

INTERDISCIPLINARNA – EKSPERTNA RADNA SKUPINA
ZA RAZRJEŠENJE OKOLNOSTI POŽARA
NA OTOKU KORNATU KOJI SE DOGODIO
30. KOLOVOZA 2007. GODINE

Radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara,
aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara

ANALIZA METEOROLOŠKIH
PRILIKA, VEGETACIJE, ŠIRENJA
POŽARA, AERODINAMIČKIH I
TERMODINAMIČKIH OKOLNOST NA
MJESTU POŽARA KOJI SE DOGODIO
NA OTOKU KORNATU
30. KOLOVOZA 2007. GODINE

SVE ANALIZE NAPRAVLJENE U OKVIRU OVOG
IZVJEŠĆA VEZANE SU UZ MOGUĆI PRIRODNI
RAZVOJ POŽARA

SPLIT-ZAGREB, 15. VELJAČE 2008.

Interdisciplinarna – ekspertna radna skupina za razrješenje okolnosti požara na otoku Kornatu koji se dogodio 30. kolovoza 2007.godine

Voditelj ekspertne skupine

Branko Smrekar, dipl.ing.

Učilište vatrogastva, zaštite i spašavanja

Državna uprava za zaštitu i spašavanje

Radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara, aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara

Koordinator radnih podskupina

Prof.dr.sc. Darko Stipaničev

Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave,

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu

Radna podskupina za analizu meteoroloških prilika

Državni hidrometeorološki zavod – Služba za meteorološka istraživanja i razvoj

Dr.sc. Branka Ivančanin - Picek – pomoćnica ravnatelja Služba za meteorološka istraživanja i razvoj - voditelj radne podskupine

Marko Vučetić, dipl.ing. - Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa

Marija Mokorić, dipl.ing.- Služba za primijenjenu meteorologiju

Radna podskupina za analizu vegetacije

Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Prof.dr.sc. Željko Španjol – Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma- voditelj radne podskupine

Roman Rosavec, dipl.ing.šum. - Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma

Radna podskupina za analizu širenja požara, aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu

Prof.dr.sc. Darko Stipaničev – Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustav - voditelj radne podskupine

Prof.dr.sc. Neven Ninić – Katedra za termodinamiku, termotehniku i toplinske strojeve

Doc.dr.sc. Branko Klarin – Katedra za mehaniku fluida

Član ekspertne skupine za podloge Nacionalnog parka Kornati

Ministarstvo kulture

Zoran Šikić, dipl.ing. – državni tajnik

Ostali suradnici u izradi ovog izvješća:

Državni hidrometeorološki zavod – Služba za meteorološka istraživanja i razvoj
Mr.sc. Višnjica Vučetić – Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa
Mr.sc. Martina Tudor - Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa
Stjepan Ivatek-Šahdan, dipl. ing.- Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa
Lukša Kraljević, dipl.ing.- Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa
Mr.sc. Nataša Strlec-Mahović – Odjel za vremenske analize i prognoze
Mr.sc. Tanja Trošić, – Odjel za vremenske analize i prognoze

Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu
Ljiljana Bodrožić, dipl.ing. – Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave
Doc.dr.sc. Maja Štula - Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave
Toni Jakovčević, dipl.ing. - Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave
Mr.sc. Damir Krstinić – Centar za znanstveno računanje Sveučilišta u Splitu
Sandro Nižetić, dipl.ing – Katedra za termodinamiku, termotehniku i toplinske strojeve
Mr.sc. Marjan Sikora - Zavod za elektroniku

Centro de Aerodinâmica e Sistemas Energéticos Universidade de Coimbra
Domingos Xavier Viegas - Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã
Luis mario de Silva Ribeiro - Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã
Luis PaoloPita - Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã
Carlos Rossa - Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã

Datum: Split – Zagreb, 15. veljače 2008.

© **Copyright** – Ovo je izvješće autorsko djelo i nastalo je na temelju znanja i istraživanja suradnika koji su u njegovoj izradi sudjelovali, a čiji su doprinosi istaknuti u Predgovoru i na naslovnim stranicama svakog pojedinog poglavlja. Niti jedan dio ovog izvješća ne smije se preuzeti, prevoditi ili na bilo koji način distribuirati u pisanom ili elektronskom mediju. Svaka ovakva upotreba smatrati će povrjedom autorskih prava.. Korištenje ovog materijala dozvoljeno je isključivo u svrhu razrješenja nesreće na otoku Kornatu koju provodi Interdisciplinarna-ekspertna skupina osnovana odlukom ministra unutarnjih poslova, te u znanstveno-istraživačke svrhe koje mogu pridonijeti boljoj zaštiti vatrogasaca, poboljšanju vatrogasnih djelatnosti i stanja zaštite od požara,. Korištenje za bilo kakve druge svrhe nije dozvoljeno bez dozvole autora.

SADRŽAJ

1. UVOD
2. POZNATE ČINJENICE VEZANE UZ POŽAR I OPIS MJESTA NESREĆE
3. GEOMETRIJSKE ZNAČAJKE PODRUČJA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA
4. ANALIZA METEOROLOŠKIH PRILIKA ZA VRIJEME KORNATSKOG POŽARA 30. KOLOVOZA 2007. GODINE
5. VEGETACIJSKE PRILIKE I GORIVI MATERIJAL NA KORNATU VEZANO UZ KORNATSKI POŽAR 30. KOLOVOZA 2007. GODINE
6. ANALIZA ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE I NA SAMOM MJESTU NESREĆE
7. AERODINAMIČKI ASPEKTI DOGAĐANJA NA MJESTU NESREĆE ZNAČAJKE
8. TERMODINAMIČJA OCJENA MOGUĆNOSTI BRZOG TOPLINSKOG UDARA
9. PREGLED REZULTATA I ZAKLJUČCI
10. PREPORUKE
11. LITERATURA

INTERDISCIPLINARNA – EKSPERTNA RADNA SKUPINA
ZA RAZRJEŠENJE OKOLNOSTI POŽARA
NA OTOKU KORNATU KOJI SE DOGODIO
30. KOLOVOZA 2007. GODINE

Radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara,
aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara

POGLAVLJE 1

UVOD

PROF. DR. SC. DARKO STIPANIČEV

KOORDINATOR RADNIH PODSKUPINA

SPLIT – ZAGREB, 15. VELJAČE 2008.

1. UVOD

Dana 3. i 10. rujna 2007. godine imenovani smo odlukom ministra unutrašnjih poslova u interdisciplinarnu ekspertnu radnu skupinu za razrješavanje okolnosti požara koji se dogodio na otoku Kornatu 30. kolovoza 2007. godine. i to u radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara, te termodinamičkih i aerodinamičkih događanja na mjestu požara.

Dana 11. rujna 2007. godine definirali smo popis podataka koji bi nam trebali za rekonstrukciju događanja vezanih s razvojem požara i stradavanjem vatrogasaca. Zahtjevi su uključivali GIS podatke mjesta nesreće, poznate podatke o vegetaciji otoka Kornata, podatke prikupljene tijekom očevida i podataka dobivenih forenzičkim analizama (opise, skice, fotografije, izjave, forenzička i medicinska izvješća).

Od zatraženih podataka vrlo brzo smo dobili:

- detaljne GIS podatke mjesta požara (elevacije, karte u mjerilu 1:25.000, ortofoto otoka Kornata) – *podatke pribavilo Ministarstvo kulture*
- detaljne podatke o vegetaciji otoka Kornata (karte staništa) – *podatke pribavilo Ministarstvo kulture*

Dana 25. rujna 2007. godine dio članova interdisciplinarne skupine (Smrekar, Stipaničev, Španjol, Vučetić, Klarin, Nižetić, Krstinić) posjetio je mjesto požara iskrcavši se iznad klanca u kojem se dogodila nesreća, te je prošao cijeli klanac do uvale Šipnata. Pri tome su uzeti uzorci vegetacije sa dijela klanca koji nije izgorio, detaljno je snimljeno mjesto nesreće iz svih smjerova, a kako je posjet planiran za dan kada je na Kornatu puhalo jugo, mjerene su i brzine vjetra u pojedinim dijelovima klanca. Svi ovi podaci korišteni su u analizama koje obuhvaća ovaj izvještaj.

Do podataka prikupljenih tijekom očevida i rezultata forenzičkih analiza nismo niti do dan danas došli. U tijeku je sudska istraga i svi su ovi podaci u nadležnosti istražnog suda koji ih, kako nam je na sastanku u Centru za kriminalistička vještačenja Ivan Vučetić Ministarstva unutrašnjih poslova u studenom 2007. godine kazano, do završetka istrage nema namjeru nikome dati na uvid osim strankama koje su direktno uključene u sudsku istragu.

Uvid u podatke prikupljene očevidom i rezultati forenzičkih analiza provedenih poslije očevida, nužni su za točno utvrđivanje svih okolnosti vezanih uz požar na otoku Kornatu i stradavanje vatrogasaca, ukoliko se žele u obzir uzeti sve pretpostavke vezane i s prirodnim i s ljudski uzrocima nesreće i stradavanje vatrogasaca. Neke od pretpostavki uzroka nesreće, i to posebno one vezane uz ljudska djelovanja i ljudske artefakte, moguće je odbaciti ili potvrditi jedino na temelju rezultata forenzičke analize. Isključivo kemijske analize odjeće stradalih vatrogasaca, predmeta nađenih na požarištu i tla na mjestu požarišta mogu nedvojbeno potvrditi ili odbaciti pretpostavke o postojanju dodatne gorive materije koja nije prirodnog porijekla i ne pripada prirodnoj vegetaciji otoka Kornata.

Zbog toga su radne podskupine vezane uz analizu širenja požara, te aerodinamičkih i termodinamička događanja na mjestu nesreće preformulirala svoje zadatke i ciljeve. Osnovni zadatak ovih radni podskupina više nije bilo „... razrješavanje okolnosti požara i

stradavanja vatrogasaca za požar koji se dogodio na otoku Kornatu 30.kolovoza 2007. godine ...“, s obzirom da se bez uvida u tražene podatke to ne može napraviti. Ograničili smo se u daljnjem radu isključivo na **analizu mogućih prirodnih pojava** koje su se mogle dogoditi 30. kolovoza 2007. godine u klancu iznad uvale Šipnata, te pokušali znanstvenim metodama doći do slijedećih zaključaka:

- Koje su se prirodne pojave vezane uz nastanak i širenje požara otvorenog prostora **mogla dogoditi** u klancu iznad uvale Šinata 30. kolovoza 2007. godine?
- Kakvi su **mogle biti** termodinamičke i aerodinamičke okolnosti takvih prirodnih pojava ?

Osnovi poticaj provođenja ovakve analize bila je činjenica da vatrogasci i dalje gase požare otvorenog prostora bez obzira u kojoj je fazi službena istraga. Ne mogu se čekati rezultati sudske istrage kako bi se donijele preporuke o unapređenju vatrogastva i postupanju u situacijama sličnim onima koji su 30. kolovoza 2007. godine bili na otoku Kornatu. Pri tome su nas u ovom trenutku zanimale isključivo prirodne pojave, zbog toga što bi se one mogle dogoditi i na nekom drugom mjestu. Ukoliko istraga ustanovi, na temelju prikupljenih materijalnih dokaza, da uzroci nesreće nisu samo prirodnog porijekla predložene preporuke će i dalje vrijediti, s time da bi se one onda mogle dodatno proširiti i preporukama koje će uključivati i druge moguće uzroke nesreće.

U izradi ovog izvješća i donošenju preporuka, rukovodili smo se izvješćima koji su rađeni i u drugim zemljama pogođenim požarima otvorenog prostora nakon stradavanja vatrogasaca, te surađivali s kolegama u inozemstvu. Pri tome smo posebno intenzivno surađivali s *prof.dr.sc. Domingos Xavier Viegasom* voditeljem najvećeg europskog Laboratorija za istraživanje šumskih požara smještenog u mjestu Lousã u Portugalu (Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã) i to na pitanjima vezanim uz problematiku eruptivnog širenja požara, te s *prof. dr.sc. Mike Wotton*, kanadskim znanstvenikom iz Canadian Forest Service, i profesorom Faculty of Forestry, University of Toronto vezano uz problematiku parametara gorenja travnate vegetacije.

Prva radna verzija izvješća pripremljena je 15. siječnja 2008. godine. Na temelju nje u Splitu je 4.veljače 2008.godine na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu održana međunarodna radionica uz sudjelovanje više stručnjaka vezanih uz istraživanje šumskih požara iz Republike Hrvatske, ali i prof. Domingos Xavier Viegasa koji je od 3. do 7. veljače 2008. godine u Splitu boravio na poziv Udruge profesionalnih vatrogasaca, Hrvatske vatrogasne zajednice, Vatrogasne zajednice Splitsko – dalmatinske županije i Regionalnog središta za pružanje pomoći i uklanjanje posljedica katastrofe. Radionica je trajala od 10 – 15 sati, a na njoj su u ograničenom akademskom okružju kolegama znanstvenicima prezentirani najvažniji dijelovi ovog izvješća. Radionica je na neki način bila prva provjera ideja iznijetih u ovom izvješću i sigurno je značajno doprinijela poboljšanjima koja su unesena u završno izvješće.

Dana 5.veljače 2008. godine organiziran je ponovni posjet Kornatima. Na Kornatima je i ovaj put bilo više članova radnih podskupina (Stipaničev, Ninić, Klarin, Ivančan-Picek i Vučetić), a bio je prisutan i prof. Domingos Viegas, te Alec Feldman, irski stručnjak za vatrogasnu odjeću. Vatrogasci iz Šibenika su prikazali njihovu rekonstrukciju kornatskih događanja, te ukazali na cijeli niz detalja, što je također doprinijelo boljem razumijevanju kornatskih događanja.

Na temelju svega toga sastavljeno je ovo konačno izvješće kao naš autorski doprinos svih suradnika analizi i razumijevanju kornatskih događanja. Naglašavam još jedanput da u ovom izvješću *ne tvrdimo kako se sve što se ovdje iznosi na Kornatima stvarno i dogodilo, već da se moglo dogoditi*, te na temelju toga izvlačimo pouke te predlažemo preporuke.

Izvješće je podijeljeno u jedanaest poglavlja. *Prvo poglavlje* je ovaj Uvod. U *drugom poglavlju* navodimo sve poznate činjenice vezane uz požar na otoku Kornatu koje su nam bile poznate iz javnih medija i do kojih smo došli tijekom posjeta mjesta nesreće, te opis mjesta nesreće. U *trećem poglavlju* navode se osnovne geometrijske značajke klanca u kojem se nesreća dogodila. U *četvrtom poglavlju* dajemo analizu meteoroloških uvjeta na otoku Kornatu na dan 30. kolovoza 2007. godine i ostale relevantne meteorološke podatke vezane s požarom. U *petom poglavlju* dajemo rezultate analize vegetacije čiji su uzorci uzeti na otoku Kornatu. U *šestom poglavlju* dajemo procjenu parametara vegetacije vezanih sa širenjem požara, analizu širenja požara od mjesta izbijanja do mjesta nesreće, te analizu širenja požara unutar klanca u kojem se dogodila nesreća uključujući i matematičku analizu eruptivnog efekta. U *sedmom poglavlju* opisujemo moguće aerodinamičke aspekte događanja na mjestu nesreće. U *osmom poglavlju* dajemo osnovnu termodinamičku analizu događanja u klancu nesreće. U *devetom poglavlju* donosimo kratki pregled istraživanja i donesene zaključke na temelju svih provedenih analiza. U *desetom poglavlju* donosimo preporuke kojima je osnovno cilj da se ovakva nesreća više nikada ne ponovi u situacijama kada uzrok može biti prirodna pojava. I na kraju u *jedanaestom poglavlju* navodimo najvažniju literaturu koju smo koristili kod provedenih analiza.

U izradi ovog izvješća sudjelovao je multidisciplinarni tim različitih stručnjaka sa Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu (FESB), Državnog hidrometeorološkog zavoda i Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, a u prikupljanju podataka o mjestu događanja nesreće sudjelovalo je i Ministarstvo kulture.

Sve prikupljene podatke je sredio i pripremio za prikaz u drugom i trećem poglavlju voditelj radnih podskupina *prof.dr.sc. Darko Stipaničev* sa FESB-a, na temelju podataka prikupljenih na mjestu događanja, te podataka koje smo dobili od Ministarstva kulture posredstvom državnog tajnika u Ministarstvu kulture *Zorana Šikića, dipl.ing.* U pripremi GIS podataka sudjelovala je i *Ljiljana Bodrožić, dipl.ing.*, a u analizi GIS podataka iz poglavlja 3 i *mr.sc. Marjan Sikora*, oboje sa FESB-a.

Meteorološke podatke iz četvrtog poglavlja prikupili su i obradili istraživači iz Državnog hidrometeorološkog zavoda pod vodstvom *dr.sc. Branka Ivančanin – Picek*. Obradu vremenskih značajki napravili su *mr.sc. Višnjica Vučetić, mr.sc. Nataša Strelec-Mahović, Marija Mokorić, dipl.ing., mr.sc. Tanja Trošić, mr.sc. Martina Tudor, mr.sc. Stjepan Ivateh-Šahdan i Lukša Kraljević, dipl.ing.*, a meteorološku analizu opasnosti od požara *Marko Vučetić, dipl.ing. i Marija Mokorić, dipl.ing.*

Prikupljanje i analizu uzoraka vegetacije s otoka Kornat opisanu u petom poglavlju napravio je *dr.sc. Željko Španjol, izv.prof.* i *Roman Rosavec, dipl.ing* sa Šumarskom fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Procjena parametara vezanih uz širenje požara vegetacije otoka Kornata opisana je u šestom poglavlju na temelju znanstvene i stručne literature, te suradnje s *prof.dr.sc. Mike Wotton*. Napravili su je *prof.dr.sc. Darko Stipaničev* sa FESB-a i *Ljiljana Bodrožić,*

dipl.ing., oboje sa Katedre za modeliranje i inteligentne računalne sustave, u suradnji sa suradnicima radne skupine koji su također bili na otoku Kornatu (*Sandrom Nžetićem, dipl.ing.* i *mr.sc. Damirom Krstinićem*). *Prof.dr.sc. Darko Stipanićev* vodio je i izradu simulacija širenje požara i analiza eruptivnog požara, također opisanih u šestom poglavlju. Ove su analize napravljene u suradnji s *Ljiljanom Bodrožić, dipl.ing.*, *doc.dr.sc. Majom Štula* i *Tonijem Jakovčevićem, dipl.ing.*, svi s Katedri za modeliranje i inteligentne računalne sustave FESB-a. U šestom poglavlju korišten je i simulator širenja požara koji se upravo razvija na FESB-u, a u dijelu vezanom s eruptivnim aspektom požara sudjelovao je i *prof.dr.sc. Domingos Xavier Viegasom* iz Portugala, danas sigurno najveći svjetski stručnjak iz područja eruptivnih požara.

Moguće aerodinamičke aspekte nesreće opisane u sedmim poglavlju analizirao je *doc.dr.sc. Branko Klarin*, s Katedre za mehaniku fluida FESB-a, a termodinamičku analizu opisanu u osmom poglavlju napravili su *prof.dr.sc. Neven Ninić* i *Sandro Nižetić, dipl.ing.* oboje s Katedre za termodinamiku, termotehniku i toplinske strojeve FESB-a. Napomenimo da Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave zajedno s Katedrom za termodinamiku, termotehniku i toplinske strojeve, te Katedrom za mehaniku fluida FESB-a čini jezgru Centra za istraživanje požara otvorenog prostora koji je upravo u fazi osnivanja u suradnji FESB-a i Splitsko dalmatinske županije.

Zaključci i preporuke dani su u devetom i desetom poglavlju. Donijeli su svi članovi radnih podskupina za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara, te aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara, u nadi da će se u budućnosti više pažnje posvetiti sustavnom istraživanju problematike požara otvorenog prostora sa osnovnim ciljem da se Kornatska tragedija više nikada ne ponovi.

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U SPLITU



POGLAVLJE 2

POZNATE ČINJENICE VEZANE UZ POŽAR I OPIS MJESTA NESREĆE

AUTORI:
PROF.DR.SC. DARKO STIPANIČEV
LJILJANA BODROŽIĆ, DIPL.ING.

SPLIT 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

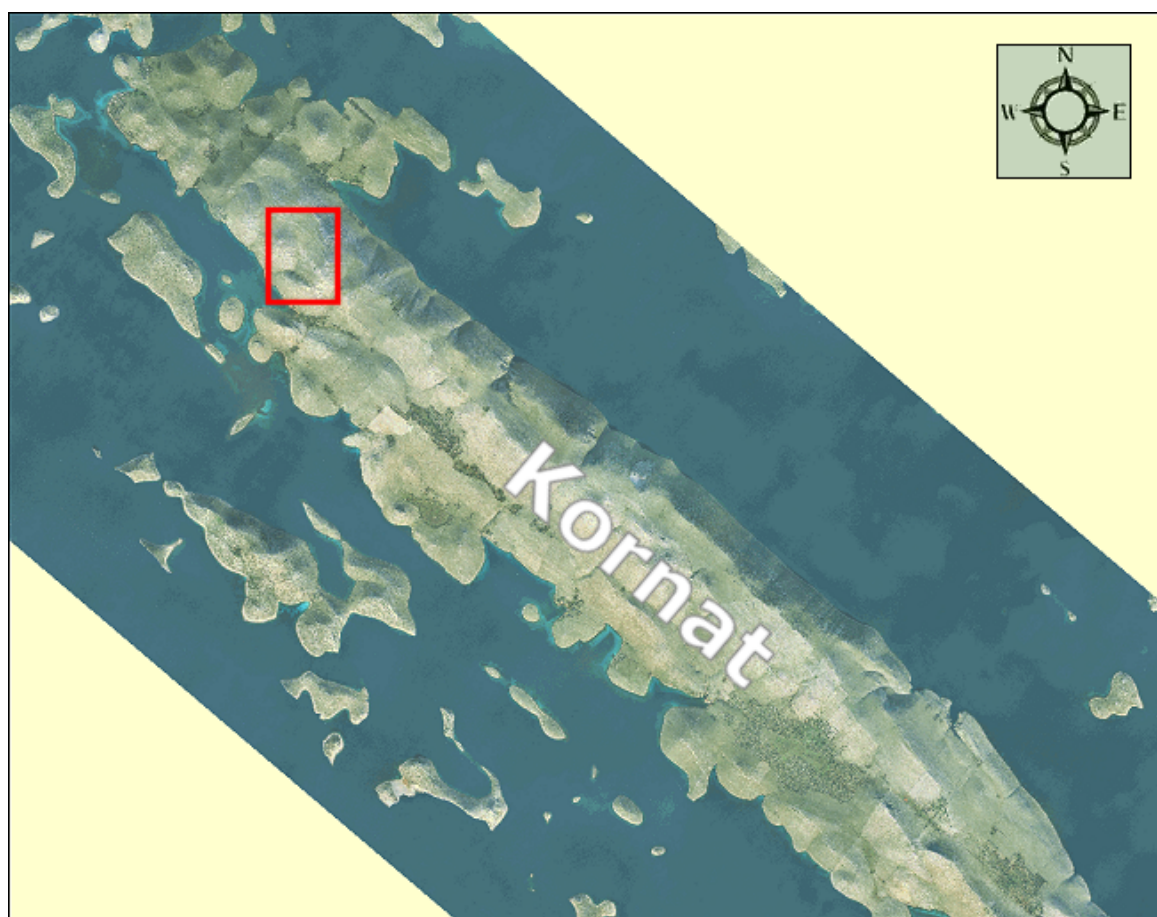
2. POZNATE ČINJENICE VEZANE UZ POŽAR I OPIS MJESTA NESREĆE	5
2.1. POLOŽAJ MJESTA NESREĆE	5
2.2. POČETAK POŽARA I VRIJEME NESREĆE	11
2.3. IZGLED MJESTA NESREĆE.....	13
2.4. ZNAČAJKE VEGETACIJE VEZENE S TERMODINAMIČKIM I AERODINAMIČKIM OKOLNOSTIMA NESREĆE.....	16
2.5. OSTALE ČINJENICE VEZENE S TERMODINAMIČKIM I AERODINAMIČKIM OKOLNOSTIMA NESREĆE	24

2. POZNATE ČINJENICE VEZANE UZ POŽAR I OPIS MJESTA NESREĆE

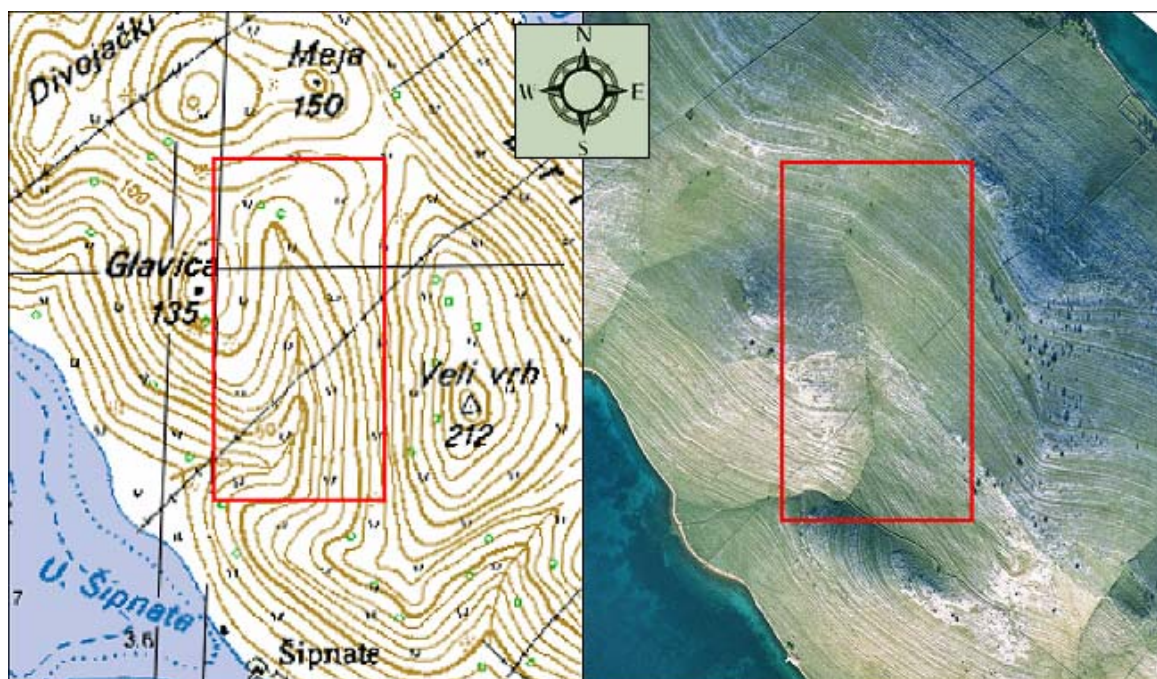
U nastavku navodimo sve, nama poznate činjenice vezane uz požar na otoku Kornatu koje su bile javno objavljene i do kojih smo došli tijekom posjeta mjesta nesreće.

2.1. Položaj mjesta nesreće

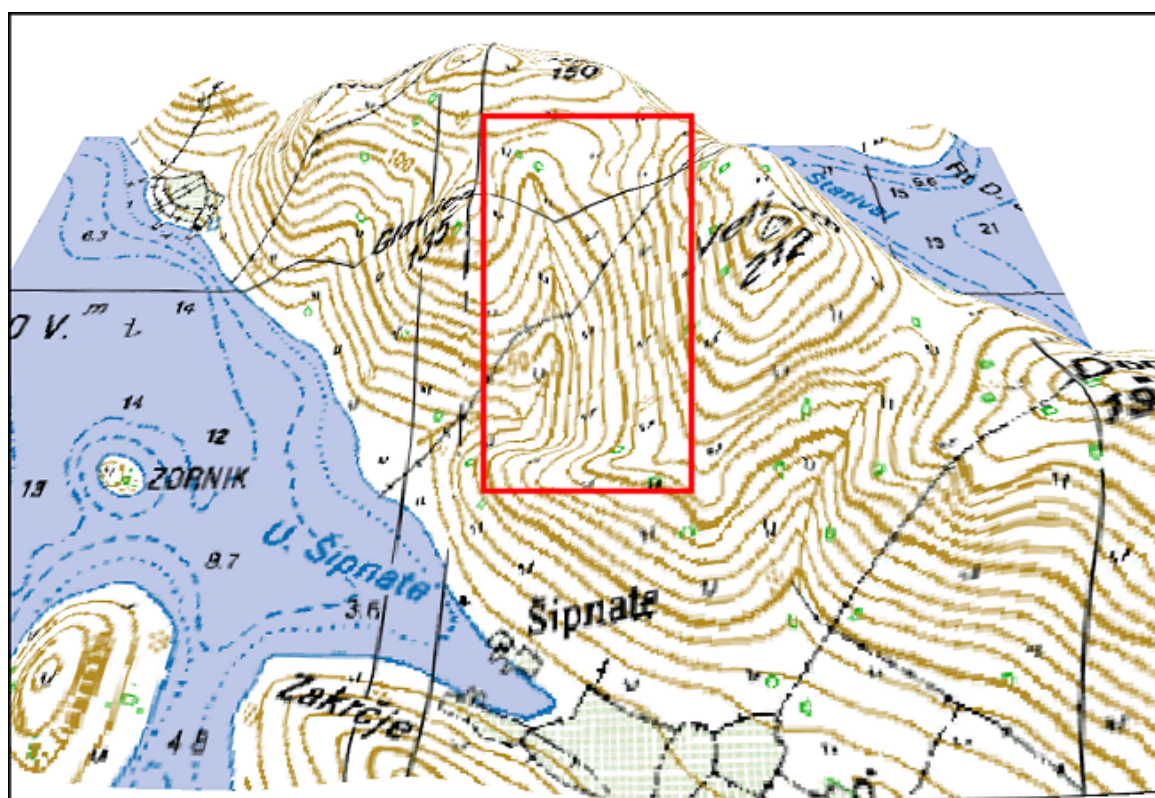
Nesreća se dogodila na otoku Kornatu u njegovom zapadnom dijelu u malom klanacu iznad uvale Šipnate, između brda Glavica (135 m) na zapadu, Meja (150 m) na sjeveru i Veli vrh (212 m) na istoku. Klanac je zatvoren sa ove tri strane (zapad, sjever, istok) a otvoren prema jugu.



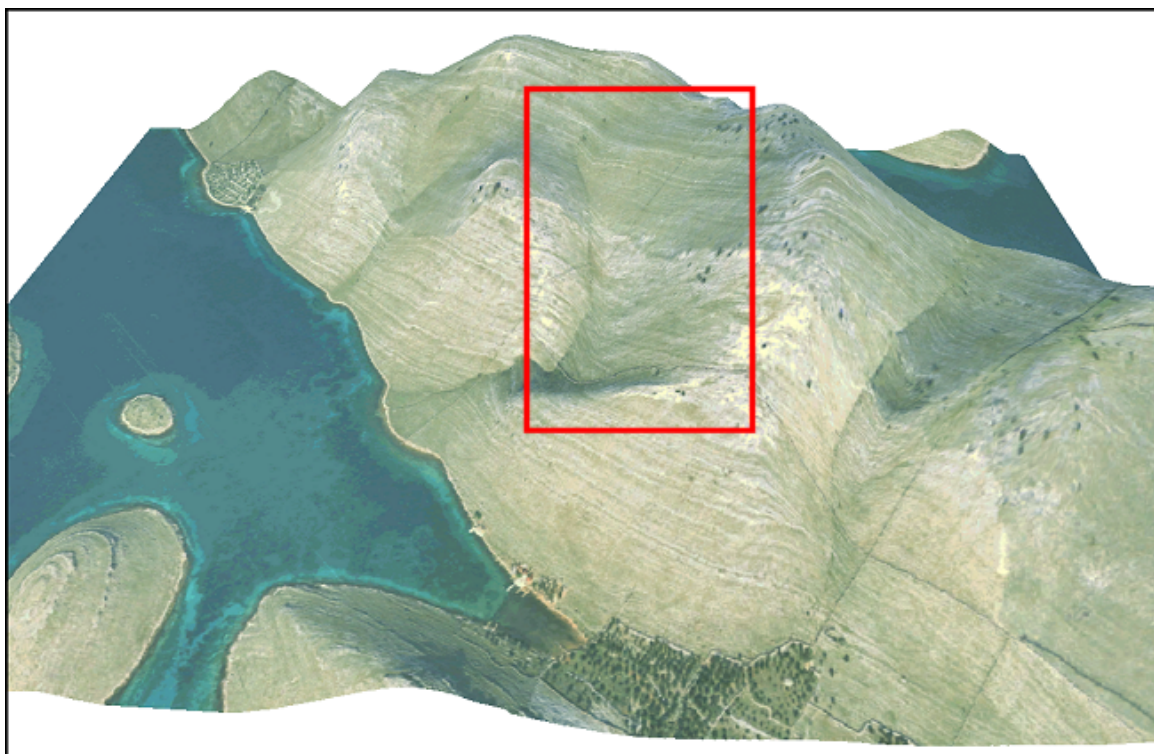
Slika 2.1. Položaj mjesta nesreće na otoku Kornat



Slika 2.2. Klanac iznad uvale Šiprate

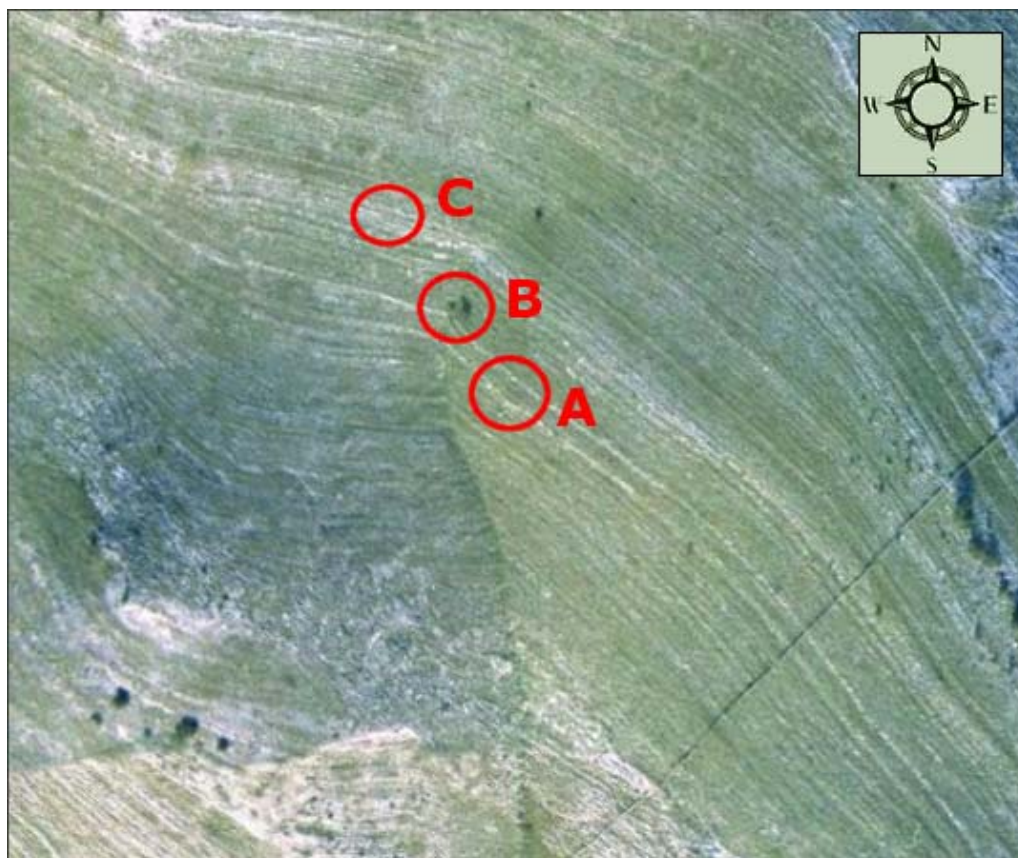


Slika 2.3. 3D prikaz mjesta nesreće (karta)



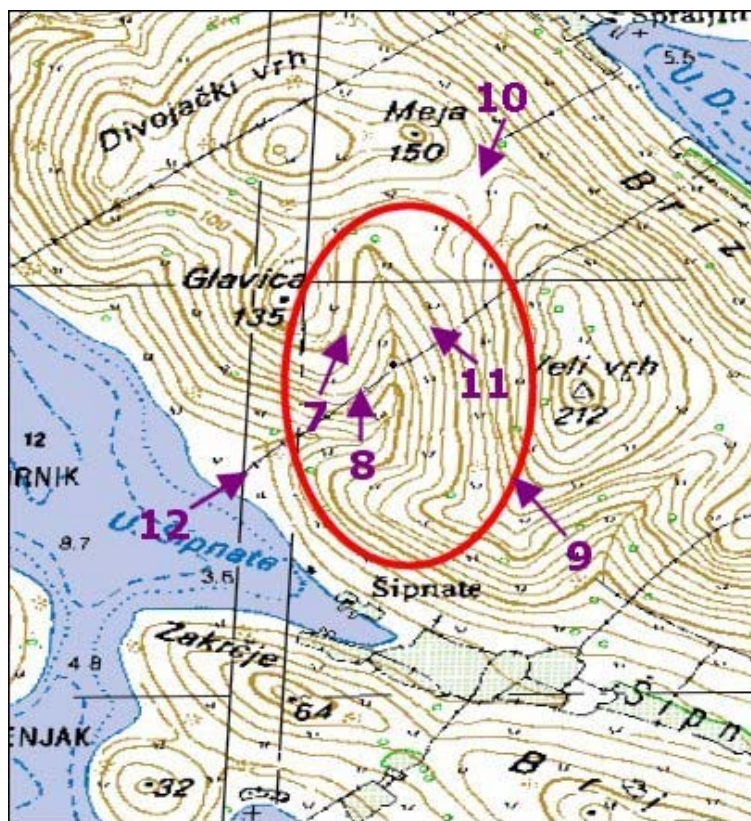
Slika 2.4. 3D prikaz mjesta nesreće (orto-photo)

Vatrogasci su se nalazili u sjevernom dijelu klanca a nađeni su u tri grupe (A, B i C), a najviše na mjestu A.



Slika 2.5. Područja na kojima su nađeni stradali vatrogasci

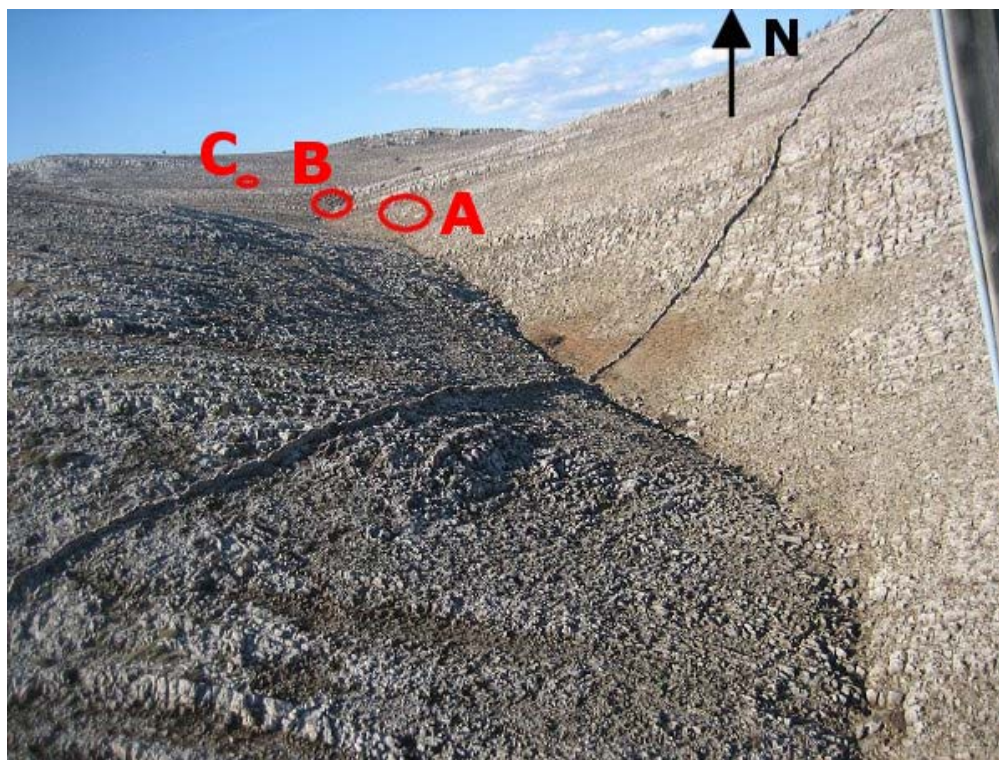
U nastavku je nekoliko slika snimljenih na mjestu nesreće iz različitih smjerova označenih na slici 2.6.



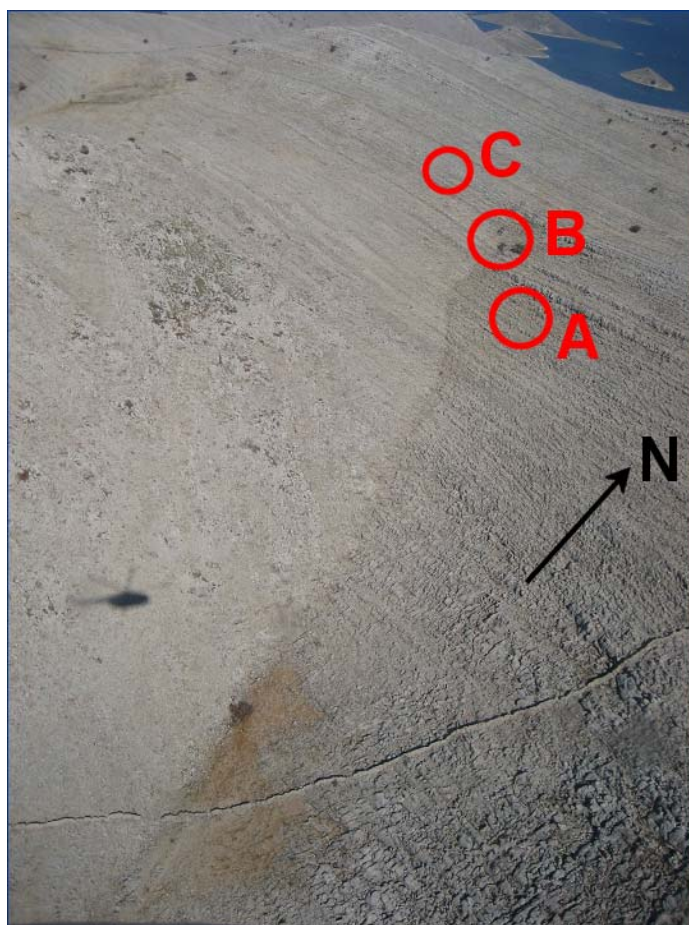
Slika 2.6. Smjer strelice označava kako su fotografije snimane, npr. 7 odgovara slici 2.7



Slika 2.7. Pogled na klanac iz helikoptera s južne strane Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 2.8. Drugi pogled na klanac iz helikoptera s južne strane Snimio: D. Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 2.9. Pogled iz helikoptera s istočne strane. Na slici se vidi i kruška prema kojoj su se vatrogasci kretali Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 2.10 Klanac snimljen sa sjeverne strane prema ulazu u klanac Snimio: D.Stipaničev 25.IX2007.



Slike 2.11 i 2.12. Pogled na klanac iz helikoptera sa istučne strane (lijevo) i jugozapadne strane (desno)
Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.

2.2. Početak požara i vrijeme nesreće

Požar je počeo istočno od mjesta nesreće u uvali Vrulja između 11:00 i 11:30. Nesreća se dogodila u klancu iznad uvale Šipnate oko 15:25. Pravocrtna, zračna udaljenost od uvale Vrulja i uvale Šipnate je 6.6 km.

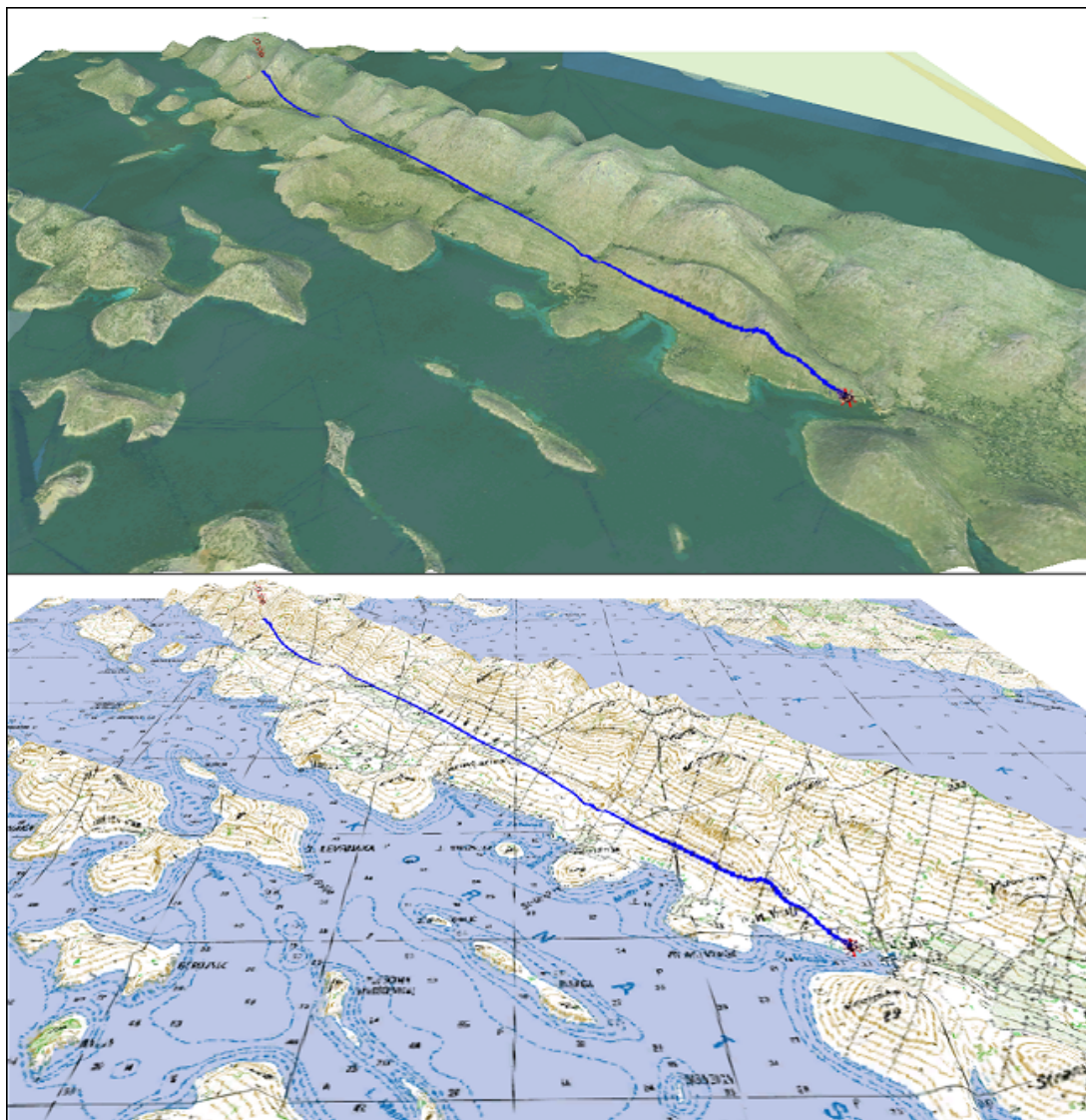


Slika 2.13. Mjesto izbijanja požara – uvala Vrulja Snimio: Darko Stipaničev kolovoz 2006.



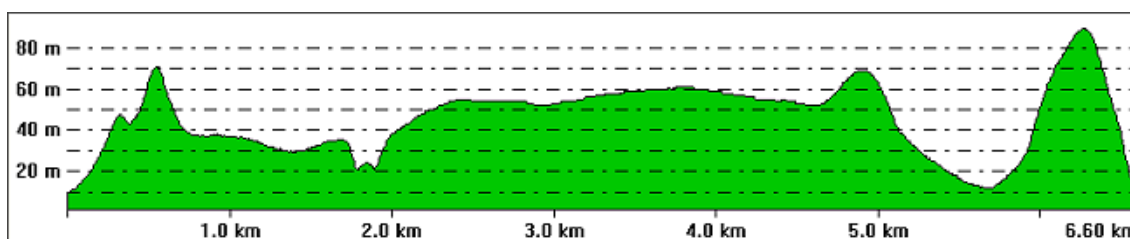
Slika 2.14. Mjesto izbijanja požara i mjesto nesreće

Teren po kojem se požar širio je brdovitog karaktera, s tim da se je između mjesta izbijanja požara i mjesta nesreće teren dosta niži. Najveća brda otoka Kornata nalaze se sjeveroistočno od ove spojnice. 3-D prikaz terena s pravocrtnom spojnicom mjesta izbijanja požara i mjesta nesreće prikazuje slika 2.15.



Slika 2.15. 3-D prikaz terena između mjesta izbijanja požara i mjesta nesreće

Na pravocrtnoj spojnici koja povezuje mjesto izbijanja požara i ulaz u klanac Šipnate teren je pretežno niži od 70 metara. Profil terena na ovoj spojnici prikazan je na slici 2.16.

