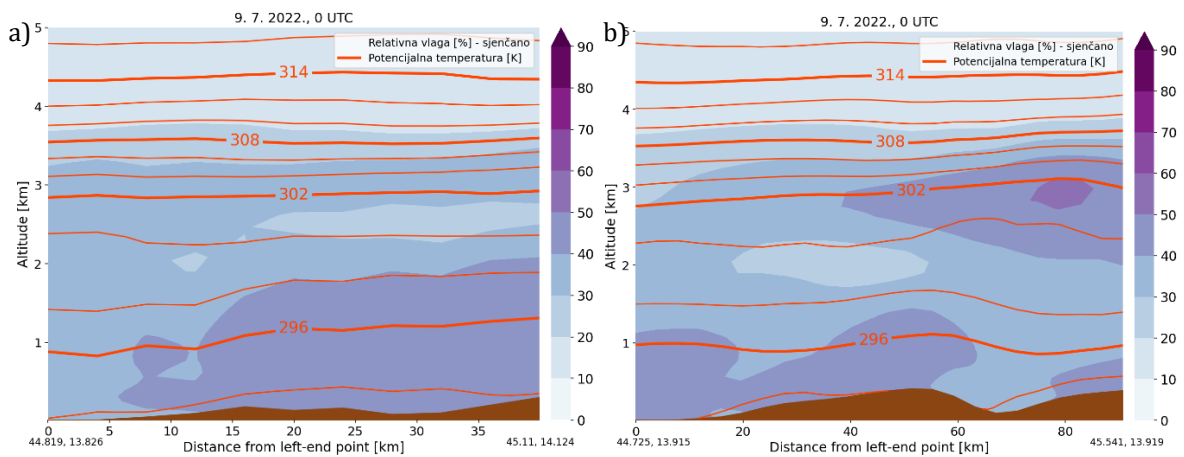
Slika A.6. Prizemna sinoptička karta nad Europom 9. srpnja 2022. u 12 UTC. (Izvor: <https://www1.wetter3.de/>)



Slika A.7. Prizemne prostorne raspodjele relativne vlažnosti zraka (%) nad Hrvatskom 9. srpnja 2022. u (a) 17 UTC i (b) 20 UTC dobivene modelom ALADIN-HR2.

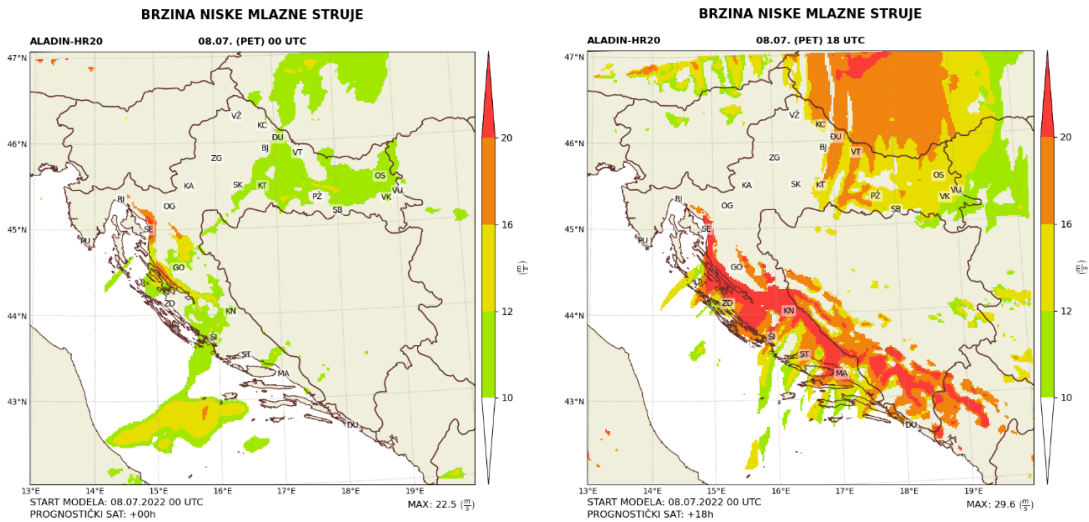


Slika A.8. Prostorna raspodjela (a) brzine i (b) maksimalnih udara vjetra ( $\text{m s}^{-1}$ ) na visini od 10 m na području Istre i dijela Kvarnera 9. srpnja 2022. u 15 UTC dobivena modelom ALADIN-HR2.