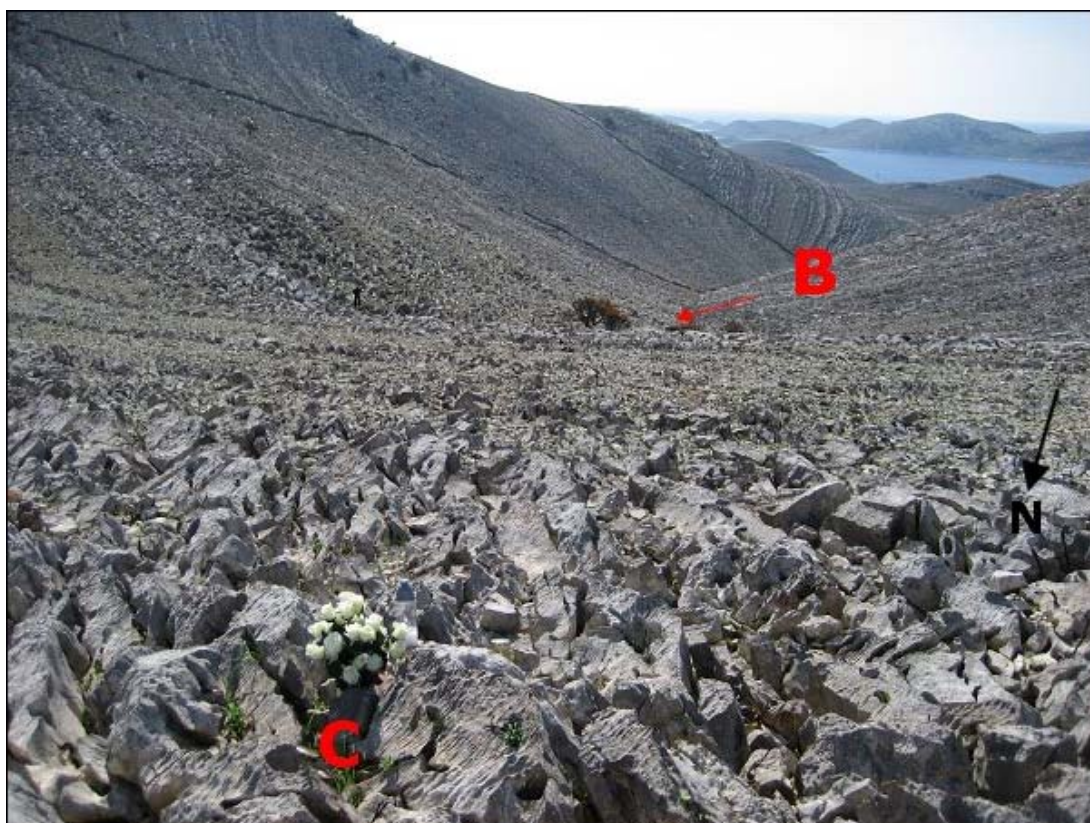


Slika 2.16. Profil terena na liniji koja spaja mjesto izbijanja požara i ulaza u klanac iznad Šipnate

Najveće visine brda sjeveroistočno od ove linije su oko 200 m, s najvećim vrhom Metlina (237 m). Između uvale Vrulje i Šipnate nalazi se zaravan Željkovac, jedno od većih obradivih područja na otoku Kornatu.

2.3. Izgled mjesta nesreće

Otok Kornat je stjenovit s pretežno travnatom pašnjačkom vegetacijom. Područje mjesta nesreće je izrazito stjenovito, što je vidljivo i sa slika snimljenih tijekom posjeta radne skupine otoku Kornatu i mjestu nesreće tri tjedna nakon nesreće (slike 2.17 – 2.22). Na slikama su označene lokacije A, B i C na kojima su pronađeni vatrogasci.



Slika 2.17 Pogled na klanac sa mjesta C na sjevernoj strani klanca. Sa ovog se mjesta vidi i lokacija B, dok je lokacija A iza malog prijevoja u liniji prema dnu klanca i ne vidi se s ove lokacije. Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



*Slika 2.18 Pogled na mjesto B gdje na nađena druga skupina stradalih vatrogasaca.
Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.*



Slika 2.19 Pogled na mjesto A koje je najbliže ulazu u klanac. mjesto A se nalazi ispred malog kamenog zida visokog od 5 do 10 m koji se nalazio točno iza vatrogasaca u odnosu na smjer dolaska vatre Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 2.20 Isti pogled na mjesto A ali malo više prema zapadu Snimio: D. Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 2.21 Klanac snimljen prema sjeveru s južnog ulaza u klanac Snimio: D. Stipaničev 25. IX 2007.



Slika 2.22 Donji dio klanca i pogled prema jugu i ulazu u klanac Snimio: D. Stipaničev 25. IX 2007.

2.4. Značajke vegetacije vezene s termodinamičkim i aerodinamičkim okolnostima nesreće

Tijekom posjeta otoku Kornatu i mjestu nesreće primijećeno je da je vegetacija koja se nalazi na južnoj strani stijena, koja je bila okrenuta prema ulazu klanca, u potpunosti izgorjela, dok je vegetacija na sjevernoj strani izgorjela samo po vrhovima (slike 2.23, 2.24 i 2.25)



Slika 2.23 Vegetacija smještena na južnoj strani stijena u potpunosti je izgorjela (snimke su snimljene 3 tjedna nakon nesreće, zato se već javlja nova zelena trava) Snimio: D. Stipaničev 25.IX 07.

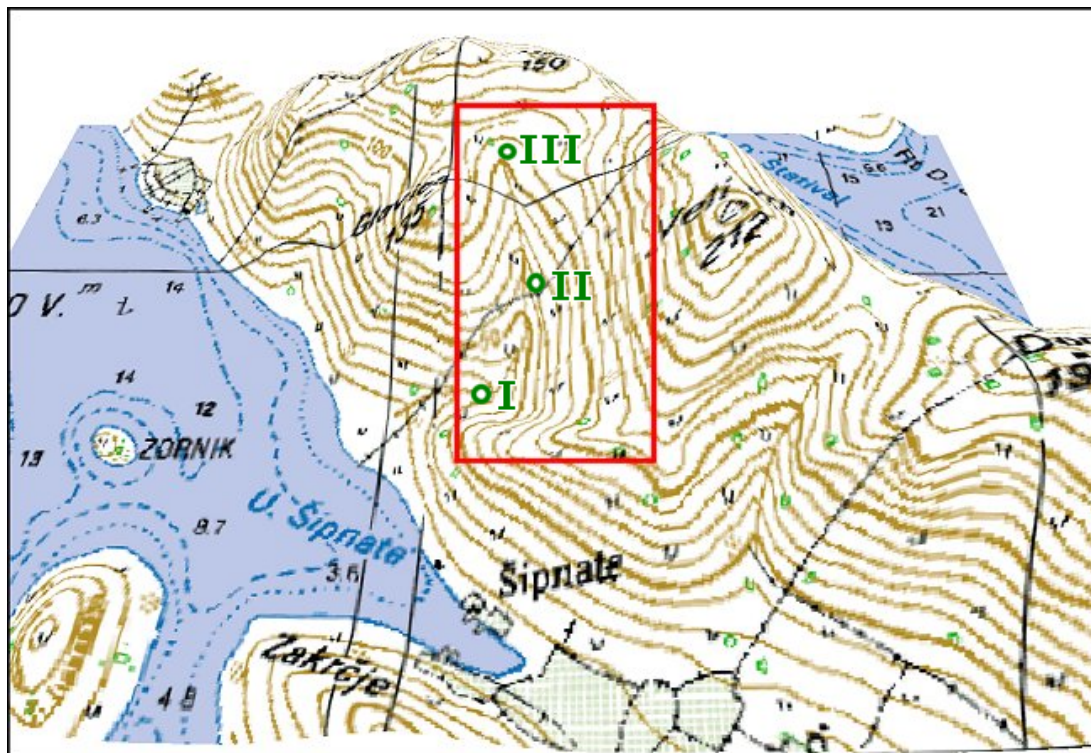


Slika 2.24 Vegetacija smještena na sjevernoj strani stijena nagorjela je samo po vrhovima, dok su dijelovi zaklonjeni kamenom ostali ne-izgorjelom Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.

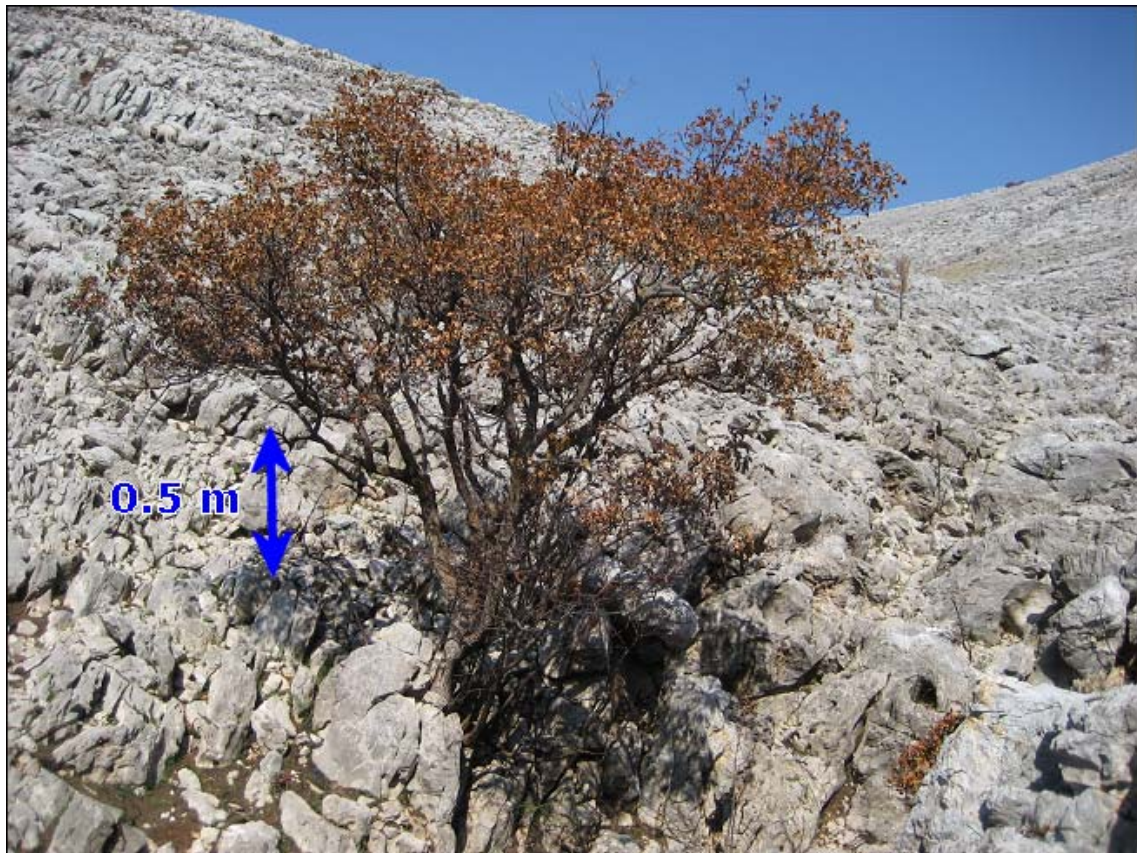


Slika 2.25 Na grmolikim biljkama koje imaju drvenaste dijelove izgorjeli su u potpunosti samo listovi. Drvenasti dijelovi su izgorjeli samo na grmovima koji su bili otvoreni s južne strane. Na ostalim grmovima samo je površina nagorjela Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.

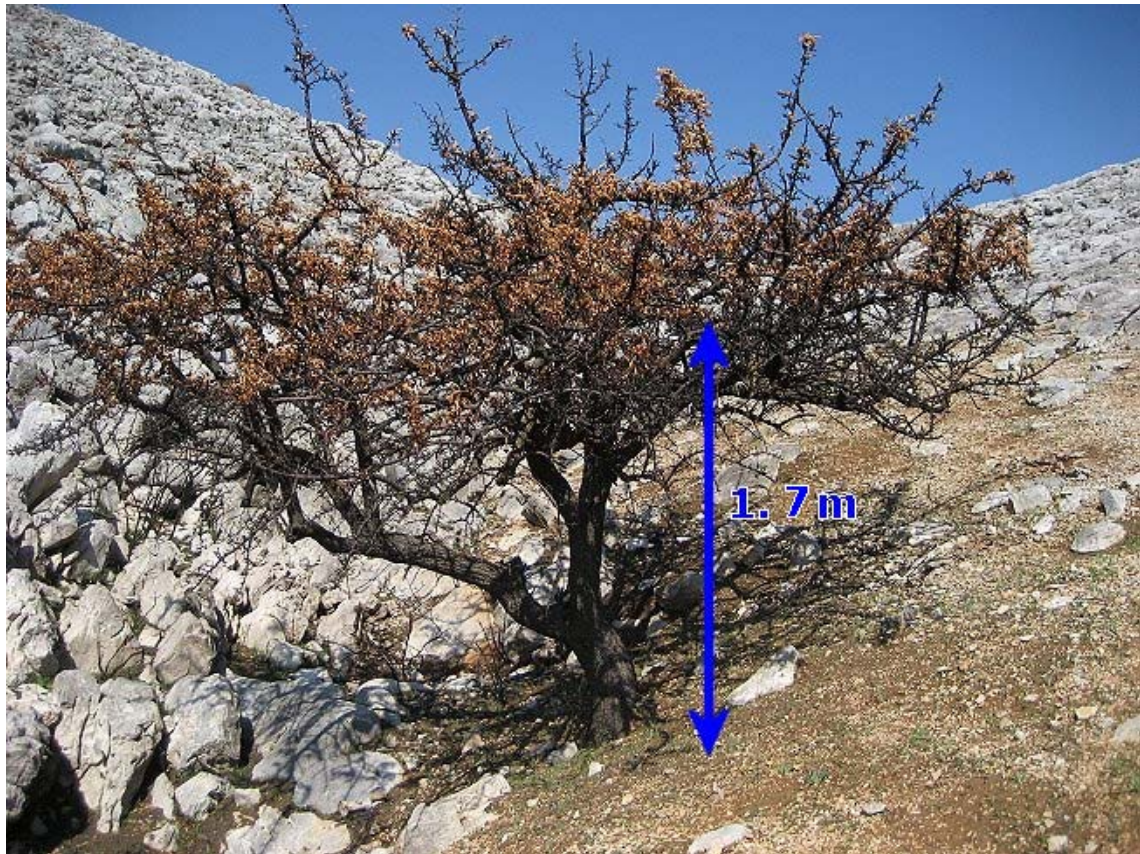
Na pojedinim mjestima klanca nalaze se mala stabalca divljeg voća. Nijedno stablo nije u potpunosti izgorjelo, samo su drveni dijelovi nagorjeli. Lišće je potpuno izgorjelo samo u donjem dijelu stabala. U gornjem dijelu stabla listovi su ostali na stablu. Po boji listova vidljivo je da su bili u blizini izvora topline. Visina izgorjelog dijela stabala mijenja se od ulaza prema kraju klanca, što ilustriramo slikama u nastavku. Na slici 2.26. označen je položaj stabala koje prikazujemo na slikama.



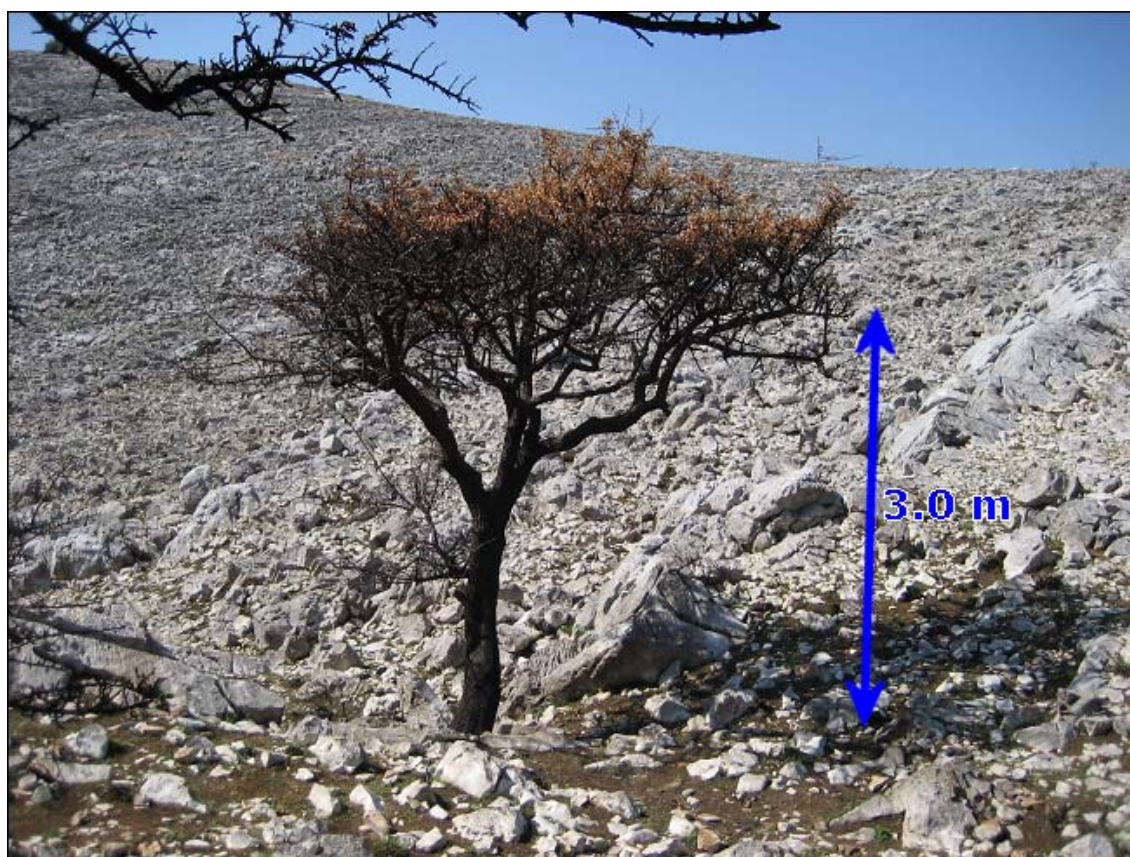
Slika 2.26 Položaj stabala u klanca iznad uvale Šipnata :: I (slika 2.27) – na ulazu u klanac, II (slika 2.28) – na srednjem dijelu klanca gdje pretpostavljamo o da je bila trava veće kalorične moći i III (slika 2.29) – u točki B gdje je nađena druga skupina vatrogasaca



*Slika 2.27 Stablo s oznakom I na južnom ulazu u klanac izgubila su lišće samo u donjem dijelu
Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.*



*Slika 2.28 Stablo s oznakom II na centralnom dijelu klanac u kojem je vjerojatno bila veća trava
Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.*



*Slika 2.29 Stabla s oznakom III u gornjem dijelu klanac na mjestu B gdje je bila druga skupina
Snimio: Darko Stipaničev 25. rujna 2007.*

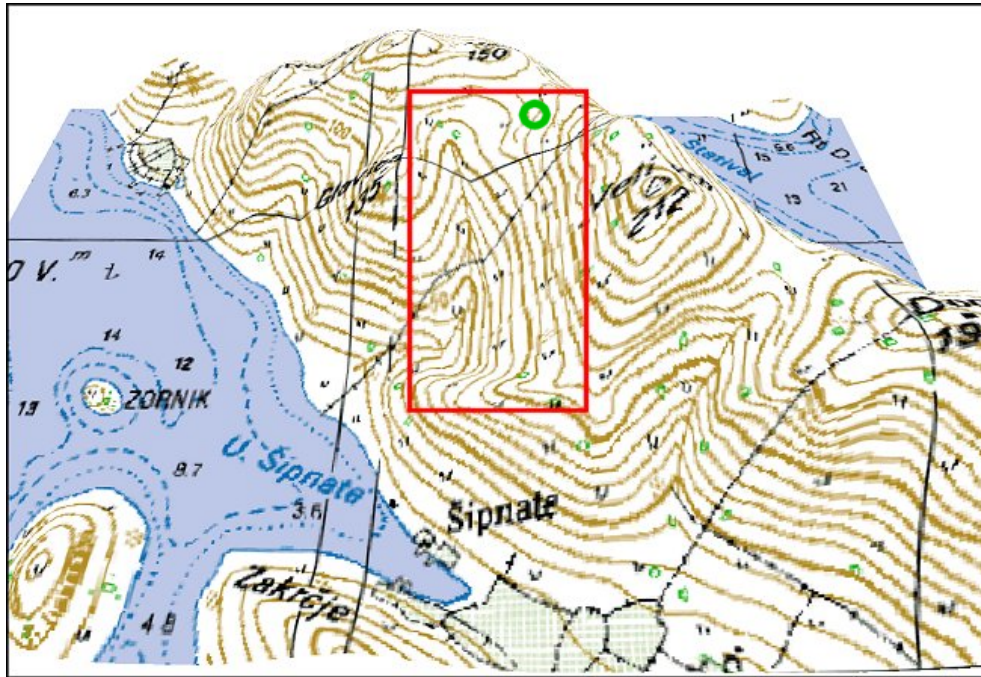
Očito je da je u južnom dijelu, na ulazu u klanac područje toplinskog djelovanja bilo visoko oko 0.5 m. U centralnom dijelu klanca, na području gdje pretpostavljamo da je bila trava veće kalorične moći visina toplinskog djelovanja je bila od 1.5 – 1.8 m, dok je u gornjem dijelu klanca na mjestu označenom oznakom B gdje je pronađena druga grupa vatrogasaca područje toplinskog djelovanja bilo visoko oko 2.5 - 3 m.

U gornjem dijelu ovih stabala lišće je bilo postavljeno u smjeru S – N što potvrđuje tezu o jakom strujanju paralelnom s osi klanca. slika 2.30. prikazuje položaj lišća stabla iz skupine III snimljen s juga (S) koji zorno pokazuje vektor strujanja zraka u sloju visine do 3 – 4 m iznad tla.



Slika 2.30 Na stablima iz skupine III lišće u gornjem dijelu je bilo „zamrznuto“ u smjeru S – N (slika je snimljena sa juga). To potvrđuje postojanje jake prizemne struja paralelne s osi klanca. Snimio: Darko Stjepaničev 25. rujna 2007.

Na kraju spomenimo i stabla smještena na sjevernom dijelu klanca, ispod brda Meja. Njihov položaj na karti prikazuje slika 31., a položaj i izgled jednog od stabala slike 32. i 33. Isušeno lišće je „zamrznuto“ u smjeru od SE prema NW što odgovara puhanju juga i smjeru odakle je požarna fronta prošla po to dijelu otoka, o čemu više govorimo u Poglavlju 6.



Slika 2.31 Zeleni krug označava položaj stabla prikazanog na slikama 32 i 33.



Slika 2.32 Stabla smještena na sjevernom dijelu klanca ispod brda Meja na koji su se vatrogasci iskrcali. Položaj isušenog lišća na stablu zaokruženiog crveno prikazuje slika 33. Snimio: Darko Stipaničev 5. veljače 2008.



Slika 2.33 Lišće na jednog od stabala smještenom na sjevernom dijelu klanca ispod brda Meja pokazuje smjer SE – NW što znači da je u tom dijelu požar došao sa strane SE odakle je i puhalo jugo. Snimio: Darko Stipaničev 5. veljače 2008.

2.5. Ostale činjenice vezene s termodinamičkim i aerodinamičkim okolnostima nesreće

Od ostalih, javno poznatih činjenica (*Dosje Kornat 2007, Šoštarić 2007, Žabac i Petrušić 2007*) vezanih s termodinamičkim i aerodinamičkim okolnostima nesreće navodimo slijedeće:

1. U blizini najniže grupe vatrogasaca (grupa A) pronađeni su dijelovi vatrogasne opreme (dva naramka vatrogasnih cijevi) od kojih je jedan bio skoro netaknut, dok je drugi izgorio toliko da su se rastalili i aluminijski dijelovi (spojnice cijevi). Temperatura taljenja aluminijske legure je 660.32 °C.
2. U blizini najniže grupe vatrogasaca (grupa A) pronađen je metalni spremnik u kojem je bilo gorivo za vatrogasnu pumpu. Spremnik nije eksplodirao, već je gorivo postepeno izgaralo kao plamenik izlazeći kroz izlaznu sapnicu spremnika što se vidi po zacrnjenom kamenju na mjestu u koje je plamen udario.
3. Na mjestu nesreće pronađeno je dosta vatrogasne opreme u različitim stupnjevima izgaranja. Neka oprema je potpuno izgorjela, neka djelomično, a neka je ostala skoro netaknuta. Točan popis pronađene opreme, mjesta na kojima je pronađena i stupanj nagorjelosti nije nam poznat. To su podaci prikupljeni očevidom u koji nismo imali uvid, pa kao poznatu činjenicu uzimamo samo informaciju da je

stupanj nagorjelosti opreme različit iako se oprema nalazila relativno blizu jedna drugoj.

4. Vegetacija otoka Kornata na mjestu nesreće je tipična pašnjačka vegetacija Kornatskih otoka. vegetaciju smo detaljno analizirali uzimanjem uzoraka sa lokacija koje su blizu mjestu nesreće, o čemu detaljno pišemo u Poglavlju 5.
5. U vrijeme nesreće (30. kolovoz 2007. godine između 11:00 i 15:30) na Kornatima je puhalo jugo iz smjera SE, srednje 10 minutne brzine ne 10 m visine od 5.5 – 10.3 m/s. Detaljnu analizu meteoroloških prilika u vrijeme nesreće dajemo u Poglavlju 4.

Smjer struje zraka paralelan s osi kanjona (od S prema N) i jačinu vjetra potvrđuje i činjenica na koju su nam za posjeta 5.veljače 2008. godine ukazali šibenski vatrogasci. Slika 2.34. prikazuje mjesto nalaska jednog od stradalih vatrogasaca. Na kamenu, skoro 2 do 3 metra iza mjesta stradavanja u smjeru od S prema N, na vertikalnoj stijeni nađeni su komadići odjeće (radni kombinezon) koja se rastopila i nošena jakim vjetrom zalijepila za kamen. Uzorke je bilo vrlo teško skinuti s kamena što potvrđuje dvije stvari:

- postojanje dovoljno visoke temperature koja je rastopila radni kombinezon miješanog sastava s velikim udjelom umjetnih vlakana,
- postojanje dovoljno jakog vjetra koji je čestice kombinezona zalijepio za kamen.



Slika 2.34 Komadići rastopljenog radnog kombinezona koji je nošen jakom strujom vjetra zalijepljen na vertikalnu stijenu iza mjesta na kojem je nađen jedan od stradalih vatrogasaca . Snimio: Darko Stipaničev 5. veljače 2008.

Važno je spomenuti i rekonstrukciju kretanja vatrogasaca i vatrene fronte koju su napravili šibenski vatrogasci prema:

- fotografijama snimljenim za vrijeme gašenja požara, neposredno prije nesreće, i
- dokazima o širenju vatre koje su zatekli na terenu 31. kolovoza 2008.

te nam prezentirali nam na sastanku u Javnoj vatrogasnoj postrojbi Šibenik 5. veljače 2008. godine. Rekonstrukciju događanja prikazuje slika 2.35.



Slika 2.35 Približno kretanje vatrogasaca i kretanje vatre prema rekonstrukciji vatrogasaca šibenske županije. Rekonstrukcija je predstavljena 5. veljače 2008. godine na sastanku u JVP Šibenik

Vatrogasci su se u 14:58 iskricali iz helikoptera na brdu Meja, te krenuli prema spremniku s vodom koji se nalazio na južnom dijelu brda Veli vrh. Na putu prema spremniku sa sjeverne strane brda Veli vrh pojavila se požarna fronta koja se kretala prema NW. Posljednje dvije snimljene fotografije snimljene su približno oko mjesta označenog slovom x i prikazane su na Slici 2.36. Vatrogasci se povlače prema smjeru NW. Ulaze u gornji dio klanca Šipnate gdje se u oko 15:25 dogodila nesreća koju u izvješću pokušavamo rekonstruirati, razmatrajući samo prirodne uzroke i objašnjenja vezana uz njih.



Slika 2.36. Posljednja snimka vatrene fronte prije nesreće. Prema rekonstrukciji vatrena fronta se spušta niz brdo Veli vrh koje se nalazi na istočnom dijelu klanca. Na slici je originalna fotografija snimljena na dan nesreće i rekonstruirani krajolik približno na mjestu s kojeg je fotografija snimljena. Snimio: Darko Stipaničev 5. veljače 2008.

U nastavku detaljnije analiziramo geometrijske značajke mjesta nesreće.

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U SPLITU



POGLAVLJE 3

GEOMETRIJSKE ZNAČAJKE PODRUČJA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA

AUTORI:
PROF.DR.SC. DARKO STIPANIČEV
LJILJANA BODROŽIĆ, DIPL.ING.
MR.SC. MARJAN SIKORA

SPLIT 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

3. GEOMETRIJSKE ZNAČAJKE PODRUČJA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA ... 5

3.1. ZNAČAJNE TOČKE I PROFILI TERENA UNUTAR KLANCA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA.....	5
3.2. POVRŠINE I VOLUMENI KLANCA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA	10
3.3. IZVOR PODATAKA	13

3. GEOMETRIJSKE ZNAČAJKE PODRUČJA U KOJEM SE DOGODILA NESREĆA

Na temelju detaljnih GIS podataka otoka Kornata koje nam je ustupilo Ministarstvo kulture i Nacionalni park Kornati rekonstruirane su geometrijske značajke mjesta nesreće koju dajemo na crtežima u nastavku.

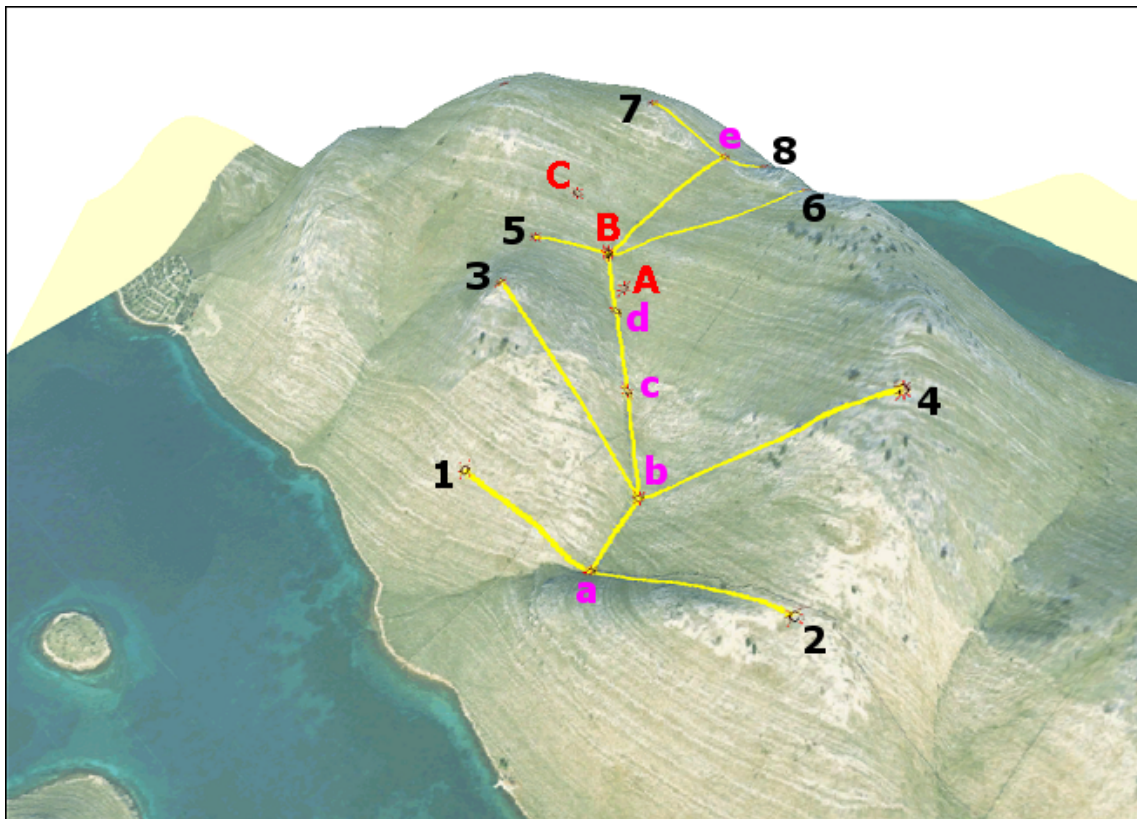
3.1. Značajne točke i profili terena unutar klanca u kojem se dogodila nesreća

Oznake na slikama su slijedeće.

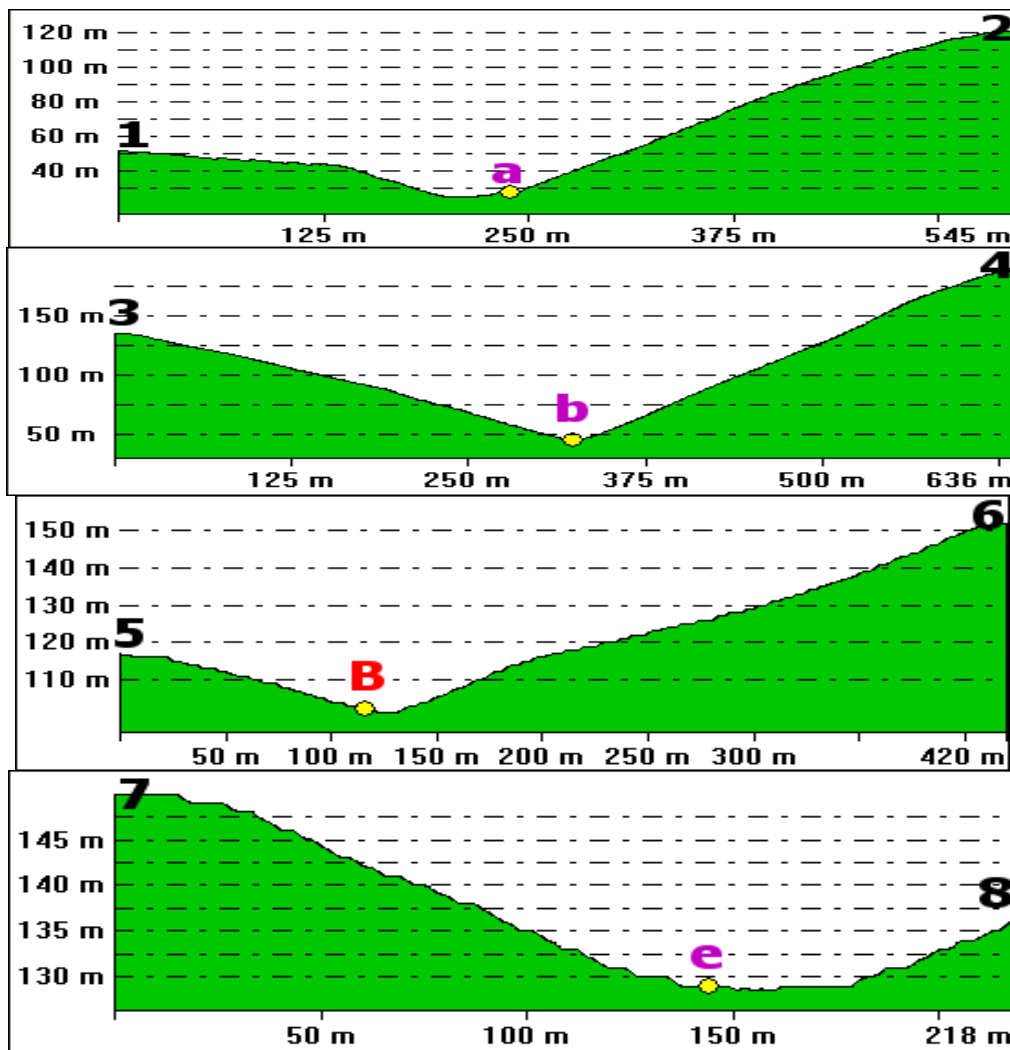
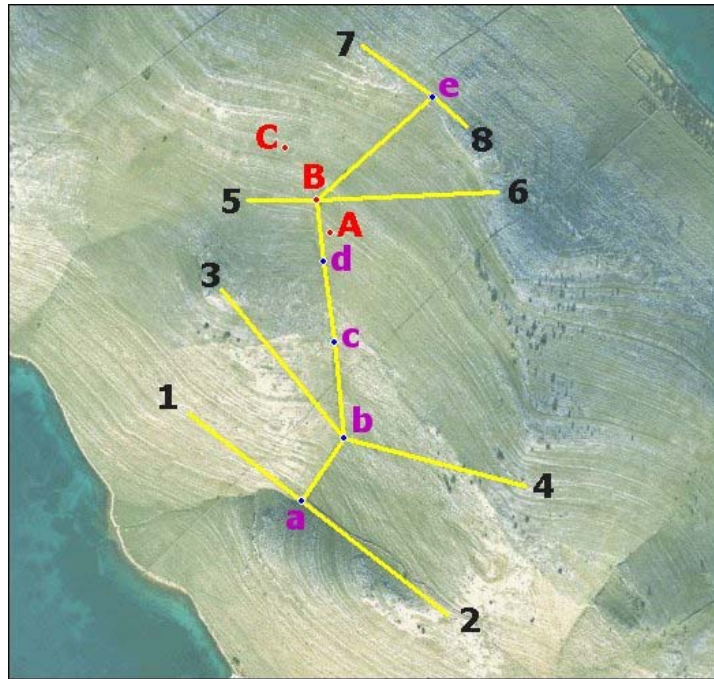
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 :: karakteristične točke na rubovima klanca

a, b, c, d, e, f :: karakteristične točke u osi klanca

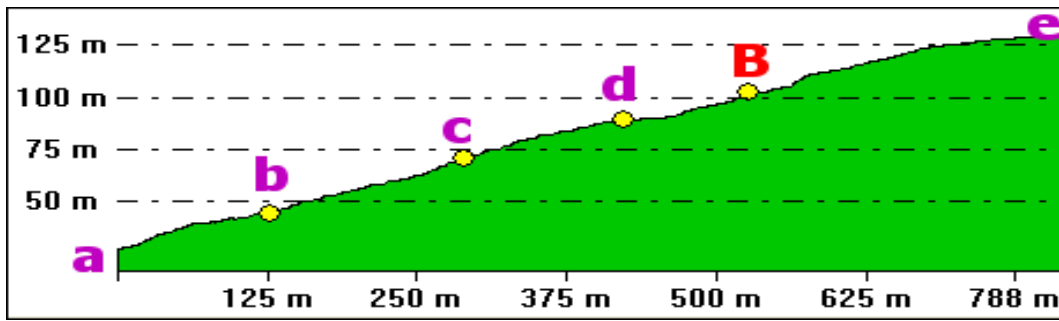
A, B, C :: mjesta nesreće na kojima su pronađeni nastradali vatrogasci



Slika 3.1. Položaj karakterističnih točaka u odnosu na koje je određivana geometrija klanca

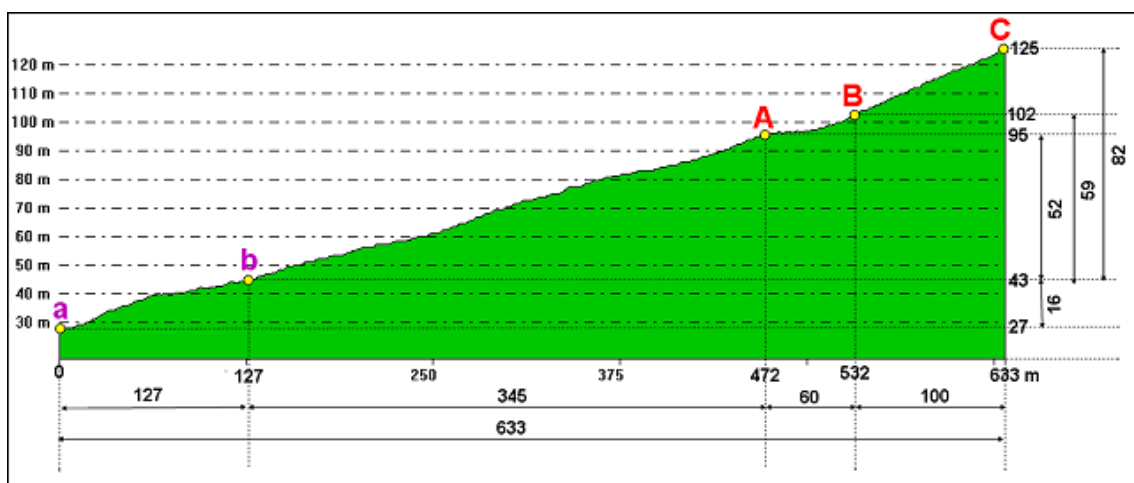
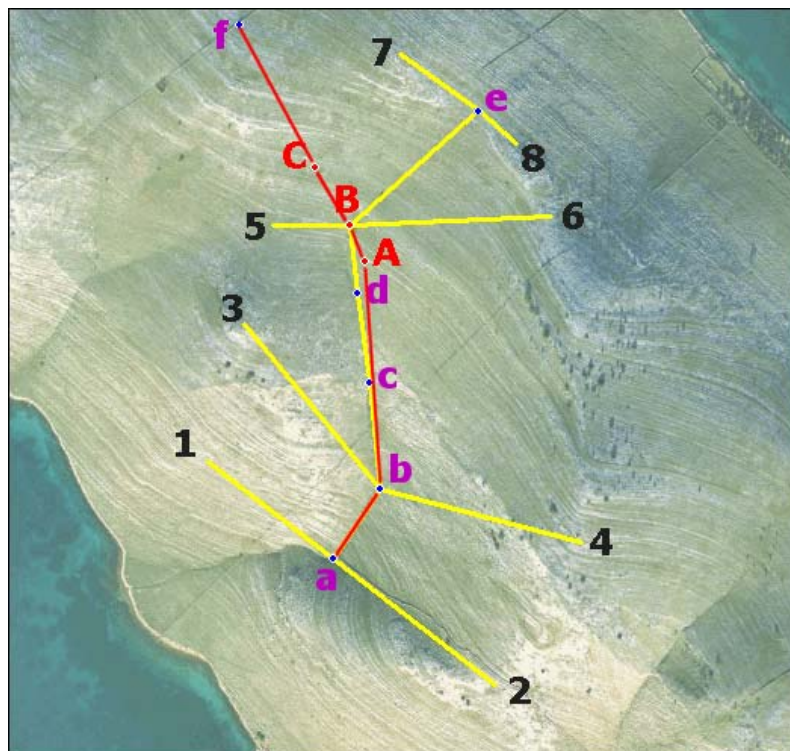


Slika 3.2. Profili poprečnih presjeka klanca



Slika 3.3. Profil uzdužnog presjeka klanca

Na slici 3.4. ucrtana je i linija koja spaja ulaz u klanac s mjestima nesreće i vrhom brda Glavica na kojem su se iskrcali vatrogasci.



Slika 3.4. Uzdužni profil linije koja spaja ulaz u klanac i mjesta na kojima su pronađeni vatrogasci (crvena linija)

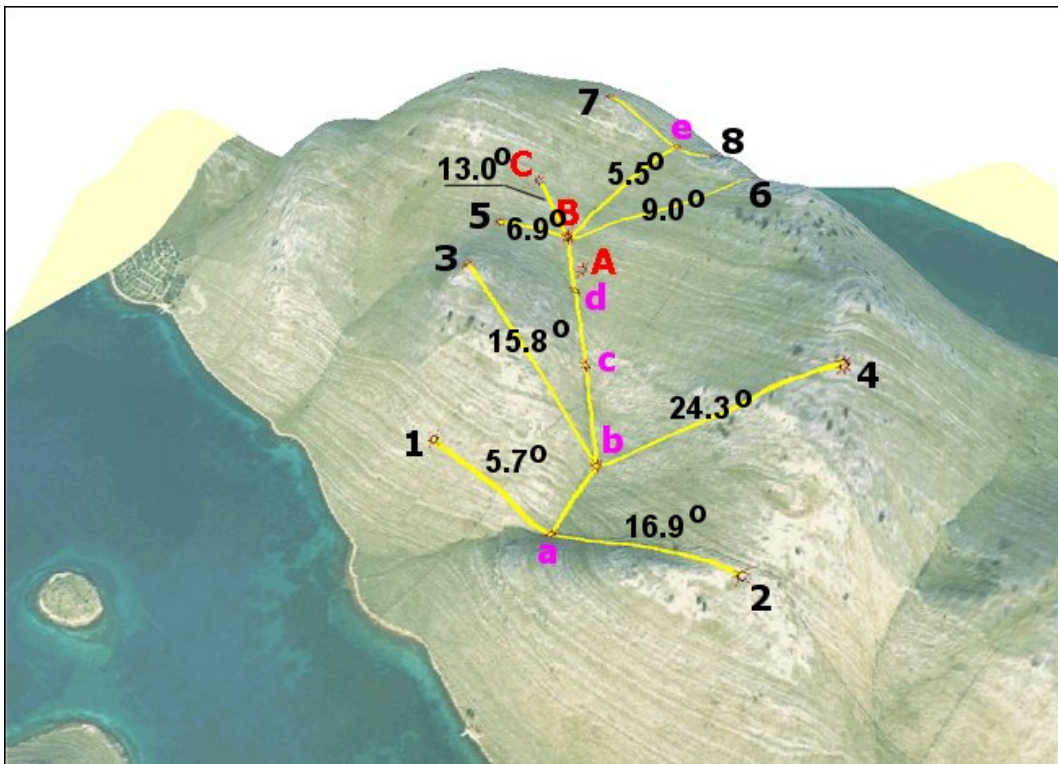
Ovo je ujedno i linija mogućeg kretanja vatre od ulaza u kanjon do mjesta stradavanja koju nazivamo linija nesreće, pa za nju navodimo i sve brojčane vrijednosti:

Udaljenosti: $aB = 127$ m, $bA = 345$ m, $AB = 60$ m, $BC = 100$ m, $Be = 260$ m, $a1 = 238$ m, $a2 = 312$ m, $b3 = 324$ m, $b4 = 314$ m, $B5 = 116$ m, $B6 = 309$ m, $aC = 633$ m.

Visine: $a = 27$ m, $b = 43$ m, $A = 95$ m, $B = 102$ m, $C = 125$ m, $e = 127$ m, $1 = 51$ m, $2 = 122$ m, $3 = 135$ m, $4 = 185$ m, $5 = 116$ m, $6 = 151$ m.

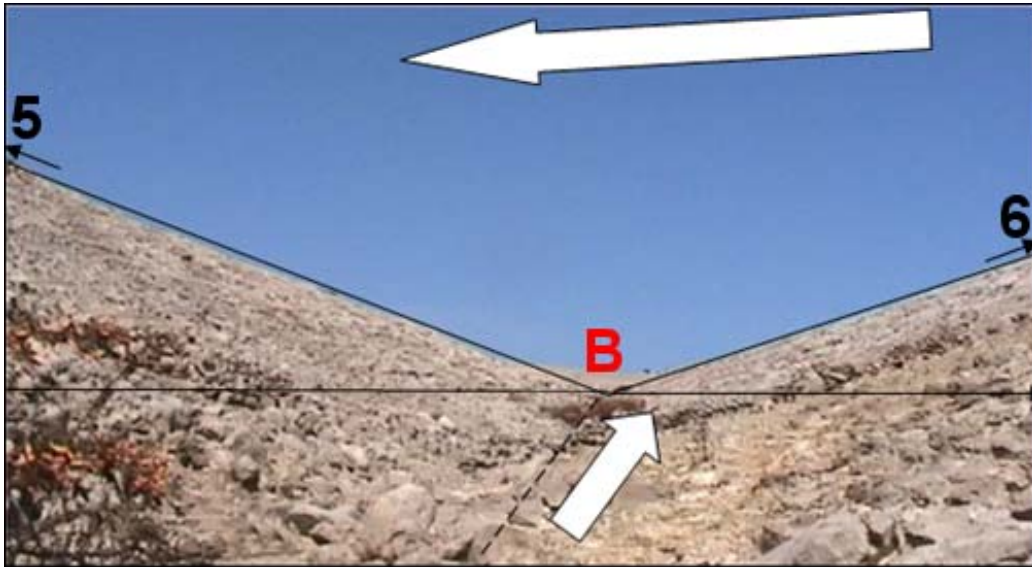
Ulaz u klanac (točka a) je na visini od 25 m. Klanac je u donjem dijelu od točke a do točke b položen u smjeru 35° . Duljina tog prvog odsjeka je 125 m. Nakon točke b klanac mijenja smjer i proteže se u smjeru 353° , a udaljenost od točke b do mjesta A gdje je pronađena prva skupina vatrogasaca je 345m. Točka b je na visini od 47 m, a točka A se nalazi na visini od 97 m. Druga skupina vatrogasaca (točka B) je od točke A udaljena 58 m i nalazi se na visini od 102 m, dok se točka C na kojoj je pronađen zadnji stradali vatrogasac od točke B udaljena oko 100 m i nalazi se na visini od 125 m.

Teren je od točke a do točke C **pod prosječnim nagibom od 8.36°** , a od točke b do točke A **pod prosječnim nagibom od 8.57°** . Ove vrijednosti treba preračunati u nagib terena (*eng. slope*) koji se definira kao razlika visina podijeljena s udaljenošću pomnožena sa 100%. Zanimaju nas nagibi terena od točke a do točke C, zatim od točke b do točke A, od točke b do točke B i od točke b do točke C. Njihove su vrijednosti: $NAGIB_{aC} = 15.48\%$, $NAGIB_{bA} = 14.49\%$, $NAGIB_{bB} = 13.64\%$ i $NAGIB_{bC} = 15.50\%$. Na mjestu b na ulazu u klanac orijentiranom prema smjeru 353° nagib istočne strane prema vrhu Veli Vrh je 24° , dok je na zapadnoj strani prema vrhu Glavica nagib 16.3° . Sve kutove prema točkama prema slici 3.4. prikazuje slika 3.5. Spomenimo još i to da je nagib terena od točke d koja se nalazi u centru klanca do točke A gdje je nađena prva skupina vatrogasaca je oko 13° .



Slika 3.5. Bočni kutovi od osi klanaca do točaka na okolnim brdima

Uvidom na samom terenu mišljenja smo da su ovi bočni kutevi bili još i veći, pa bi ih trebalo geodetski izmjeriti na licu mjesta. Primjer prikazuje slika 3.6. na kojoj se gornji dio klanca s kutovima na liniji spojnice B5 i B6.



Slika 3.6. Vrb klanca, negdje oko linije 5 – B – 6 . Donja strelica pokazuje u smjeru S – N, a gornja SE – NW. Snimio B.Klarin 25.09.2007.

Ukoliko kutove odredimo prema slici dobije se lijevi i desni kut od 21° , što je više od vrijednosti proračunatih iz GIS podataka koji su bili za kut B5 oko 7° , a za kut B6 oko 9° . Slično je i sa slikom 3.7. koja iz smjera sjevera prikazuje područje na liniji 4 – b – 3.

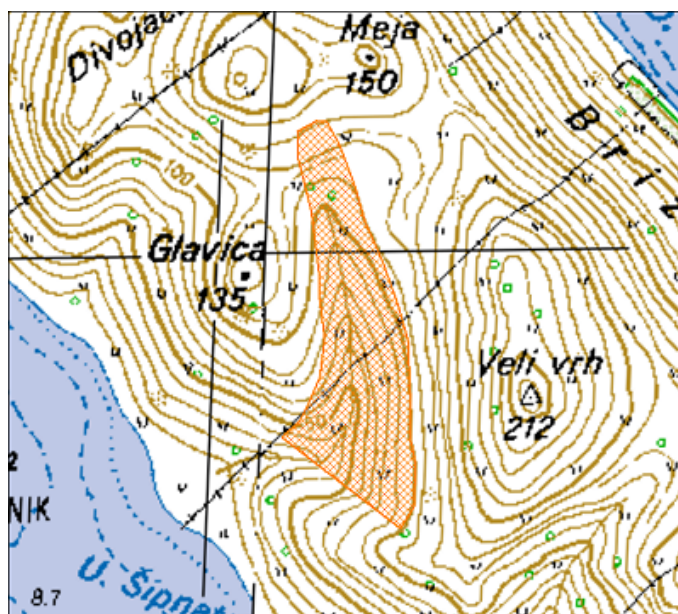


Slika 3.6. Pogled prema dnu gornjeg dijela klanca sa N strane prema točki b. Snimio D-Stipaničev 5.02.2008.

Razlike su sada nešto manje, ali ipak postoje. Sa nje očitavamo kut b_3 oko 20° , a kut b_4 oko 22° , dok su prema GIS podacima ovi kutovi bili oko 16° i oko 24° .

3.2. Površine i volumeni klanca u kojem se dogodila nesreća

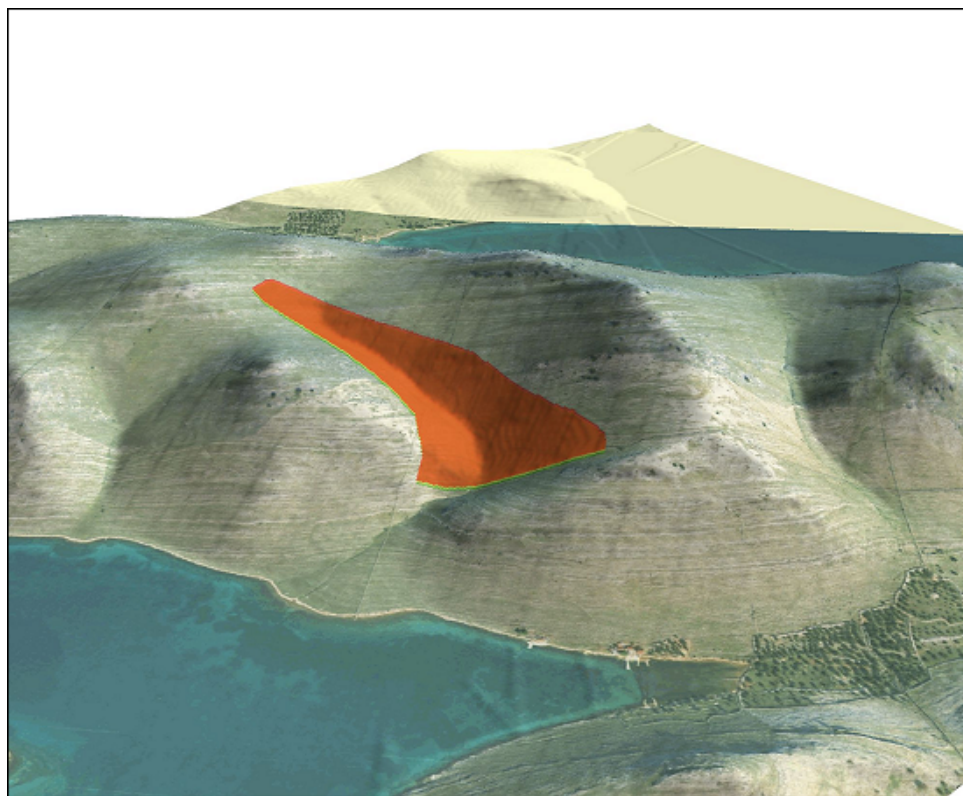
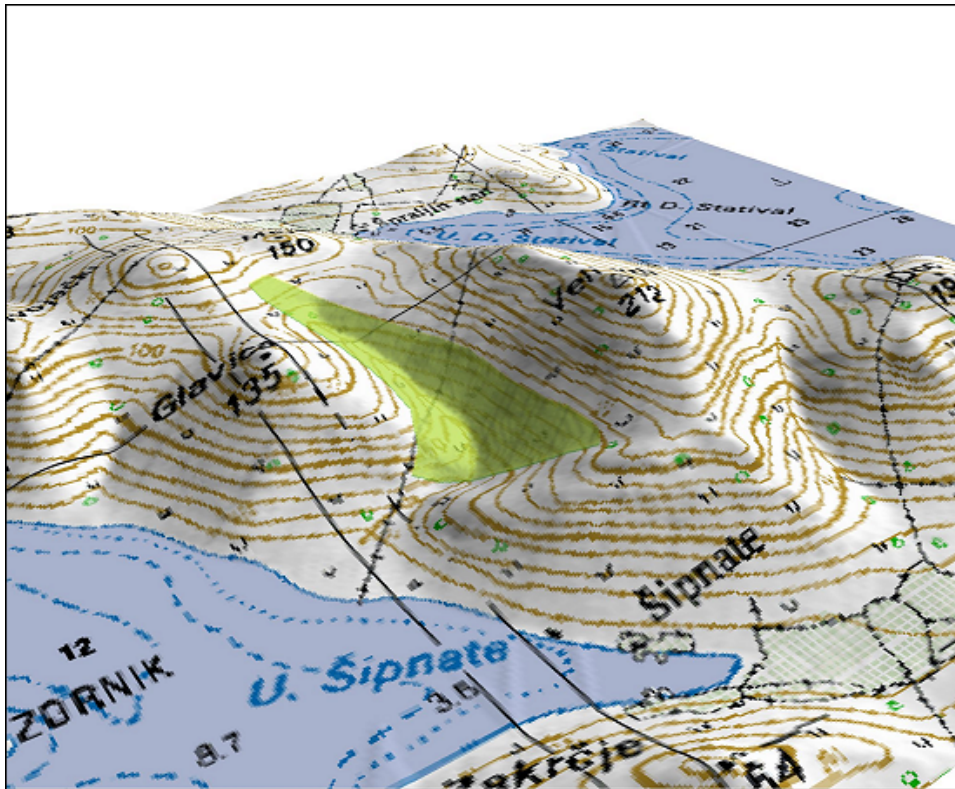
Važan podatak su površine i volumen klanca u kojem se dogodila nesreća. Slika 3.7. prikazuje dio klanca za koji smo pretpostavili da je u najvećoj mjeri doprinio termodinamičkim događanjima. Površina ovog područja mjerena na karti iznosila je 99887 m^2 , a opseg 1 740 m.



Slika 3.7. Dio kotline koji smo uzeli u razmatranje kod proračuna površine i opsega

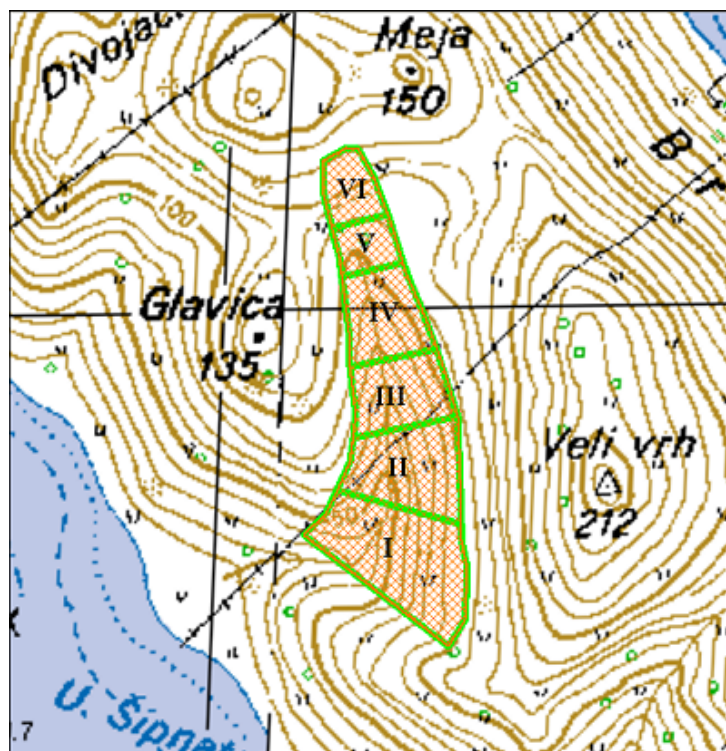
Izračunati su i volumeni područja korištenjem elevacijske GIS podloge. 3-D sliku područja prikazuje slika 3.8. Volumeni su računati za visine 1.6 m, 1.8 m i 2.0 m, a dobiveni rezultati su:

- Volumen do visine 1.6: $159\,820 \text{ m}^3$
- Volumen do visine 1.8: $179\,797 \text{ m}^3$
- Volumen do visine 2.0: $199\,774 \text{ m}^3$



Slika 3.8. Dio klanca za koji smo računali volumene na visini 1.6 m, 1.8 m i 2.0 m

Osim toga klanac smo podijelili na 6 dijelova označenih rimskim brojevima od I do VI (vidi sliku 3.9).



Slika 3.9. Podjela klanca na 6 dijelova

Proračunate površine pojedinih dijelova su:

I	31 964 m ²	32 %
II	20 976 m ²	21 %
III	15 982 m ²	16 %
IV	14 983 m ²	15 %
V	6 992 m ²	7 %
VI	8 990 m ²	9 %
UKUPNO	99 887 m²	100 %

a izračunati volumeni u m³ za različite visine su bili:

Visina (m)	I	II	III	IV	V	VI	Ukupno
1.6	51 539	33 442	25 298	24 957	11 301	13 283	159 820 m ³
1.8	57 982	37 622	28 460	28 076	12 713	14 944	179 797 m ³
2.0	64 424	41 802	31 622	31 196	14 126	16 604	199 774 m ³

Na kraju napominjemo da su sve dimenzije koje navodimo uzete sa karte i proračunate iz GIS podataka NP Kornati, te nisu mjerene na terenu. Pokazali smo da postoje određene razlike, s tim da su vrijednosti nagiba terena uzete iz GIS podataka čak i manje nego vrijednosti opažene na terenu.

Međutim sve ove vrijednosti uzete iz GIS podataka su za potrebe termodinamičke i aerodinamičke analize, a pogotovo procjene širenja požara u potpunosti zadovoljavajuće.

Požar raslinja je kompleksan prirodni događaj kojeg nije moguće precizno modelirati, pa nije nužno niti imati precizne ulazne podatke o konfiguraciji terena. Kod modeliranja širenja požara koriste se pretežno empirijski i semi-empirijski modeli, kod kojih preciznost topografskih podataka i nije presudna.

Zbog toga su ovi podaci izmjereni na kartama NP Kornati u potpunosti zadovoljavajući za sve analize napravljene u okviru ovog izvještaja, s tim da naglašavamo da je su vjerojatno kutovi nagiba klanca u stvarnosti bili još i veći, pa su i efekti opisani u ovom izvješću u prirodi bili još izražajni.

3.3. Izvor podataka

Izvor podataka je GIS NP Kornati kojeg je uključivao elevacijske mape, ortophoto snimke i karte. Podatke smo dobili od NP Kornati preko *Ministarstva kulture* i državnog tajnika *Zorana Šikića, dipl.ing.*

Kod proračuna smo koristili različite GIS programe koje nam je na korištenje ustupilo *Regionalno središte za pružanje pomoći i uklanjanje posljedica katastrofa* iz Divulja u okviru suradnje FESB-a i Regionalnog središta, na čemu im zahvaljujemo.

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD



POGLAVLJE 4

**ANALIZA METEOROLOŠKIH PRILIKA ZA VRIJEME
KORNATSKOG POŽARA 30. KOLOVOZA 2007.**

Zagreb, 15. siječnja 2008.

Državni hidrometeorološki zavod: **članovi Interdisciplinarne – ekspertne radne skupine** za razrješenje okolnosti požara i stradavanja vatrogasaca na otoku Kornat dana 30. kolovoza 2007. godine:

dr.sc. Branka Ivančan-Picek
Marko Vučetić, dipl.inž.
Marija Mokorić, dipl. inž.

Radna grupa za analizu meteoroloških prilika za vrijeme kornatskog požara 30. kolovoza 2007.

Voditelj radne grupe:

dr.sc. Branka Ivančan-Picek
Služba meteoroloških istraživanja i razvoja

Suradnici:

Služba meteoroloških istraživanja i razvoja
Odjel istraživanja i modeliranja atmosferskih procesa
mr.sc. Višnjica Vučetić
mr.sc. Stjepan Ivatek-Šahdan
mr.sc. Martina Tudor
Lukša Kraljević, dipl.inž.
Odjel klimatoloških istraživanja i primijenjene klimatologije
Marko Vučetić, dipl.inž.

Služba primijenjene meteorologije
Odjel za vremenske analize i prognoze
Marija Mokorić, dipl.inž.
mr.sc. Nataša Strelec-Mahović
mr.sc. Tanja Trošić

© **Copyright** – Ovo je izvješće autorsko djelo i nastalo je na osnovi znanja i istraživanja autora. Ni jedan dio ovog izvješća ne smije se preuzeti, umnožavati, prepisivati, prevoditi ili na bilo koji način distribuirati u pisanom ili elektronskom mediju bez dozvole autora i smatrat će se povredom autorskih prava. Upotreba ovog materijala dozvoljeno je isključivo u svrhu razjašnjenja tragedije na Kornatu koju provodi Ekspertna skupina MUP RH te u znanstvene svrhe. Uporaba za bilo kakve druge svrhe nije dozvoljena bez dozvole autora.

SADRŽAJ

PREGOVOR	
1. UVOD	5
2. VREMENSKE ZNAČAJKE U SINOPTIČKIM I MEZO RAZMJERIMA	7
<i>mr.sc. Višnjica Vučetić, mr.sc. Nataša Strelec-Mahović, Marija Mokorić, dipl.inž, mr.sc.Tanja Trošić</i>	
3. PRIZEMNA MEZOANALIZA I USPOREDBA S NUMERIČKIM SIMULACIJAMA	10
3.1. Prizemna prostorna i vremenska mezoanaliza	
<i>mr.sc. Višnjica Vučetić</i>	
3.2. Usporedba prognoze modela ALADIN/HR s mjerenjima	
<i>mr.sc. Stjepan Ivatek-Šahdan, mr.sc. Martina Tudor</i>	
3.3. Prognozička polja modela ALADIN/HR pri tlu	
<i>mr.sc. Stjepan Ivatek-Šahdan, mr.sc. Martina Tudor</i>	
3.4. Prognozička polja modela MM5	
<i>Lukša Kraljević, dipl.inž.</i>	
4. VERTIKALNA STRUKTURA ATMOSFERE I USPOREDBA S NUMERIČKIM	21
SIMULACIJAMA	
4.1. Vremenska analiza	
<i>mr.sc. Višnjica Vučetić, mr.sc. Stjepan Ivatek-Šahdan, mr.sc. Martina Tudor, Lukša Kraljević, dipl.inž.</i>	
4.2. Prostorna analiza	
<i>Lukša Kraljević, dipl.inž.</i>	
5. METEOROLOŠKA ANALIZA OPASNOSTI OD POŽARA	35
5.1. Uvod	
<i>Marko Vučetić, dipl.inž.</i>	
5.2. Metoda procjene opasnosti od šumskih požara	
<i>Marko Vučetić, dipl.inž.</i>	
5.3. Analiza indeksa FMMC, ISI, FWI	
<i>Marko Vučetić, dipl.inž.</i>	
5.4. Analiza Hainesovog indeksa	
<i>Marija Mokorić, dipl.inž.</i>	
5.5. Članovi Ekspertne skupine na Kornatu	
<i>Marko Vučetić, dipl.inž.</i>	
6. ZAKLJUČAK	50
7. PREPORUKE	52
Literatura	53

PREDGOVOR

Prema Odluci ministra Ministarstva unutarnjih poslova RH od 3. rujna 2007. osnovana je Interdisciplinarna – ekspertna radna skupina za razješenje okolnosti požara i stradavanja vatrogasaca na otoku Kornat 30. kolovoza 2007. godine. Članovi te ekspertne radne skupine iz Državnog hidrometeorološkog zavoda su dr.sc. Branka Ivančan-Picek, Marko Vučetić, dipl.inž. i Marija Mokorić, dipl.inž.

Naš zadatak bio je izraditi sveobuhvatnu analizu meteoroloških prilika koje su vladale 30. kolovoza 2007. nad područjem otoka Kornat. Stoga ova studija predstavlja analizu svih raspoloživih meteoroloških podataka i numeričkih modela s kojima Državni hidrometeorološki zavod raspolaže, a relevantne su za šire područje Kornata. Studija je rezultat znanja i dugogodišnjeg iskustva naših stručnjaka na problematici povezanosti vremenskih prilika i pojava šumskih požara na otvorenom. No, usprkos tome u toj povezanosti još uvijek postoje mnoge nepoznanice. Ova studija daje određene preporuke i ukazuje na nužnost dodatnih meteoroloških mjerenja koja bi doprinjela poznavanju određenih lokalnih vremenskih prilika, kao i verificiranju rezultata simulacija numeričkim modelima finije razlučivosti.

Pomoćnica ravnatelja:

dr.sc. Branka Ivančan-Picek

Ravnatelj:

mr.sc. Ivan Čačić

KLASA: 920-08/08-25/01
UR.BROJ: 554-920-08/08-01

15. siječanj 2008.

1. UVOD

U većini požara na otvorenom vremenski uvjeti imaju odlučujuću ulogu u njihovom razvoju, širenju i ponašanju. Meteorološki elementi koji najviše utječu na pojavu i širenje požara su Sunčevo zračenje, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, količina oborine, brzina i smjer vjetra, ali isto tako važna je i vertikalna struktura atmosfere (Viegas, 1998). Nestabilno stratificirana atmosfera, kad se topliji zrak nalazi u prizemnim slojevima atmosfere, je posebno opasna za širenje požara zbog povoljnih uvjeta za razvoj jakih uzlaznih struja. Stoga su prizemne i visinske analize vremenskih situacija za vrijeme velikih požara osobito važne radi spoznaje u kojim meteorološkim uvjetima najčešće nastaju i kako se ponašaju da bi se preventivno moglo djelovati u njihovom suzbijanju.

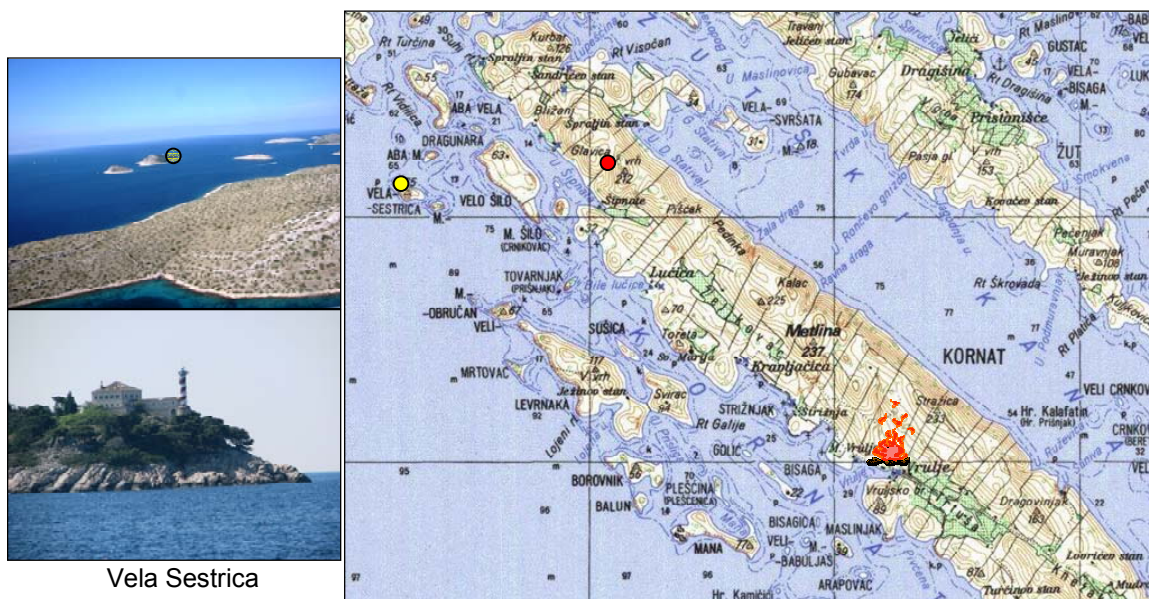
Kod nas se još uvijek premalo istražuje odnos vremenskih prilika i ponašanje šumskih požara. U nekoliko radova Vučetić (1987, 1992 i 1998c) te Vučetić i Vučetić (1999) su obradili tu problematiku. Pokazano je da ljeti na Jadranu pri prolazu fronte, koja je praćena slabom kišom (ili kiša može čak izostati), povećanjem relativne vlažnosti zraka, padom temperature zraka i slabljenjem vjetra, dolazi do zaustavljanja požara. U takvim se situacijama najčešće smatra da je zaustavljanjem napredovanja požarne fronte požar i ugašen. Međutim, dolazi samo do kratkotrajnog zaustavljanja požara jer u poslijefrontalnom razdoblju vjetar može ponovo ojačati, temperatura zraka postupno se povećati, a relativna vlažnost zraka smanjiti. To dovodi do ponovnog razbuktavanja požara koji može trajati danima i dovesti do katastrofalnih posljedica.

Za potrebe detaljne analize vremenske situacije 30. kolovoza 2007. kada se dogodio pogubni požar na Kornatu analizirani su raspoloživi prizemni i visinski podaci na širem kornatskom području. Analiza je rađena s analitičkim podacima operativnog determinističkog numeričkog modela Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena ECMWF (www.ecmwf.int), kao i na osnovi analiza njemačke meteorološke službe DWD (www.dwd.de). Podaci analize uspoređeni su s rezultatima simulacije operativnog numeričkog prognostičkog modela za ograničeno područje ALADIN/HR (ALADIN, 1997; Ivatek-Šahdan i Ivančan-Picek, 2006). Budući da je razlučivost modela ALADIN/HR grublja (udaljenost između točaka mreže iznosi 8 km), promatrana vremenska situacija simulirana je i s finijom rezolucijom od 1 km primjenom numeričkoga nehidrostatskog mezomodela MM5 (Grell i dr., 1995.; Kraljević i Špoler Čanić, 2005).

Prizemni 10-minutni podaci digitalnog mjernog sustava (brzina i smjer vjetra te maksimalni udari vjetra kao i temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, tlak zraka i globalno Sunčevo zračenje) analizirani su na glavnoj meteorološkoj postaji Zadar koja je najbliža promatranoj lokaciji. Za nadopunu analize uzeti su i raspoloživi podaci s klimatološke postaje Vela Sestrica (slika 1.1) od 30. kolovoza 2007. Za prizemnu prostornu analizu promatrane vremenske situacije, osim glavnih meteoroloških postaja, analizirani su i podaci klimatoloških postaja na kojima se motrenja obavljaju tri puta dnevno u 7, 14 i 21 h po srednjem lokalnom vremenu (SLV). Pomoću prizemne sinoptičke karte i visinske karte na 850 hPa (AT 850) analizirana je sinoptička situacija nad Europom 30. kolovoza 2007. u 12 UTC.

Za visinske podatke (temperatura zraka, brzina i smjer vjetra) rabljeni su radiosondažni podaci meteorološke postaje Zadar-aerodrom (Zemunik), gdje se

radiosondažna mjerenja obavljaju dva puta dnevno u 00 UTC (odgovara 2 h po ljetnom ukaznom vremenu) i 12 UTC (odgovara 14 h po ljetnom ukaznom vremenu).



Slika 1.1. Položaji meteorološke postaje Vela Sestrica, izbijanja požara u uvali Vrulje i stradanje vatrogasaca iznad uvala Šipnate.

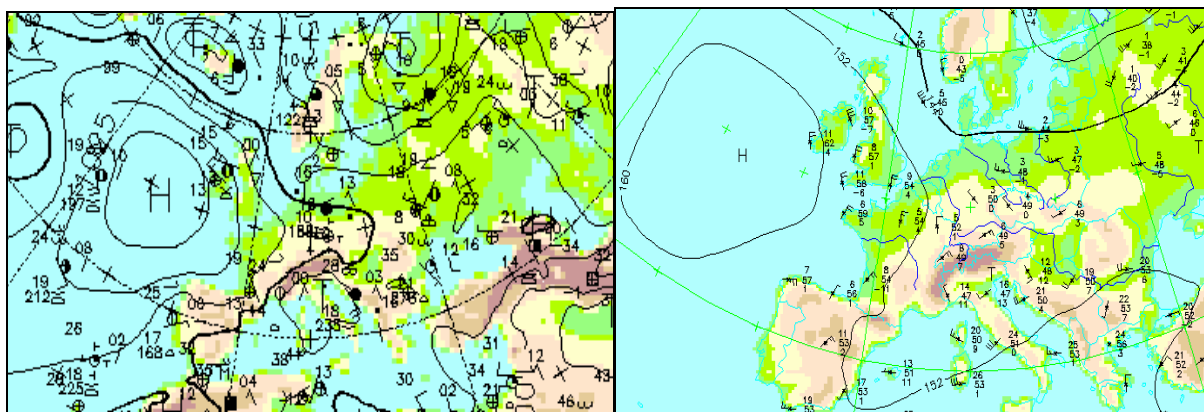
Važno je naglasiti da se za potrebe meteorologije rabe različiti načini određivanja vremena. Sve sinoptičke karte i radiosondažna mjerenja označavaju se po koordiniranom univerzalnom vremenu (UTC) koje približno odgovara srednjem vremenu na nultom meridijanu – Greenwichu (Šikić, 2002). Prizemna se meteorološka motrenja obavljaju po srednje europskom (SEV) ili srednjem lokalnom vremenu (SLV) koje je vrlo blisko SEV-u. SEV se razlikuje za 1 sat u odnosu na UTC. Od posljednje nedjelje u ožujku do posljednje nedjelje u listopadu traje ljetno ukazno vrijeme (LJUV) koje se 2 sata razlikuje od UTC. U daljnjem tekstu ove analize, zbog lakšeg razumijevanja, rabić će se ljetno ukazno vrijeme.

Tablica 1.1. Primjeri različitog načina određivanja vremena za potrebe meteorologije. Objašnjenje kratica dano je u gornjem tekstu.

UTC	0	3	6	9	12	15	18	21
SEV	1	4	7	10	13	16	19	22
LJUV	2	5	8	11	14	17	20	23

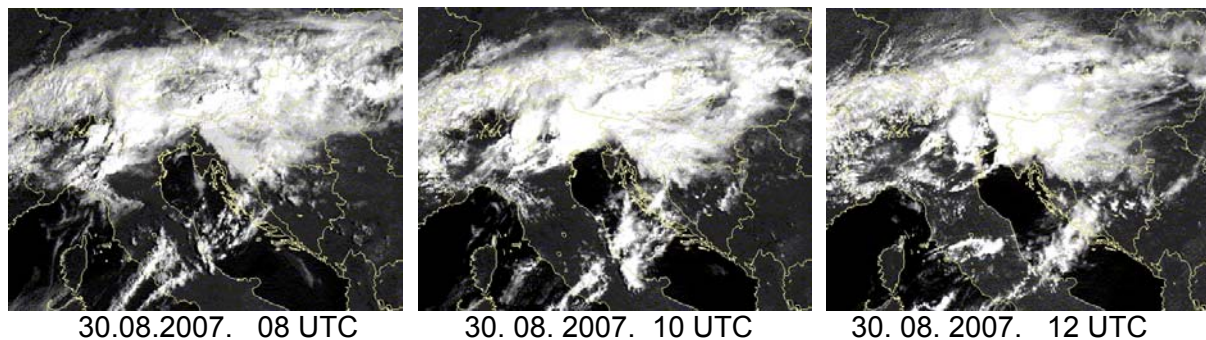
2. VREMENSKE ZNAČAJKE U SINOPTIČKIM I MEZO RAZMJERIMA

U noćnim je satima 30. kolovoza 2007. plitka ciklona sa zatvorenom izobaram od 1010 hPa i središtem nad Genovskim zaljevom zahvaćala zapadno Sredozemlje. Njezina se prednja strana prostirala sve do sjevernog Jadrana. Sredinom dana ciklona se pomakla prema istoku i zahvatila cijeli Jadran i Apeninski poluotok, a prateća visinska dolina na 850 hPa nalazila se nad većim dijelom zapadnog Sredozemlja i Jadranskog mora (slika 2.1).



Slika 2.1. Prizemna sinoptička karta (lijevo) i AT 850 (desno) nad Europom 30. kolovoza 2007. u 12 UTC (izvor podataka: DWD)

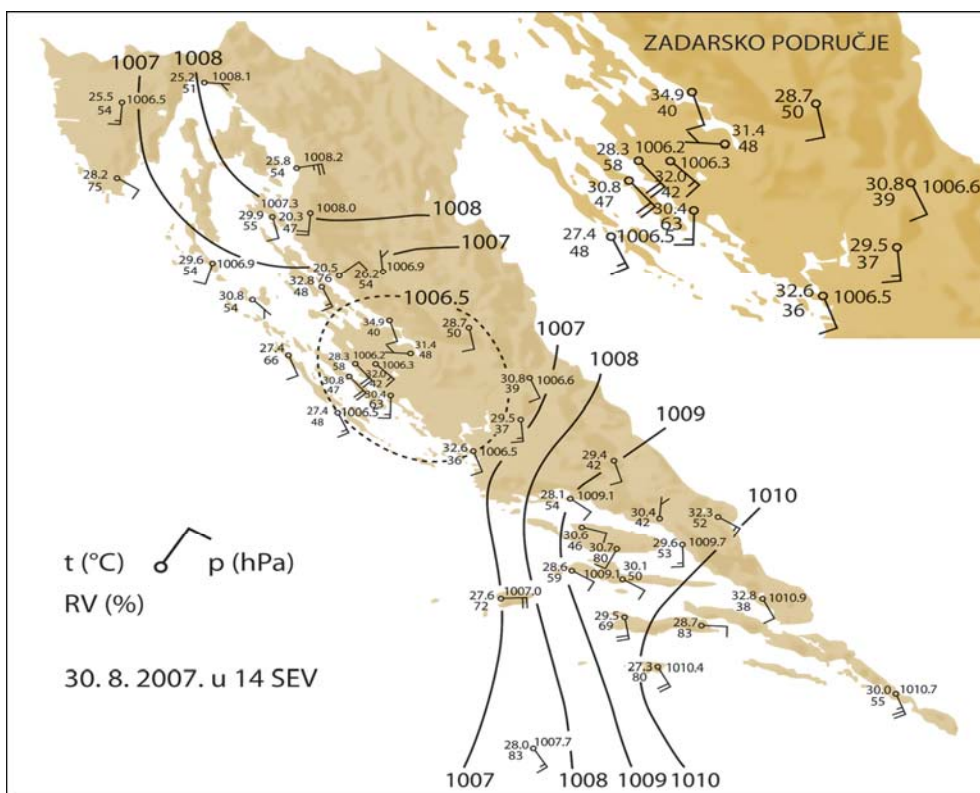
Iz tog je razloga nad jadransko područje pritjecao vlažan i topao zrak s jugozapada. Istodobno je nad zapadnom Europom jačala anticiklona sa središtem od 1030 hPa nad sjevernim Atlantikom. U noćnim satima 31. kolovoza 2007. ciklona se podijelila na dva manja područja niskog tlaka: jedno iznad Jadranskog mora, a drugo iznad Ligurskog.



Slika 2.2. Prikaz oblaka u vidljivom dijelu spektra (meteosat 8 – High Resolution Visible)

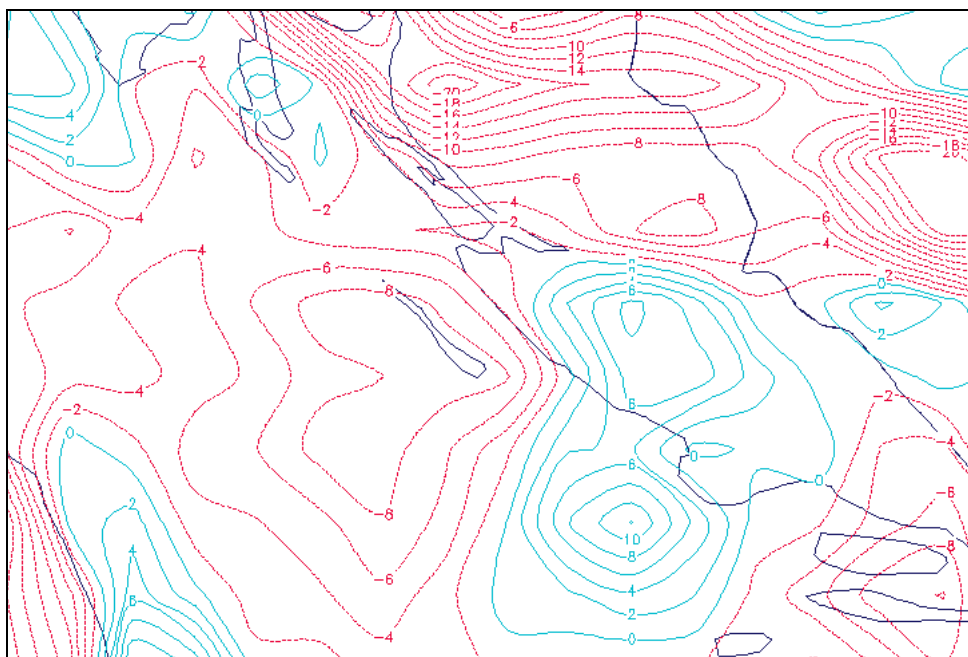
Na satelitskim slikama u vidljivom dijelu spektra (slika 2.2) uočava se sjeverozapadno od područja Hrvatske oblačni sustav vezan uz frontu iznad Alpa i sjeverne Italije. Oblaci na području srednjeg Jadrana posljedica su pritjecanja vlažnog zraka u jakoj jugozapadnoj struji. Nad područjem Kornata tijekom većeg dijela dana bilo je malo ili umjereno oblačno.

Detaljnija analiza polja tlaka na istočnoj jadranskoj obali ukazala je na mogućnost stvaranja vrlo plitke mezociklone nad širim zadarskim područjem sa središtem od 1006.2 hPa nad Zadrom već 30. kolovoza 2007. u 15 sati (slika 2.3). Kornatsko se područje nalazilo na južnom rubnom dijelu područja niskog tlaka kojeg je zatvarala izobara od 1006.5 hPa. Izobara od 1007 hPa se duboko uvukla u ličko područje, a na obali je najviši tlak (oko 1010 hPa) prevladavao u južnoj Dalmaciji. Da bi uistinu i s velikom vjerojatnošću potvrdili postojanje takve mezociklone nedostaju nam podaci mjerenja tlaka zraka na još više mjernih postaja. Na širem zadarskom području puhao je umjeren do jak SE vjetar s najvećom brzinom u Zadru. Brzinu juga, osobito maksimalne udare juga na Jadranu, nije lako prognozirati jer ona ovisi o ciklonalnoj aktivnosti posebice ciklonama u podsinoptičkim razmjerima kojima su često puta nepoznati uzroci stvaranja (Ivančan-Picek i dr., 2006).

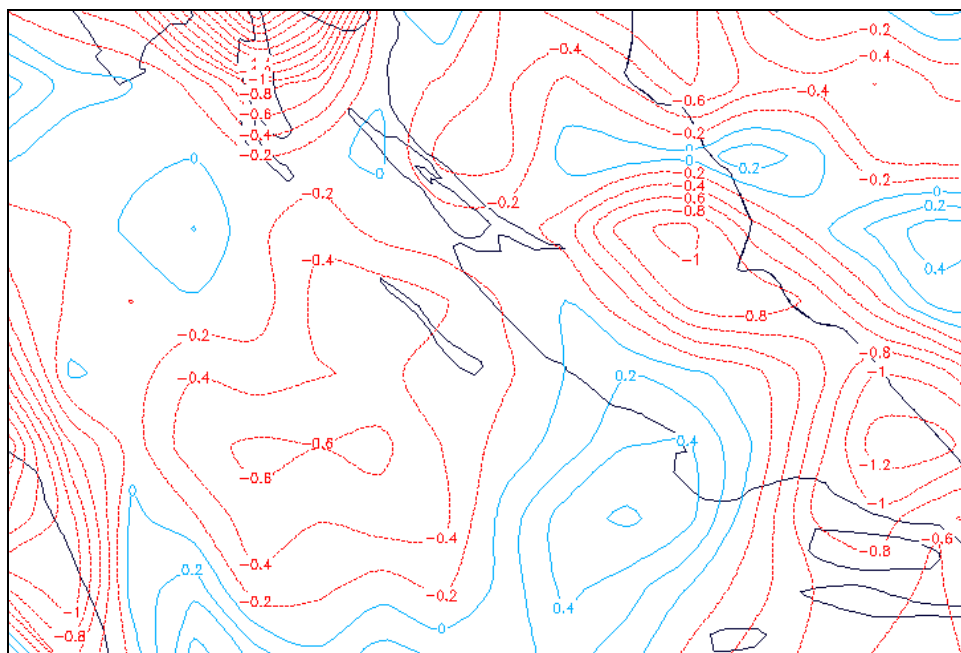


Slika 2.3. Mezoanaliza polja tlaka na hrvatskoj jadranskoj obali 30. kolovoza 2007. u 14 SEV.

Osim osnovnog prizemnog polja tlaka zraka zanimljivo je pogledati i polja divergencije i vertikalnih brzina u donjim slojevima atmosfere. U polju divergencije može se uočiti da je područje oko otoka Kornata bilo u polju najviših vrijednosti konvergencije. Prikazane su vrijednosti divergencije na plohi 925 hPa (slika 2.4). Konvergencija u prizemnom sloju povezana je s uzlaznim gibanjem što je vidljivo iz polja vertikalne brzine omega na 925 hPa (slika 2.5). Uzlazno gibanje bilo je upravo najjače iznad Jadrana u području Dugog otoka i okolnog mora, uključujući i područje otoka Kornata.



Slika 2.4. Polje analize ECMWF-a za 30. kolovoza 2007. u 12 UTC; Divergencija na plohi 925 hPa (10^{-5}s^{-1}). Crveno: konvergencija, plavo: divergencija.



Slika 2.5. Polje analize ECMWF-a za 30.08.2007. u 12 UTC; Vertikalna brzina (omega) na plohi 925 hPa (Pa s^{-1}). Crveno: negativne vrijednosti omega – uzlazno gibanje, Plavo: pozitivne vrijednosti omega – silazno gibanje.

3. PRIZEMNA MEZOANALIZA I USPOREDBA S NUMERIČKIM SIMULACIJAMA

3.1. Prizemna prostorna i vremenska mezoanaliza

Za početak i širenje požara na otvorenom terenu bitnu ulogu imaju temperatura i vlažnost zraka te brzina i smjer strujanja zraka (Vučetić, 2001) pa je praćenje dnevnih promjena tih elemenata započelo dan prije početka požara na Kornatu (slika 3.1). Prema podacima meteorološke postaje u Zadru temperatura zraka se u promatranom razdoblju 29–30. kolovoza 2007. nije spuštala ispod 23.3°C, a maksimalna je dosegla 29.1°C. To pokazuje da je prevladavalo toplo vrijeme s toplim noćima jer se temperatura zraka nije spuštala ispod 20°C. Zadarski maksimum temperature zraka zabilježen je u 16.20 h LJUV. Temperatura zraka je od ranojutarnjih sati 30. kolovoza 2007. u Zadru postupno rasla i do 11 h (približan početak požara) narasla na oko 27°C. Preko podnevnih sati temperatura je bila oko 28°C nakon čega je u poslijepodnevnim satima postigla svoj maksimum. To je bio pravilan dnevni hod temperature zraka s ranojutarnjim minimumom i poslijepodnevnim maksimumom. Na najbližoj je klimatološkoj postaji Vela Sestrica 30. kolovoza 2007. minimalna dnevna temperatura zraka iznosila 25.0°C, a maksimalna dnevna temperatura zraka 29.0°C.

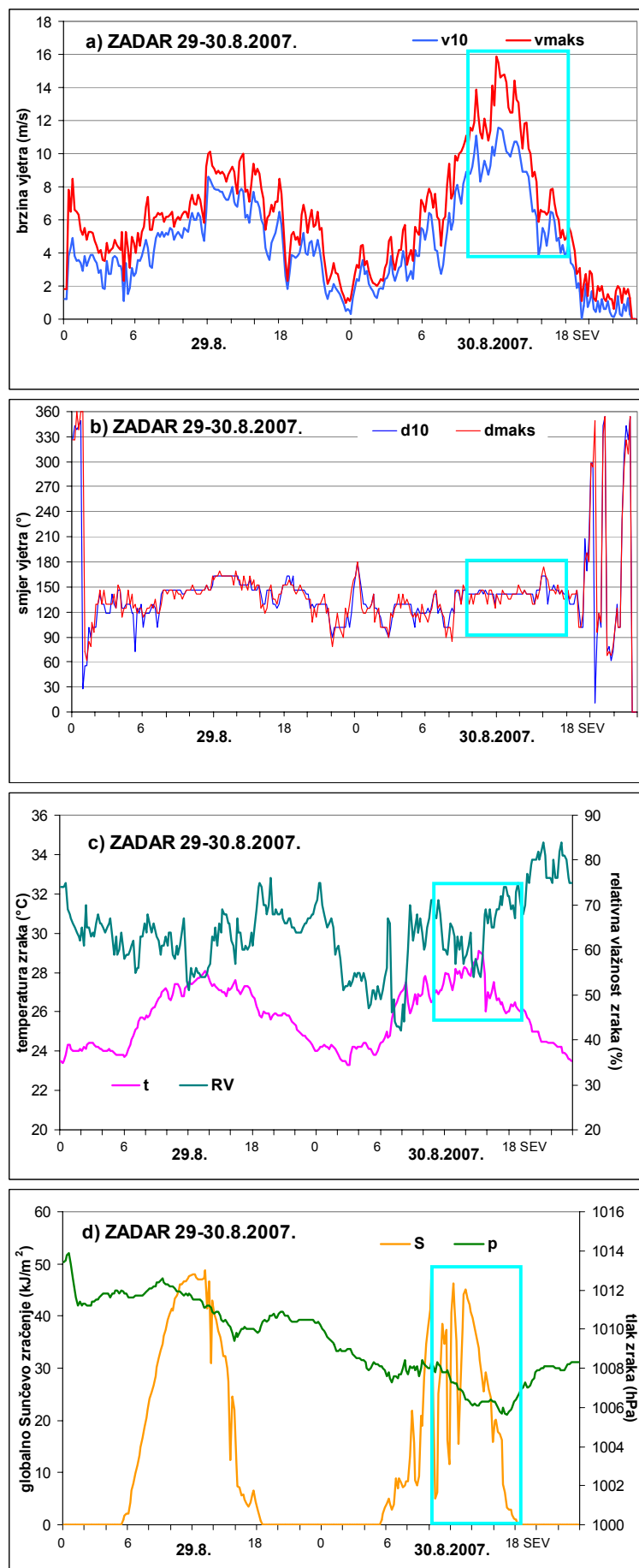
Uobičajeno je da relativna vlažnost zraka ima suprotni dnevni hod u odnosu na temperaturu zraka. Međutim, u ovoj je situaciji u Zadru minimum relativne vlažnosti od 42% zabilježen 30. kolovoza 2007. u 9 h, a nakon čega je u roku od samo jednog sata relativna vlažnost naglo porasla na 70%. To je bilo povezano s advekcijom toplog i vlažnog zraka s morske strane na što ukazuje i naglo okretanje smjera vjetra iz E na SE i povećanje srednje 10-minutne brzine vjetra iznad 10 m/s što se smatra već jakim vjetrom. Još jedan (sekundarni) minimum relativne vlažnosti zraka od 54%, što je bilo za očekivati, pojavio se u vrijeme maksimalne dnevne temperature zraka, a zatim je s padom temperature i relativna vlažnost zraka ponovo naglo porasla i u večernjim satima postigla maksimum od 84%.

U Zadru je tlak zraka postupno padao od 29. kolovoza 2007. što je ukazivalo na promjenu vremena. Minimalna vrijednost tlaka zraka od 1005.6 hPa zabilježena je 30. kolovoza 2007. u 18.20 h. Na postaji Vela Sestrica najniža vrijednost tlaka zraka izmjerena je sat ranije. Horizontalna se vidljivost na toj otočkoj postaji od 15 km u ranojutarnjim satima smanjila na 10 km tijekom dana. Nebo je najviše bilo prekriveno oblacima (8 desetina) između 8 h i 14 h. Prema podacima zadarske postaje, na kojoj se motre i rodovi i vrste oblaka, nebo je najviše bilo zastrto oblacima vertikalnog razvoja kumulusima, niskim oblacima stratokumulusima, srednjim oblacima altokumulusima te visokim oblacima cirusima što je isto tako ukazivalo na približavanje fronte odnosno na poremećaj vremena. Budući da nebo nije bilo potpuno prekriveno grudastim niskim i srednjim oblacima te vlaknastim visokim oblacima, vrijednosti su globalnog Sunčevog zračenja nekoliko puta tijekom dana padale na minimalne vrijednosti ($\leq 10 \text{ kJ/m}^2$) i rastle na maksimalne ($\geq 40 \text{ kJ/m}^2$) u skladu sa zaklonjenošću Sunca oblacima. U Zadru je 30. kolovoza 2007. između 11.37 h i 12.05 h zabilježena kiša u tragovima (0.0 mm), a na postaji Vela Sestrica nije bilo oborine.

Detaljnija analiza brzine i smjera vjetra u Zadru 30. kolovoza 2007. pokazuje da je veći dio dana puhao SE vjetar poznat kao jugo. Jugo je vlažan, topao i jednoličan jugoistočni vjetar (ESE–SSE smjerova što ovisi o reljefu tla). Nastaje na prednjoj strani sredozemne ciklone, a zbog dizanja vlažnog zraka na fronti i uz brda često puta je praćeno oborinom. Jako jugo stvara velike valove i otežava plovidbu.