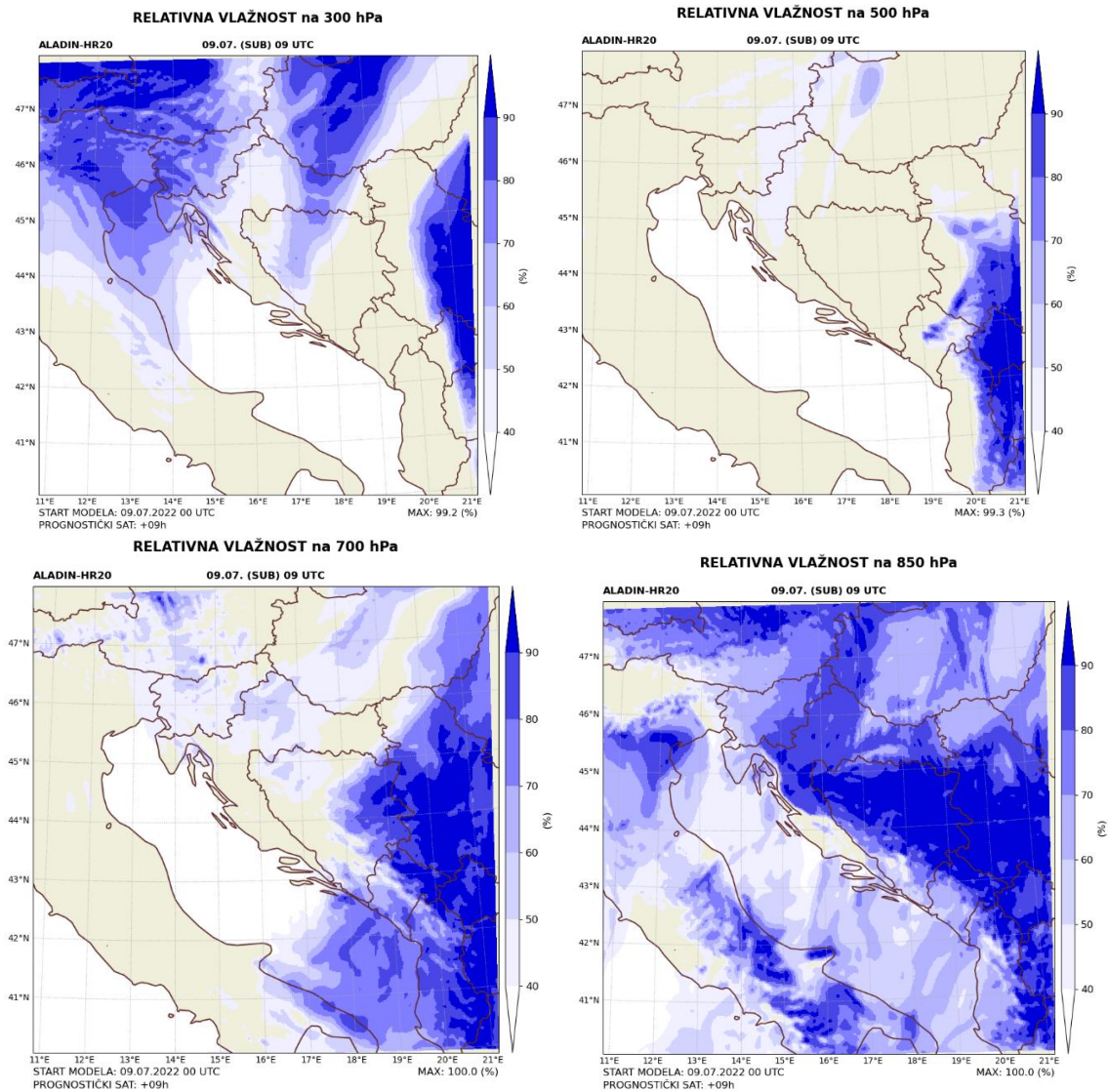


Slika A.9. Vertikalni presjeci do visine 5 km (a, b) relativne vlažnosti (%) i potencijalne temperature (K) u 00 UTC. Presjek lijevo duljine je 40 km i prostire se u smjeru JI-SZ, a požarište se nalazi otprilike 5 km od lijevog donjeg ruba. Presjek desno je duljine 90 km i prostire se u smjeru J-S, a požarište se nalazi otprilike 14 km od desnog ruba (slika 2.3). Strujanje prevladavajućeg vjetra (NE) je s desna na lijevo. Smeđa boja prikazuje teren.





Slika A.10. Prostorna raspodjela brzine niske mlazne struje (NMS) prema kriterijima 0–3 od 8. srpnja 2022. u 00 i 18 UTC dobivena pomoću modela ALADIN-HR2.



Slika A.11. Prostorna raspodjela relativne vlažnosti zraka (%) po visini od (a) 300 hPa, (b) 500 hPa, (c) 700 hPa i (d) 850 hPa 9. srpnja 2022. u 09 UTC dobivena modelom ALADIN-HR2.