Tablica 3.1. Prizemni 10-minutni meteorološki podaci za Zadar 30. kolovoz 2007. Objašnjenje kratica nalazi se pod slikom 3.1.; osjenčane su ekstremne vrijednosti i brzine vjetra ≥ 10.0 m/s; h – sati, m – minute SEV).

h	m	v ₁₀ (m/s)	d ₁₀ (°)	v _{maks} (m/s)	d _{maks} (°)	t (°C)	RH (%)	p (hPa)	S (kJ/m ²)
8	0	4.4	101	6.2	101	27.0	42	1007.9	8.4
	10	5.3	118	8.1	101	27.1	48	1007.7	8.3
	20	6.4	124	9.4	84	27.2	44	1008.1	13.1
	30	5.4	118	7.3	118	27.5	53	1008.0	21.8
	40	5.9	146	7.6	141	26.5	60	1008.1	15.7
	50	7.7	146	9.9	146	25.9	70	1007.9	8.5
9	0	8.1	141	9.6	146	26.0	68	1008.1	7.6
	10	7.5	129	10.0	129	26.4	62	1007.6	9.3
	20	7.0	146	10.1	152	26.9	65	1008.0	20.9
	30	8.2	146	10.4	146	26.4	68	1008.4	18.9
	40	8.6	141	10.8	141	26.9	64	1008.2	28.3
	50	8.9	141	11.1	129	26.8	67	1008.1	34.6
10	0	8.7	141	10.5	141	26.9	64	1008.0	38.1
	10	8.8	141	11.6	129	27.7	60	1008.0	41.2
	20	9.2	141	11.4	141	27.8	61	1008.3	47.1
	30	10.0	141	11.9	141	27.4	65	1008.1	22.2
	40	11.1	146	13.9	141	26.8	67	1007.8	5.1
	50	9.7	146	12.3	146	26.5	71	1008.3	6.1
11	0	8.3	141	11.3	146	26.6	71	1008.2	25.2
	10	8.9	146	10.9	141	26.9	68	1008.1	29.1
	20	9.6	141	12.1	129	27.1	67	1007.8	38.6
	30	9.2	141	11.5	146	26.9	71	1007.8	34.6
	40	8.7	141	10.8	146	27.1	68	1007.8	37.4
	50	9.3	141	11.4	135	27.1	65	1007.9	16.3
12	0	10.4	129	14.1	124	27.4	60	1007.6	11.6
	10	9.9	141	12.9	141	28.0	60	1007.3	40.6
	20	10.8	141	15.9	135	27.9	59	1007.3	46.3
	30	11.6	141	15.5	129	27.9	61	1007.2	41.7
	40	11.5	141	14.6	146	27.5	66	1007.2	35.2
	50	11.4	141	14.7	141	27.1	65	1006.9	15.4
13	0	10.7	141	14.8	141	27.6	63	1006.9	27.0
	10	10.1	141	14.3	135	28.2	57	1006.8	37.7
	20	10.0	141	12.8	135	27.9	63	1006.7	44.1
	30	9.8	141	12.5	141	28.1	60	1006.4	45.1
	40	10.3	141	12.5	141	27.7	63	1006.4	43.4
	50	10.7	141	14.4	141	28.2	57	1006.3	42.2
14	0	10.7	141	13.3	152	28.3	58	1006.2	40.8
	10	10.4	141	13.1	146	28.2	59	1006.1	39.6
	20	9.7	141	11.5	141	27.9	61	1006.2	37.8
	30	8.9	146	10.3	146	27.8	64	1006.1	35.9
	40	8.9	141	11.8	141	28.2	58	1006.1	33.8
	50	8.9	141	11.9	141	28.5	54	1006.2	31.5
15	0	8.6	141	10.3	141	28.6	58	1006.3	28.7
	10	7.6	141	10.0	129	28.7	56	1006.3	25.5
	20	6.5	129	8.6	129	29.1	55	1006.3	29.3
	30	6.6	146	8.9	141	29.0	54	1006.3	28.1
	40	6.2	146	8.3	135	28.9	59	1006.3	25.9
	50	3.8	146	5.9	146	27.9	68	1006.4	24.3
16	0	4.4	163	6.6	163	26.0	69	1006.3	15.8
	10	5.5	163	6.5	174	27.0	66	1006.3	20.0
	20	5.2	163	6.5	163	26.7	69	1006.2	20.1
	30	4.4	129	6.3	158	27.0	65	1006.0	17.9
	40	5.2	146	6.5	146	27.5	65	1005.8	17.4
	50	6.5	146	7.8	146	27.1	67	1005.7	16.3
17	0	6.4	152	7.9	146	26.6	69	1006.0	7.7
	10	5.9	146	7.0	141	26.7	69	1005.7	6.2
	20	4.7	146	6.3	152	26.4	72	1005.6	3.3
	30	4.9	141	6.0	141	26.5	70	1005.8	3.0
	40	4.0	146	4.9	146	26.1	74	1005.9	3.0
	50	4.5	141	5.4	135	25.9	74	1006.0	2.0
18	0	3.9	141	4.8	135	26.0	72	1006.3	1.2
	10	4.0	141	4.9	146	26.0	72	1006.4	1.0
	20	4.6	129	5.6	135	26.4	69	1006.6	0.0
	30	3.4	129	5.3	141	26.3	70	1006.7	0.0
	40	3.3	129	4.7	141	26.5	67	1006.9	0.0
	50	3.0	141	4.1	141	26.3	73	1007.0	0.0
19	0	1.9	146	2.7	146	26.1	75	1007.3	0.0
	10	2.2	124	2.9	101	26.0	71	1007.0	0.0
	20	1.7	101	3.1	101	26.1	68	1007.0	0.0
	30	0.0	101	1.1	118	26.1	68	1007.1	0.0
	40	0.8	208	2.1	180	26.0	70	1007.4	0.0
	50	2.1	169	2.7	191	25.7	77	1007.5	0.0
20	0	0.7	208	1.4	180	25.6	75	1007.8	0.0
	10	1.1	298	2.9	298	25.3	79	1007.9	0.0
	20	1.7	298	2.7	293	25.0	80	1007.9	0.0
	30	0.6	11	1.3	349	25.0	80	1008.0	0.0
	40	0.4	90	1.1	96	25.0	80	1008.0	0.0
	50	1.1	118	2.0	118	25.0	82	1008.1	0.0
21	0	0.4	101	1.7	107	24.8	80	1008.1	0.0
	10	1.2	343	2.0	332	24.5	82	1008.1	0.0
	20	0.6	354	1.3	354	24.5	84	1008.1	0.0
	30	0.6	73	1.1	68	24.5	81	1008.1	0.0
	40	1.1	79	1.5	73	24.5	76	1008.1	0.0
	50	0.4	62	1.2	68	24.4	76	1008.0	0.0
22	0	0.2	73	1.2	79	24.4	76	1008.0	0.0
	10	0.1	101	0.6	101	24.4	75	1008.0	0.0
	20	0.4	129	1.7	124	24.4	80	1007.9	0.0
	30	1.4	101	2.0	101	24.3	76	1007.9	0.0
	40	0.3	101	1.8	101	24.2	76	1007.9	0.0
	50	0.2	231	1.0	231	24.2	82	1008.1	0.0
23	0	0.9	309	1.9	293	24.2	84	1008.2	0.0
	10	0.5	343	1.5	326	23.9	81	1008.2	0.0
	20	1.3	326	1.8	309	23.9	81	1008.3	0.0
	30	0.3	354	1.3	354	23.8	80	1008.3	0.0
	40	0.0	0	0.0	0	23.6	76	1008.3	0.0
	50	0.0	0	0.0	0	23.6	75	1008.3	0.0



Slika 3.1. Dnevni hodovi
 a) srednja 10-minutna brzina vjetra (v_{10} , m/s) i maksimalni udar vjetra (v_{maks} , m/s),
 b) prevladavajući 10-minutni smjer vjetra (d_{10} , °) i smjer maksimalnog udara vjetra unutar 10 minuta (d_{maks} , °),
 c) terminska 10-minutna temperatura (t , °C) i relativna vlažnost zraka (RV , %),
 d) tlak zraka (p , hPa) i globalno Sunčevo zračenje (S , kJ/m²) za Zadar u razdoblju 29-30. kolovoza 2007.
 Pravokutnik označava vrijeme požara na Kornatu 30. kolovoza 2007. od 10 do 17 SEV.

U Zadru su jaki udari juga (≥ 10.8 m/s prema Beaufortovoj ljestvici) započeli 30. kolovoza 2007. u 10.30 h i trajali sve do 16 h (tablica 3.1). Najveći udar vjetra iznosio je 15.9 m/s (57 km/h) i zabilježen je u 13.20 h nakon čega je odmah i zabilježena najveća srednja 10-minutna brzina vjetra od 11.6 m/s (42 km/h). Jako jugo sa srednjom 10-minutnom brzinom vjetra ≥ 10.8 m/s puhalo je u vremenskim intervalima 11.30 h – 11.40 h i 13.10 h – 14.00 h. Međutim, vjetar sa srednjom 10-minutnom brzinom vjetra oko 10 m/s (od 9.7 m/s do 10.7 m/s) trajao je dulje, sve do 15.20 h. Nakon toga jugo je postupno slabilo i u 20.20 h vjetar je okrenuo na E smjer sa srednjom 10-minutnom brzinom 1.7 m/s. U večernjim satima brzine vjetra nisu bile veće od 2.1 m/s pa je vjetar gotovo utihnulo. Prevladavali su povjetarac i lagan povjetarac promjenjiva smjera od E preko NE do NW.

Prema opaženim podacima jačine i smjera vjetra na postaji Vela Sestrica najjači SE vjetar od 4 Bf zabilježen je u terminima 11 h, 12 h, 14 h i 15 h, a SSE smjera iste jačine u 17 h. Međutim, vjetar nije diskretna nego kontinuirana veličina, te se može pojaviti jak ili olujan vjetar izvan termina motrenja. Upravo zbog toga motritelji bi trebali zabilježiti i vrijeme nastupa i prestanka vjetra jačeg od 6 Bf i 8 Bf izvan termina motrenja. Pod opisom vremena motritelj je na postaji Vela Sestrica napisao jako jugo, ali nažalost ne i vrijeme kada je to opaženo. Prema terminskim opažanjima može se samo zaključiti da je preko dana puhalo umjereno jugo što prema Beaufortovoj ljestvici odgovara srednjoj brzini od 5.5 m/s do 7.9 m/s. Do slabljenja juga došlo je u večernjim satima (1 Bf iz SE smjera u 20 h), a u sljedećem terminu motrenja u 22 h vjetar je okrenuo na N smjer jačine 1 Bf.

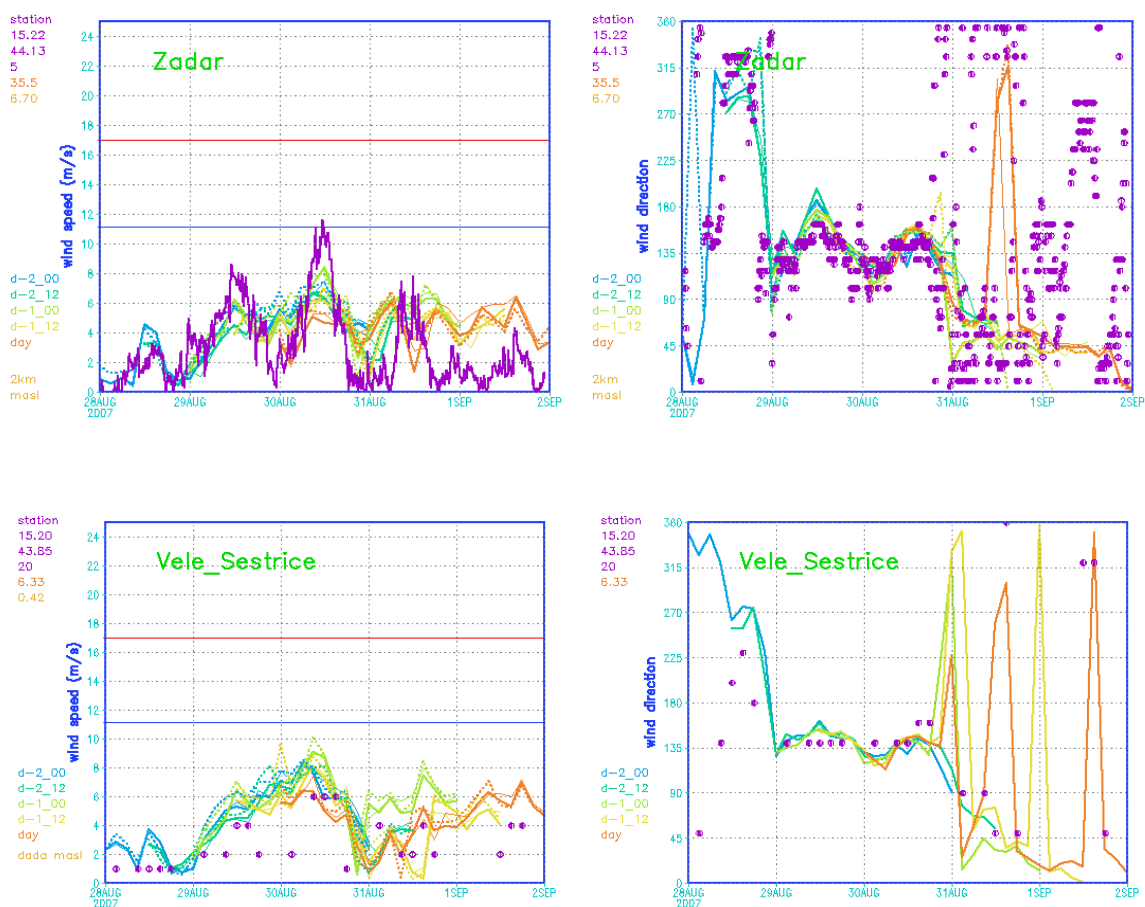
3.2. Usporedba prognoze modela ALADIN/HR s mjerenjima

Kako bi se stekao što bolji uvid u raspodjelu meteoroloških polja u vremenu i prostoru, rabljeni su rezultati operativnog modela za numeričku prognozu vremena ALADIN/HR. Kvaliteta prognoze ovim modelom uspoređena je s mjerenjima meteoroloških parametara u razdoblju od 28. do 30. kolovoza 2007. Prognozirane vrijednosti tlaka, temperature, brzine i smjera vjetra su uspoređene s mjerenjima sa sinoptičkih i klimatoloških postaja. Pri ovoj analizi upotrebljena su sva raspoloživa mjerenja sa klimatološke postaje Vela Sestrica te sinoptičkih (satnih) i automatskih (10 minutnih) postaja Zadar, Zadar-aerodrom i Šibenik.

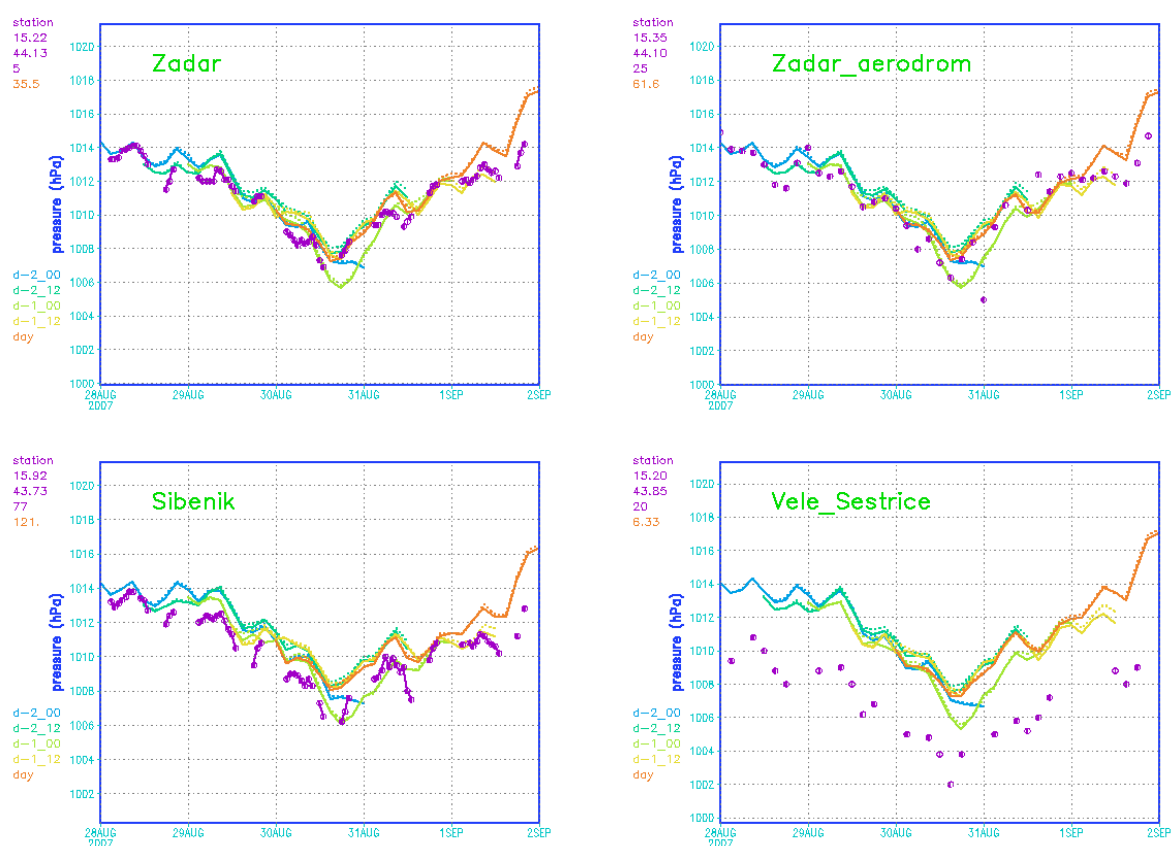
Na svim slikama su mjerenja prikazana ljubičastom bojom, a različite boje prikazuju rezultate modela (prognoze) iz različitih početnih analiza odnosno termina.

Slika 3.2.1 prikazuje vremenski hod brzine i smjera vjetra u Zadru i Veloj Sestrici. Može se uočiti da je izmjerena brzina vjetra u Zadru bila veća od prognozirane, odnosno da je prognoza modela ALADIN/HR podcijenila brzinu strujanja. Na postaji Vela Sestrica izmjerena brzina odgovarala je prognozi za tu lokaciju.

Satne vrijednosti prizemnog tlaka zraka izmjerene su 30. kolovoza 2007. na postajama Zadar i Šibenik te trosatne vrijednosti izmjerene na postajama Zadar-aerodrom i Vela Sestrica (slika 3.2.2) pokazuju vrlo izražen minimum oko 17 h. Na postaji Vela Sestrica postoji pomak između prognozirane vrijednosti tlaka zraka i izmjerenih vrijednosti. Razlog tome je što su prognozirane vrijednosti svedene na srednju morsku razinu, a izmjerene predstavljaju tlak zraka izmjeren na visini postaje i nisu svedene na srednju morsku razinu.



Slika 3.2.1. Usporedba mjerenja smjera i brzine vjetra (ljubičasto) s rezultatima modela ALADIN/HR za postaje Zadar (srednja 10-minutna brzina (lijevo) i smjer vjetra na 10 m nad tlom (desno)) i Vela Sestrica (brzine vjetra u terminima motrenja pretvorene iz Bf u m/s (lijevo) i smjer vjetra (desno)). PUNE i isprekidane linije označavaju prognoziranu brzinu vjetra s 8 km i 2 km horizontalnom razlučivosti koje su započele iz različitih analiza. Plava i crvena vodoravna crta na grafovima brzine vjetra označavaju granice za jaki odnosno olujni vjetar.



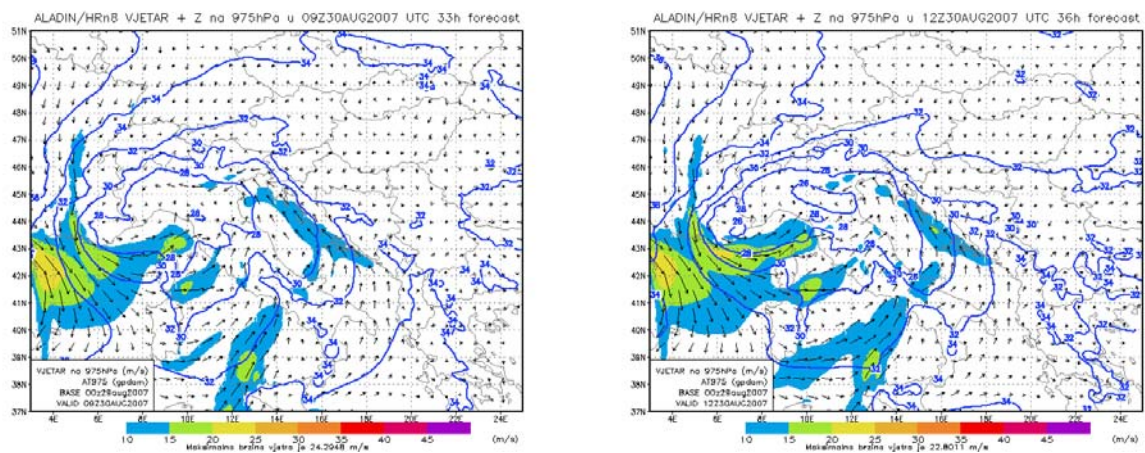
Slika 3.2.2. Usporedba mjerenja tlaka zraka (ljubičasto) s rezultatima modela za sinoptičke postaje Zadar, Zadar-aerodrom i Šibenik, te klimatološku postaju Vela Sestrica. Pune i isprekidane crte označavaju prognozirani tlak zraka za te postaje s dvije različite verzije modela, za prognoze koje su započele iz različitih analiza. Tlak sa sinoptičkih postaja je sveden na srednju razinu mora, a tlak s klimatološke postaje Vela Sestrica predstavlja tlak izmjeren na nadmorskoj visini na kojoj se nalazi instrument. Sve prognozirane vrijednosti tlaka su svedene na srednju razinu mora. Stoga postoji pomak između prognoziranih i mjerenih vrijednosti tlaka za klimatološku postaju, ali se može pratiti promjena tlaka na postaji.

Prognoza započeta iz analize 29. kolovoza 2007. u 00 UTC daje najveći pad tlaka zraka koji, prema subjektivnoj ocjeni, najbolje odgovara izmjerenim vrijednostima. Iako na postaji Vela Sestrica postoji pomak između prikazanih izmjerenih vrijednosti tlaka i onih prognoziranih, također možemo uočiti nagli pad pa zatim porast. Prognozirani lokalni minimum u polju tlaka zraka postiže se nešto kasnije nego što je izmjereno. Izmjereni minimum manje je izražen od prognoziranog na postajama Zadar i Zadar-aerodrom, dok se prognozirane vrijednosti na postajama Šibenik i Vela Sestrica bolje slažu s mjerenim (kada uvažimo pomak u polju tlaka za Vela Sestricu).

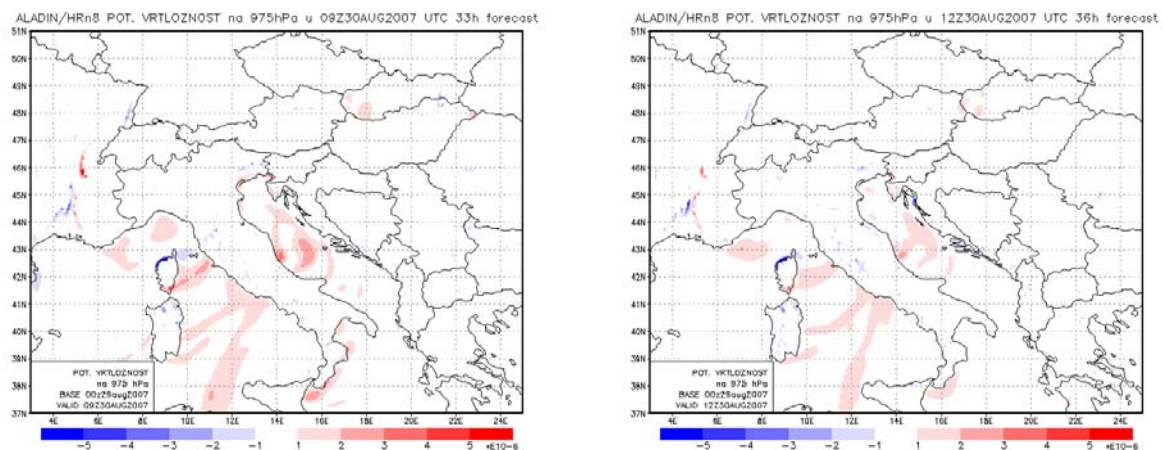
Nagli pad tlaka zraka, a zatim i njegov porast, te pojačano strujanje vjetera tijekom 30. kolovoza 2007. na širem zadarskom području potvrđuju kako analize temeljene na raspoloživim meteorološkim podacima tako i prognoze dobivene numeričkim prognostičkim modelom ALADIN/HR.

3.3. Prognostička polja modela ALADIN/HR pri tlu

U cilju boljeg uvida u prostornu raspodjelu meteoroloških parametara prikazani su i rezultati modela ALADIN/HR. Budući da se rezultati modela odnosno prognozirane vrijednosti započete iz analize od 29. kolovoza 2007. u 00 UTC (u 2 h po ljetnom ukaznom vremenu) najbolje slažu s izmjerenim podacima (slike 3.2.1 i 3.2.2), one su nadalje primijenjene za prostornu procjenu stanja atmosfere.



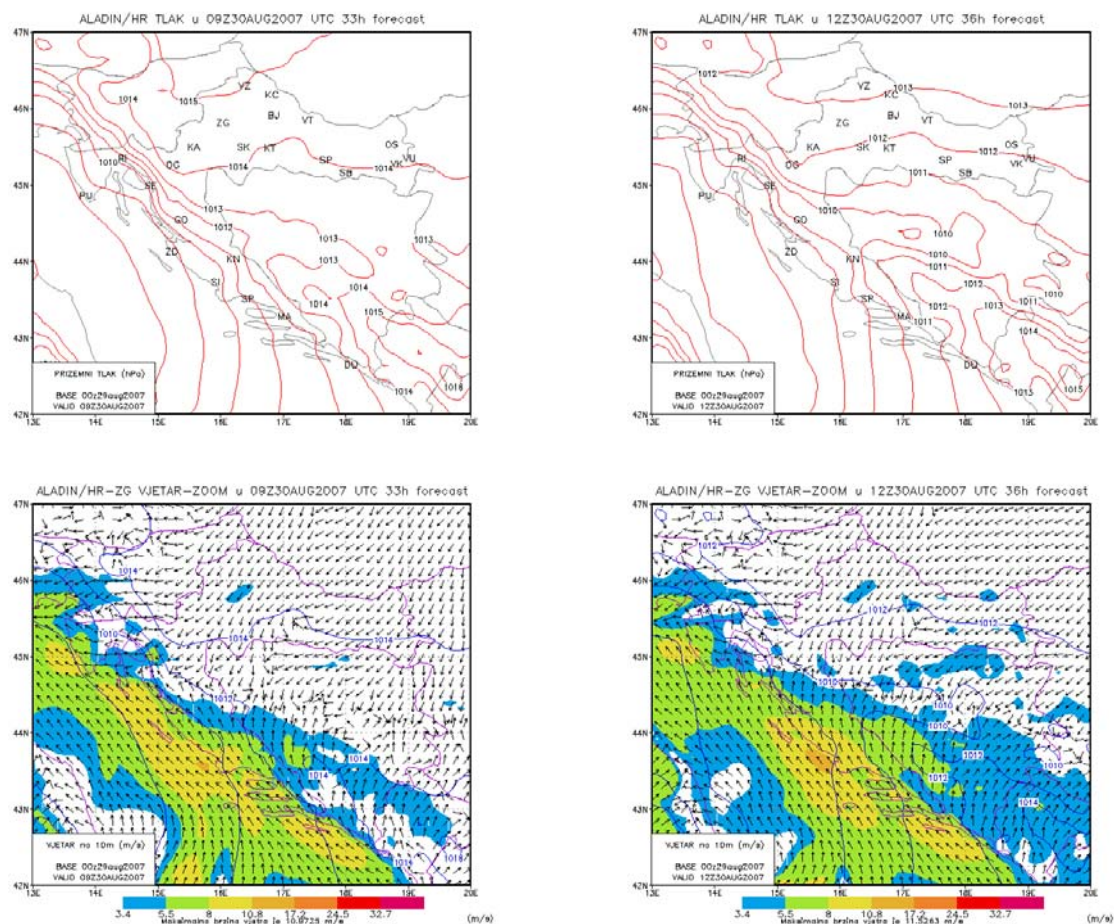
Slika 3.3.1. Apsolutna topografija (plave linije), smjer (strelice) i brzina vjetra (osjenčano) na izobornoj plohi 975 hPa (na približno 300 m visine nad tlom) prema rezultatima modela ALADIN/HR s horizontalnom razlučivosti 8 km za 30. kolovoza 2007. u 9 UTC (lijevo) i 12 UTC (desno). Početak simulacije modela 29. kolovoza 2007. u 00 UTC.



Slika 3.3.2. Potencijalna vrtložnost na visini izobarne plohe 975 hPa prema rezultatima modela ALADIN/HR za 30. kolovoza 2007. u 9 UTC (lijevo) i 12 UTC (desno). Početak simulacije modela 29. kolovoza 2007. u 00 UTC.

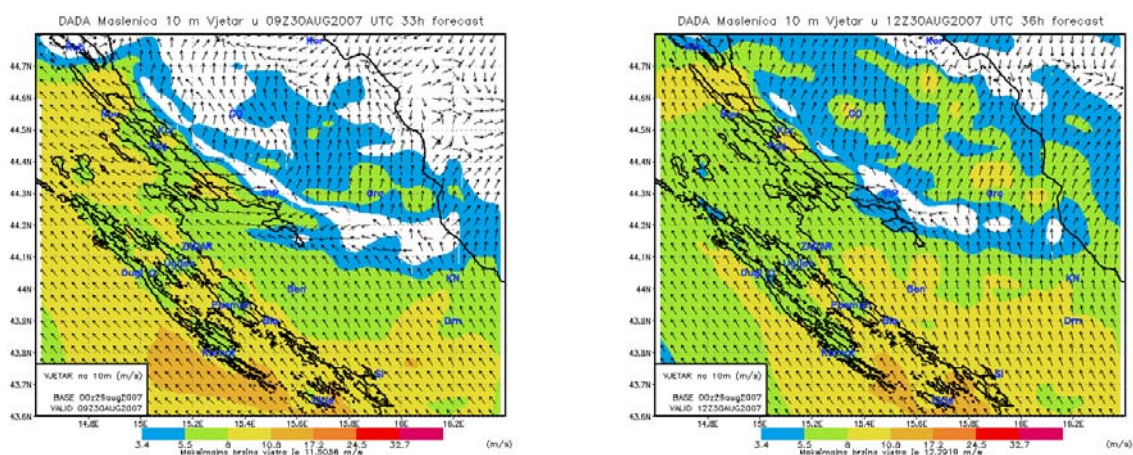
Polja vjetra, geopotencijalne visine i potencijalne vrtložnosti na izobornoj plohi 975 hPa prikazana su na slikama 3.3.1 i 3.3.2. Visina te plohe je oko 300 m nad morem i predstavlja izlaz modela po visini najbliži vrhovima otoka Kornat. I ovi rezultati ukazuju na postojanje ciklone čiji jugoistočni ogranak prelazi Apenine i ulazi nad Jadransko more.

Upravo zbog ciklonalne cirkulacije, ali i zbog utjecaja orografije na istočnom dijelu Jadrana, SW struja zakreće na SE nailaskom na našu obalu. Ciklonalna cirkulacija vidljiva je i u polju potencijalne vrtložnosti koje je povećano nad srednjim Jadranom (slika 3.3.2).



Slika 3.3.3. Prizemni tlak zraka (gore, crvene linije) te smjer (strelice) i 10-m brzina vjetra u m/s (dolje, osjenčano) prema rezultatima modela ALADIN/HR za 30. kolovoza 2007. u 9 UTC (lijevo) i 12 UTC (desno). Početak simulacije modela 29. kolovoza 2007. u 00 UTC.

Detaljniji uvid u prostornu razdiobu polja prizemnog tlaka zraka dobivenog modelom ALADIN/HR daje slika 3.3.3. U skladu s izobarnim poljem je i polje vjetra na 10 m nad tlom, koje pokazuje lokalni maksimum (narančaste boje) brzine veće od 10.8 m/s jugoistočno od Kornata. S obzirom na ogroman utjecaj orografije na polje vjetra, prikazani su i rezultati dinamičke adaptacije polja vjetra s finijom razlučivosti od 2 km (slika 3.3.4). Za razliku od rezultata na 8 km, ovdje se uočava polje lokalnog minimuma vjetra sjeverozapadno od otoka Kornata (svjetlozeleno), ali i područja s brzinom oko 17 m/s. To ukazuje na veliku promjenjivost brzine vjetra na području otoka Kornat.

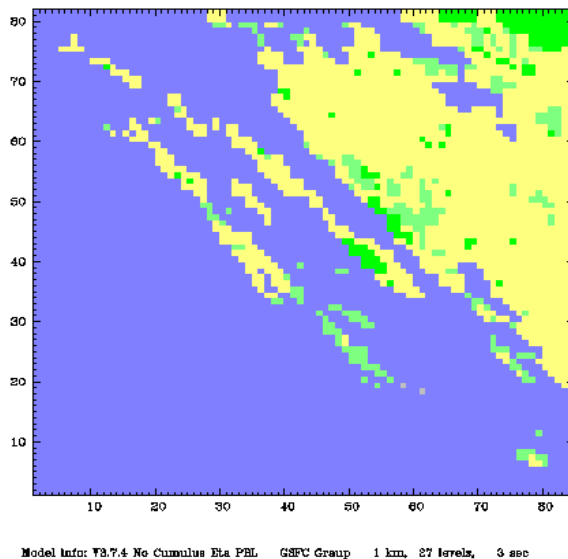


Slika 3.3.4. Smjer (strelice) i 10-m brzina vjetra u m/s (osjenčano) prema rezultatima modela ALADIN/HR visoke rezolucije od 2 km za 30. kolovoza 2007. u 9 UTC (lijevo) i 12 UTC (desno). Početak simulacije modela 29. kolovoza 2007. u 00 UTC.

3.4. Prognoštička polja modela MM5

MM5 je meteorološki nehidrostatski mezomodel razvijen u suradnji Penn State University i National Center for Atmospheric Research (Grell, 1995). Pogodan je za simulacije na ograničenom području u širokom opsegu rezolucija (od 50 km pa do manje od 1 km). Uz određena ograničenja i pretpostavke može se koristiti i na još finijim rezolucijama. U ovoj studiji simulirani su uvjeti nad širim područjem Kornata na horizontalnoj rezoluciji modela od 1 km x 1 km. To je dobiveno primjenom početnih i rubnih uvjeta iz operativnih ALADIN/HR izlaza. Prvo su simulirani na većem području uz horizontalnu rezoluciju 3 km x 3 km uz vremenski korak od 3 s. Potom su ti rezultati poslužili za simulaciju na području prikazanom na slici 3.4.1 koja sadrži 85 x 82 točke. Budući da je prostorna rezolucija početnih i rubnih uvjeta 8 km, a vremenska 3 sata, *ugniježđena* konfiguracija se rabi kako bi se umanjilo potrebno vrijeme za izračun simulacije uz istovremeno izbjegavanje *šokiranja* modela rubnim uvjetima preniske razlučivosti te zadržavanje kvalitete prognoze. Simulacije su izvedene na 30 vertikalnih razina od kojih je 10 u prvih 1 km visine. Najniža se razina nalazi na oko 20 m visine, a vrh se nalazi na 100 hPa (oko 15 km).

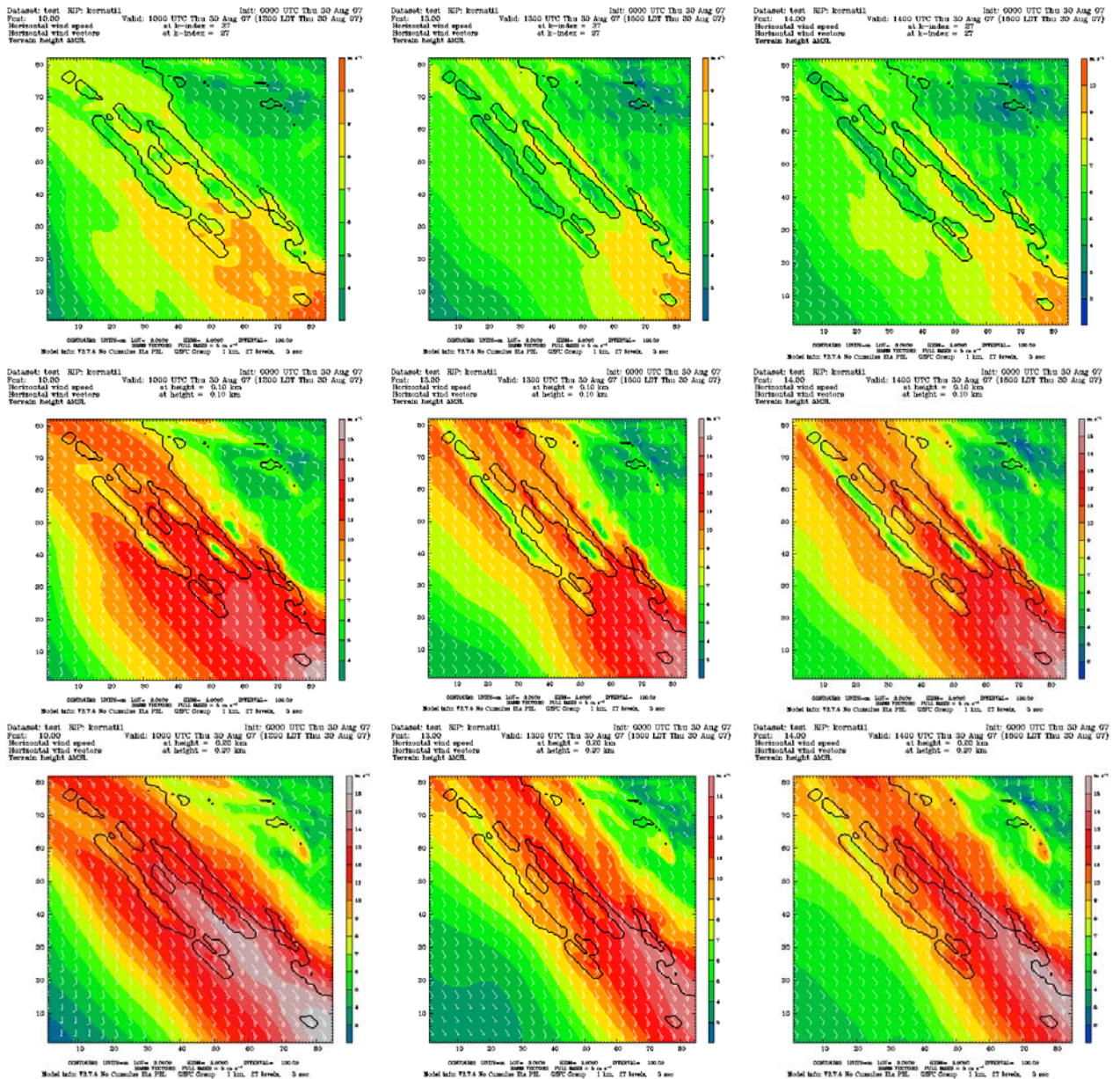
Dataset: test RIP: kornati1 Init: 0000 UTC Thu 30 Aug 07
Fcst: 10.00 Valid: 1000 UTC Thu 30 Aug 07 (1200 LDT Thu 30 Aug 07)
Land use category



Slika 3.4.1. Područje modela MM5 na kojoj su simulirani meteorološki uvjeti za vrijeme kornatskog požara 30. kolovoza 2007. na horizontalnoj rezoluciji od 1 km x 1 km.

Ovdje nas prvenstveno zanima prostorna razdioba vjetra u prizemnih 200 m visine, koliko je otprilike i visok vrh otoka Kornata. Polja vjetra na 10, 100 i 200 m 30. kolovoza 2007. u tri vremenska termina između 12 h i 16 h prikazana su na slici 3.4.2. Rezultati i ovim modelom pokazuju veliku horizontalnu, ali i vertikalnu promjenljivost. Nad morem brzine vjetra u 12 h prelaze 10 m/s. Nad kopnom su nešto manje s maksimumom oko 7 m/s. Kako vjetar jako ovisi o lokalnom terenu, brzine vjetra se u stvarnosti na pojedinim mikrolokacijama mogu zamjetno razlikovati od ovih dobivenih simulacijom modela rezolucije 1 km. Vjetar je kroz prikazano razdoblje imao tendenciju laganog slabljenja (za oko 1 m/s). Smjer vjetra bio je SE, s tim što kroz promatrano razdoblje blago okreće prema E (za manje od 15°).

Rezultati ove simulacije pokazuju da vjetar zamjetno jača s visinom. Iz prikazanih polja vjetra na visini od 100 m u 12 h, 15 h i 16 h može se uočiti da je vjetar osjetno jači nego pri tlu. Maksimalne brzine na toj visini prelaze 15 m/s. Nad Kornatom je vjetar nešto slabiji, s maksimalnim brzinama oko 8 m/s. Na visini od 200 m vjetar je još jači, s maksimumom iznad 16 m/s (slika 3.4.2).



Slika 3.4.2. Horizontalno polje vjetra dobiveno simulacijom nehidrostatičkim numeričkim modelom MM5 horizontalne rezolucije 1 km na plohama visine 10 m (gore), 100 m (sredina) i 200 m (dolje): brzina vjetra m/s (obojana), vektori vjetra (sive zastavice) za 30. kolovoza 2007. u 12 h (lijevo), 15 h (sredina) i 16 h (desno).

4. VERTIKALNA STRUKTURA ATMOSFERE I USPOREDBA S NUMERIČKIM SIMULACIJAMA

4.1. Vremenska analiza

Pomoću radio-sondažnih podataka temperature zraka te brzine i smjera vjetra iznad Zadar-aerodroma analizirani su vertikalni profili tih elemenata kao i izvedene veličine: potencijalna temperatura zraka, stabilnost zraka (Brunt-Väisäläova frekvencija) i vertikalno smicanje vjetra (Vučetić, 1988 i 1997) do 3 km visine za 30. kolovoza 2007. u 2 h i 14 h te 31. kolovoza 2007. u 2 h (tablica 4.1.1 i slika 4.1.1).

Vertikalni profili brzine vjetra 30. kolovoza 2007. pokazuju da je SE vjetar u donjim slojevima troposfere jačao od noćnog termina prema popodnevnim satima, a zatim okretanjem vjetra na ENE–E smjer slabio u noćnim satima sljedećeg dana. Budući da je potrebno ustanoviti vertikalnu strukturu atmosfere za vrijeme trajanja požara na Kornatu, detaljnije su analizirani visinski podaci nad zadarskim područjem 30. kolovoza 2007. u 14 h. U tom terminu brzina vjetra je od 5 m/s pri tlu (79 m/nm) narasla na 15 m/s (54 km/h) na visini 580 m što ukazuje na jako vertikalno smicanje vjetra (porast brzine vjetra od 2 m/s po 100 m visine). Nakon toga se brzina naglo smanjivala i na 1086 m pala na 6 m/s. U prvih 0.5 km do maksimuma brzine vjetar je postupno okretao od SE na SSE smjer, a u drugih 0.5 km na S smjer da bi u minimumu brzine puhao kao SSW. Okretanjem vjetra na SSW–SW smjer iznad 1 km od tla brzina mu se ponovo povećala i na oko 3 km dosegla 23 m/s. Temperatura zraka se postupno smanjivala od tla (31.8°C) do malo iznad maksimuma brzine vjetra (24.2°C na 664 m) iznad kojeg je u sloju od 160 m zabilježen porast temperature od 1.6°C (temperaturna inverzija 1°C/100 m). Taj se stabilni sloj bolje uočava na vertikalnom profilu potencijalne temperature zraka i stabilnosti zraka ($N = 0.022\text{--}0.032\text{ s}^{-1}$). Dakle, u prvih 0.5 km visine atmosfera je bila labilno stratificirana što je pogodovalo i uzlaznom dizanju zraka (na što je ukazivao i vertikalni razvoj oblaka kumulusa) i porastu brzine SE vjetra, a stabilni je sloj iznad toga utjecao na okretanje vjetra na SSW i smanjenje brzine vjetra do 1 km visine nad zadarskim područjem.

Budući da se takva visinska mjerenja izvode u Hrvatskoj samo na dvije postaje, u Zagreb-Maksimiru i na Zadar-aerodromu, za kornatsko područje vertikalna je struktura atmosfere simulirana numeričkim modelima ALADIN/HR i MM5. Kako bi se ocijenila vjerodostojnost tih procjena, s tim su modelima izračunati i vertikalni profili (pseudotempovi) za postaju Zadar-aerodrom i uspoređeni sa stvarnim radiosondažnim podacima te postaje za 30. kolovoza 2007. u 14 h (tablice 4.1.1–4.1.3 i slika 4.1.2). Model ALADIN/HR je znatno podcijenio promjenu brzine vjetra s visinom. Maksimalna brzina vjetra u donjem sloju troposfere je prema ALADIN-u bila za 40% manja, a prema MM5 za 20% manja od izmjerene na Zadar-aerodromu. Dok je ALADIN/HR procijenio maksimum brzine na približnoj visini (560 m) kao i radiosondažna mjerenja, MM5 je maksimum brzine dao gotovo 200 m niže (na 370 m). Simulacija s ALADIN-om je rađena svaka tri sata počevši od 2 h, a s MM5 svaki sat. Vertikalni je profil smjera vjetra relativno dobro procijenjen s oba modela. Međutim, ALADIN/HR nije simulirao temperaturnu inverziju iznad maksimuma brzine vjetra, dok je MM5 dao izotermiju (temperatura zraka se u tom sloju nije mijenjala) te i bolju ocjenu stabilnosti od ALADIN-a. Iz tablice 4.1.1 također se vidi da je ALADIN najveću brzinu do 1 km visine predvidio tri sata ranije, u 11 h. Iz toga slijedi da bi MM5 simulacija vertikalne

strukture atmosfere nad Kornatom mogla dati vjerodostojniju sliku nego ALADIN/HR. Stoga se daljnja visinska analiza nad kornatskim područjem osniva na rezultatima modela MM5 (slika 4.1.3).

Budući da su modelom MM5 simulirani vertikalni profili brzine i smjera vjetra te temperature zraka svaki sat, promatrane su vremenske promjene vertikalne strukture 30. kolovoza 2007. od 11 h do 19 h za vrijeme požara. Tijekom cijelog tog razdoblja prizemna temperatura zraka je procijenjena na oko 26°C, a najveće brzine vjetra od 12 m/s do 14 m/s na visini 150–220 m iznad tla. Vrlo jako vertikalno smicanje vjetra 3–4 m/s po 100 m bilo je između tla i visine maksimalne brzine vjetra. Do približno 100 m visine atmosfera je bila labilno stratificirana do 16 h što je pogodovalo i uzlaznim strujama u tom sloju. Iznad maksimuma brzine vjetra pojavio se stabilni sloj s porastom temperature zraka do 470 m visine u kojem je došlo do naglom smanjenja brzine vjetra i okretanja vjetra od SE na S smjer. Na približno 1 km visine vjetar je promijenio smjer na SW i ponovo pojačao s visinom.

Tablica 4.1.1. Vertikalni profil brzine (v, m/s) i smjera vjetra (d, °) prema radiosondažnim mjerenjima na Zadar-aerodromu i modelima ALADIN/HR i MM5 za Zadar-aerodrom i Kornate za 30. kolovoz 2007. Osjenčane su brzine vjetra ≥ 10.0 m/s.

h (m)	v	d						h	v	d						h	v	d									
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^\circ 6' \lambda = 15^\circ 18'$) prema radio-sondažnim mjerenjima																											
0 UTC									12 UTC									0 UTC									
79	1	135						79	5	115						79	1	70									
87	2	110						88	6	145						88	2	70									
95	3	85						133	7	145						105	3	70									
139	5	95						450	14	145						203	8	70									
184	6	100						533	14	155						284	7	80									
752	11	160						580	15	160						672	3	128									
780	11	165						664	13	167						767	2	140									
971	8	190						758	12	175						1378	0	0									
1196	6	195						806	10	180						1458	0	0									
1385	4	200						825	10	179						1498	1	325									
1517	4	200						940	8	175						2185	5	280									
1557	5	205						1086	6	205						2260	5	275									
1898	6	240						1204	7	230						2557	9	250									
2121	8	239						1497	10	250						2669	10	240									
2218	8	239						1527	11	250						2782	11	241									
3097	14	235						1971	11	215						2805	11	241									
3157	14	240						2229	14	235						3129	14	245									
								2643	18	237																	
								3140	23	240																	
h(m)	v	d	v	d	v	d	v	d	v	d	v	d	v	d	v	d	v	d									
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^\circ 6' \lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																											
	0 UTC			3 UTC			6 UTC			9 UTC			12 UTC			15 UTC			18 UTC			21 UTC			0 UTC		
0	3	135	1	125	1	115	5	125	5	155	5	160	4	145	3	120	1	155									
20	3	135	2	120	2	115	5	125	5	155	6	160	5	145	4	120	1	155									
70	5	130	3	125	3	120	7	130	6	155	6	160	7	150	5	125	1	180									
150	6	135	4	125	4	120	8	130	7	155	6	160	8	150	6	130	1	215									
260	8	140	5	130	5	125	9	135	8	155	7	160	8	155	6	145	2	240									
400	8	145	6	140	6	130	10	140	8	160	7	160	9	165	5	155	3	255									
560	8	155	8	150	8	140	10	150	9	165	7	170	8	170	5	175	4	265									
760	7	165	9	160	9	150	9	155	8	175	6	180	8	185	5	195	5	265									
970	6	185	9	170	9	160	9	165	8	190	6	195	7	195	6	215	5	260									
1210	5	210	7	180	7	175	8	185	8	205	6	210	7	210	7	230	7	250									
1480	6	220	5	205	5	195	8	205	8	220	8	225	8	225	8	235	9	240									
1770	8	230	7	220	7	230	8	225	10	235	10	235	10	230	8	240	9	225									
2100	9	235	10	225	10	240	10	235	13	240	13	235	11	235	9	235	10	220									
2440	10	245	12	235	12	245	14	245	18	245	17	240	13	240	11	230	12	225									
2810	11	250	14	240	14	250	18	245	21	245	20	245	15	240	13	225	14	235									
3220	13	250	15	240	15	250	19	245	20	245	22	250	18	245	15	235	18	240									
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^\circ 6' \lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu MM5																											
	9 UTC			10 UTC			11 UTC			12 UTC			13 UTC			14 UTC			15 UTC			16 UTC			17 UTC		
80	6	141	6	144	6	149	6	150	6	150	5	145	5	144	4	134	3	99									
100	8	141	8	145	8	149	7	150	7	149	7	145	7	144	5	136	4	101									
120	9	142	9	145	9	149	8	150	9	149	9	145	8	144	7	137	6	105									
150	10	142	10	145	10	149	10	150	10	149	10	145	10	143	8	138	7	112									
200	10	142	11	145	10	149	10	149	11	149	11	145	11	143	10	139	8	120									
270	11	142	11	146	11	149	11	149	12	149	12	145	12	144	11	140	10	129									
370	12	142	12	146	12	149	12	149	13	150	14	145	13	147	12	145	12	136									
520	13	148	13	151	12	150	10	154	9	153	10	150	10	155	10	156	11	153									
710	9	160	7	165	7	159	6	162	6	167	7	163	7	163	8	176	8	175									
1020	6	182	6	187	5	190	5	207	6	207	5	202	5	202	5	188	6	189									
1430	7	214	7	219	7	210	7	227	6	230	5	231	6	235	8	237	8	236									
1850	8	226	7	224	8	236	10	245	11	244	10	239	11	237	11	240	11	243									
2300	12	242	14	246	16	248	17	246	17	244	15	243	15	242	14	242	14	242									
2760	17	247	18	248	19	248	20	247	20	247	19	247	18	247	16	244	16	241									
3250	18	246	18	247	6	149	20	247	21	249	21	251	21	251	19	249	19	245									

Tablica 4.1.1. nastavak

h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h
KORNAT ($\varphi = 43^\circ 48'$ $\lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																		
	0 UTC		3 UTC		6 UTC		9 UTC		12 UTC		15 UTC		18 UTC		21 UTC		0 UTC	
0	5	130	5	125	6	115	6	135	5	145	4	145	4	140	3	130	1	155
20	6	130	6	125	7	115	7	135	6	145	5	145	5	140	4	130	1	155
70	8	130	7	125	8	115	9	140	7	150	6	150	7	145	4	140	1	180
150	9	135	8	125	9	120	10	140	8	150	6	150	7	150	4	150	1	215
260	10	135	9	130	10	125	10	145	8	160	6	155	8	155	3	165	2	240
400	9	145	10	135	10	130	9	150	7	165	6	160	7	165	3	190	3	255
560	9	150	10	145	10	140	9	155	7	175	6	165	7	175	3	215	4	265
760	7	155	9	150	9	145	8	165	7	185	6	180	7	190	4	240	5	265
970	5	170	8	160	7	160	7	180	7	200	6	195	7	200	5	255	5	260
1210	4	200	6	175	6	175	7	195	8	215	7	210	8	215	6	260	7	250
1480	5	215	6	205	5	210	8	215	9	230	9	220	8	225	7	260	9	240
1770	7	220	8	220	7	235	9	230	11	240	11	230	8	235	7	250	9	225
2100	8	230	10	225	8	240	12	245	15	245	13	235	9	235	7	235	10	220
2440	9	240	11	235	11	245	16	250	20	250	15	240	11	235	10	230	12	225
2810	10	250	12	240	14	250	18	250	21	250	19	250	14	240	13	235	14	235
3220	12	255	14	245	15	250	18	250	20	250	22	255	18	245	16	240	18	240
KORNAT ($\varphi = 43^\circ 48'$ $\lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu MM5																		
	9 UTC		10 UTC		11 UTC		12 UTC		13 UTC		14 UTC		15 UTC		16 UTC		17 UTC	
30	8	137	8	136	7	141	7	140	7	136	7	136	7	134	7	127	7	127
40	10	137	9	136	8	141	8	140	8	136	8	136	8	134	9	127	9	127
70	11	137	10	136	9	141	9	140	9	137	9	137	10	134	10	128	10	128
100	12	137	11	136	10	142	10	141	10	137	10	137	11	135	12	129	11	129
150	13	137	13	137	12	144	12	146	12	143	12	144	13	138	14	131	13	130
220	14	145	12	145	11	151	10	151	10	146	10	148	12	140	13	138	14	138
320	11	152	10	150	8	157	6	162	6	150	7	154	8	148	9	144	11	149
470	7	168	5	163	5	165	6	178	6	168	6	161	7	172	6	167	7	167
660	6	191	6	178	6	191	5	179	6	178	6	178	7	178	7	174	6	185
970	6	201	6	206	7	220	6	214	6	198	5	199	4	186	5	210	5	223
1380	8	219	8	215	8	233	8	236	7	235	8	234	8	228	7	224	5	238
1800	9	241	12	245	13	244	12	243	11	241	11	238	10	235	9	235	7	247
2250	15	249	16	249	17	247	16	245	15	242	13	241	12	240	11	239	8	235
2720	17	250	18	250	19	249	19	247	18	247	18	248	17	247	15	245	12	238
3210	17	249	18	249	19	249	20	250	21	251	21	252	21	253	20	251	18	249

Tablica 4.1.2. Vertikalni profil temperature zraka (t, °C) i potencijalne temperature (θ , K) prema radiosondažnim mjerenjima na Zadar-aerodromu i modelima ALADIN/HR i MM5 za Zadar-aerodrom i Kornate za 30. kolovoz 2007.

h	t	θ						h	t	θ						h	t	θ
ZADAR-AERODROM ($\varphi= 44^{\circ} 6' \lambda = 15^{\circ} 18'$) prema radio-sondažnim mjerenjima																		
0 UTC						12 UTC						0 UTC						
79	18.4	291.4				79	31.8	305.0							79	21.6	294.8	
87	22.0	295.1				88	31.3	304.6							88	23.8	297.0	
95	24.0	297.1				133	28.6	302.4							105	24.2	297.6	
139	27.4	301.0				450	25.4	302.3							203	23.8	298.1	
184	27.8	301.8				533	24.6	302.2							284	25.8	300.9	
752	23.6	303.1				580	24.5	302.6							672	24.4	303.3	
780	23.6	303.4				664	24.2	303.1							767	23.6	303.4	
971	23.2	305.0				758	24.6	304.5							1378	18.0	303.8	
1196	22.8	306.8				806	25.5	305.8							1458	17.6	304.2	
1385	21.1	306.9				825	25.8	306.4							1498	17.4	304.4	
1517	20.0	307.1				940	25.0	306.7							2185	12.6	306.3	
1557	19.7	307.2				1086	23.9	307.1							2260	12.2	306.7	
1898	17.0	307.8				1204	23.1	307.4							2557	10.6	308.1	
2121	15.2	308.2				1497	21.0	308.1							2669	9.9	308.5	
2218	15.6	309.6				1527	20.8	308.2							2782	9.2	308.9	
3097	9.2	312.0				1971	17.4	309.3							2805	9.0	308.9	
3157	8.8	312.2				2229	15.5	309.9							3129	6.4	309.5	
						2643	12.4	310.8										
						3140	8.2	311.5										
h	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ
ZADAR-AERODROM ($\varphi= 44^{\circ} 6' \lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																		
	0 UTC		3 UTC		6 UTC		9 UTC		12 UTC		15 UTC		18 UTC		21 UTC		0 UTC	
0	23.2	296.3	22.8	296.0	23.4	296.6	26.8	300.0	29.4	302.6	32.0	305.3	28.2	301.5	25.4	298.6	24.0	297.2
20	24.8	298.0	24.8	298.1	23.6	296.9	27.0	300.3	29.2	302.6	31.4	304.9	28.6	302.1	25.6	299.0	23.8	297.2
70	25.6	299.4	25.4	299.2	25.4	299.2	26.8	300.6	28.6	302.5	30.6	304.6	28.6	302.6	26.2	300.1	24.2	298.0
150	26.0	300.5	25.8	300.4	26.0	300.6	26.4	301.0	27.8	302.5	29.6	304.4	28.0	302.8	26.6	301.3	24.8	299.4
260	26.0	301.6	25.6	301.3	25.4	301.1	25.4	301.1	26.6	302.4	28.4	304.3	27.6	303.5	26.4	302.2	24.8	300.5
400	25.6	302.5	25.2	302.2	24.4	301.4	24.6	301.6	25.8	302.9	27.0	304.2	26.8	303.9	26.0	303.1	24.4	301.4
560	25.0	303.5	24.4	303.0	23.6	302.2	23.8	302.4	24.8	303.5	25.8	304.6	26.6	305.4	25.2	303.9	23.6	302.2
760	24.2	304.5	23.6	304.0	22.8	303.2	23.0	303.4	24.0	304.5	25.0	305.6	25.8	306.5	24.2	304.7	22.4	302.9
970	23.0	305.5	22.6	305.1	22.0	304.6	22.2	304.8	22.8	305.5	24.0	306.7	24.6	307.4	23.0	305.6	21.0	303.5
1210	21.4	306.2	21.4	306.3	20.8	305.7	21.2	306.1	21.8	306.8	22.0	307.2	22.8	308.0	21.2	306.2	19.4	304.3
1480	19.6	307.1	19.6	307.2	19.6	307.2	20.0	307.6	19.8	307.5	20.0	307.7	20.4	308.2	18.8	306.5	17.6	305.1
1770	17.8	308.2	17.6	308.1	17.8	308.3	18.0	308.5	17.2	307.7	17.6	308.3	17.6	308.3	16.0	306.5	15.6	305.9
2100	15.8	309.3	15.4	309.0	15.6	309.2	15.2	308.8	14.6	308.3	14.8	308.6	14.4	308.2	13.6	307.2	13.4	306.9
2440	13.4	310.4	13.0	310.1	13.0	310.1	12.8	309.9	12.6	309.7	12.2	309.4	11.4	308.5	10.8	307.7	10.8	307.7
2810	10.6	311.3	10.4	311.1	10.2	310.9	10.8	311.7	10.6	311.5	9.8	310.7	8.6	309.4	8.4	309.1	8.4	309.1
3220	7.2	311.9	7.4	312.1	7.2	311.9	8.2	313.1	8.2	313.1	7.6	312.6	6.0	310.8	6.0	310.7	5.6	310.2
ZADAR-AERODROM ($\varphi= 44^{\circ} 6' \lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu MM5																		
	9 UTC		10 UTC		11 UTC		12 UTC		13 UTC		14 UTC		15 UTC		16 UTC		17 UTC	
80	28.2	301.4	28.4	301.6	28.8	302.0	28.6	301.9	28.3	301.6	27.9	301.2	27.7	301.0	26.6	299.9	25.1	298.4
100	27.8	301.1	28.0	301.3	28.4	301.8	28.3	301.7	28.0	301.4	27.8	301.2	27.6	301.1	26.8	300.3	25.4	298.8
120	27.4	300.9	27.6	301.2	28.1	301.7	27.9	301.5	27.7	301.3	27.5	301.2	27.4	301.1	26.9	300.6	25.6	299.2
150	26.9	300.8	27.2	301.1	27.6	301.5	27.5	301.5	27.3	301.3	27.2	301.2	27.2	301.2	26.9	300.9	25.8	299.8
200	26.3	300.7	26.6	301.0	27.1	301.5	26.9	301.4	26.8	301.3	26.7	301.2	26.8	301.3	26.9	301.4	25.8	300.3
270	25.7	300.7	25.9	300.9	26.4	301.5	26.3	301.4	26.2	301.3	26.2	301.3	26.4	301.6	26.6	301.8	25.6	300.7
370	24.6	300.6	24.9	301.0	25.4	301.5	25.3	301.4	25.8	301.9	25.9	302.1	26.5	302.7	26.5	302.7	24.8	300.9
520	23.8	301.2	24.3	301.7	24.4	301.9	25.3	302.8	25.9	303.4	26.4	304.0	27.0	304.6	27.2	304.8	26.1	303.7
710	23.8	303.1	24.3	303.6	24.4	303.7	25.0	304.4	25.7	305.1	26.1	305.5	26.8	306.3	27.1	306.6	26.8	306.3
1020	22.5	304.9	23.3	305.7	24.2	306.7	24.4	306.9	24.3	306.8	24.7	307.2	24.9	307.5	24.6	307.1	24.8	307.3
1430	21.3	307.7	21.4	307.9	21.0	307.5	20.9	307.4	20.6	307.1	20.7	307.2	21.3	307.8	21.5	308.0	21.3	307.8
1850	17.7	308.3	17.3	307.9	17.1	307.7	17.2	307.8	17.3	307.9	17.4	308.1	17.5	308.2	17.5	308.1	17.2	307.8
2300	13.9	308.9	13.8	308.8	14.0	309.0	14.1	309.1	14.0	309.0	13.7	308.7	13.7	308.7	13.6	308.6	13.5	308.5
2760	11.1	310.7	11.1	310.8	11.2	310.9	11.1	310.8	10.8	310.5	10.4	310.1	10.2	309.8	9.8	309.4	9.8	309.4
3250	8.1	312.7	8.0	312.6	8.1	312.7	7.9	312.5	7.6	312.2	7.1	311.7	7.0	311.6	6.4	310.9	6.5	311.0

Tablica 4.1.2. nastavak

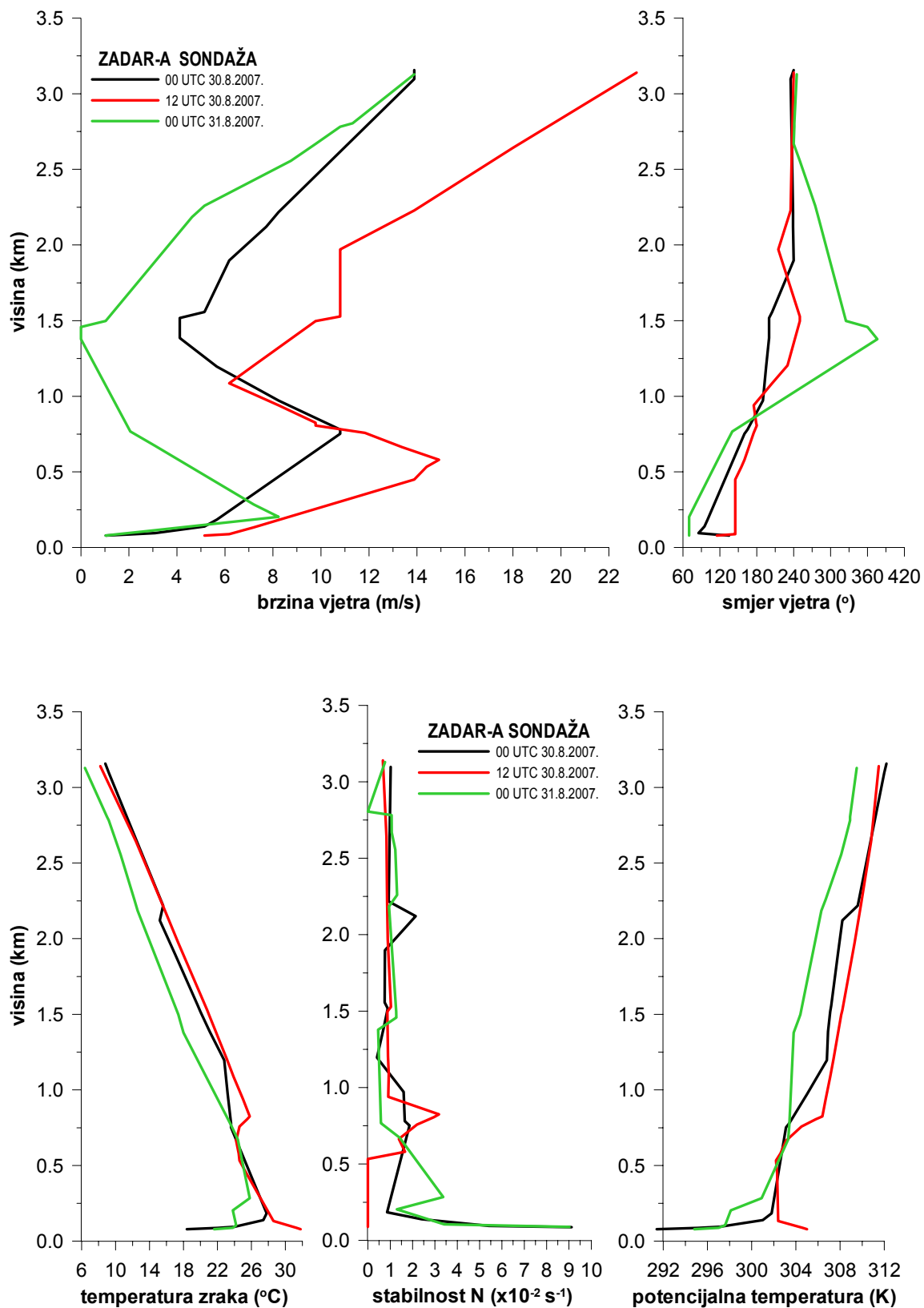
h	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ	t	θ
KORNAT ($\varphi = 43^{\circ} 48'$ $\lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																		
	0 UTC		3 UTC		6 UTC		9 UTC		12 UTC		15 UTC		18 UTC		21 UTC		0 UTC	
0	24.4	296.9	25.4	298.0	25.8	298.4	26.8	299.4	28.0	300.6	30.2	302.9	26.8	299.5	26.0	298.6	25.0	297.6
20	25.6	298.2	25.6	298.3	25.6	298.3	26.4	299.1	27.0	299.8	28.6	301.5	26.6	299.5	26.4	299.2	26.4	299.1
70	26.0	299.2	25.6	298.8	25.4	298.6	26.2	299.4	26.8	300.0	28.2	301.5	27.6	300.9	27.2	300.5	26.8	300.0
150	26.4	300.3	25.4	299.4	25.2	299.2	26.2	300.2	27.0	301.0	28.0	302.1	28.0	302.1	27.6	301.7	26.6	300.6
260	26.4	301.4	25.2	300.3	25.0	300.1	26.2	301.3	27.0	302.1	27.8	303.0	28.0	303.2	27.6	302.8	26.2	301.3
400	26.4	302.7	25.6	302.0	24.8	301.2	25.8	302.2	26.6	303.0	27.2	303.7	27.6	304.1	27.0	303.4	25.6	302.0
560	25.8	303.7	25.2	303.1	24.4	302.3	25.2	303.1	26.0	304.0	26.6	304.7	27.2	305.4	26.4	304.4	24.8	302.8
760	25.0	304.8	24.6	304.4	23.8	303.6	24.6	304.5	25.4	305.3	26.0	306.0	26.6	306.6	25.6	305.5	23.6	303.5
970	24.2	306.1	23.6	305.5	23.0	304.9	23.6	305.5	24.6	306.7	25.0	307.2	25.2	307.4	24.2	306.3	22.2	304.1
1210	22.8	307.1	22.6	307.0	22.0	306.4	22.4	306.8	22.8	307.3	23.2	307.7	23.4	307.9	22.0	306.4	20.6	304.9
1480	21.0	307.9	21.2	308.3	20.8	307.8	21.4	308.5	20.6	307.6	21.4	308.6	21.2	308.4	19.4	306.4	18.8	305.7
1770	18.8	308.6	19.2	309.1	19.2	309.1	18.8	308.7	18.4	308.4	19.0	309.1	18.6	308.7	16.8	306.7	16.4	306.3
2100	16.8	309.8	17.0	310.1	17.2	310.3	16.2	309.3	16.2	309.3	16.2	309.4	15.8	309.0	14.4	307.4	14.0	307.0
2440	14.4	310.9	14.2	310.7	14.2	310.7	14.2	310.7	14.0	310.6	13.2	309.9	12.6	309.2	12.0	308.4	11.6	308.0
2810	11.6	311.8	11.4	311.6	11.2	311.4	11.8	312.0	11.8	312.2	10.8	311.2	9.4	309.7	9.6	309.8	9.2	309.3
3220	8.2	312.3	8.2	312.5	8.2	312.5	8.8	313.1	9.0	313.4	8.4	312.8	6.8	311.0	6.8	310.9	6.6	310.7
KORNAT ($\varphi = 43^{\circ} 48'$ $\lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu MM5																		
	9 UTC		10 UTC		11 UTC		12 UTC		13 UTC		14 UTC		15 UTC		16 UTC		17 UTC	
30	26.4	299.1	26.2	298.9	26.1	298.9	26.0	298.8	26.0	298.8	25.9	298.7	26.1	298.9	25.9	298.7	25.7	298.5
40	26.0	298.9	25.9	298.8	25.8	298.7	25.7	298.6	25.8	298.7	25.7	298.7	26.0	299.0	25.9	298.9	25.8	298.8
70	25.6	298.7	25.6	298.7	25.6	298.7	25.5	298.6	25.5	298.7	25.5	298.7	25.9	299.1	25.9	299.1	25.8	299.0
100	25.1	298.5	25.3	298.7	25.2	298.7	25.1	298.6	25.3	298.8	25.3	298.8	25.8	299.3	25.9	299.4	25.8	299.3
150	24.7	298.6	25.2	299.1	25.6	299.6	25.7	299.7	26.0	300.0	26.3	300.3	27.1	301.1	26.2	300.2	25.7	299.7
220	25.6	300.2	25.8	300.4	25.9	300.5	26.4	301.0	26.7	301.4	27.0	301.7	27.3	302.0	27.0	301.7	26.5	301.2
320	25.8	301.4	26.0	301.6	26.5	302.1	27.2	302.9	27.5	303.2	27.8	303.5	28.0	303.7	27.9	303.6	27.5	303.2
470	26.1	303.1	26.5	303.5	26.6	303.6	27.2	304.3	27.0	304.1	27.4	304.5	28.0	305.1	29.1	306.2	29.0	306.1
660	25.4	304.2	25.5	304.4	26.4	305.3	27.1	306.0	27.2	306.2	27.6	306.6	27.3	306.3	27.5	306.5	27.7	306.7
970	24.9	306.9	25.4	307.4	25.6	307.6	25.4	307.4	25.3	307.3	25.0	307.0	25.1	307.2	25.4	307.5	25.7	307.8
1380	22.3	308.3	21.9	307.9	21.6	307.6	21.7	307.7	21.8	307.8	22.2	308.3	22.3	308.4	22.1	308.1	22.3	308.3
1800	18.4	308.5	18.5	308.6	18.6	308.8	18.8	309.0	18.8	309.0	18.8	309.0	18.7	308.9	18.7	308.9	18.4	308.6
2250	15.4	309.9	15.5	310.1	15.6	310.2	15.6	310.2	15.4	310.0	15.2	309.8	14.9	309.5	14.7	309.3	14.3	308.8
2720	12.2	311.4	12.4	311.6	12.5	311.8	12.3	311.6	11.9	311.1	11.5	310.7	11.2	310.4	10.7	309.9	10.3	309.4
3210	8.8	312.9	8.9	313.1	9.0	313.2	8.8	313.0	8.5	312.7	8.2	312.4	8.0	312.2	7.5	311.6	7.1	311.1

Tablica 4.1.3. Vertikalni profil stabilnosti ($N, \times 10^{-2} s^{-1}$) i smicanja vjetra ($\partial v/\partial z, ms^{-1}/100 m$) prema radiosondažnim mjerenjima na Zadar-aerodromu i modelima ALADIN/HR i MM5 za Zadar-aerodrom i Kornate za 30. kolovoz 2007.

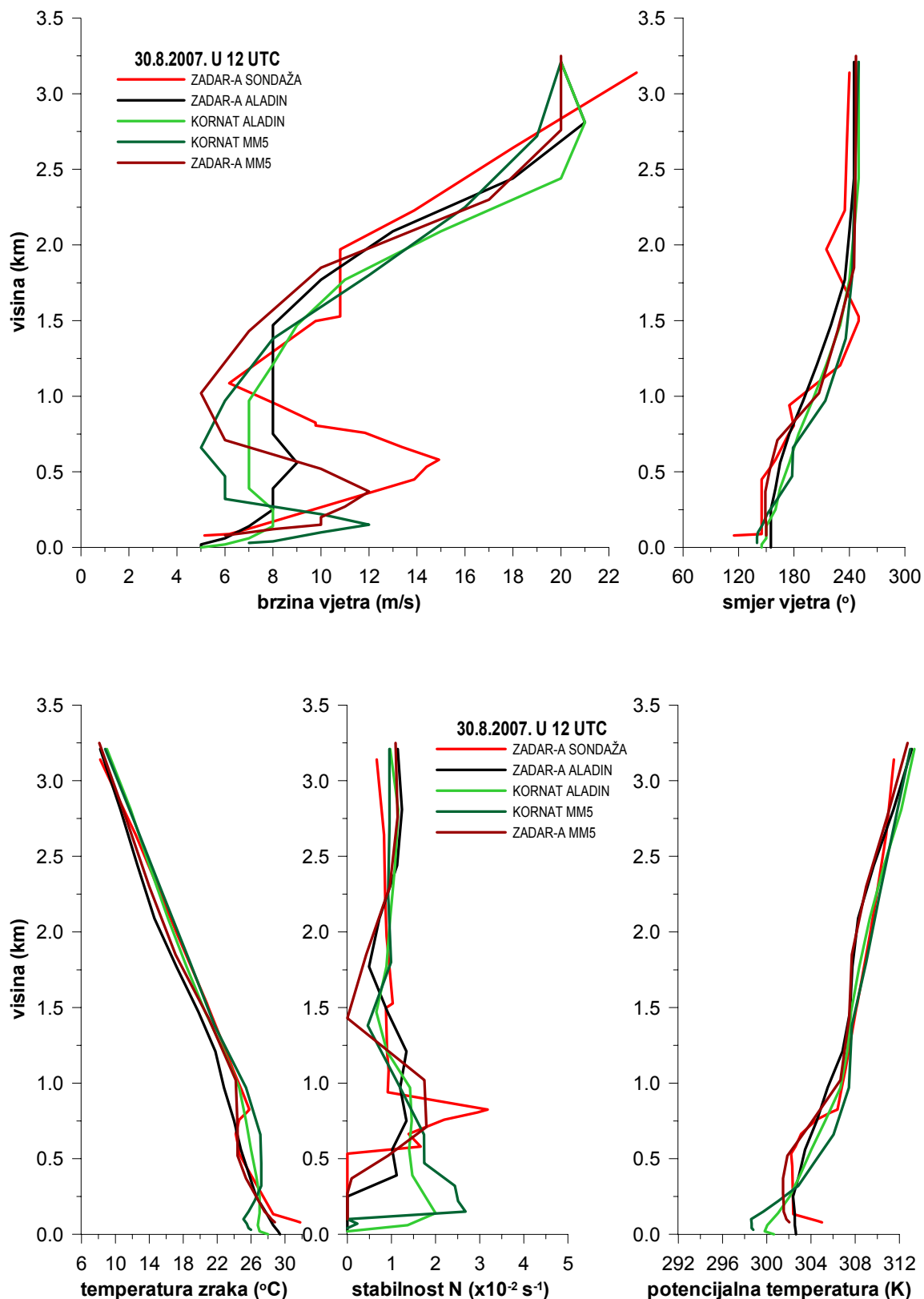
h	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$						h	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$						h	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$							
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^{\circ} 6'$ $\lambda = 15^{\circ} 18'$) prema radio-sondažnim mjerenjima																									
0 UTC									12 UTC									0 UTC							
79								79								79									
87	9.12	12.86						88	0.00	11.43						88	9.02	5.72							
95	5.41	4.68						133	0.00	2.29						105	3.41	6.05							
139	2.41	1.14						450	0.00	2.11						203	1.30	5.77							
184	0.86	0.91						533	0.00	0.62						284	3.37	-1.27							
752	1.86	0.00						580	1.66	1.09						672	1.42	-1.06							
780	1.65	-1.35						664	1.39	-1.84						767	0.58	-1.08							
971	1.60	-1.14						758	2.20	-1.64						1378	0.46	-0.34							
1196	0.41	-0.82						806	2.95	-4.29						1458	1.27	0.00							
1385	0.70	0.00						825	3.18	0.00						1498	1.27	2.57							
1517	0.89	2.57						940	0.91	-1.34						2185	0.94	0.52							
1557	0.75	0.30						1086	0.94	-1.41						2260	1.31	0.69							
1898	0.76	0.69						1204	0.90	0.87						2557	1.23	1.21							
2121	2.14	0.53						1497	0.87	0.88						2669	1.07	0.92							
2218	0.93	0.64						1527	1.03	3.43						2782	1.06	0.91							
3097	1.02	0.00						1971	0.89	0.00						2805	0.00	2.24							
3157	12.48	12.86						2229	0.86	1.20						3129	0.77	0.79							
								2643	0.83	0.99															
								3140	0.67	1.04															
h	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$							
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^{\circ} 6'$ $\lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																									
0 UTC		3 UTC			6 UTC			9 UTC			12 UTC			15 UTC			18 UTC			21 UTC			0 UTC		
20	5.41	0.00	6.00	5.00	2.47	5.00	2.47	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	3.05	5.00	2.47	5.00	0.00	5.00							
70	2.94	4.00	2.71	2.00	3.91	2.00	1.44	4.00	0.00	2.50	0.00	0.00	2.06	5.00	2.71	2.00	2.34	2.00							
150	2.20	1.25	2.20	1.25	2.38	2.50	1.25	1.25	0.00	1.25	0.00	0.00	0.87	1.25	2.20	1.25	2.38	0.00							
260	1.77	1.82	1.59	0.91	1.16	0.91	0.39	0.91	0.00	0.91	0.00	0.91	1.40	0.00	1.60	0.00	1.77	0.00							
400	1.48	0.00	1.48	0.71	0.91	0.00	1.11	0.71	1.12	0.00	0.00	0.00	1.03	0.71	1.54	-0.77	1.48	-0.71							
560	1.38	0.00	1.23	1.25	1.22	0.63	1.22	0.00	1.02	0.59	0.81	0.00	1.66	-0.59	1.19	0.00	1.30	-0.63							
760	1.30	-0.50	1.34	0.53	1.34	0.53	1.30	-0.50	1.34	-0.53	1.34	-0.53	1.35	0.00	1.20	0.00	1.04	0.00							
970	1.22	-0.48	1.26	0.00	1.42	-0.45	1.46	0.00	1.20	0.00	1.27	0.00	1.14	-0.45	1.14	0.45	1.01	0.48							
1210	0.98	-0.42	1.28	-0.83	1.23	-0.83	1.34	-0.42	1.34	0.00	0.76	0.00	0.93	0.00	0.90	0.42	1.04	0.42							
1480	1.02	0.37	1.02	-0.74	1.34	-0.74	1.34	0.00	0.91	0.00	0.83	0.74	0.44	0.37	0.00	0.38	0.95	0.74							
1770	1.08	0.69	0.97	0.69	1.08	0.00	0.97	0.00	0.49	0.67	0.76	0.67	0.37	0.67	0.06	0.00	0.96	1.03							
2100	1.06	0.30	0.98	0.94	0.98	0.94	0.56	0.61	0.73	0.94	0.57	0.94	0.00	0.31	0.87	0.32	0.98	0.65							
2440	0.99	0.29	0.99	0.57	0.89	1.14	1.01	1.18	1.13	1.43	0.83	1.14	0.54	0.57	0.69	0.57	0.88	0.29							
2810	0.88	0.27	0.93	0.54	0.82	0.81	1.24	1.08	1.24	0.81	1.08	0.81	0.88	0.54	1.07	0.54	1.07	0.27							
3220	0.65	0.50	0.87	0.24	0.87	0.24	2.47	0.24	1.14	-0.25	1.22	0.50	1.07	0.77	1.15	0.51	0.98	0.26							
ZADAR-AERODROM ($\varphi = 44^{\circ} 6'$ $\lambda = 15^{\circ} 18'$) prema numeričkom modelu MM5																									
9 UTC		10 UTC		11 UTC		12 UTC		13 UTC		14 UTC		15 UTC		16 UTC		17 UTC									
100	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	10.00	0.79	10.00	2.38	5.00							
120	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.35	5.00	2.24	10.00							
150	0.00	3.33	0.00	3.33	0.00	3.33	0.00	3.33	0.00	6.67	0.00	3.33	0.71	3.33	1.30	6.67	1.97	3.33							
200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.79	2.00	1.80	4.00							
270	0.46	1.43	0.00	1.43	0.00	1.43	0.00	1.43	0.42	1.43	0.42	1.43	0.80	1.43	1.06	1.43	1.26	1.43							
370	0.00	1.00	0.18	1.00	0.18	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	1.42	1.00	1.52	2.00	1.90	1.00	1.72	1.00							
520	1.13	0.67	1.31	0.67	1.31	0.00	0.92	0.00	1.75	-1.33	1.80	-2.67	2.03	-2.67	2.03	-2.00	2.13	-1.33							
710	1.80	-2.11	1.80	-2.11	1.80	-2.63	1.79	-2.63	1.64	-2.11	1.69	-1.58	1.64	-1.58	1.69	-1.58	1.74	-1.05							
1020	1.36	-0.97	1.48	-0.97	1.48	-0.65	1.75	-0.65	1.62	-0.32	1.32	0.00	1.32	-0.65	1.10	-0.65	0.76	-0.97							
1430	1.50	0.24	1.29	0.24	1.29	0.49	0.00	0.49	0.61	0.49	0.45	0.00	0.00	0.00	0.53	0.24	0.83	0.73							
1850	0.65	0.24	0.16	0.24	0.16	0.24	0.43	0.24	0.59	0.71	0.81	1.19	0.82	1.19	0.51	1.19	0.32	0.71							
2300	0.63	0.89	0.79	0.89	0.79	1.78	0.96	1.78	0.96	1.56	0.88	1.33	0.68	1.11	0.62	0.89	0.57	0.67							
2760	1.14	1.09	1.17	1.09	1.17	0.65	1.14	0.65	1.07	0.65	1.00	0.65	0.96	0.87	0.88	0.65	0.74	0.43							
3250	1.13	0.20	1.09	0.20	1.09	0.00	1.09	0.00	1.06	0.00	1.06	0.20	1.03	0.41	1.06	0.61	0.99	0.61							

Tablica 4.1.3. nastavak

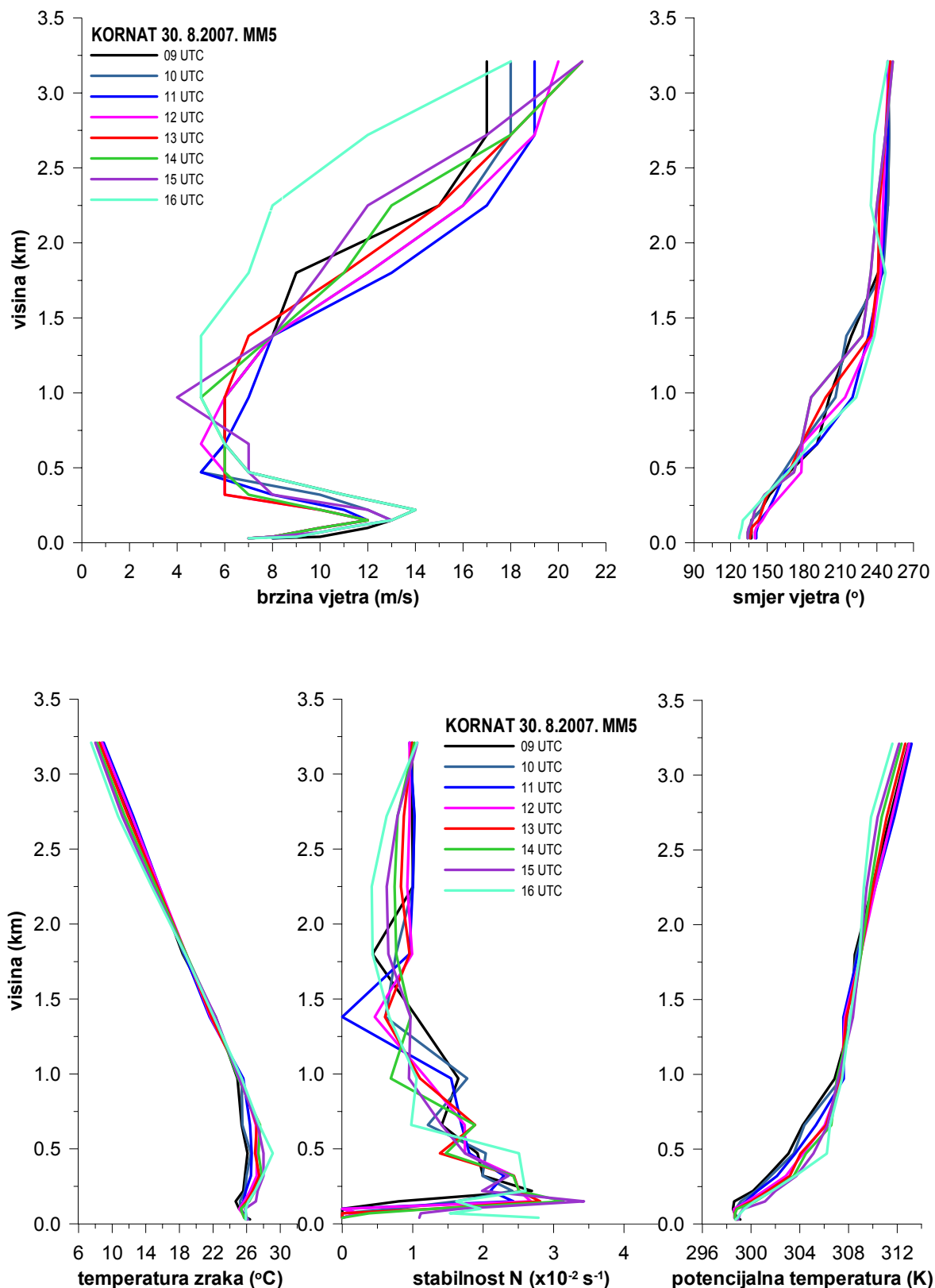
h	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$	N	$\frac{\partial v}{\partial z}$
KORNAT ($\varphi = 43^\circ 48'$ $\lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu ALADIN																		
	0 UTC	3 UTC	6 UTC	9 UTC	12 UTC	15 UTC	18 UTC	21 UTC	0 UTC									
20	4.75	5.00	2.47	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	3.06	5.00	5.08	0.00
70	2.45	4.00	1.83	2.00	1.43	2.00	1.43	4.00	1.37	2.50	0.50	2.50	3.42	5.00	2.94	0.00	2.45	0.00
150	2.20	1.25	1.53	1.25	1.53	1.25	1.78	1.25	2.00	1.25	1.54	0.00	2.19	0.00	2.20	0.00	1.54	0.00
260	1.76	0.91	1.59	0.91	1.59	0.91	1.77	0.00	1.77	0.00	1.59	0.00	1.77	0.91	1.77	-0.91	1.39	0.91
400	1.76	-0.71	2.01	0.71	1.68	0.00	1.47	-0.71	1.47	-0.71	1.31	0.00	1.47	-0.71	1.27	0.00	1.30	0.71
560	1.38	0.00	1.52	0.00	1.52	0.00	1.38	0.00	1.40	0.00	1.40	0.00	1.53	0.00	1.40	0.00	1.29	0.63
760	1.35	-1.00	1.46	-0.53	1.46	-0.53	1.47	-0.50	1.46	0.00	1.46	0.00	1.46	0.00	1.33	0.53	1.04	0.53
970	1.40	-0.95	1.31	-0.45	1.42	-0.91	1.28	-0.48	1.42	0.00	1.31	0.00	1.06	0.00	1.06	0.45	1.00	0.00
1210	1.16	-0.42	1.38	-0.83	1.38	-0.42	1.28	0.00	0.90	0.42	0.84	0.43	0.84	0.43	0.50	0.42	1.03	0.83
1480	1.01	0.37	1.23	0.00	1.33	-0.37	1.42	0.37	0.66	0.38	1.02	0.74	0.74	0.00	0.00	0.38	1.01	0.74
1770	0.83	0.69	0.97	0.69	1.18	0.69	0.49	0.34	0.89	0.67	0.76	0.67	0.59	0.00	0.57	0.00	0.75	0.00
2100	1.10	0.30	0.97	0.63	1.07	0.31	0.78	0.91	0.97	1.25	0.56	0.63	0.55	0.31	0.86	0.00	0.86	0.32
2440	0.99	0.29	0.76	0.29	0.63	0.86	1.14	1.18	1.08	1.43	0.62	0.57	0.43	0.57	0.98	0.86	0.98	0.57
2810	0.88	0.27	0.88	0.27	0.76	0.81	1.07	0.54	1.15	0.27	1.07	1.08	0.62	0.81	1.06	0.81	1.06	0.54
3220	0.64	0.50	0.82	0.49	0.91	0.24	0.92	0.00	0.97	-0.25	1.13	0.75	1.06	1.03	0.97	0.77	1.06	1.03
KORNAT ($\varphi = 43^\circ 48'$ $\lambda = 15^\circ 18'$) prema numeričkom modelu MM5																		
	9 UTC	10 UTC	11 UTC	12 UTC	13 UTC	14 UTC	15 UTC	16 UTC	17 UTC									
40	0.00	20.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	10.00	1.09	10.00	2.12	20.00	2.79	20.00
70	0.00	3.33	0.00	3.33	0.23	3.33	0.23	3.33	0.00	3.33	0.38	3.33	1.11	6.67	1.53	3.33	1.53	3.33
100	0.00	3.33	0.74	3.33	0.00	3.33	0.00	3.33	1.29	3.33	1.29	3.33	1.66	3.33	1.96	6.67	1.96	3.33
150	0.80	2.00	1.62	4.00	2.43	4.00	2.68	4.00	2.81	4.00	3.14	4.00	3.43	4.00	2.28	4.00	1.62	4.00
220	2.69	1.43	2.41	-1.43	2.10	-1.43	2.51	-2.86	2.51	-2.86	2.51	-2.86	1.99	-1.43	2.60	-1.43	2.60	1.43
320	2.00	-3.00	1.99	-2.00	2.30	-3.00	2.44	-4.00	2.44	-4.00	2.43	-3.00	2.36	-4.00	2.50	-4.00	2.56	-3.00
470	1.92	-2.67	2.04	-3.33	1.80	-2.00	1.74	0.00	1.39	0.00	1.47	-0.67	1.74	-0.67	2.37	-2.00	2.51	-2.67
660	1.41	-0.53	1.21	0.53	1.69	0.53	1.74	-0.53	1.89	0.00	1.88	0.00	1.41	0.00	0.67	0.53	0.98	-0.53
970	1.65	0.00	1.77	0.00	1.55	0.32	1.20	0.32	1.11	0.00	0.69	-0.32	0.95	-0.97	1.00	-0.65	1.05	-0.32
1380	1.05	0.49	0.61	0.49	0.00	0.24	0.46	0.49	0.61	0.24	0.97	0.73	0.97	0.98	0.73	0.49	0.67	0.00
1800	0.43	0.24	0.76	0.95	0.95	1.19	0.99	0.95	0.96	0.95	0.77	0.71	0.65	0.48	0.77	0.48	0.43	0.48
2250	1.00	1.33	1.00	0.89	1.00	0.89	0.89	0.83	0.89	0.74	0.44	0.63	0.44	0.50	0.44	0.42	0.22	
2720	0.99	0.43	1.03	0.43	1.03	0.43	0.96	0.64	0.88	0.64	0.79	1.06	0.78	1.06	0.63	0.85	0.63	0.85
3210	0.99	0.00	0.96	0.00	0.95	0.00	0.95	0.20	0.96	0.61	1.02	0.61	1.07	0.82	1.06	1.02	1.06	1.22



Slika 4.1.1. Vertikalni profili brzine i smjera vjetra te temperature zraka i stabilnosti (Brunt-Väisäläova frekvencija) i potencijalna temperatura zraka za Zadar-aerodrom do 3 km visine prema radio-sondažnim podacima za 30. kolovoz 2007.



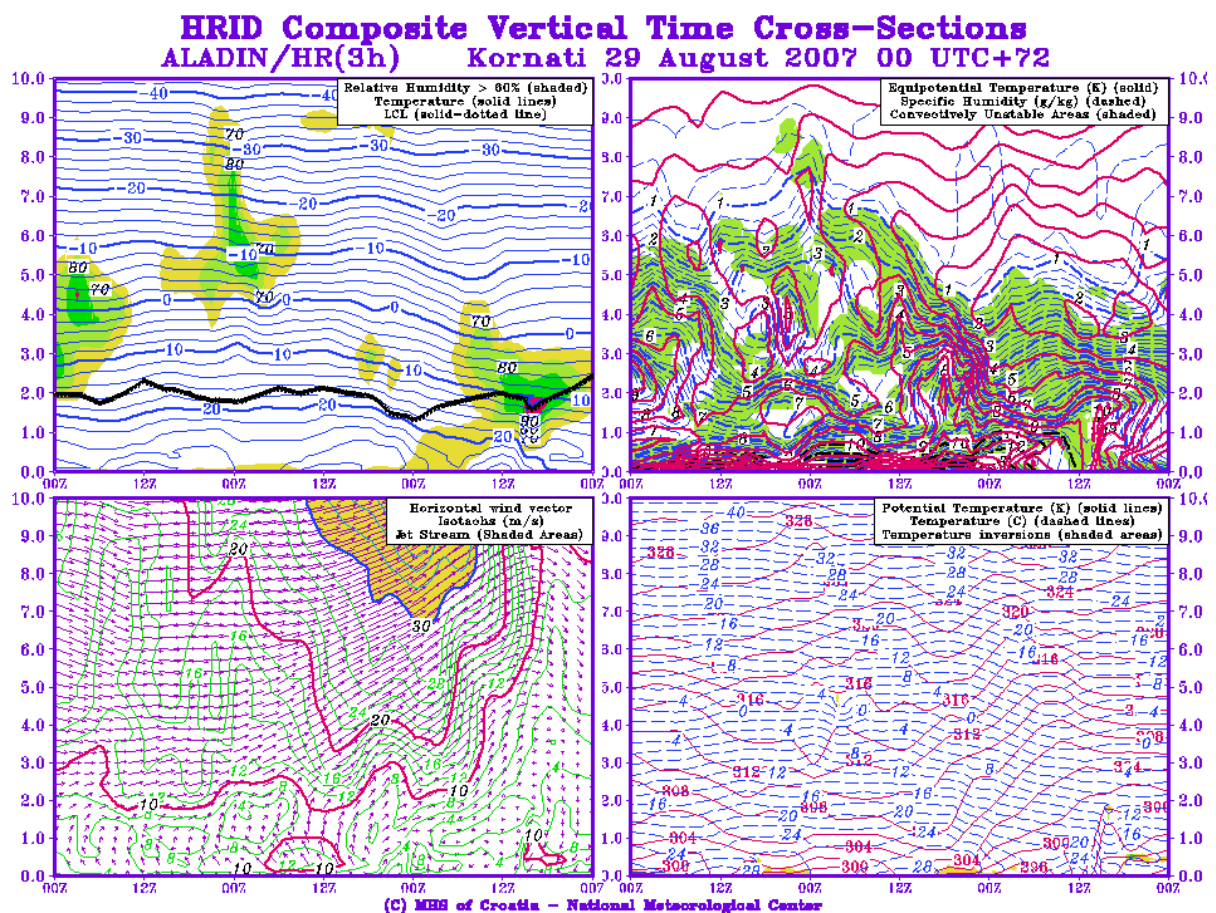
Slika 4.1.2. Usporedba vertikalnih profila brzine i smjera vjetra, temperature zraka, stabilnosti (Brunt-Väisäläova frekvencija) i potencijalne temperature zraka za Zadar-aerodrom i Kornat dobiveno numeričkim modelima ALADIN/HR i MM5 s radio-sondažnim mjerenjima na Zadar-aerodromu do 3 km visine za 30. kolovoz 2007. u 12 UTC.



Slika 4.1.3. Vertikalni profili brzine i smjera vjetra te temperature zraka, stabilnosti (Brunt-Väisäläova frekvencija) i potencijalne temperature za područje Kornata do 3 km visine određeno pomoću numeričkog modela MM5 za 30. kolovoza 2007.

Stanje atmosfere po visini i njezina promjena s vremenom zorno se može prikazati vremenskim presjecima HRID na osnovi prognoziranih vrijednosti određenih meteoroloških parametara iz modela ALADIN/HR (Ivančan-Picek i dr., 2003). Vremenski vertikalni presjek, koji prikazuje prognozirani razvoj vremenske situacije u jednoj zemljopisnoj točki (u ovom slučaju Kornata) po visini, prikazan je na slici 4.1.4. Ovo polje vjetra i njegova promjena s vremenom i visinom osobito je zanimljiva jer je iz prognoziranih vrijednosti ALADIN/HR vidljivo da se pri tlu 30. kolovoza 2007. stvorilo sredinom dana područje relativno jake SE struje (iznad 10 m/s) koje je sezalo sve do 1 km visine, dok je iznad te visine u atmosferi strujanje bilo jako SW. Iako prognozirana brzina vjetra pri tlu ima umjerene vrijednosti, od 5 do 7 m/s, u sloju do 450 m nad morem vjetar postaje jak. I ovi rezultati ukazuju da je na visini vrhova otoka Kornat u ovoj vremenskoj situaciji vjetar bio zamjetno jači nego što su pokazivala mjerenja na postaji koja je blizu morske razine (Vela Sestrica).

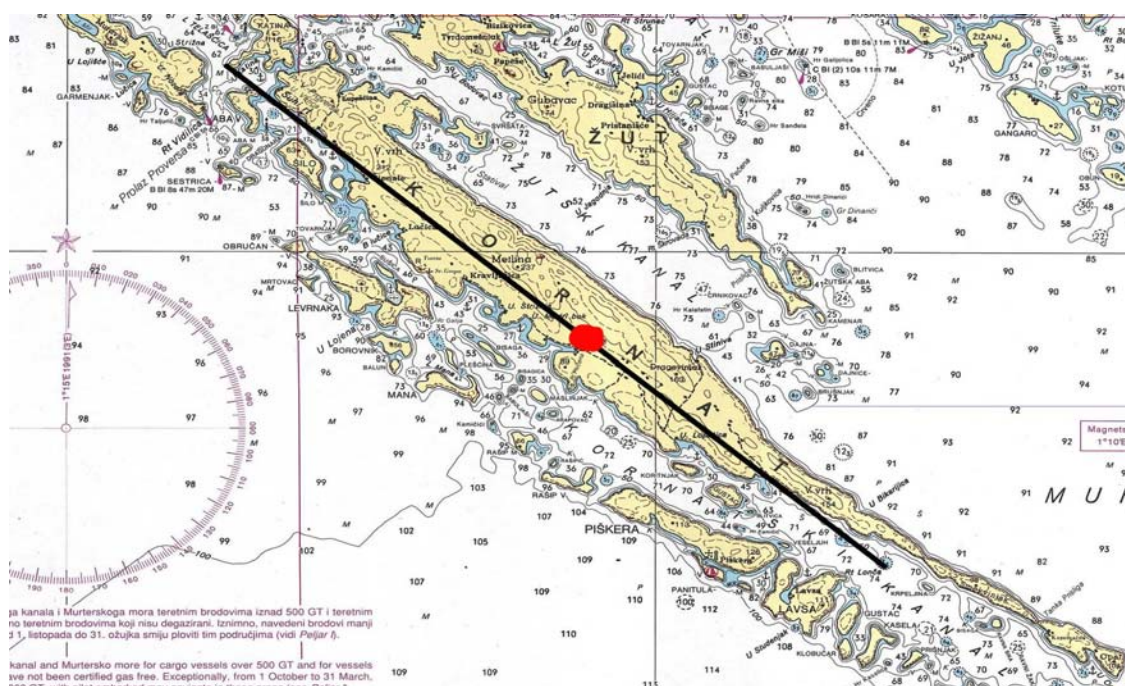
S obzirom na nestabilnu stratifikaciju atmosfere 30. kolovoza 2007. bilo je za očekivati i jači konvektivni razvoj oblaka. Međutim, do njega nije došlo jer je vlažni zrak prodro samo u prizemni sloj (što pokazuju i prizemni podaci s postaje Zadar), a iznad njega polje relativne vlažnosti zraka ukazuje na razmjerno suhu atmosferu (slika 4.1.4).



Slika 4.1.4. Prognozirani razvoj vremenske situacije po visini nad Kornatima za razdoblje od 00 UTC 29. kolovoza do 00 UTC 1. rujna 2007. (po ljetnom ukaznom vremenu od 2 h 29. kolovoza 2007. do 2 h 1. rujna 2007). Relativna vlažnost zraka –gore lijevo; ekvipotencijalna temperatura, specifična vlaga i konvektivna nestabilnost – gore desno, vjetar (brzina i smjer) – dolje lijevo, potencijalna temperatura, temperatura zraka i sloj inverzije – dolje desno.

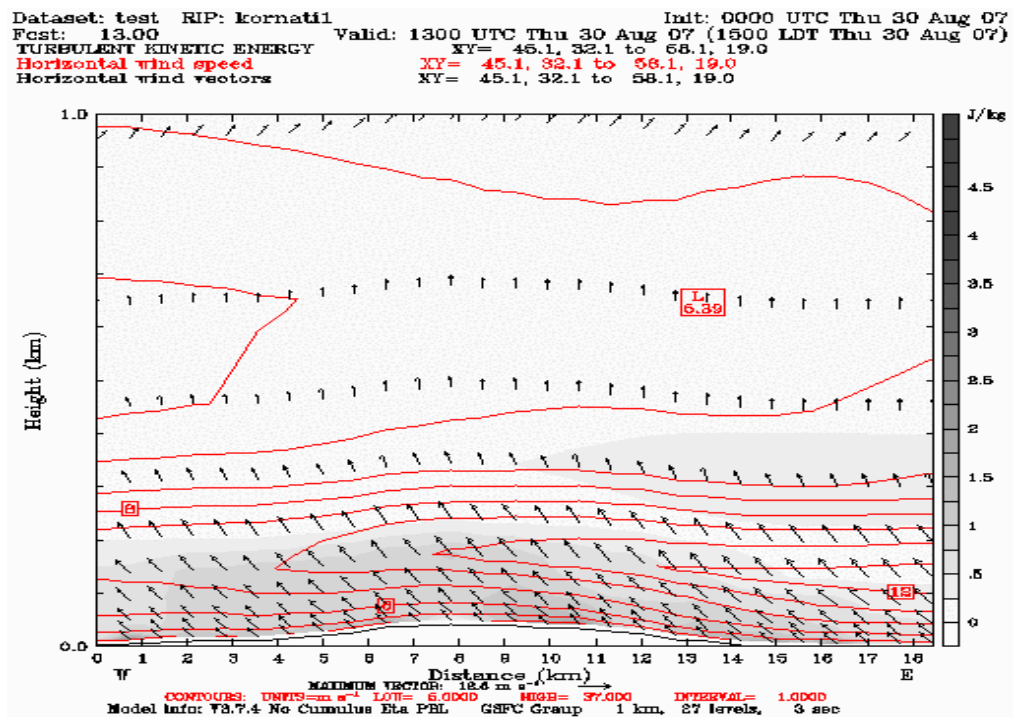
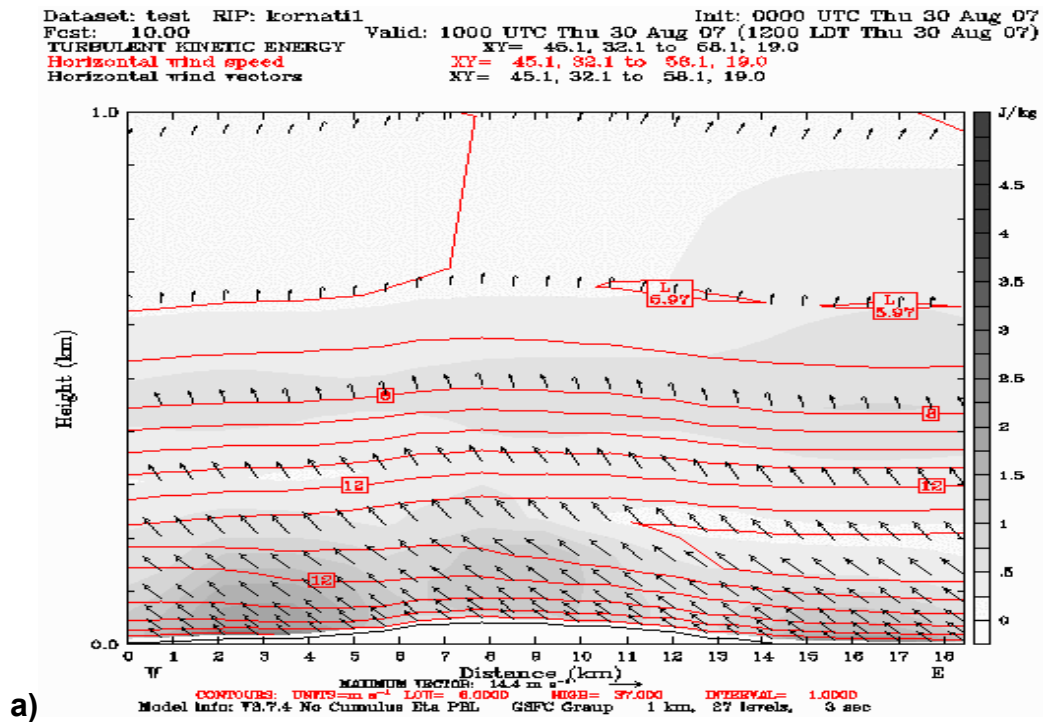
4.2. Prostorna analiza

Budući da je usporedba radiosondažnih mjerenja na Zadar-aerodromu pokazala bolje slaganje s rezultatima numeričke simulacije nehidrostatičkim modelom MM5, detaljnije su analizirani prostorni vertikalni presjeci donjeg sloja atmosfere do 1 km visine.

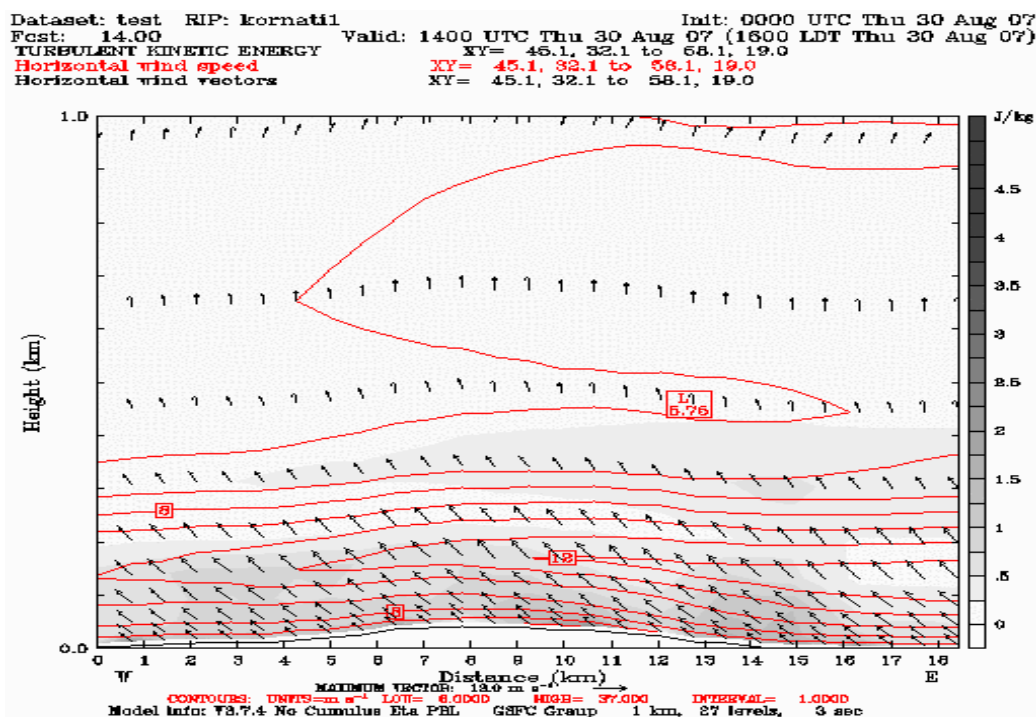


Slika 4.2.1. Linija duž koje je prikazan prostorni vertikalni presjek atmosfere do visine od 1 km nad otokom Kornat.

Slika 4.2.2. pokazuje vertikalni presjek brzine i smjera vjetera, te turbulentne kinetičke energije (TKE) duž Kornata označeno na slici 4.2.1. Vidljiv je dobro izražen lokalni maksimum brzine na 150–200 m na lokaciji 43.80° sjeverno i 15.31° istočno (točka modela MM5 koja je najbliža mjestu nesreće), koji u 12 h zadovoljava kriterije niske mlazne struje (Bonner, 1968). Maksimalna brzina kroz promatrano razdoblje slabi s oko 13.5 m/s na oko 11.5 m/s. Ispod maksimuma nalazi se područje jakog smicanja vjetera što dovodi do povećanja turbulentne kinetičke energije (TKE) u sloju 0–100 m, gdje na mjestima prelazi 1 J/kg. Takve vrijednosti TKE ukazuju na mogućnost razvoja snažne turbulencije nad promatranim područjem.



Slika 4.2.2. Vertikalni presjek duž otoka Kornata od 0 do 1 km visine. Brzina vjetra – puna crvena crta, turbulentne kinetička energija – osjenčano sivo, smjer i brzine vjetra – strelice. a) 12 h, b) 15 h, c) 16 h.



c)

Slika 4.2.2. nastavak

5. METEOROLOŠKA ANALIZA OPASNOSTI OD POŽARA

5.1. Uvod

Požari na Sredozemlju pa tako i na Jadranu karika su jednog vječnog procesa izmjene progresivnih i regresivnih tijekova sukcesije šumske vegetacije. Dakako, i povijest naših priobalnih šuma i cjelokupnog vegetacijskog pokrova je zapravo ciklus razaranja i obnavljanja vatrom. Ponekad su na našem priobalju i otočnom području često katastrofalni, te osim šuma, uništavaju i poljoprivredne kulture, ugrožavaju naselja i ljudske živote te izazivaju opravdanu zabrinutost cjelokupne zajednice. Iz toga je razloga u požarnoj problematici potrebno sustavno pratiti prirodne i ostale uvjete za poduzimanje što djelotvornijih preventivnih i represivnih mjera.

Vremenske prilike i šumski požari usko su povezani kao uzročno-posljedična veza vremena, ljudske aktivnosti i stanja gorivog materijala (vlažnost, vrste biljnog pokrova i produkcije biomase) u kraćem vremenskom razdoblju. Za učinkovito preventivno djelovanje i osmišljeno dugoročno djelovanje s ciljem smanjenja broja požara i smanjenja spaljene površine, potrebno je poznavanje dugogodišnjih poveznica uz ostalo klime i požara odnosno klimatskih i požarnih pokazatelja određenog područja (Vučetić, 1998a).

Na mnoga pitanja vezana na ponašanje vatre (požara), zapaljivosti vegetacije te djelovanja vremena i klime za sada nema točnih odgovora. Samo se rijetko, sporadično i

nesustavno pristupilo raznim znanstvenim istraživanjima (meteorološkim, biološkim, pedološkim i dr.). „U predviđanju ponašanja šumskog požara i njegove moguće brzine širenja od neprocjenjive je važnosti poznavanje brzine i smjera vjetra, a to zahtijeva mjerenje tih veličina (kao i drugih meteoroloških veličina) na samom požarištu. Takvih mjerenja za sada u Hrvatskoj nema. Također je potrebno izrađivati detaljnije karte stanja požara i njegova širenja u određenim vremenskim razmacima. Dakako da je uz ovo potrebno provesti ispitivanje zapaljivosti karakterističnog biljnog pokrova i dobiti sve biološke parametre bitne za razumijevanje nastanka i širenja šumskog požara.“ (Vučetić, 1998b).

Rijetke su meteorološke analize vremena prije i za vrijeme požara. No, i u tim rijetkim analizama uočeni su posebni učinci u sprezi vatra-vrijeme, a koji nisu u dovoljnoj mjeri razjašnjeni posebice ne u našim uvjetima koji vladaju na otocima i obali. „Sva tri ovdje prikazana slučaja pokazuju zapanjujuće identične meteorološke uvjete koji rezultiraju također gotovo identičnim ponašanjem vatre. Bez obzira što se ove tri situacije dešavaju kod različitih tipova vremena koje karakteriziraju tipični vjetrovi jugo (SE, S), maestral (NW) i bura (NE) identično ponašanje vatre teško da je slučajno bez obzira na mali broj prikazanih situacija.“ (Vučetić, 1999. te Vučetić i Vučetić 1999). Nedostatan istraživački rad te slabi prijenos multidisciplinarnog znanja i spoznaja vatrogascima, koji se neznajući zateknu u iznimno pogibeljnim situacijama na terenu, u neuobičajeno se tragičnom obimu pokazao na otoku Kornatu.

U svijetu, kao i kod nas, poznate su različite vrste požara (prizemni, vršni odnos požar krošnje, podzemni i dr.) u kojima se u ovisnosti o tipu vegetacije, konfiguraciji terena i vremenskim uvjetima mogu dogoditi razni učinci vatre npr. baklje, vatrene oluje, učinci mozaika i dimnjaka i dr. Za ovaj posljednji učinak dimnjaka portugalski znanstvenik Viegas (2006) predložio je novi naziv *eruptivni* požar jer ga u kvalitativnom smislu povezuje s vulkanom u kojem je iznenada potaknut vrlo jaki konvektivni (uzlazni) proces. Takvi su požari izazvali mnoge nesreće u kojima su smrtno stradavali vatrogasci, a Viegas navodi dva požara u SAD-u: 1949. u Man Gulch-u kada je stradalo 13 vatrogasaca i 1994. u South Canyon-u 14 vatrogasaca. Kako je stradanje vatrogasaca na Kornatu pokrenulo lavinu istraživanja, tako se barem preliminarno došlo do spoznaja da su neki požari, u kojima nije dovoljno razjašnjeno ponašanje vatre, i u nas uzimali danak u životima vatrogasaca.

Atmosfera može dodatno pospješiti strahoviti učinak vatre, a vjerojatno (za sada nedokazano) može dati i početni poticaj (labilno stratificirana atmosfera, uzlazna strujanja i sl.). Uz tip vegetacije i konfiguraciju terena posebnu ulogu ima vjetar. Na prvom mjestu njegova brzina, a zatim i smjer igraju glavnu ulogu kod brzine širenja požara. U nas za sada nema sustavnog istraživanja ni detaljnijih analiza brzine širenja pojedinih požara. Kao primjer navodimo požar koji je trajao od 28. srpnja do 4. kolovoza 1997. na otoku Hvaru za koji je rekonstruirana početna brzina oko 4 m/min. Nakon razbuktavanja požara brzina širenja je pojačala na oko 21 m/min, a nakon toga je bila tolika da više nije bila moguća rekonstrukcija (Vučetić, 1998c). Procijenjeno je da je u toj fazi požarna fronta napredovala brzinom i većom od 80 m/min. Gorjela je gusta makija te guste stare sastojine alepskog i crnog bora.

5.2. Metoda procjene opasnosti od šumskih požara

U Državnom hidrometeorološkom zavodu se već 25 godina izrađuju procjene opasnosti od izbijanja i širenja šumskih požara za naše jadransko područje. Te su procjene

zasnovane na kanadskoj metodi *Canadian Forest Fire Weather Index System* odnosno njezinom podsustavu meteorološkog indeksa požara (*Fire Weather Indeks*, FWI).

Kanadska metoda određivanja meteorološkog indeksa opasnosti od šumskih požara FWI detaljno je obrađena u publikacijama Van Wagner i Pickett (1985), Jurčec i Dimitrov (1986), Dimitrov, (1987), Vučetić (1987) te Vučetić i Dimitrov (2000).

Općenito je meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara način procjene zapaljivosti goriva koji uvažava učinke prošlih i trenutnih vremenskih prilika na tri vrste mrtvog pokrivača šumskog tla. U njemu su sadržani brojevi koji daju mjeru sadržaja vlage za svako od ovih goriva.

Uz to meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara rabi sadržaje vlage u mrtvim gorivima, brzinu vjetrova i indeks količine ukupnog goriva za računanje konačnih brojčanih indeksa koji procjenjuju intenzitet vatre u standardnim vrstama šume. Da bi se mogao računati meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara, meteorološka motrenja i mjerenja moraju se obavljati u najtoplijem dijelu dana, a najbliži meteorološki termin motrenja je onaj u 12 UTC (u 14 h po ljetnom ukaznom vremenu).

Meteorološki parametri temperature, relativna vlažnost zraka, brzina vjetrova i 24 satna količina oborine predstavljaju ulazne podatke u program za izračunavanje meteorološkog indeksa opasnosti od požara, a pomoću metode FWI dobiju se pokazatelji stanja vlažnosti mrtvog gorivog materijala.

Metoda razlikuje tri veličine mrtvog gorivog materijala: fino, srednje i krupno. Pokazatelji vlažnosti goriva su osnovne veličine za izračunavanje meteorološkog indeksa opasnosti od požara. Za sva tri pokazatelja vlažnosti vrijedi da kada vrijednost pokazatelja vlažnosti goriva raste, sadržaj vlage u gorivu se smanjuje.

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

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

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

Da bi se uvažilo zatečeno stanje, metoda uzima kao ulazne podatke i pokazatelje vlažnosti goriva izračunate za prethodni dan.

Pokazatelj vlažnosti finog goriva (FFMC) računa se po sljedećoj formuli:

$$FFMC = 59.5 (250 - m) / (147.2 + m) \quad (1a)$$

$$m = 147.2 (101 - FFMC) / (59.5 + FFMC) \quad (1b)$$

gdje je m sadržaj vlage u finom gorivu dobiven kao funkcija vlage u zraku.

U računu se razlikuju dva slučaja. Prvi je kada je u protekla 24 sata bilo oborine te drugi kada oborine nije bilo. U prvom slučaju računa se tzv. šifra ravnotežne vlage za sušenje, a u drugom slučaju 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.

Pokazatelj vlažnosti finog goriva FFMC je prvi modul indeksa opasnosti od požara koji predstavlja vlažnost sloja listinca (nataloženi mrtvi gorivi materijal) do dubine 2-3 cm. Pod uvjetima standardnog dana (temperature 21°C, relativne vlažnost zraka 45 % i brzine vjetra od 3.6 m/s u 12 UTC). vremensko zaostajanje FFMC iznosi 2/3 dana. Ovo znači da za manje od jednog standardnog dana s navedenim uvjetima možemo očekivati da će fina

goriva izgubiti oko dvije trećine svoje vlage. Treba naglasiti da FFMC ima ugrađenu prognozu. Naime FFMC predstavlja sadržaj vlage koji se očekuje u finom gorivu tijekom popodnevnog maksimuma opasnosti od požara između 14 i 16 h. Kako općenito svi požari započinju u sloju finog goriva, vrijednost pokazatelja vlažnosti FFMC je najpogodnija za ocjenjivanje zapaljivosti i pojave požara.

Sljedeći korak je da se izračuna pokazatelj vlažnosti goriva srednjeg krupnog goriva DMC, koji također uzima u obzir sadržaj vlage u gorivom materijalu od prethodnog dana. Također, uvažava činjenicu ako je padala kiša. U tom slučaju pokazatelj vlažnosti srednjeg krupnog goriva DMC je funkcija oborine. DMC je pokazatelj vlažnosti rahlog listinca u dubini od 5–10 cm. On se dobije iz ovih formulama:

$$DMC = DMC_0 \text{ (ili } DMC_r) + 100 K \quad (2)$$

$$K = 1.894 (T + 1.1)(100 - H) Le \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

gdje su:

DMC_0 = DMC prethodnog dana

DMC_r = DMC ako je padala kiša

T = temperatura zraka u 12 UTC

H = relativna vlaga zraka u 12 UTC

Le = duljina vidljivog dijela dana

r = 24-satna količina oborine (mm) od 12 UTC prethodnog dana do 12 UTC sljedećeg dana

Vrijeme potrebno da srednje krupno gorivo izgubi 2/3 svoje slobodne vlage iznosi 12 dana. U usporedbi s finim gorivom, ovo se gorivo daleko sporije suši do postizanja ravnotežnog sadržaja vlage. Na sadržaj vlage srednjeg goriva utječe količina oborine veća od 1.5 mm.

Pokazatelj vlažnosti krupnog dubokog goriva DC također uvažava zatečeno stanje. On pokazuje vlažnost krupnog dubokog goriva do 20 cm dubine. Požari koji su zahvatili duboko krupno gorivo teško se gase i izuzetan su problem za kontrolu.

Pokazatelj vlažnosti krupnog dubokog goriva DC dobije se iz relacije

$$DC = DC_0 \text{ (ili } DC_r) + 0.18(T + 2.8) + 0.5 Le \quad (4)$$

gdje su:

DC_0 = DC prethodnog dana

DC_r = DC poslije kiše

T = temperatura zraka u 12 UTC

Le = duljina vidljivog dijela dana

r = 24-satna količina oborine (mm) od 12 UTC prethodnog dana do 12 UTC sljedećeg dana

Veličina DC je dugoperiodični pokazatelj, koji je osjetljiv na sezonsko isušivanje koje traje dva, tri pa i četiri mjeseca. Iz prethodnih se vrijednosti računaju dva među-indeksa: indeks početnog širenja vatre ISI i indeks prikladnosti materijala za gorenje (naziva se i indeks ukupnog goriva BUI).

$$ISI = 0.208 f(W) f(F) \quad (5)$$

$$BUI = 0.8 DMC DC / (DMC + 0.4 DC) \quad (6)$$

gdje su:

$f(W)$ = funkcija vjetra

$f(F)$ = funkcija vlažnosti finog goriva

DMC = iz (2)

DC = iz (4)

Indeks ISI daje ocjenu širenja vatre nakon zapaljenja goriva standardnog tipa (kanadski bor). Veličina BUI daje numeričku vrijednost suhoće šumskog goriva i njegovo stanje za prihvata vatre. Za BUI = 119 gorivi materijal je dovoljno suh da prihvati vatru koja se dalje širi. Na kraju se određuje numerička vrijednost meteorološkog indeksa opasnosti od požara FWI:

$$FWI = 0.1 ISI f(D) \quad (7)$$

gdje su:

ISI = iz (5)

$f(D)$ = eksponencijalna funkcija koja u sebi sadrži BUI iz (6)

Indeks meteorološke opasnosti od požara FWI je numerička procjena potencijalnog intenziteta požara za gorivo standardnog tipa i relativna mjera očekivanog ponašanja požara i dnevnih potreba za kontrolu vatre. Mnoge aktivnosti koje se odnose na procjenu opasnosti mogu se planirati bolje odgovarajućom upotrebom komponenata FWI. Međutim, sam FWI ili povezan sa BUI općenito je najbolji način za opisivanje razreda opasnosti od požara. Prema kanadskim eksperimentalnim spoznajama FWI od 22 odgovara intenzitet od 2456 kW po metru duljine vatrene linije.

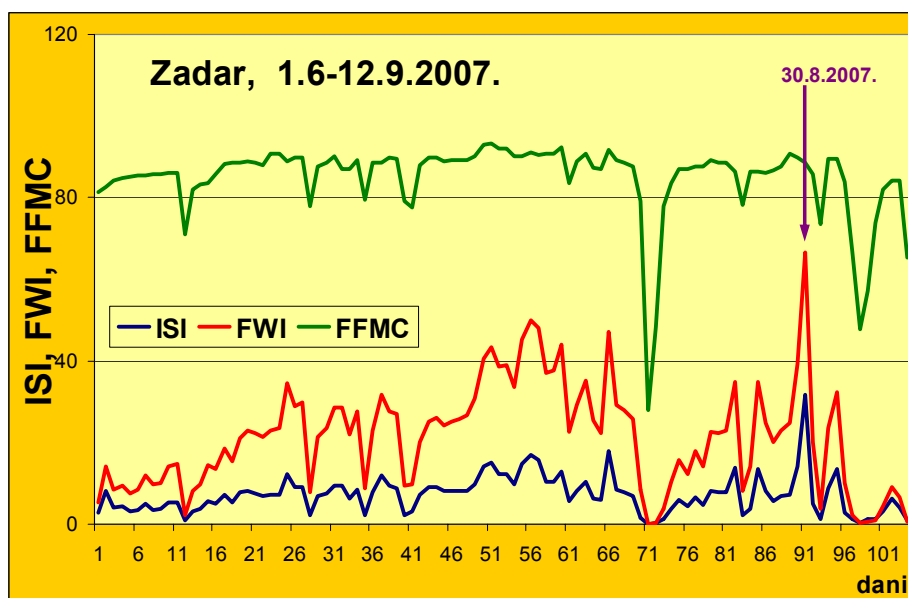
5.3. Analiza indeksa FMMC, ISI i FWI

Na slici 5.3.1 prikazane su vrijednosti FWI, ISI i pokazatelj vlažnosti mrtvog finog goriva FMMC za glavnu meteorološku postaju Zadar za razdoblje 1. lipnja – 12. rujna 2007. u 14 h, a numeričke su vrijednosti dane u tablici 5.3.2. za kolovoz–rujan 2007. Upravo su 30. kolovoza 2007. vrijednosti FWI i ISI postigle maksimalnu vrijednost u cijelom promatranom razdoblju. Dakle, tijekom cijelog ljeta 2007. (ali i od početka godine) u Zadru nisu postignute tako visoke vrijednosti FWI (66.6) i ISI (31.8) kao što su bile kada se dogodio kornatski požar.

Te su vrijednosti iznimno visoke. Za $ISI > 18$ kanadski znanstvenici predviđaju stvaranje požara u krošnjama u slučaju da gori visoka šuma i stvaranje više fronti požara (tablica 5.3.1). U svakom slučaju ovo je pokazatelj mogućeg stvaranja požara s najgorim učinkom pa i s nedovoljno ispitanim ili nepoznatim učincima koji mogu biti posljedica jakog vjetra.

Tablica 5.3.1. Odnos indeksa početka širenja požara ISI i brzine širenja požara (m/min)

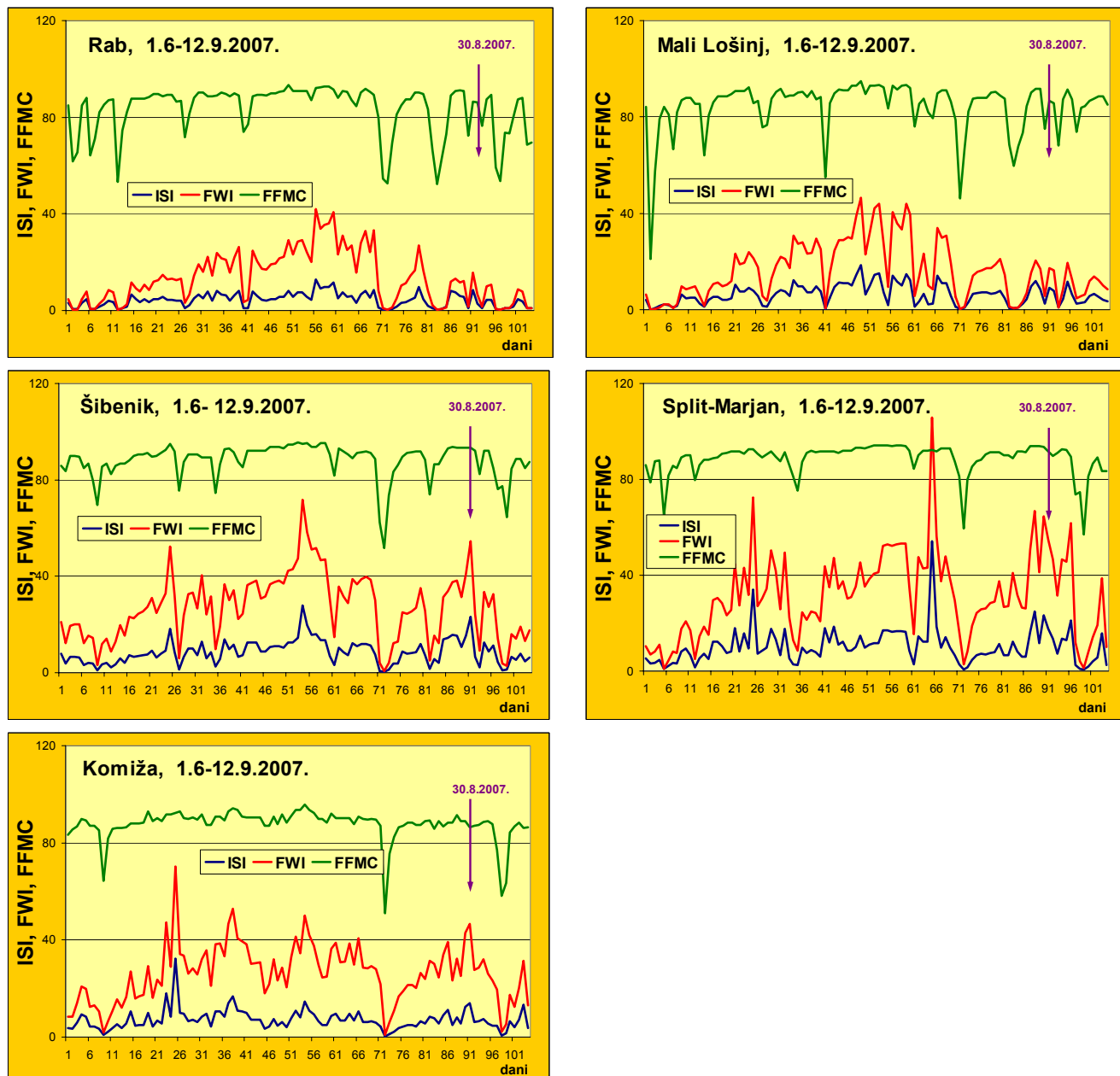
Indeks početnog širenja požara (ISI)	Brzina širenja požara (m/min)	Opis brzine širenja požara	Opis požara
0 – 7	1.5	sporo	–
8–12	3.0	umjereno	baklje
13–17	6.1	brzo	moguć požar u krošnjama
> 18	18.3	vrlo brzo	požar u krošnjama, više fronti



Slika 5.3.1. Dnevni hodovi indeksa FWI, ISI i FFMC za meteorološku postaju Zadar u razdoblju 1. lipnja–12. rujna 2007. u 12 UTC.

Kako na Kornatu nema sloja sa srednjim krupnim gorivom, kao ni sloja s krupnim gorivom, na slici 5.3.1. prikazan je samo pokazatelj vlažnosti finog goriva FFMC u Zadru. U razdoblju 1. lipnja–12. rujna 2007. ovaj pokazatelj nije prelazio vrijednost 93.4 koliko je izračunato za 21. srpnja 2007. uz 31% relativnu vlažnost zraka. Vrijednost FFMC iznosila je 88.5 za 30. kolovoza 2007. što bi odgovaralo sadržaju vlage u mrtvom finom gorivu oko 10–12% od njegove mase.

Osim za postaju Zadar prikazani su ISI, FWI i FFMC i za postaje Rab, Mali Lošinj, Šibenik, Split-Marjan i Komižu (slika 5.3.2). Na prikazu za Split-Marjan, Šibenik i Komižu uočljivo je povećanje vrijednosti FWI (54.9, 54.6 i 46.6 redom) za 30. kolovoza 2007. što je rezultiralo (uz stanje DMC i DC) i vrlo velikom opasnošću od šumskog požara na Split-Marjanu i u Komiži te velikom u Šibeniku. Na ostale dvije postaje Rab i Mali Lošinj opasnost je bila mala odnosno umjerena.



Slika 5.3.2. Dnevni hodovi indeksa FWI, ISI i FFMC za postaje Rab, Mali Lošin, Šibenik, Split-Marjan i Komiža u razdoblju 1. lipnja–12. rujna 2007. u 12 UTC.

Tablica 5.3.2. Vrijednosti temperature zraka (t, °C), relativne vlažnosti zraka (RV, %), brzine vjetera (v, m/s), količine oborine (P, mm) i indeksi FFMC, DMC, DC, ISI, BUI, FWI i DSR za meteorološku postaju Zadar u razdoblju kolovoz–rujan 2007. u 12 UTC. Označeni su dani: požar na Kornatu 30. kolovoza 2007. i posjet Ekspertne skupine Kornatu 25. rujna 2007.

mj	dan	t (°C)	RV (%)	v (m/s)	P (mm)	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR	opasnost
8	1	25.3	41	3	0.0	89.0	74.8	594.6	8.2	113.8	29.1	10.60	velika
8	2	28.6	38	3	0.0	90.8	78.6	602.8	10.5	118.5	35.1	14.76	vrlo velika
8	3	25.7	67	3	0.0	87.4	80.4	610.4	6.4	120.9	25.3	8.29	velika
8	4	29.3	29	3	3.4	86.9	63.7	604.9	6.0	100.8	22.2	6.59	velika
8	5	27.4	32	4	0.0	91.6	67.7	612.8	17.9	106.1	47.2	25.01	velika
8	6	27.5	57	3	0.0	89.3	70.2	620.7	8.4	109.5	29.3	10.72	velika
8	7	28.3	60	3	0.0	88.7	72.7	628.8	7.7	112.8	27.9	9.88	velika
8	8	26.6	64	3	0.0	87.7	74.7	636.6	6.8	115.5	25.8	8.54	velika
8	9	23.5	83	2	1.0	79.1	75.6	643.9	1.6	116.9	8.5	1.20	umjerena
8	10	19.4	91	2	18.6	27.9	34.4	530.7	0.0	59.2	0.0	0.00	mala
8	11	22.6	69	2	5.6	48.5	22.6	513.5	0.2	40.7	0.3	0.00	vrlo mala
8	12	26.9	57	2	0.2	77.8	25.1	521.3	1.4	44.8	3.9	0.30	vrlo mala
8	13	26.2	69	3	0.0	83.5	26.8	529.0	3.8	47.6	10.3	1.69	mala
8	14	28.4	57	3	0.0	87.0	29.5	537.2	6.1	51.8	15.8	3.59	umjerena
8	15	28.9	66	2	0.0	87.1	31.6	545.4	4.3	55.1	12.4	2.35	umjerena
8	16	28.4	57	3	0.0	87.5	34.2	553.5	6.5	59.2	17.8	4.47	umjerena
8	17	30.0	64	2	0.0	87.6	36.5	561.9	4.6	62.8	14.1	2.95	umjerena
8	18	29.6	48	3	0.0	89.2	39.8	570.2	8.3	67.8	22.7	6.86	umjerena
8	19	28.2	60	3	0.0	88.6	42.2	578.3	7.7	71.4	22.2	6.57	umjerena
8	20	26.5	49	3	0.0	88.7	45.1	586.1	7.8	75.7	23.0	6.99	umjerena
8	21	26.2	71	5	0.1	86.4	46.7	593.8	13.9	78.1	34.8	14.53	velika
8	22	27.2	71	3	2.0	78.1	43.9	601.7	2.1	74.2	8.2	1.12	mala
8	23	30.8	57	2	0.2	86.4	46.7	610.2	3.9	78.4	14.1	2.95	umjerena
8	24	26.2	71	5	0.0	86.3	48.3	618.0	13.6	80.9	34.8	14.59	velika
8	25	27.0	73	4	0.0	86.0	49.9	625.8	8.1	83.2	24.9	8.04	umjerena
8	26	28.6	62	3	0.0	86.6	52.2	634.0	5.8	86.6	20.0	5.46	velika
8	27	29.6	56	3	0.0	87.8	55.0	642.3	6.8	90.6	23.0	7.01	velika
8	28	32.1	41	2	0.0	90.7	59.1	651.1	7.2	96.3	24.8	7.98	velika
8	29	28.0	53	4	0.0	89.9	61.9	659.1	14.0	100.3	39.4	18.11	velika
8	30	28.3	61	6	0.0	88.5	64.3	667.2	31.8	103.6	66.6	45.98	velika
8	31	21.2	72	3	0.0	85.7	65.6	674.0	5.1	105.5	20.2	5.57	velika

Tablica 5.3.2. nastavak

mj	dan	t (°C)	RV (%)	V (m/s)	P (mm)	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI	DSR	opasnost
9	1	28.3	42	2	11.1	73.4	35.6	604.3	1.1	62.0	3.7	0.28	mala
9	2	27.5	34	3	0.0	89.6	38.9	611.0	8.8	67.2	23.6	7.31	umjerena
9	3	25.9	52	4	0.0	89.6	41.2	617.3	13.5	70.7	32.4	12.86	umjerena
9	4	15.3	82	2	0.1	83.8	41.8	621.8	2.7	71.5	10.1	1.62	umjerena
9	5	20.4	30	3	52.4	66.6	16.2	353.3	1.2	29.0	2.2	0.11	vrlo mala
9	6	14.4	71	3	9.4	47.7	8.9	327.6	0.3	16.6	0.2	0.00	vrlo mala
9	7	18.7	66	4	7.2	57.3	5.6	312.2	1.1	10.8	0.7	0.01	vrlo mala
9	8	21.4	71	2	0.0	73.8	6.8	317.8	1.1	12.9	0.8	0.02	vrlo mala
9	9	22.1	67	3	0.0	82.0	8.2	323.4	3.1	15.4	4.3	0.35	vrlo mala
9	10	22.5	68	4	0.0	84.1	9.5	329.2	6.3	17.7	9.0	1.34	mala
9	11	18.3	71	3	0.0	84.2	10.5	334.2	4.1	19.5	6.5	0.76	mala
9	12	21.0	48	2	7.3	65.2	7.4	318.5	0.8	14.0	0.6	0.01	vrlo mala
9	13	23.0	55	3	0.0	82.4	9.4	324.3	3.3	17.5	4.9	0.45	mala
9	14	22.7	60	3	0.0	85.3	11.1	330.1	4.8	20.4	7.8	1.02	mala
9	15	23.8	67	2	0.0	85.4	12.5	336.1	3.4	22.9	6	0.65	mala
9	16	24.3	67	3	0.0	85.4	14	342.2	4.9	25.4	8.9	1.3	mala
9	17	22.7	70	4	0.1	85.5	15.3	348	7.5	27.5	13.2	2.63	mala
9	18	22.1	85	5	1.1	77.9	15.9	353.7	5	28.6	9.8	1.54	mala
9	19	22.1	44	3	7.2	70.7	10.9	337.5	1.4	20.2	1.9	0.08	vrlo mala
9	20	21.4	30	3	0.0	87.8	13.7	343.1	6.8	24.9	11.6	2.1	mala
9	21	21.4	46	3	0.0	88.2	15.9	348.6	7.3	28.5	13.1	2.59	mala
9	22	21.3	54	3	0.0	88.3	17.7	354.2	7.3	31.5	13.9	2.87	mala
9	23	23.1	57	2	0.0	88.3	19.6	360	5.1	34.4	10.9	1.87	mala
9	24	21.1	29	3	0.0	91.0	22.4	365.5	10.8	38.8	20.7	5.82	umjerena
9	25	21.6	70	3	0.0	86.5	23.6	371.1	5.7	40.7	13	2.56	mala
9	26	17.2	82	3	0.0	83.1	24.2	375.9	3.6	41.6	9.1	1.34	mala
9	27	18.4	63	3	0.0	84.4	25.4	381	4.3	43.6	10.8	1.83	mala
9	28	21.3	46	2	65.4	57.6	10.3	179.9	0.5	18.0	0.5	0.01	vrlo mala
9	29	22.5	47	2	0.0	80.5	12.5	185.6	1.8	21.5	2.9	0.18	vrlo mala
9	30	22.1	77	3	0.0	82.1	13.5	191.3	3.1	22.9	5.6	0.57	mala

Vrijednosti ISI, FWI i FFMC su izračunate samo za glavne meteorološke postaje u 14 h (po ljetnom ukaznom vremenu) određenog dana. Međutim, ovoj analizi opasnosti od šumskih požara nedostaju prikazi ISI, FWI i FFMC za klimatološke postaje koje se nalaze na širem promatranom području (Božava, Kukljica, Silba, Vela Sestrica). To onemogućuje prostorni prikaz pojedinog indeksa požara s meteorološkom mezoanalizom budući da su vrijednosti ovih indeksa u izravnoj ovisnosti o vremenu odnosno o vrijednostima temperature i relativne vlažnosti zraka, brzine vjetra i količini oborine.

To znači da maksimalne vrijednosti ISI, FWI i FFMC i ne moraju biti baš u prikazanom terminu. Stoga bi bilo poželjno načiniti proračun indeksa za satne vrijednosti (za glavne meteorološke postaje) i za tri termina (7, 14, 21 sat) za klimatološke postaje, a napose za Velu Sesticu na kojoj se meteorološka motrenja obavljaju i češće (u osam termina). Time bi se dobio dnevni hod vrijednosti indeksa, a time i mogućnost točnog određivanja razdoblja dana kada su postigli maksimalne vrijednosti.

Dakako, ne treba izgubiti iz vida činjenicu da FFMC predstavlja sadržaj vlage mrtvog finog goriva, ali jednako tako dobro predstavlja sadržaj vlage u travnim sastojinama na Kornatu. Prvenstveno zato jer su zbog ljetne suše, dugotrajnog trajanja sijanja Sunca i visoke temperature zraka te travne sastojine većinom mrtvo gorivo (slika 5.3.3). Tako su primjerice prošlog ljeta u srpnju i kolovozu na postaji Vela Sestrica zabilježena dva dugotrajnija bezoborinska razdoblja u trajanju od 21 dan (13. srpnja–2. kolovoza) i 20 dana (12–31. kolovoza). Kratkotrajna kiša s količinom od 2 mm pala je upravo dan nakon kornatskog požara između 16.10 h i 16.30 h.

Srećom, tijekom proljeća 2007. započeo je s radom i eksperimentalni laboratorij Državnoga hidrometeorološkog zavoda u Makarskoj u suradnji sa Šumarskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu za potrebe istraživanja zapaljivosti, gorenja i brzine sušenja/vlaženja pojedinih biljnih vrsta karakterističnih za naše jadransko podneblje. Vrlo brzo se pokazalo koliko su takva istraživanja opravdana, neophodna i važna. Upravo je zahvaljujući prvim rezultatima, spoznajama i uhdanosti rada eksperimentalnog laboratorija bilo moguće takvo ispitivanje provesti i u slučaju kornatskog požara.



Slika 5.3.3. Suha trava (mrtvo gorivo) na području Kornata (klanac stradanja vatrogasaca) koja nije spaljena u požaru 30. kolovoza 2007. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.

5.4. Analiza Hainesovog indeksa

Uz operativni indeks meteorološke opasnosti od požara detaljno opisan u poglavlju 5.3., u Državnom hidrometeorološkom zavodu radi se i na ispitivanju drugih indeksa. Ovdje ćemo ukratko opisati neke rezultate dobivene prema Hainesovom indeksu (LASI – Lower Atmosphere Severity Index) koji uvažava vertikalnu promjenu temperature i vlažnosti zraka s visinom. Time se može procijeniti vertikalno stanje atmosfere pogodno za potencijalan rast, pa i eksplozivno ponašanje šumskog požara, a ovaj indeks u operativnoj je upotrebi u SAD-u i Australiji. Vrijednosti indeksa su od 2 do 6 (2 i 3 vrlo mali potencijal širenja i rasta požara, 4 mali, 5 umjereni i 6 veliki). Ponašanje šumskog požara uvelike ovisi o stabilnosti atmosfere.

Verifikacija Hainesovog indeksa na ponašanju šumskih požara (u SAD, Australiji, te u Hrvatskoj 2003. godine) pokazala je da se u slučaju Hainesovog indeksa šumski požar često ponaša drukčije od očekivanog s obzirom na prizemne meteorološke pokazatelje.

Za vrijeme 30. kolovoza 2007. godine Hainesov indeks izračunat je iz podataka visinskih radiosondažnih mjerenja na postaji Zadar-aerodrom. Budući da se radi o visinskim podacima, vrijednosti indeksa mogu se primijeniti i na područje Kornata. Vrijednost Hainesovog indeksa je u 00 UTC 30. kolovoza 2007. bio 5, a u 12 UTC 4, što i ovom metodom pokazuje da je atmosfera bila razmjerno nestabilna.

5.5. Članovi Ekspertne skupine na Kornatu

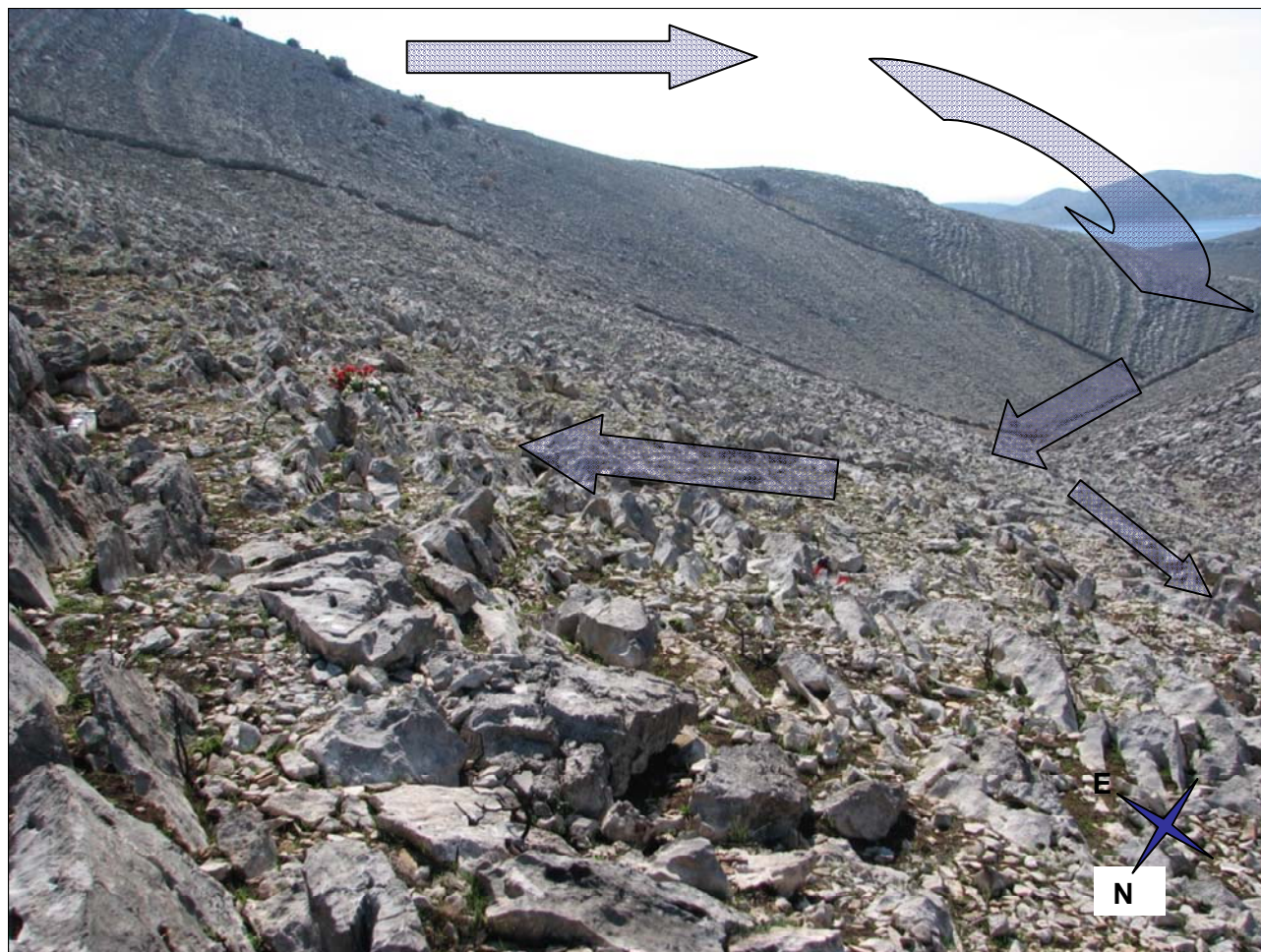
Dana 25. rujna 2007. članovi Ekspertne skupine bili su na otoku Kornatu (u tablici 5.3.2 označeno žutom bojom). Iz Državnog hidrometeorološkog zavoda bio je Marko Vučetić, dipl.ing. Skupina je od Divulja do Kornata prebačena helikopterom Mi8 kakav su rabili i vatrogasci za vrijeme gašenja požara na Kornatu. Helikopter se spustio iznad uvale Šipnata (oko 130 m/nm) malo iznad mjesta stradavanja vatrogasaca (slika 5.5.1).



Slika 5.5.1. Iskrcaj članova Ekspertne skupine na Kornatu 25. rujna 2007. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.

Skupina se spustila niz cijeli klanac do uvale Šipnata. Vrijeme je bilo vedro, ugodno toplo sa slabim jugom (SE) koje je postupno jačalo, a prema kraju dana se i naobljučilo. Na samom Kornatu jugo je bilo slabo do umjeren. Na mjestu iskrcaja iz helikoptera vjetar je bio umjeren (SE) te je u klanecu mijenjao smjer (kanalizirao se) i postupno slabio pa i potpuno prestao još prije izlaska iz klanca na morsku razinu. To ukazuje da se opće strujanje zraka SE smjera prebacivalo preko istočnog brdskog sedla u klanac. Tu se kanaliziralo te duž osi klanca uzdizalo do izlaza gdje je opet zahvaćeno općom strujom zraka (slike 5.5.2 i 5.5.3). Bez istovremenih mjerenja na više mjesta u klanecu i na okolnom području nije bilo moguće decidirano utvrditi strujanje zraka u klanecu u ovisnosti o općoj struji zraka izvan klanca. Ipak, može se pretpostaviti da su se i 30. kolovoza 2007. kada je također puhalo jugo, ali jače

nego 25. rujna, događale slične modifikacije strujanja zraka. Osim toga 30. rujna 2007. jaka struja vrućeg zraka prošla je u podnožju (ulaz) klanca duž morske obale iz smjera uvale Šipnata. To se lijepo vidi po krošnjama stabala koje je zahvatila ta vruća struja zraka, (slike 5.5.4 i 5.5.5). Ostaci nagorjelog drveća na dnu klanca (ulaz s morske strane) i usmjerenost vrućim zrakom isušenih lišća na stabalcima divljih krušaka sugeriraju struju zraka iz klanca prema moru (slika 5.5.4). Obrnuto je na vrhu klanca gdje ovi pokazatelji ukazuju na izlaznu struju i na gornjoj strani klanca. To bi svakako išlo u prilog pretpostavci da je vrući zrak ušao u klanac preko istočnih brdskih sedla.



Slika 5.5.2 Vrh klanca na Kornatu. Svijeće i cvijeće položeno na mjesta stradanja vatrogasaca. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.



Slika 5.5.3. Sredina klanca na Kornatu gdje je vjerojatno bilo više trave nego na okolnom području. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.



Slika 5.5.4. Dno klanca sa spaljenim stablom čije je lišće «zamrznuto» u smjeru (S) izlaza prema moru (lijevo) i osamljeno drvo izvan klanca, uz obalu, na kojem se vidi visina do koje je dopro vrući zrak (desno). Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.



Slika 5.5.5. Osamljena drva izvan klanca, uz obalu, na kojim se vidi visina do koje je dopro vrući zrak. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.



Slika 5.5.6. Maslinik na Kornatu čija je rubna stabla zahvatila vatra i vrući zrak. Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.

Na kornatskoj visoravni (polju) snimljeni su maslinici (slika 5.5.6) u kojima su samo dijelom spaljene masline, ali je zato na rubnim stablima maslinika vrućim zrakom isušeno lišće krošnji i plodovi (slika 5.5.7). To ukazuje da je gorjelo lako i brzo zapaljivo gorivo (trava) te da su vatra i vrući zrak brzo prenošeni jakim vjetrom. Time je vatra stvarala tzv. mozaik, slično kao u slučaju drugih požara uz jaki vjetar (Vučetić, 1999. te Vučetić i Vučetić 1999). Bilje i drveće koje može preživjeti učinak vrućeg zraka (nije spaljeno korijenje, deblo i grane) brzo regenerira stabljiku odnosno krošnju što je lijepo vidljivo na primjeru divlje kruške koja je svega za par tjedana obnovila vegetaciju (slika 5.5.7).

Da bi terenska zapažanja na Kornatu i iz toga izvučene preliminarne analize dobile na vjerodostojnosti potrebno je obaviti rekonstrukciju zbivanja odnosno meteorološka mjerenja na terenu (na Kornatu u klanca i oko njega) za vrijeme juga. Također i za sva druga istraživanja neophodno je i izrada makete klanca te obavljanje mjerenja u kontroliranim laboratorijskim uvjetima.



Slika 5.5.7. Krošnja masline (lijevo) i obnavljanje krošnje divlje kruške (desno). Snimio: Marko Vučetić 25. rujna 2007.

6. ZAKLJUČAK

Analiza meteoroloških prilika za vrijeme požara na Kornatu 30. kolovoza 2007. između 11 h i 18 h je prema podacima glavne meteorološke postaje Zadar i klimatološke postaje Vela Sestrica, kao najbližih postaja promatranoj lokaciji, pokazala da je prevladavalo sparno, djelomično oblačno i vjetrovito vrijeme zbog utjecaja ciklone sa zapadnog Sredozemlja. Analize ukazuju i na mogućnost postojanja plitke mezociklone nad širim zadarskim područjem. Danja je temperatura zraka bila iznad 26°C, a maksimum od 29°C je postignut u popodnevnim satima. Zrak je bio relativno bogat vlagom na što ukazuje relativna vlažnost zraka između 55% i 70% te smanjena vidljivost do 10 km. U skladu sa zaklonjenošću Sunca grudastim niskim i srednjim oblacima (kumulesima, stratokumulesima i altokumulesima) te visokim vlaknastima oblacima (cirusima) mijenjale su se vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja (približno između 5 kJ/m² i 45 kJ/m²). Nebo je najviše bilo prekriveno oblacima (8 desetina) između 8 h i 14 h. Oblaci vertikalnog razvoja kumulusi ukazuju na povoljne vremenske uvjete za konvekciju (dizanje toplog zraka) odnosno na labilno stratificiranu atmosferu koja pogoduje uzlaznom gibanju zraka. Tijekom dana tlak je zraka neprestano padao, što je ukazivalo na približavanje atmosferskog poremećaja, a svoj je minimum postigao između 17 i 18 sati. Puhalo je umjereno do jako jugo većinom iz SE smjera. Digitalnim su anemometrom u Zadru izmjereni 10-minutni maksimalni udari juga iznad 10 m/s u razdoblju od 10.10 h do 16.10 h. Maksimalni udar vjetra od 15.9 m/s (57 km/h) zabilježen je u 13.20 h nakon čega je odmah i zabilježena najveća srednja 10-minutna brzina vjetra od 11.6 m/s (42 km/h). Srednja 10-minutna brzina vjetra veća od 10.8 m/s smatra se jakim vjetrom. Okretanjem vjetra na E i NE smjerove u večernjim satima došlo je do naglog slabljenja prizemnog vjetra.

Za analizu vertikalne strukture atmosfere nad promatranim područjem primijenjeni su numerički prognostički model za ograničeno područje ALADIN/HR i numerički nehidrostatski mezomodel MM5. Budući da je verifikacija procijenjenih vertikalnih profila temperature zraka te brzine i smjera vjetra s radisondažnim mjerenjima nad Zadar-aerodromom (Zemunikom) 30. kolovoza 2007. u 14 h pokazala bolje slaganje MM5 simulacije nego ALADIN/HR, za procjenu vertikalne strukture nad kornatskim područjem uzeti su rezultati modela MM5 svaki sat u vrijeme trajanja požara. Rezultati te simulacije pokazuju da je SE vjetar jačao s visinom uglavnom do 150 m visine s jakim vertikalnim smicanjem vjetra (porast brzine vjetra iznosio je 3–4 m/s po 100 m visine). Između 11 h i 16 h labilna je stratifikacija tog donjeg sloja atmosfere pogodovala i uzlaznim strujama u njemu. U sloju od razine maksimuma brzine vjetra do 470 m visine porasla je temperature zraka odnosno pojavila se temperaturna inverzija i stabilni sloj zraka. To je uzrokovalo slabljenje vjetra i okretanje od SE na S smjer do približno 1 km visine. Za vrijeme požara maksimalna se brzina vjetra u donjem sloju troposfere mijenjala između 12 m/s i 14 m/s. Međutim, model MM5 je procijenio da je jak vjetar puhao u sloju debljine od 70 m do 280 m. Tako je u 11 h na početku požara brzina vjetra ≥ 10 m/s bila u sloju visine 40–320 m, između 13 h i 16 h u sloju visine 150–220 m, a zatim u sloju 70–220 m. U tom sloju bilo je vrlo jako smicanje vjetra što je dovelo do velikih vrijednosti turbulentne kinetičke energije. Ona ukazuje na mogućnost pojave jake turbulencije u donjim slojevima atmosfere iznad Kornata.

Prizemna i visinska analiza pokazala je da su vremenske prilike s jakim vjetrom iz SE smjera i uzlaznim gibanjima u donjem sloju troposfere pogodovale širenju požara na Kornatu 30. kolovoza 2007. između 11 h i 18 h.

U ovdje prikazanoj operativnoj analizi kanadskog meteorološkog indeksa opasnosti od požara (*Canadian Forest Fire Weather Index System*) za postaju Zadar vidljivo je da su vrijednosti FWI i ISI upravo 30. kolovoza 2007. postigle najveću vrijednost (66.6 i 31.8 redom) u razdoblju 1. lipnja–12. rujna 2007. Dakle, tijekom cijelog ljeta 2007. (ali i od početka godine) u Zadru nisu postignute tako visoke vrijednosti FWI i ISI kao što su bile toga dana kada se dogodio kornatski požar.

Za vrijednosti $ISI > 18$ kanadski znanstvenici predviđaju stvaranje požara u krošnjama u slučaju da gori visoka šuma i stvaranje više fronti požara. U svakom slučaju ovo je pokazatelj mogućeg stvaranja požara s najgorim učinkom pa i s nedovoljno ispitanim ili nepoznatim učincima koji mogu biti posljedica jakog vjetra.

Vrijednost pokazatelja stanja vlažnosti mrtvog finog goriva FFMC iznosila je 88.5 za 30. kolovoza 2007. što bi odgovaralo sadržaju vlage u mrtvom finom gorivu oko 10–12% od njegove mase.

Terenska zapažanja na otoku Kornatu ukazuju da je gorjelo lako i brzo zapaljivo gorivo (trava) te da su vatra i vrući zrak brzo prenošeni jakim vjetrom. Na vegetaciji je vidljiv učinak vatre tzv. mozaik slično kao u drugim slučajevima požara na Jadranu uz jaki vjetar. Sva su zapažanja na otoku Kornatu subjektivna i obavljena bez upotrebe mjernih instrumenata.

Da bi terenska zapažanja na Kornatu i iz toga dobivene analize bile vjerodostojne potrebno je obaviti meteorološka mjerenja na terenu (na Kornatu u klancu i oko njega) pri sličnim vremenskim uvjetima kakvi su bili 30. kolovoza 2007. kao i obaviti istraživanja u kontroliranim laboratorijskim uvjetima.

Postojeće meteorološke analize u situacijama s požarima pokazale su posebne učinke vatre u određenim vremenskim uvjetima na našim otocima i obali. Međutim, za sveobuhvatnija saznanja potreban je intenzivniji istraživački rad na tom području, kao i veći prijenos multidisciplinarnog znanja i spoznaja vatrogascima, koji se mogu zateći u iznimno pogibeljnim situacijama pri gašenju požara.

Tijekom proljeća 2007. započeo je s radom i eksperimentalni laboratorij Državnoga hidrometeorološkog zavoda u Makarskoj u suradnji sa Šumarskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu za potrebe istraživanja zapaljivosti, gorenja i brzine sušenja/vlaženja pojedinih biljnih vrsta karakterističnih za naše jadransko podneblje. Već se ovom prilikom pokazalo koliko su takva istraživanja opravdana, neophodna i važna. Upravo je zahvaljujući prvim rezultatima, spoznajama i uhodanosti rada eksperimentalnog laboratorija bilo moguće provesti ispitivanje i u slučaju kornatskog požara.

7. PREPORUKE

S obzirom da se kod nas još uvijek nedovoljno istražuje veza vremenskih prilika i ponašanje šumskih požara, ova analiza ukazuje na nekoliko nužnih koraka koje je potrebno poduzeti:

1. organizirati sustavno praćenje i analiziranje klime i vremena te njihove povezanosti s pojavom požara na otvorenom
2. obavezno analizirati i javno objaviti meteorološke uvjete pri pojavi velikih požara kod kojih je došlo do stradavanja gasitelja i zaštićenih područja, velikih materijalnih šteta, ili su se pojavili neki zanimljivi popratni učinci vatre
3. nužnost prijenosa znanja iz područja povezanosti vremenskih prilika i ponašanja šumskih požara operativnom zapovjednom vatrogasnom osoblju, vatrogascima na terenu, ali i široj javnosti kako bi se povećala svijest o opasnosti šumskih požara i spremnost reagiranja u datim situacijama
4. uspostaviti sustav upozorenja, kao i proširiti prognostičko razdoblje za koje se ta upozorenja daju (umjesto sadašnjih 24 sata prognozu proširiti na 5 do 7 dana)
5. uspostaviti znanstvenu suradnju sa znanstvenicima iz zemljama koje prednjače u ovakvim istraživanjima kao što su Kanada, Francuska, Portugal ili druge države EU te omogućiti prijenos znanja i tehnologije
6. raditi na daljnjoj prilagodbi i poboljšanju kanadskog indeksa opasnosti od požara za naše podneblje, kao i uvođenju i ispitivanju drugih indeksa
7. modernizirati i povećati broj automatskih meteoroloških postaja s namjenom zaštite šuma od požara, kao i nabaviti mobilnu meteorološku opremu za obavljanje mjerenja na terenu
8. eksperimentalni laboratorij u Makarskoj treba u potpunosti privesti svrsi, proširiti obim rada laboratorija u skladu sa zajedničkim interesom ostalih institucija u RH, te na taj način stvoriti nacionalni centar za istraživanje šumskih požara po uzoru na druge sredozemne zemlje

Literatura:

ALADIN, 1997: The ALADIN project: mesoscale modeling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research, *WMO Bulliten*, **46**, 317–324.

Bonner, W. D., 1968: Climatology of the low level jet, *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 833–850.

Dimitrov, T. i drugi 1987: Osnove zaštite šuma od požara, Poglavlje: Šumski požari i sistemi procjene opasnosti od požara, CIP, Zagreb, 181-256.

Grell, G. A., Dudhia, J. and D. R., Stauffer, 1995: A Description of the Fifth' Generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 122 str.

Ivančan-Picek, B., D. Glasnović, V. Jurčec, 2003: Analysis and ALADIN prediction of a heavy precipitation event on the Eastern side of the Alps during MAP IOP5. *Meteorologische Zeitschrift*, **12**, 103-112.

Ivančan-Picek, B., Jurčec, V. and D. Drvar, 2006: On the causes of Adriatic *jugo* wind variations, *Hrvatski meteorološki časopis*, **41**, 21–32.

Ivatek-Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of High-Resolution Dynamical Adaptation in Operational Suite and Research Impact Studies. *Meteorologische Zeitschrift*, **13**, No. 2, 99-108.

Ivatek-Šahdan, S. and B. Ivančan-Picek, 2006: Effects of different initial and boundary conditions in ALADIN/HR simulations during MAP IOPs, *Meteorologische Zeitschrift*, **15**, 2, 187–197.

Jurčec, V. i T. Dimitrov, 1986: Meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara, *CAD/CAM*, **8**, 419-424.

Kraljević, L. and K. Špoler Čanić, 2005: High resolution simulation of a severe bura event using nonhydrostatic numerical model, *Hrvatski meteorološki časopis*, **40**, 292–295, Zagreb.

Šikić, Z., 2002: Knjiga o kalendarima. Profil, Zagreb. 256 str.

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

Van Wagner, C.E. and T.L. Pickett, 1985: Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System, Canadian Forestry Service, Government of Canada, Forestry Technical Report 33, 18 pp.

Viegas, D. X., 1998: Weather, fuel status and fire occurrence: Predicting large fires Large forest fires (ed. J. M. Moreno), Backhuys Publishers, Leiden, 31–48.

Viegas, D. X., 2006: Anatomy of a Blow-up, *Wildfire Magazine*, September **1**, 7 pp.

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., 1998a: Specijalna mjerenja nakon šumskih požara na otoku Hvaru, *Vatrogasni vjesnik*, **4**, 12.

Vučetić, M., 1998b: Utjecaj vremena na nastanak i širenje šumskog požara, *Vatrogasni vjesnik*, **10**, 21–22.

Vučetić M., 1998c: The influence of weather condition on forest fire on the island of Hvar, 28 July–4 August 1997, III International Conference on Forest Fire Research, Vol. I, Luso, Portugal, 16–20 November 1998, 1295–1303.

Vučetić M., 1999: Požari u različitim vremenskim situacijama, *Vatrogasni vjesnik*, **12**, 12–14.

Vučetić, M., 2001: Vremenske prilike i šumski požari na hrvatskom priobalju tijekom 2000. *Šumarski list*. **7–8**, 367–378.

Vučetić M. i T. Dimitrov, 2000: Vremenske prilike i šumski požari u priobalju Republike Hrvatske u 1999. godini, *Šumarski list*, **9-10**, 549–560.

Vučetić M. i V. Vučetić, 1999: Different types of the forest fires on the Croatian coast, Symposium Forest Fires: Needs and Innovations, DELFI99, Athens, Greece, 17–20 November 1999, 365–369.

Vučetić, V., 1988: Bora on the northern Adriatic, 12–18 April 1982, *Rasprave*, **23**, 27–44.

Vučetić, V., 1997: Sever Bora along the Adriatic Coast, INM-WMO International Symposium on Cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Palma de Mallorca, Spain, 14–17 April 1997, 517–524,.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU



POGLAVLJE 5

VEGETACIJSKE PRILIKE I GORIVI
MATERIJAL NA KORNATU VEZANO UZ
KORNATSKI POŽAR 30.KOLOVOZA 2007.
GODINE

AUTORI:
IZV.PROF.DR.SC.ŽELJKO ŠPANJOL
ROMAN POSAVEC, DIPL.ING.ŠUM.

SPLIT 15. SIJEČNJA 2008.

SADRŽAJ

<u>5.1. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ N.P. KORNATI</u>	<u>5</u>
<u>5.2. VEGETACIJSKE PRILIKE</u>	<u>5</u>
<u>5.3. UZORKOVANJE NA TERENU.....</u>	<u>6</u>
<u>5.4. TESTIRANJE ZAPALJIVOSTI GORIVOG MATERIJALA</u>	<u>7</u>
<u>5.5. RASPRAVA</u>	<u>20</u>
<u>5.6. ZAKLJUČAK</u>	<u>24</u>
<u>5.7. PREPORUKE</u>	<u>25</u>
<u>5.8. LITERATURA</u>	<u>27</u>

5.1. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ N.P. KORNATI

Broj otoka, otočića i hridi koje čine otočnu skupinu Kornati te njihovu površinu mnogi autori pišu drugačije, a Friganović (1996) ističe da broj i površina Kornata međusobno su zavisne veličine. Nacionalni park Kornati čini 101 otok, otočić i hrid s ukupno 224 km² otočno morske površine, od ukupno 149 otoka, otočića i grebena s ukupno 320 km² otočno morske površine. Granicu Kornata sa sjeverozapada čini Dugi otok, dok na jugoistoku granicu čine otoci ispred Žirja. Prema kopnu Kornati su omeđeni otocima Pašmanom, Vrgadom i Murterom, a prema jugozapadu su izloženi otvorenom moru duljinom od 35 km. Pružaju se u četiri usporedna otočna niza i tri kanala. Otočni nizovi su: sitski, žutski, kornatski i piškeraški otočni niz, a kanali su: sitski, žutski i kornatski kanal.

5.2. VEGETACIJSKE PRILIKE

Zbog svoje specifičnosti vegetacijske značajke Kornata istražuju se dugi niz otoka. Iako prema zadnjim istraživanjima Trinajstića (1996) u vegetacijsko-fitogeografskom smislu svi Kornatski otoci, otočići i hridi pripadaju eumediteranskoj vegetacijskoj zoni mediteransko-litoralnog pojasa mediteranske regije gdje osnovicu klimazonalne šumske vegetacije tvori zajednica *Myrto-Quercetum ilicis*, vegetacije stjenjača zajednica *Phagnalo-Centaureetum ragusina* te vegetacije priobalnih grebenjača zajednica *Plantagini-Limonietum cancellati*, u fitocenološkom smislu oni ne pripadaju eumediteranskim vegetacijskim oblicima, što bi bilo za očekivati, već pripadaju submediteranskim vegetacijskim oblicima. Razlog što je Kornatsko otočje obraslo pašnjačkom vegetacijom treba tražiti u činjenici da su tijekom dugoga povijesnog razdoblja (Pevalek, 1930, Kulušić 1965, Filipi 1972, Matić i dr., 2001) šume sustavno paljene, kako bi se na taj način dobile površine za ispašu ovaca i koza koje su Murterani, koji su od davnine vlasnici Kornata, prebacivali iz kopnenog zaleđa na Kornate, te vunom, sijenom i nečistim sjemenom prenijeli niz submediteranskih pašnjačkih vrsta i najrazličitijih korova. Kako se sve vrste pašnjačkih oblika vegetacije ne šire epizookorno, to su Kornatski pašnjaci izrazito siromašni vrstama (Trinajstić 1996). Prema vegetacijskoj karti RH List: Dugi otok 2, na istraživanom području dolazi sljedeća biljna zajednica, odnosno asocijacija i njezina subasocijacija:

asocijacija. *Stipo-salvietum officinalis* H-ić (1956) 1958. (as. kovilja i ljekovite kadulje)

subasocijacija: *Stipo-salvietum officinalis* var. *Brachypodium ramosum*
(subasocijacija kovilja i ljekovite kadulje s kostrikom)

Najzastupljenije vrste nađene na istraživanom području su:

Stipa bromoides (L.) Doerfler – kovilje

Stipa pennata L. – kovilje

Poa bulbosa L. – vlasnjača

Poa sylvicola Guss. – vlasnjača

Koeleria splendens K. Presl – smilica

Brachypodium ramosum (L.) R.S. – kostrika

Euphorbia spinosa L. – bodljikava mlječika

Onosma javorkae Simk. – oštrolist

Cytisus spinescens Presl – bodljikava žučica

Smilax aspera L. – tetivika

Rubus ulmifolius Schott – kupina

Salvia officinalis L. – ljekovita kadulja

Pirus amygdaliformis Vill. (*P. spinosa*) – dugolisna kruška

Asparagus acutifolius L. – šparožina

5.3. UZORKOVANJE NA TERENU

Uzorkovanje vegetacije učinjeno je na bočnoj strani (SZ) koju vatra nije poharala. Treba uzeti u obzir da pokrovnost vegetacije nije na krševitom terenu homogena. Mi smo uzeli u obračun pokrovnost vegetacijom od 45 % do 55 %. Kako je požar potpuno spalio uglavnom dostupnu travnu vegetaciju kod analiziranja uzoraka zasebno su analizirani uzorci travne vegetacije od drvenaste (grmlje i penjačice). Zato smo kod obračuna gorive biomase posebno obračunali travnu vegetaciju (sve vrste), a posebno smo grupirali drvenastu vegetaciju (3. analizirane vrste). Veličina pokusnih ploha je bila 20 x 20 cm (400 cm²).

5.4. TESTIRANJE ZAPALJIVOSTI GORIVOG MATERIJALA

Testiranje zapaljivosti obavljeno je u laboratoriju u Makarskoj prema metodologiji koju je opisao Valette (1990), a koju ćemo mi kratko prikazati.

Po dolasku u laboratorij sa terena gdje su uzorci ubirani slijedi njihova priprema za testiranje zapaljivosti. Mjerenje zapaljivosti podijeljeno je u dvije serije. U prvoj seriji slaže se 25 uzoraka težine 1 g (granice 0.950-1.050 g) koji se dobiju vaganjem preciznom vagom s preciznošću na tisućinku grama (podjela 0,001 g). Potom se napravi jedan uzorak težine 5 g (granice 4.950-5.050 g). nakon toga slijedi testiranje zapaljivosti. Parametri zapaljivosti su:

- Frekvencija ili učestalost zapaljivosti (FI -frequency d inflammation)
- Odgoda zapaljivosti (DI delai d inflammation)
- Trajanje gorenja (DC – duree moyenne de combustion).
- Intenzitet gorenja (IC – intensite de la combustion)
- Indeks suhoće (IS – indice de siccite)

Uzorak se izlaže temperaturi od 420°C (temperatura koju proizvodi epiradiator, odnosno laboratorijsko grijalo). Mjerenje zapaljivosti vrši se štopericom koja može bilježiti više zasebnih vremena. Čim se uzorka stavi na epiradiator počinje teći prvo vrijeme odnosno odgoda zapaljivosti (DI) koje traje do trenutka pojave plamena (samozapaljenja) i od tada počinje teći drugo vrijeme odnosno trajanje gorenja (DC) koje završava gašenjem plamena. Ukoliko se u vremenskom rasponu od 60 sekundi ne pojavi plamen frekvencija (FI) se smatra negativnom i obrnuto. Za testiranja u kojima je opaženo gorenje provodi se kvalitativna procjena gorenja, odnosno intenzitet gorenja (IC) prema propisanoj skali. Po završetku testiranja prve serije pristupa se pripremi za testiranje druge serije. Ona je identična pripremi prve serije. Potom slijedi testiranje druge serije. Nakon završetka testiranja druge serije naprave se još dva uzorka težine 5 g. Dakle na kraju sveukupnog testiranja imamo 4 uzorka težine 5 g. Ta četiri uzorka stavljaju se u sušionik na konstantnu temperaturu od 60°C kao bi se utvrdio sadržaj vlage uzoraka koji su testirani, te da bi se izračunao indeks suhoće (IS). Prema tablici koju koristi Valette (1990) i Dimitrov (1994) daju se ocjene zapaljivosti. Ocjene su u rasponu 6 razina, a određuju se na temelju frekvencija ili učestalosti zapaljivosti (FI) i aritmetičke sredine odgode zapaljivosti (DI) koja je izražena u sekundama. Aritmetička sredina trajanja gorenja (DC) koja je također izražena u sekundama, pokazuje kojom brzinom zapaljena vegetacija izgori. Intenzitet gorenja (IC) za testiranja u kojima je opaženo gorenje provodi se na temelju kvalitativne procjene gorenja prema skali koju koristi Dimitrov (1994).

Testirana vrsta:	<i>Smilax aspera</i> L.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	A				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.6°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	19,62	5,28	3	
2	1	19,12	7,55	3	
3	1	17,66	9,82	4	
4	1	17,09	7,21	3	
5	1	16,98	8,96	3	
6	1	18,87	9,76	2	
7	1	19,29	7,03	3	
8	1	17,08	8,38	4	
9	1	18,69	7,78	4	
10	1	19,27	6,93	3	
čestina pozitivnih testova	10/10				
aritmetička sredina		18,37	7,87	3,2	
standardna devijacija		1,0473	1,4010		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	17,95 g
				PS (DW)	14,23 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	26,14 %
				TH	20,72 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	58,55
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	B				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.6°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	8,43	10,18	3	
2	1	9,67	11,50	3	
3	1	9,58	10,55	2	
čestina pozitivnih testova	3/3	9,23	10,74	2,7	
aritmetička sredina					
standardna devijacija		0,6914	0,6809		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	14,51 g
				PS (DW)	12,57 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	15,43 %
				TH	13,31 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	73,26
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	<i>Salvia officinalis</i> L.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	C				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.6°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: nadzemni dio do promjera 5mm (on je gorio)					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	23,90	18,89	3	
2	1	21,12	18,45	3	
3	1	19,53	21,13	3	
4	1	22,04	19,16	2	
5	1	21,55	20,79	3	
6	1	19,18	19,96	4	
7	1	20,78	20,57	3	
8	1	22,57	19,04	4	
9	1	23,01	18,73	3	
10	1	22,34	19,71	3	
čestina pozitivnih testova	10/10				
aritmetička sredina		21,60	19,64	3,1	
standardna devijacija		1,4909	0,9375		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	103,83 g
				PS (DW)	47,94 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	116,58 %
				TH	53,83 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	-7,66
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	<i>Smilax aspera</i> L.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	D.				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.8°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	19,13	7,77	3	
2	1	20,00	6,98	3	
3	1	20,26	7,21	3	
4	1	19,54	8,85	4	
5	1	21,02	7,03	3	
čestina pozitivnih testova	5/5				
aritmetička sredina		19,99	7,57	3,2	
standardna devijacija		0,7204	0,7822		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	20,44 g
				PS (DW)	16,36 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	24,94 %
				TH	19,96 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	60,08
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	<i>Smilax aspera</i> L.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	E.				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.8°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	19,48	7,57	3	
čestina pozitivnih testova	1/1				
aritmetička sredina		19,48	7,57	3	
standardna devijacija					
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	13,21 g
				PS (DW)	11,79 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	12,04 %
				TH	10,75 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	78,50
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	Travna vegetacija: <i>Stipa</i> sp., <i>Poa</i> sp., <i>Koeleria</i> sp., <i>Brachypodium</i> sp.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	F.				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.6°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	1,77	12,67	5	
2	1	1,92	11,35	5	
3	1	2,04	11,91	5	
4	1	2,11	13,66	5	
5	1	2,00	12,46	5	
6	1	1,91	12,12	5	
7	1	1,83	11,78	5	
8	1	1,97	13,05	5	
9	1	2,17	11,79	5	
10	1	2,09	12,53	5	
čestina pozitivnih testova	10/10				
aritmetička sredina		1,98	12,33	5,0	
standardna devijacija		0,1266	0,6859		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	63,84 g
				PS (DW)	53,52 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	19,28 %
				TH	16,17 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	67,67
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Testirana vrsta:	Travna vegetacija: <i>Stipa</i> sp., <i>Poa</i> sp., <i>Koeleria</i> sp., <i>Brachypodium</i> sp.				FI - učestalost zapaljivosti
Lokacija	Kornat				DI - odgoda zapaljivosti
Uzorak:	G.				DC - trajanje gorenja
Vrijed. suhog termom.	20.8°C				IC - intenzitet gorenja
Datum testiranja:	1.10.2007.				
Uzorak: cijeli nadzemni dio					
Pokrovnost vegetacije 45-55 %					
Test	FI	DI (s)	DC (s)	IC	
1	1	1,91	12,43	5	
2	1	2,13	11,90	5	
3	1	2,07	13,03	5	
4	1	2,00	12,87	5	
5	1	1,89	12,67	5	
6	1	2,02	12,88	5	
7	1	1,93	11,87	5	
8	1	1,89	12,51	5	
9	1	1,96	13,09	5	
10	1	1,93	12,69	5	
čestina pozitivnih testova	10/10				
aritmetička sredina		1,97	12,59	5,0	
standardna devijacija		0,0806	0,4280		
FMC = $\{(FW - DW) / DW\} 100$				PF (FW)	61,12 g
				PS (DW)	52,43 g
TH = $\{(PF - PS) / PF\} 100$				FMC	16,57 %
				TH	14,22 %
IS = $200 (PS / PF) - 100$				IS	71,56
PF (FW) - težina svježeg uzorka					
PS (DW) - težina suhog uzorka					
IS - indeks suhoće					
FMC - sadržaj vlage					
TH - sadržaj vlage					

Slika 1. – Epiradiator – laboratorijsko električno grijalo

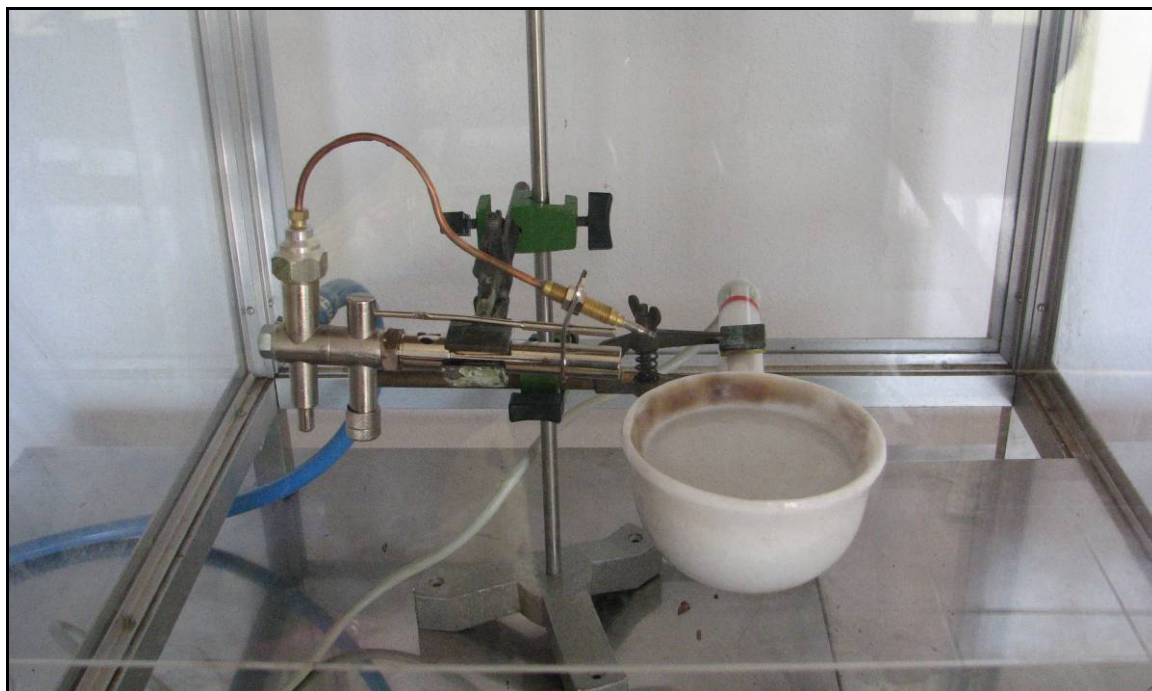


Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 2. – Zagrijavanje epiradiatora

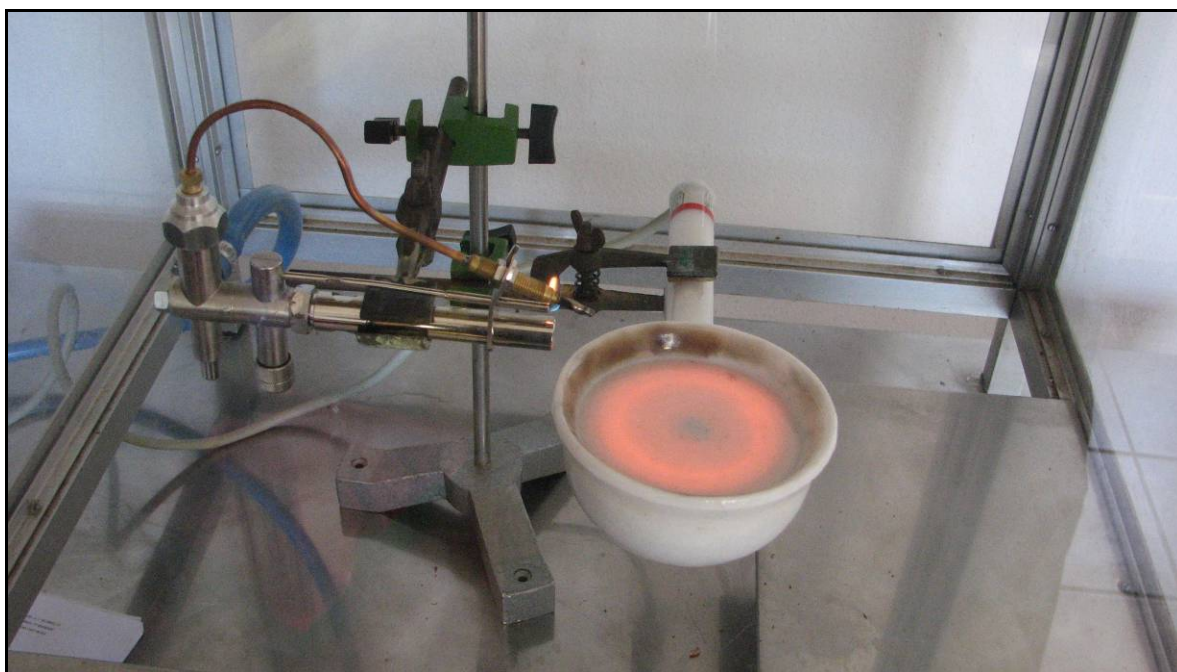


Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 3: - Testiranje zapaljivosti gorivog materijala



Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 4. – Intenzitet gorenja gorivog materijala



Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 5. – Određivanje pokusnih ploha na terenu



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Slika 6. – Sakupljanje uzoraka na terenu



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Slika 7. – Pripremljeni uzorci kadulje (*Salvia officinalis* L.) za testiranje

Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 8. Pripremljeni uzorci kupine (*Rubus ulmifolius* Schott) za testiranje

Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 9. Pripremljeni uzorci tetivike (*Smilax aspera* L.) za testiranje



Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

Slika 10. Pripremljeni uzorci travne vegetacije (Travna vegetacija: *Stipa* sp., *Poa* sp., *Koeleria* sp., *Brachypodium* sp..) za testiranje



Foto: Roman Rosavec, dipl.ing.šum.

5.5. RASPRAVA

Dana 25. rujna 2007. godine članovi ekspertne skupine bili su na otoku Kornatu. Sa šumarskog fakulteta bio je Izv.prof.dr.sc. Željko Španjol. Skupina je sa heliodroma u Divuljama u Splitu do Kornata prevezena helikopterom Mi8. Tim modelom helikoptera su prebačeni i vatrogasci kobnog dana 30, kolovoza 2007. godine.

Helikopter nas je spustio iznad uvale Šipnata (oko 130 m/nm), malo iznad mjesta stradanja vatrogasaca.

Slika 11. – Iskrcaj članova ekspertne grupe na Kornatu 25. rujna 2007. godine



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Ekspertna skupina se spustila cijelom dužinom klanca sve do spomenute uvale.

Slika 12. – Spuštanje ekspertne skupine



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Putem sam obavio vegetacijsku analizu cjelokupnog klanca, tj. i izgorjelog dijela (stradanje vatrogasaca) kao i rubna područja (padine) kuda vatra nije prošla i vegetacija je sačuvana.

Slika 13. – Sačuvana vegetacija na rubnom području klanca



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Ono što je odmah uočljivo je da je 45 dana nakon vatrene stihije vegetacija u progresiji. Obnavlja se nisko raslinje (travna vegetacija) dok drvenaste vrste tjeraju iz pupova i pridanaka (žilja). Uzorkovanjem na većem broju grmova više vrsta odmah je uočljivo da grmovi nisu izgoreni, tj. da je drvenasti dio (grančice, stabljike) debljine prosječno iznad 0,5 cm (negdje i tanje) ostao živ. Samo na mjestima između kamenih blokova i škrapa i grmovi kadulje i kupine su potpuno izgorjeli.

Slika 14. – Obnova vegetacije (kadulja)



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Slika 15. – Obnova travne vegetacije



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

To i djelomično izgorjele krošnje samo donjih dijelova na višem grmlju (stablima) govori o brzini širenja vatrene fronte. Smjer i brzina strujanja vrućeg zraka vidi se i prema usmjerenju isušenog lišća niskog drveća napose u klanacu i ulazu u klanac u uvali Šipnat.

Slika 16. – Visina vrućeg zraka i vatre



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

Vrlo slikovito brzinu širenja vrućeg zraka i vatre možemo zapaziti kod travne vegetacije. Na ravnijim predjelima gdje su površine sa više zemlje ona je u potpunosti izgorjela, dok na krševitom predjelu potpuno suha travna vegetacija je izgorjela samo u onom dijelu koji je rastao iznad visine kamena (škrapice). Dijelovi suhe travne vegetacije zaklonjeni kamenom ostali su u potpunosti neizgoreni. Naprosto je stršeći dio travne vegetacije „pokošen“ vrućim zrakom i vatrom.

Slika 17. – „Pokošena“ travna vegetacija vrućim zrakom i vatrom



Foto: Marko Vučetić, dipl.ing.

5.6. ZAKLJUČAK

Zbog smanjenja pašarenja biljni pokrov na Kornatskom otočju je razvijen u nekom od degradacijskih stadija klimazonalne vegetacije. U pojedinim dijelovima vidljivo je nadiranje drvenastih vrsta drveća i grmlja. Ali, ipak najveći dio površine obrastao je pašnjačkom vegetacijom u kojoj prevladavaju *Stipa* sp., *Poa* sp., *Koeleria* sp., *Brachypodium* sp. Iz tog razloga ovaj tip vegetacije ima najveći značaj za širenje požara na otoku Kornatu nastalom 30. kolovoza 2007. godine.

Prema rezultatima testiranja zapaljivosti vidljivo je da je frekvencija, odnosno učestalost zapaljivosti bila prisutna 100 %, kad se tome još doda odgoda zapaljivosti od vremena manjeg od 2 sekunde, prema tablici koju koriste Valette (1990) i Dimitrov (1994) može se zaključiti da je toga dana stupanj zapaljivosti bio izrazito velik, te da je vegetacija bila krajnje zapaljiva (nosi ocjenu 5). Trajanje goriva potvrđuje činjenicu da se požar širio vrlo velikom brzinom. U prilog tome ide i sadržaj vlage gorivog materijala koji se kretao od 10 % do 16 %.

Kod ostalih vrsta koje su evidentirane na istraživanom području (kadulja, tetivika i kupina) učestalost ili frekvencija zapaljivosti bila je prisutna maksimalno, odnosno 100 %. Odgoda zapaljivosti bila je nešto veća i kretala se od 18 do 22 sekunde. Na temelju ta dva parametra, a prema prethodno spomenutoj tablici stupanj zapaljivosti okarakteriziran

je ocjenom 4, što je dovoljno za visok rizik od požara. Isto kao i kod travne vegetacije trajanje gorenja potvrđuje brzo širenje požara. Sadržaj vlage kretao se od 13 % do 53 %.

Na osnovi prikupljenih podataka o biomasi gorivog materijala na pokusnim plohama ukupna biomasa gorivog materijala travne i drvenaste vegetacije po hektaru bi iznosila 13840 kg kod pokrovnosti 100 %. Kako je pokrovnost vegetacijom od 45 % do 55 %, znači da bi se stvarna biomasa gorivog materijala kretala od 6228 kg/ha do 7612 kg/ha. Udio drvenaste vegetacije čini 35 % do 45 %, tako da je njihova drvna masa kod 45 % ukupne pokrovnosti iznosila 2180 kg/ha do 2803 kg/ha, dok je travna vegetacija zastupljena sa 55 % do 65 %, što bi iznosilo od 3425 kg/ha do 4048 kg/ha. Kod ukupne pokrovnosti od 55 % biomasa gorivog materijala drvenaste vegetacije iznosila bi od 2664 kg/ha do 3425 kg/ha, dok bi biomasa travne vegetacije čija je pokrovnost 55 % do 65 % iznosila od 4187 kg/ha do 4948 kg/ha (vidi tablicu 1.).

Tablica 1. Količina gorivog materijala po hektaru

Tip vegetacije	Postotni udio (%)	Ukupna pokrovnost	
		45	55
Travna vegetacija	55	3 425	4 187
	65	4 048	4 948
Drvenasta vegetacija	35	2 180	2 664
	45	2 803	3 425

5.7. PREPORUKE

Na osnovu dosadašnjeg znanstvenoistraživačkog rada te poučeni kornatskom tragedijom koja je potvrdila našu (ne) spremnost i (ne) znanje donosimo neke opće i specifične preporuke:

1. Već iz izjava mnogih vatrogasnih operativaca napose zapovjednika nakon kornatske tragedije naznačeno je nedovoljno poznavanje posebnih i općih požarnih prilika (klima, vrijeme, geomorfologija, vegetacija) na nastajanje i širenje požara kako bi se mogla predvidjeti posebnost i specifičnost svakog požara.

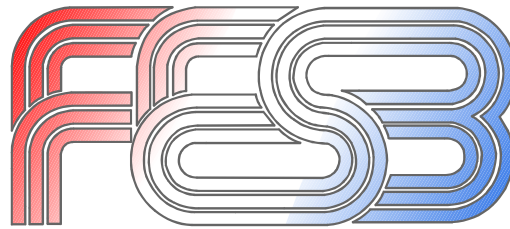
2. Nakon svakog velikog, katastrofalnog, pogibeljnog i posebno specifičnog požara mora se napraviti detaljna interdisciplinarna analiza požara. Ona se mora stručnoj i općoj javnosti prezentirati te objaviti (Internet, časopisi, publikacije, TV i dr.)
3. Autori ovog poglavlja ponovno upozoravaju na potrebu formiranja nacionalnog interdisciplinarnog projekta „Biotehničke mjere u zaštiti i obnovi šuma od požara“ budući dosadašnja minimalna davanja Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa nisu dostatna. Ako su (a jesu) požari otvorenog prostora (vegetacije) naš nacionalni problem onda oni i zaslužuju nacionalni projekt radi objedinjavanja svih institucija i znanstvenika koji se time bave na jednom mjestu. Mi smo malena zemlja da si dozvolimo luksuz rasipanja znanja i sredstava.
4. Sukladno točki 3. nastaviti opremiti i znanstveno ojačati kadrovski rad u eksperimentalnom laboratoriju u Makarskoj (Državni hidrometeorološki zavod). Za pohvaliti je dosadašnji trud DHMZ-a i Šumarskog fakulteta na dosadašnjim istraživanjima. U sklopu širenja znanstvenoistraživačkog rada na možebitnom „Nacionalnom projektu“ isti tako opremljeni laboratorij uspostaviti i na Nastavno pokusnom šumskom objektu na otoku Rabu, Šumarskog fakulteta, budući ovaj pričuvni ne zadovoljava uvjete eksperimentalnog rada. Suglasnost Šumarskog fakulteta nije upitna.
5. Tek takvim pristupom moguće je postići ono neophodno:
 - prijenos znanja i informacija
 - objedinjavanje baza podataka (požarna statistika, pedološke karte, geomorfološke karte, vegetacijske karte, strukturna obilježja šumskih kompleksa i mnoge druge informacije)
 - formiranje, opremanje i izobrazba kadrova za izradu računalno-simulacijskih modela nastanka, širenja, predviđanja i dr. požara i vegetacije
 - kvalitetna izobrazba vatrogasnih kadrova
 - korištenje dobivenih rezultata i spoznaja u operativnim vatrogasnim sustavima (od pojedinca do cjelokupnog sustava)
6. Kruna svega mora biti ustroj visokoobrazovnog interdisciplinarnog studija iz ove problematike, kao i u dogledno vrijeme da i Hrvatska kao mediteranska zemlja gdje su požari nacionalni problem oformi svoj „Institut za požare otvorenog prostora“ da li kao samostalni ili u sklopu postojećih npr. Šumarskog instituta Jastrebarsko, Instituta za jadranske kulture i melioraciju krša Split, Instituta za fiziku Zagreb ili dr.

5.8. LITERATURA

1. Dimitrov, T. (1994): Biološki parametri prikladni za poboljšanje indeksa opasnosti od požara. Šum. List CXVIII (3-4): 105 – 114, Zagreb
2. Filipi, A.R. (1972): Kornati, 80 str., Zadar
3. Friganović, M.A. (1996): Kornati – gospodarsko promišljanje. Priopćenja sa simpozija „Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje“, 15 – 21, Zagreb
4. Kulušić, S. (1965): Kornatska otočna skupina. Geogr. Gl. 27: 215 – 239, Zagreb
5. Matic, S., Đ. Rauš., Z. Seletković, Ž. Španjol, I. Anić, M. Oršanić, I. Tikvić, D. Baričević (2001). Prilog poznavanju šuma i šumske vegetacije nacionalnog parka Kornati i parka prirode Telašćica. Šum. List CXXV (11-12): 583 – 598, Zagreb
6. Pevalek, I. (1930): Vaskularna flora. U: Prirodoslovna istraživanja sjevernodalmatinskog otočja Dugi i Kornati. Prir. Istraž. Jugoslav. Akad. 16, 119 – 158, Zagreb
7. Trinajstić, I. (1996): Pregled flore Kornatskog otočja. Priopćenja sa simpozija „Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje“, 161 – 179, Zagreb
8. Valette, J.C. (1990): Inflammabilites des especes forestieres Mediterraneennes- Consequences sur la combustibilite des formations forestieres. Rev. For. Fr. 42, 76-92

©Copyright – Ovo je izvješće autorsko djelo i nastalo je na osnovi znanja i istraživanja autora. Ni jedan dio ovog izvješća ne smije se preuzeti, umnožavati, prepisivati, prevoditi ili na bilo koji način distribuirati u pisanom ili elektronskom mediju bez dozvole autora i smatrat će se povredom autorskih prava. Upotreba ovog materijala dozvoljena je isključivo u svrhu razjašnjenja tragedije na Kornatu koje provodi Ekspertna skupina MUP RH te u znanstvene svrhe. Upotreba za bilo kakve druge svrhe nije dozvoljena bez dozvole autora

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U SPLITU



POGLAVLJE 6

ANALIZA ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE I NA SAMOM MJESTU NESREĆE

AUTORI:

PROF.DR.SC.DARKO STIPANIČEV

LJILJANA BODROŽIĆ, DIPL.ING.

MR.SC.DAMIR KRSTINIĆ

DOC.DR. MAJA ŠTULA

TONI JAKOVČEVIĆ, DIPL.ING.

SANDRO NIŽETIĆ, DIPL.ING.

Autori pokusa vezanih s eruptivnim širenjem vatre istraživači su iz
Laboratório sobre Incêndios Florestal Universidade, Lousã
Centro de Aerodinâmica e Sistemas Energéticos Universidade de Coimbra

PROF.DR.SC.DOMINGOS XAVIER VIEGAS

LUIS MARIO DE SILVA RIBEIRO

LUIS PAOLO PITA

CARLOS ROSSA

SPLIT, 15.VELJAČE 2008.

2 ANALIZA ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE
I NA SAMOM MJESTU NESREĆE

SADRŽAJ

<u>6. ANALIZU ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE I NA SAMOM MJESTU NESREĆE</u>	<u>5</u>
6.1. MODELIRANJE I SIMULIRANJE ŠIRENJE POŽARA OTVORENOG PROSTORA	5
6.2. PROCJENA KOLIČINE GORIVE TVARI I PARAMETRI GORENJA VEGETACIJE OTOKA KORNATA	9
6.2.1. Procjena prosječne količine goriva	20
6.2.2. Procjena parametara gorenja	20
6.2.3. Procjena toplinske moći goriva	36
6.2.4. Procjena temperature gorenja	36
6.3. POSEBNA NAPOMENA VEZANA UZ VEGETACIJU NA MJESTU NESREĆE.....	38
6.4. PRELIMINARNA ANALIZA I SIMULACIJA ŠIRENJA POŽARA OD UVALE VRULJA DO UVALE ŠIPNATA	41
6.4.1 Topografske karakteristike terena	41
6.4.2 Vegetacijske karakteristike terena	42
6.4.3 Simulacija širenja požara od uvale Vrulja do uvale Šipnate	45
6.5. ŠIRENJE POŽARA UNUTAR KLANCA U KOJEM SE DOGODIO NESREĆA	50
6.5.1. Proračun širenje požara u području nesreće	50
6.5.2. Što je eruptivni efekt ?.....	57
6.5.3. Eruptivni efekt izazvan naglim izgaranjem lako hlapivih organskih komponenti mediteranskog bilja	61
6.5.4. Proračun parametara vezanih uz efekt eruptivnog efekta.....	63
6.5.5. Komentar rezultata dobivenih proračunom eruptivnog efekta	68
6.5.5. Preliminarna eksperimentalna analiza mogućeg eruptivnog efekta	69
6.5.5. Komentar rezultata dobivenih proračunom i preliminarnih eksperimentalnih rezultata	79
6.6. ZAKLJUČCI VEZANI S ŠIRENJEM POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE I U SAMOM KLANCU U KOJEM SE NESREĆA DOGODIO.....	81
6.7. LITERATURA.....	86

4 ANALIZA ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE
I NA SAMOM MJESTU NESREĆE

6. ANALIZU ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE I NA SAMOM MJESTU NESREĆE

U ovom poglavlju u prvom se dijelu analizira kinetika požarne fronte od trenutka izbijanja u uvali Vrulje do dolaska požarne fronte u klanac iznad uvale Šipnate u kojem se dogodio nesreća. Pri tome koristimo priznate i provjerene modele širenja požara koji uzimaju u obzir karakteristike gorivog materijala, konfiguraciju terena i meteorološke uvjete.

U drugom dijelu se bavimo događanjima na samom mjestu nesreće, osvrćući se prije svega na pojavu u literaturi poznatu pod nazivom eruptivni efekt. Pri tome nam je od posebne koristi bila suradnja s jednim od značajnijih svjetskim stručnjakom za eruptivne požare prof.dr.sc. Domingos Xavier Viegasom, voditeljem najvećeg europskog Laboratorija za istraživanje šumskih požara smještenog u mjestu Lousã u Portugalu (Laboratório sobre Incêndios Florestai Universidade, Lousã) s kojim smo intenzivno kontaktirali vezano uz problematiku pojave i razvoja eruptivnog efekta. Prof.Viegas je od 3.veljače – 7.veljače 2008. boravio u Splitu gdje je sudjelovao na radionici vezanom uz znanstvena objašnjenja kornatskih događanja. Na radionici je i prezentirao rad s naslovom „The Kornati Island Accident – A Preliminary Analysis“ kooautora D.X.Viegas, L.Ribeiro, L.Pita i C.Rossa. Dijelove njegove prezentacije preliminarne analize koristili smo u poglavlju 6.5.6.

6.1. Modeliranje i simuliranje širenje požara otvorenog prostora

Požari otvorenog prostora spadaju u prirodne katastrofe čije su posljedice često vrlo teške. Zbog toga su znanstvenici napravili veliki napor u izučavanju događanja vezanih s nastankom i širenjem požara otvorenog prostora. Na temelju ovih istraživanja razvijen je cijeli niz različitih postupaka modeliranja i simuliranja ponašanja i širenja požara.

Modeliranje širenja požara (eng. Fire Spread Modelling) samo je jedan od dijelova kompleksnijeg modela ponašanja požara (eng. Fire Behavior Modelling). Modeliranje ponašanja požara osim modela širenja uključuje i modeliranje zapaljenja požara (eng. Fire Ignition Modelling) i modeliranje intenziteta požara (eng. Fire Intensity Modelling). Modeliranje ponašanja požara je dosta kompleksnije i uključuje interakciju požara s dinamikom atmosfere te modelira primjerice i problem nastajanja i širenja dima. Međutim po praktičnim iskustvima Europskih projekata koji su se proteklih 10 godina bavili ovom problematikom za operativni rad vezan s požarnom preventivom i upravljanjem gašenjem požara dovoljno je samo modeliranje širenja požara.

Postoji puno modela širenja požara otvorenog prostora koji se razvijaju zadnjih 50 godina. U osnovi većina ih se slaže da način širenja požara ovisi o

- vremenskim uvjetima (smjeru i brzini vjetra, temperaturi, vlažnosti),
- mjestu početka vatre,
- vrsti vegetacijskog pokrova,
- vlažnosti goriva i
- topografiji, primarno o nagibu terena i orijentaciji terena,

a modeli se razlikuju po načinu kako se i u kojoj mjeri te ulazne veličine uključuju u model.

Modeliranje širenja požara otvorenog prostora temelji se na tri procesa:

- **Proizvodnje topline** od strane **izvora topline**, uglavnom zbog izgaranja gorivog materijala.
- **Prijenosa topline** sa izvora topline na prijammnik topline.
- **Apsorpcije topline** od strane **prijamnika topline** koji nakon zapaljenja postaje novi izvor topline za okolni nezapaljeni materijal.

Modeliranje širenja požara temelji se na modeliranju sva tri procesa i kombiniranju njihovih rezultata, kako prostorno, tako i vremenski. Modeliranje širenja požara je nelinearni prostorno – vremenski problem. Kazano na jednostavan način, uzimajući u obzir samo bilancu energije, brzina širenja šumskog požara može se shvatiti kao omjer između brzine grijanja goriva ispred požara i količine topline potrebne da bi to gorivo planulo. Kod najsloženijih modela se zbog toga u obzir uzimaju i promjene temperaturnog polja uzrokovane gibanjem vrućih plinova u okolici točke gorenja.

Puno je modela i na njima izgrađenih programa za modeliranje širenja požara otvorenog prostora. BEHAVE, BEHAVE+, FireLib, FARSITE, FIREETEC, FORFAIT, FOMFIS, NEXUS, FOFEM, FireFamily+, PROMETHEUS, EMBYR su primjeri neki od njih koji se više manje uspješno koriste u protupožarnim aktivnostima u SAD-u, Kanadi, Australiji i zemljama EU.

Sve ih možemo svrstati u šest grupa: analitičke ili fizikalne modele, empirijske modele, semi-empirijske modele, geometrijske modele, perkolacijske modele i modele temeljene na celularnim (staničnim) automatima. Posebno je zanimljiva kombinacija različitih metoda a tim smo se putem i mi vodili u našim istraživanjima širenja požara otvorenog prostora na otoku Kornatu. Prije opisa naših rezultata pogledajmo ukratko pojedine tipove modela:

1. **Analitički ili fizikalni modeli** se tako zovu zato što se temelje na fizikalnim zakonima ravnoteže. Zbog svoje fundamentalnosti potencijalno su najtočniji, a ujedno i objašnjavaju fizikalne procese koji se na požarištu događaju. Modeli opisuju procese prijenosa i ravnoteže topline. Možemo ih podijeliti u dvije grupe. U prvoj su takozvani **potpuni modeli** temeljeni na zakonima ravnoteže mase i energije s jedne strane, a s druge strane na detaljnom modeliraju procese izgaranja. Uzimaju se u obzir fizikalni i kemijski fenomeni koji se događaju prilikom procesa izgaranja i svi mehanizmi prijenosa topline kondukcijom, konvekcijom i radijacijom, kao i posljedice prijenosa topline (sušenje, piroliza, difuzija,...). Drugu grupu čine **pojednostavljeni modeli** koji promatraju samo prevladavajuće procese.
2. **Empirijski modeli** često nazvani i statistički modeli temelje se na prikupljanju podataka o širenju požara, te statističkom proračunu brzine i smjera širenja vatre za dane karakteristike vegetacije, terena i brzine vjetra. Mana im je što ne objašnjavaju fenomen, ali su s praktičke točke gledanja posebno značajni.

3. **Semi-empirijski modeli** su negdje na pola puta. Temelje se na prikupljenim empirijskim podacima širenja požara, ali se oni stavljaju u relaciju sa teorijskim modelom, gdje god je to moguće. Kombinacija su fizikalnog modeliranja, statistike i eksperimentiranja. Posebno su popularni u modeliranju požara otvorenog područja (Kanada, SAD, Australija). Frandsen – Rothermelov model je jedan od popularnijih. On određuje brzinu širenja požara kroz homogenu područje koje sadrži gorive čestice različite veličine. U osnovi je model širenja požara, ali uključuje i proračun intenziteta požara preko visine plamena.
4. **Geometrijski modeli** se temelje na valnom modelu vatre. Kombiniraju brzinu širenja točaka termodinamičke ravnoteže s analitičkim rješenjima propagacije elipsoidne fronte. Zadatak je posebno kompleksan u područjima heterogene vegetacije.
5. **Perkolacijski modeli.** Kod njih se šuma pojednostavljeno prikazuje kao dvodimenzionalna pravokutna rešetka. Svako polje može biti u jednom od tri stanja: ne gori (zeleno polje), gori (crveno polje) i izgorjelo (crno polje). Za svaka se polja definira i prijelazna vjerojatnost preskoka vatre s tog polja na okolna polja. U ovakav model se preko kriterija za širenje požara mogu uvesti i vremenske prilike. Pojavi perkolacije u ovom modelu odgovara širenje požara kroz cijelu šumu.
6. **Celularni ili stanični automati** su zbog svoje jednostavnosti i dobrih iskustava u njihovoj primjeni posebno zanimljivi. Temelje se na jednostavnoj teoriji proizašloj iz istraživanja umjetnih svjetova. Diskretizirani su i po vremenu i po prostoru.

Svaki od ovih modela ima svoje prednosti i nedostatke. Na **Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu**, problematikom simuliranja širenja požara otvorenog prostora prilagođenog karakteristikama hrvatskog priobalja i otoka bavimo se još od 2003. Napravljena je detaljna usporedba raspoloživih modela, te je na temelju njih kompiliran model, po našem mišljenju primjeren primjeni na hrvatskom priobalju i otocima. Radi se o kombinaciji semi-empirijskog, temeljnog Frandsen – Rothermelov modela i simulaciji širenja požara pomoću celularnih automata (Bodrožić i drugi 2005; Bodrožić i drugi 2006).

Osnovni problem simulacije širenja požara otvorenog prostora hrvatske obale i priobalja nedostatak je odgovarajućih vegetacijskih podloga na kojima je vegetacija klasificirana u odnosu na gorivost. Ovakva klasifikacija u Hrvatskoj nikada nije rađena i to je sigurno jedan od zadataka koji u budućnosti treba svakako napraviti. Klasifikacija se radi u odnosu na postotak pojedinih tipova gorive materije karakteristične za otvoreni prostor te veličine gorivih čestica. Gorivi materijal otvorenog prostora sastoji se od:

- **Prizemnog gorivog sloja** (*eng. duff*) u stanju raspadanja (fermetiranja) koje se nalazi odmah iznad zemlje i neposredno ispod sloja otpadnog materijala. Ovo je sloj koji se teško pali, a ako se zapali gori jako sporo.
- **Sloja otpadnog materijala** (*eng. litter*) – vršnog površinskog sloja koji se nalazi iznad fermentirajućeg sloja, a koji se sastoji od prirodno otpalog pruća, grana i grančica, te nedavno otpalog lišća i iglica koje se još nisu počele razgrađivati. Ovo je sloj koji se najčešće prvi pali i uzrokuje početak većine šumskih požara.

- **Posječenog materijala** (*eng. slash*) ostavljenog na tlu nakon prorjeđivanja šuma i čišćenja krošnji ili prirodnog rušenja stabala. Ovaj sloj je ogromne energetske vrijednosti i gorivog potencijala. Dosta je suh pa kada plane oslobađa veliku količinu toplinske energije.
- **Trave** (*eng. grass*) koja je posebno opasna tijekom ljeta u mediteranskom području zato što je suha, pa brzo plane. Uz otpadni materijal trava se najčešće prva pali i prizemno prenosi požar.
- **Grmlja** (*eng. bush*) koje se međusobno vrlo razlikuje po gorivim svojstvima, ali u principu ima veliki energetski potencijal i veliku brzinu širenja požara.
- **Stabla (krošnje)** (*eng. trees*) po kojima se prenose krunske vatre.

U odnosu na tip i veličinu čestice šumskog goriva razlikujemo:

- **fino mrtvo gorivo** čije su čestice manje ili jednake od 5 mm u promjeru,
- **srednje** čije su čestice od 5 mm do 2 cm u promjeru
- **veliko mrtvo gorivo** čije su čestice veće od 2 cm
- **živo gorivo** koje sadrži 50% do 300% više vode od mrtvog goriva, pa se zbog toga i teže pali i sporije gori.

Parametri koji bi se za sve tipove goriva trebaju odrediti su:

- količina goriva,
- veličina gorivih čestica,
- toplinska moć goriva,
- specifična toplina goriva,
- temperatura paljenja,
- omjer površine i volumena gorive čestice,
- količina goriva u jediničnom volumenu prostora,
- količina minerala, voskova i ulja.

U svijetu postoji nekoliko razrađenih klasifikacijskih sustava vegetacije u odnosu na gorivost, a u Hrvatskoj analiza vegetacije u odnosu na gorivost nije nikada rađena. Zbog toga smo u nastavku ovog poglavlja najprije na temelju rezultata iz poglavlja 5. nastojali procijeniti parametre vezane za gorivost kornatske vegetacije i to usporedbom sa dva standardna klasifikacijska sustava na kojima se temelji većina simulatora širenja požara. To su:

- Albini - Andersonov sustav koji vegetaciju klasificira u 13 gorivih kategorija i koji je razvijen za potrebe predviđanja širenja požara, pa je poznat kao **FBPS** (Fire Behavior Prediction System) model (Albini 1976; Anderson 1982), i
- Scott–Burganov sustav koji 2005. radi reviziju i nadopunjuje Albini – Andersonov sustav, te uvodi 40 vegetacijskih kategorija i poznat je pod nazivom **SFBFM** - Standard Fire Behavior Fuel Models (Scott i Burgan 2005).

U budućnosti će sigurno biti važno na temelju ovih modela napraviti klasifikacijsku shemu vegetaciju hrvatskog priobalja i otoka, ali u ovom trenutku, kako takve podatke nemamo, radimo usporedbe s vegetacijskim kategorijama poznatih parametara gorenja. Takva usporedba za potrebe ovakvog izvješća u prvom koraku u potpunosti zadovoljava.

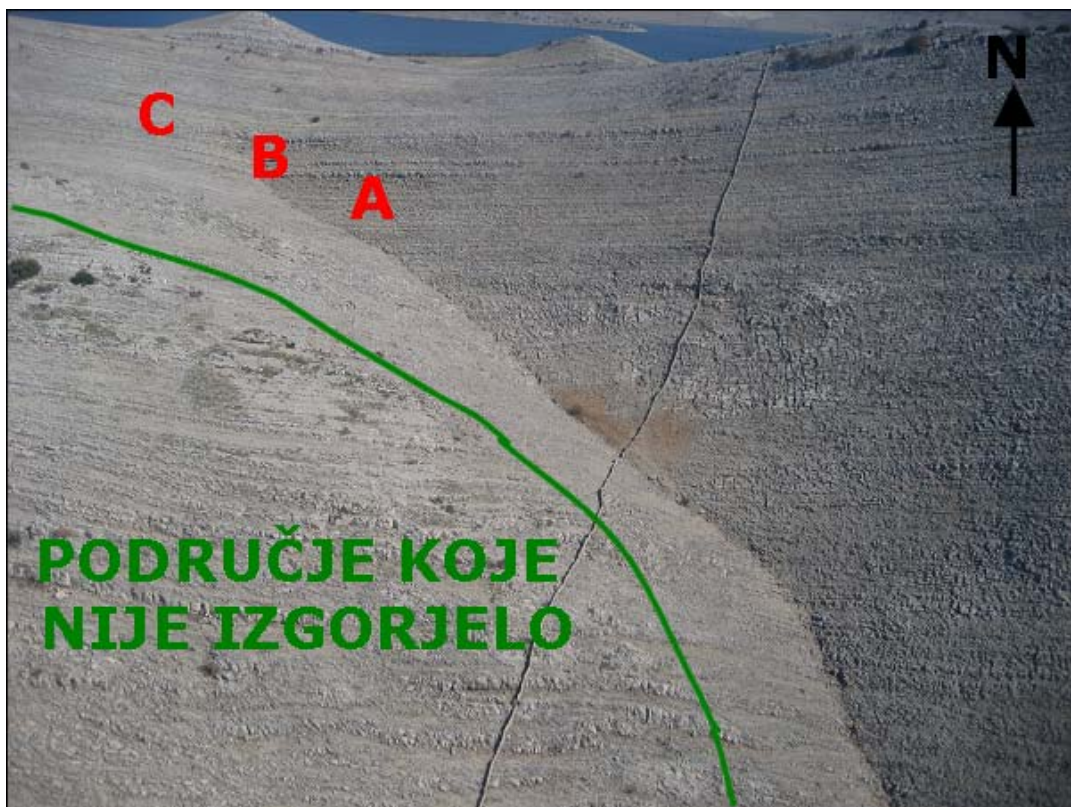
6.2 Procjena količine gorive tvari i parametri gorenja vegetacije otoka Kornata

Prosječna količini gorivog materijala (eng. fuel load), te parametre gorenja (eng. burning characteristics) vegetacije na otoku Kornatu, a posebno u klanju u kojem se dogodila nesreća, važni su parametara za procjenu širenja požara i termodinamički proračun.

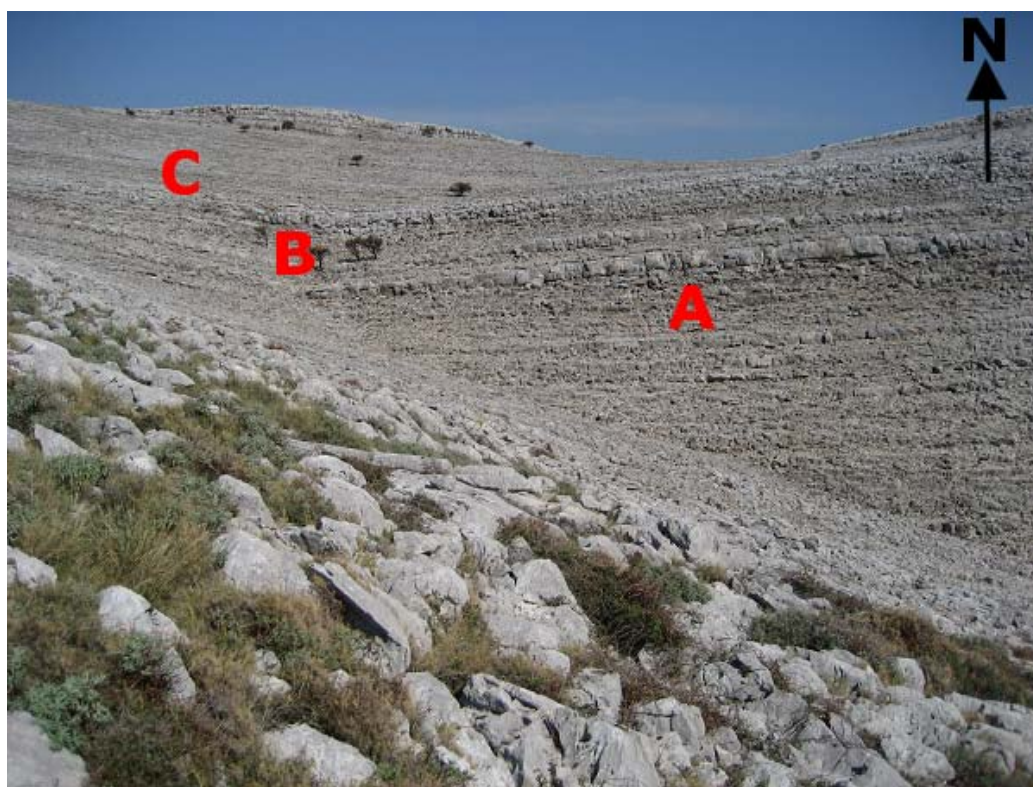
U Hrvatskoj do sada nikada nije sustavno ispitivana vegetacija u odnosu na karakteristike gorenja, pa smo sve potrebne podatke procijenili na temelju znanstvene i stručne literaturi i rezultata mjerenja rađenih na travnatim podlogama u različitim svjetskim istraživačkim ustanovama. Pri tome posebno ističemo suradnju s Prof. Mike Wotton kanadskim znanstvenikom iz Canadian Forest Service i profesorom Faculty of Forestry, University of Toronto s kojim smo usko surađivali na procjeni nekih od karakteristika gorenja travnate vegetacije.

Parametre gorenja kornatske vegetacije procjenjivali smo na temelju:

- Rezultata mjerenja uzoraka skupljenih na otoku Kornatu 25. rujna 2007. godine koje je napravio Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i koji su detaljno opisani u poglavlju 5.
- Opažanja u dijelu klanca koji nije izgorio do kojih smo došli tijekom posjeta otoku Kornatu 25.09.2007. (Slike 6.1 – 6.7),
- Analizom fotografija koje je načelnik policijske uprave Šibensko-kninske Branko Peran podijelio novinarima na CD-u 7. rujna 2007. godine. Fotografije su snimili turisti koji su se zatekli na Kornatima, mještani Kornata, posada helikoptera prije iskrcavanja vatrogasaca na Kornate i sami vatrogasci kad su se iskrkali na nepristupačan teren na Kornatima. Ove fotografije su više puta javno objavljene u različitim medijima (Slike 6.8 – 6.15).
- Na temelju osobnog poznavanja terena i fotografija snimljenih na otoku Kornatu u ljeto 2006. na području brda Šćikat i Volujak, iznad uvale Koritnica koja je udaljena 10-ak kilometara od uvale Šipnata (Slike 6.16 – 6.19).
- Na temelju znanstvene i stručne literature, posebno izvještaja US Forest Service vezanih s klasifikacijom vegetacije u odnosu na karakteristike gorenja (Anderson 1982; Scott i Burgan 2005).



Slika 6.1. Slika klanca snimljena s južne strane. Lijeva (zapadna) strana klanca nije izgorjela tijekom požara. To je područje na kojem su uzimani uzorci vegetacije. Snimio D. Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 6.2 Lijeva (zapadna) strana klanca koja nije izgorjela. Točke A, B i C su mjesta na kojima su pronađeni stradali vatrogasci. Snimio Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 6.3. Pogled na vegetaciju lijeve strane klanca. Dobro se vide grmovi ljekovite kadulje. Snimio Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 6.4. Pogled na vegetaciju lijeve strane klanca prema ulazu u klanac. Snimio Marko Vučetić 25. rujna 2007.



*Slika 6.5. Pogled prema sjevernom dijelu brda Glavica gdje su uzimani uzorci.
Snimio Marko Vučetić 25. rujna 2007.*



*Slika 6.6. Tipična vegetacija klanca (Salvia, Rubus, Smilax i travne vegetacije)
Snimio Marko Vučetić 25. rujna 2007.*



Slika 6.7. Tipična travna vegetacija Snimio Darko Stipaničev 25. rujna 2007.



Slika 6.8. Otok Kornat 30.08.2007. Isti požar samo na području između Vrulje i Šipnate snimljen iz zraka. Na ravnom dijelu visina plamena je oko 0.5 m. Slike od 6.8 – 6.15 su slike sa CD-a koji je podijeljen novinarima 7.rujna 2007., a su snimili turisti koji su se zatekli na Kornatima, mještani Kornata, posada helikoptera prije iskrcavanja vatrogasaca na Kornate i sami vatrogasci.



Slika 6.9. Na mjestima gdje je količina vegetacije veća, plamen je visine i do 1 m, pa i veći.



Slika 6.10. Jedna od zadnje snimljenih slika snimljena u klancu. Vatra se spušta niz brdo Veli Vrh. Plamen visine 1 m vidljiv je i na ovoj slici na kojoj se vidi padina. I po smjeru plamenih jezika očito je da je slika snimljena sa zapadne strane a pogled je prema istoku.



Slika 6.11. Veća visina plamena pogotovo je dobro vidljiva na ove dvije slike. Na gornjoj je veća visina plamena na ravnom dijelu razbuktana vjetrom, a na donjoj slici je veća visina plamena na padinama. Donja slika je snimljena na južnoj strani otoka, a vjetar puše uz padinu.



Slika 6.12. Na pojedinim mjestima vatra naiđe na veću količinu gorive materije pa se visina plamena poveća 2 – 3 puta u odnosu na visinu širenja po ravnoj podlozi



Slika 6.13. I ovo je jedna od zadnje snimljenih slika nakon zadnjeg spuštavanja vatrogasaca i vjerojatno prikazuje sjeverni dio brda Veli Vrh. Vegetacija je po visini slična vegetaciji na istočnoj strani klanca iznad uvale Šipnata koja nije izgorjela s tom razlikom što u ovoj vegetaciji nema kadulje



Slika 6.14. Slično kao prethodna slika.



Slika 6.15. Lokalno izgaranje grmolike vegetacije. Požar se kreće relativno sporo, pa ima dovoljno vremena da se grmolika vegetacija na koju plamena fronta naiđe zapali i izgori. To nije bio slučaj u klancu Šipnata u kojoj nije bilo grmolike vegetacije, ali su postojala patuljasta stabla koja nisu izgorjela (vidi Slike 2.27 – 2.29)



Slika 6.16. Tipična pašnjačka vegetacija otoka Kornat. Fotografija je snimljena u kolovozu 2006. godine na području brda Šćikat i Volujak, iznad uvale Koritnica Slike 6.17- 6.20 snimio Darko Stipaniće u kolovozu 2006.



Slika 6.17. Otok Kornat – pašnjačka vegetacija. Područje u kojemu se dogodila nesreća je imalo veću visinu trave koncentriranu između kamenih grotova



Slika 6.18. Na ovoj je slici dobro vidljiva vegetacija u kojoj ima dosta kadulje. Kadulja je obično koncentrirana na padinama, dok je u osi kanjona uglavnom trava



Slika 6.19. Tipična pašnjačka vegetacija. Visina vatrene fronte na ovakvoj podlozi nije prelazila 0.5 m

6.2.1. Procjena prosječne količine goriva

U poglavlju 5. napravljeno je mjerenje uzoraka Kornatske vegetacije u odnosu na količinu goriva po jedinici površine, te su procijenjene prosječne količine goriva. Ovdje samo prenosimo dobivene rezultate. Analizirane su travnate vegetacije i tri drvenaste vegetacije (kadulje, tetivke, kupine). Prosječni udio travnate vegetacije u ukupnoj masi vegetacije procijenjen je od 55 – 65%. Prosječna pokrovnost vegetacije procijenjena je od 45 – 55% .

Ukupna biomasa gorivog materijala travnate i drvenaste vegetacije iznosila je 13840 kg/ha (1.384 kg/ m²) kod pokrovnosti 100 %. Uz pokrovnost 45 – 55% stvarna biomasa gorivog materijala je bila između **6228 – 7612 kg/ha (0.6228 – 0.7612 kg/m²)**.

Kod pokrovnosti 45% i udio travnate vegetacije od 55 – 65%, ukupna biomasa travnate vegetacije iznosila je od 3425 – 4048 kh/ha, a udio drvenaste vegetacije 2180 – 2803 kg/ha. Kod pokrovnosti od 55% i udio travnate vegetacije od 55 – 65%, ukupna masa travnate vegetacije iznosila od 4148 – 4948 kg/ha, odnosno udio drvenaste vegetacije je bio od 2664 – 3425 kg/ha.

6.2.2. Procjena parametara gorenja

Već smo na početku ovog dijela naglasili da u Hrvatskoj nikada nisu sustavno rađena ispitivanja parametara gorenja naše karakteristične vegetacije, što pokazuje kako se malo pažnje pridavalo sustavnom istraživanju požara raslinja. U nedostatku mjerenih podataka, parametre gorenja smo procijenili na temelju parametara gorenja standardnih vegetacijskih kategorija objavljenih u znanstvenoj i stručnoj literaturi. Koristili smo dvije procjene koje su danas više-manje standardne i koriste se u cijelom svijetu. Jedna je starija klasifikacija Franka Albinija iz 1976 (Albini 1976) koju je 1982. Hal Andersona detaljno razradio u svojoj studiji „*Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*” (Anderson 1982), a druga je suvremenija klasifikacija Scotta i Burgana objavljena u studiji “*Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model*” (Scott i Burgan 2005). Ova druga klasifikacija je danas sigurno najcjelovitijeg i najpotpunijeg, te bi se po uzoru na nju trebala napraviti i klasifikacija vegetacije hrvatskog priobalja i otoka.

Prema Albini - Andersonovoj klasifikaciji vegetacija se klasificira u 13 kategorija, od kojih na trava spadaju tri kategorije. Od njih Kornatskoj vegetaciji odgovaraju kategorije Fuel Model 1 i Fuel Model 3:

- Fuel Model 1 - Short grass (1 foot)
- Fuel Model 3 - Tall grass (2.5 feet)

Parametri vezani uz karakteristike ovog tipa trave prikazani su u Tablici 6.1.

Napomena: Mjerne jedinice su na ovim slikama američke a u njima se težina izražava u t/ac, brzina širenja vatre u ch/h, brzina vjetra u ml/h, a visina plamena u ft. Pretvorbene vrijednosti su slijedeće: 1 t/ac = 1/0.4047 t/ha , 1 ch/h = 20.12 m/h = 0.0055888 m/s = 0.02012 km/h; 1 ft = 0.304 m; 1 ml/h = 1.6044 km/h = 0.446 m/s; 1 BTU/lb = 2.326 kJ/kg = 0.556 kcal/kg = 0.000646 kWh/kg.

Tablica 6.1. Karakteristike travnatih kategorija goriva prema (Anderson 1985)

Table 1. — Description of fuel models used in fire behavior as documented by Albini (1976)


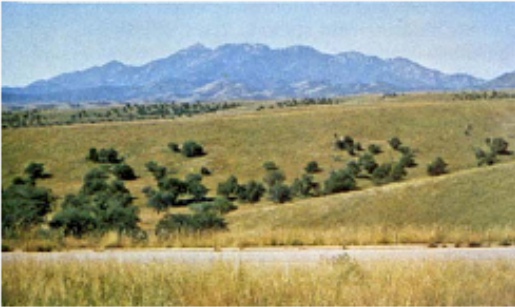

Fuel model	Typical fuel complex	Fuel loading				Fuel bed depth	Moisture of extinction dead fuels
		1 hour	10 hours	100 hours	Live		
		-----Tons/acre-----				Feet	Percent
Grass and grass-dominated							
1	Short grass (1 foot)	0.74	0.00	0.00	0.00	1.0	12
2	Timber (grass and understory)	2.00	1.00	.50	.50	1.0	15
3	Tall grass (2.5 feet)	3.01	.00	.00	.00	2.5	25

Iz tablice čitamo da je prosječna količina gorive materije po jedinici površine travnatih kategorija:

$$\text{Fuel model 1 (A-A M1)} - 0.74 \text{ t/ac} = 0.74/0.4047 \text{ t/ha} = 1.83 \text{ t/ha} = 0.183 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Fuel model 3 (A-A M3)} - 3.01 \text{ t/ac} = 3.01/0.4047 \text{ t/ha} = 7.44 \text{ t/ha} = 0.744 \text{ kg/m}^2$$

Naša procjena prosječne količine goriva po jedinici površine je bila 0.6 – 0.72 kg/m² što je nešto manje, ali se uklapa u kategoriju goriva 3. Anderson je za dao i osnovne parametre gorenja koji su vidljivi na slikama 6.20 i 6.21.

FUEL MODELS DESCRIPTIONS Grass Group									
<p>Fire Behavior Fuel Model 1</p> <p>Fire spread is governed by the fine, very porous, and continuous herbaceous fuels that have cured or are nearly cured. Fires are surface fires that move rapidly through the cured grass and associated material. Very little shrub or timber is present, generally less than one-third of the area.</p> <p>Grasslands and savanna are represented along with stubble, grass-tundra, and grass-shrub combinations that met the above area constraint. Annual and perennial grasses are included in this fuel model. Refer to photographs 1, 2, and 3 for illustrations.</p>	<p>This fuel model correlates to 1978 NFDRS fuel models A, L, and S.</p> <p>Fuel model values for estimating fire behavior</p> <table border="1"> <tr> <td>Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td>Dead fuel load, 1/4-inch, tons/acre</td> <td>.74</td> </tr> <tr> <td>Live fuel load, foliage, tons/acre</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Fuel bed depth, feet</td> <td>1.0</td> </tr> </table>	Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	0.74	Dead fuel load, 1/4-inch, tons/acre	.74	Live fuel load, foliage, tons/acre	0	Fuel bed depth, feet	1.0
Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	0.74								
Dead fuel load, 1/4-inch, tons/acre	.74								
Live fuel load, foliage, tons/acre	0								
Fuel bed depth, feet	1.0								
	<p>Photo 1. Western annual grasses such as cheatgrass, medusahead ryegrass, and fescues.</p>								
	<p>Photo 2. Live oak savanna of the Southwest on the Coronado National Forest.</p>								
	<p>Photo 3. Open pine—grasslands on the Lewis and Clark National Forest.</p>								

Slika 6.20. Originalni Andersonov opis kategorije A-A M1 za parametre gorenja vidi Sl.6.21 na kojoj se daju vrijednosti za sve travnate kategorije

Fire Behavior Fuel Model 3
Fires in this fuel are the most intense of the grass group and display high rates of spread under the influence of wind. Wind may drive fire into the upper heights of the grass and across standing water. Stands are tall, averaging about 3 feet (1 m), but considerable variation may occur. Approximately one-third of more of the stand is considered dead or cured and maintains the fire. Wild or cultivated grains that have not been harvested can be considered similar to tall prairie and marshland grasses. Refer to photographs 6, 7, and 8 for examples of fuels fitting this model.
This fuel correlates to 1978 NFDRS fuel model N.

Fuel model values for estimating fire behavior

Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	3.0
Dead fuel load, 1/4-inch, tons/acre	3.0
Live fuel load, foliage, tons/acre	0
Fuel bed depth, feet	2.5

Fires in the grass group fuel models exhibit some of the faster rates of spread under similar weather conditions. With a windspeed of 5 mph (8 km/h) and a moisture content of 8 percent, representative rates of spread (ROS) are as follows:

Model	Rate of spread Chains/hour	Flame length Feet
1	78	4
2	35	6
3	104	12

As windspeed increases, model 1 will develop faster rates of spread than model 3 due to fineness of the fuels, fuel load, and depth relations.




Photo 6. Fountaingrass in Hawaii; note the dead component.




Photo 7. Meadow foxtail in Oregon prairie and meadowland.




Photo 8. Sawgrass "prairie" and "strands" in the Everglades National Park, Fla.

Slika 6.21. Originalni Andersonov opis kategorije A-A M3. Ovdje su karakteristike gorenja i to brzina širenja požara i visina plamena i za sve travne kategorije.

Na slici 6.21 osim opisa ove kategorije nalazimo i osnovne parametre gorenja svih travnih kategorija i to brzinu širenja požara (eng. ROS - Rate of Spread) i visinu plamena (eng. Flame Length) za brzinu vjetra od 8 km/h (5 ml/h, 2.22 m/s) i 8% vlage:

Fuel model 1 (A-A M1)– brzina širenja požara = 78 ch/h = 0.44 m/s ; visina plamena = 4 ft = 1.2 m

Fuel model 3 (A-A M3) – brzina širenja požar =104 ch/h=0.58m/s; visina plamena =12 ft = 3.6 m

Parametre gorenja za situaciju koja je bila na Kornatima analiziramo u nastavku nakon kratkog prikaza novije klasifikacije.

Novija klasifikacija goriva je klasifikacija Scotta i Burgana (Scott i Burgan 2005). Objavili su je 2005. proširivši Andersonovih 13 kategorija na 40 kategorija. Od njih na travu se odnosi čak 9 kategorija, a kornatska trava najbolje odgovara travnatim kategorijama GR1, GR2 i GR4:

- S-B GR1 - Short, Sparse Dry Climate Grass,
- S-B GR2 - Low Load, Dry Climate Grass, i
- S-B GR4 - Moderate Load, Dry Climate Grass.

Prosječna trava na otoku Kornatu je visine 20 – 40 cm sa srednjom pokrivenosti od 45 – 55%. Ovakva trava po opisu odgovara vegetacijskoj kategoriji GR2. Na pojedinim mjestima trava je visine do 60 cm i ona bi odgovarala kategoriji GR4 koja se odnosi na visoku travu u suhim područjima. Osnovne karakteristike travnatih kategorija klasificiranih prema Scottu i Burganu dane su u Tablici 6.2

Tablica 6.2. Karakteristike travnatih kategorija goriva prema (Scott i Burgan 2005)

Table 7—Fuel model parameters.

Fuel model code	Fuel load (t/ac)					Fuel model type ^a	SAV ratio (1/ft) ^b			Fuel bed depth (ft)	Dead fuel extinction moisture (percent)	Heat content BTU/lb ^c
	1-hr	10-hr	100-hr	Live herb	Live woody		Dead	Live herb	Live woody			
GR1	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	dynamic	2200	2000	9999	0.4	15	8000
GR2	0.10	0.00	0.00	1.00	0.00	dynamic	2000	1800	9999	1.0	15	8000
GR3	0.10	0.40	0.00	1.50	0.00	dynamic	1500	1300	9999	2.0	30	8000
GR4	0.25	0.00	0.00	1.90	0.00	dynamic	2000	1800	9999	2.0	15	8000
GR5	0.40	0.00	0.00	2.50	0.00	dynamic	1800	1600	9999	1.5	40	8000
GR6	0.10	0.00	0.00	3.40	0.00	dynamic	2200	2000	9999	1.5	40	9000
GR7	1.00	0.00	0.00	5.40	0.00	dynamic	2000	1800	9999	3.0	15	8000
GR8	0.50	1.00	0.00	7.30	0.00	dynamic	1500	1300	9999	4.0	30	8000
GR9	1.00	1.00	0.00	9.00	0.00	dynamic	1800	1600	9999	5.0	40	8000

^a Fuel model type does not apply to fuel models without live herbaceous load.

^b The value 9999 was assigned in cases where there is no load in a particular fuel class or category

^c The same heat content value was applied to both live and dead fuel categories.

Prema tablici Scotta i Burgana ova tri tipa trave imaju slijedeću prosječnu količinu goriva po jedinici površine (zbraja se mrtvo i živo gorivo):

$$\text{GR1} - 0.4 \text{ t/ac} = 0.4/0.4047 \text{ t/ha} = 0.988 \text{ t/ha} = 0.0988 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{GR2} - 1.1 \text{ t/ac} = 1.1/0.4047 \text{ t/ha} = 2.72 \text{ t/ha} = 0.272 \text{ kg/m}^2$$

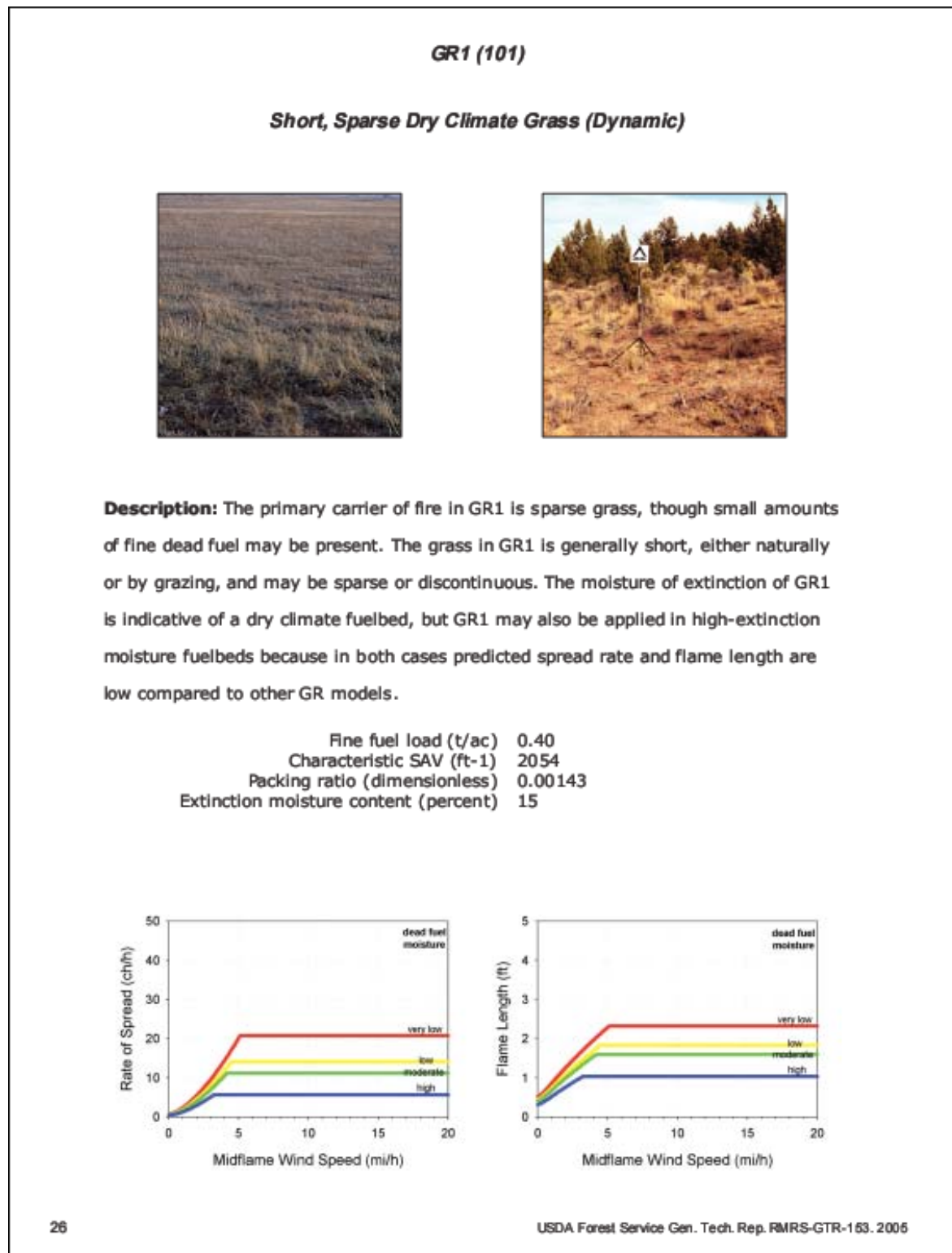
$$\text{GR4} - 2.15 \text{ t/ac} = 2.15/0.4047 \text{ t/ha} = 5.31 \text{ t/ha} = 0.531 \text{ kg/m}^2$$

Naša procjena prosječne količine goriva po jedinici površine je bila 0.6 – 0.72 kg/m² što je čak i nešto više od kategorije GR 4, pa bi po ovoj analogiji za prosječnu vegetaciju Kornata trebalo uzeti prosječne parametre kategorije GR4. Međutim rukovodili smo se konzervativnim pristupom, pa smo kod procjena parametara gorenja pretpostavili da niska trava odgovara kategorijama GR2, a samo visoka trava kategoriji GR4. Time ju stvarna

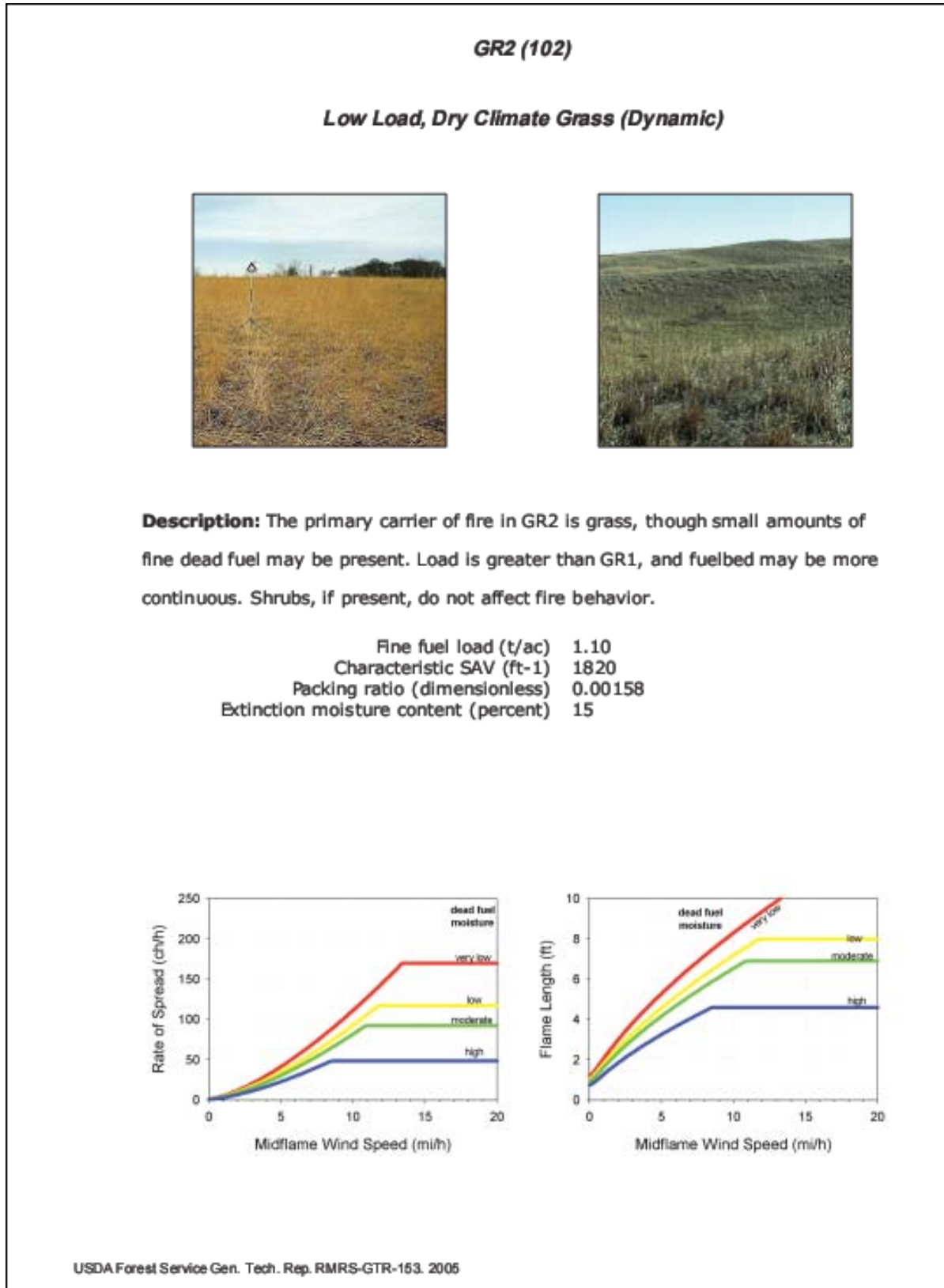
situacija samo mogli biti još više naglašena s intenzivnijim termodinamičkim događanjima.

Parametri vezani uz gorenje ovih travnatih kategorija prikazani su na Slikama 6.22 – 6.24.

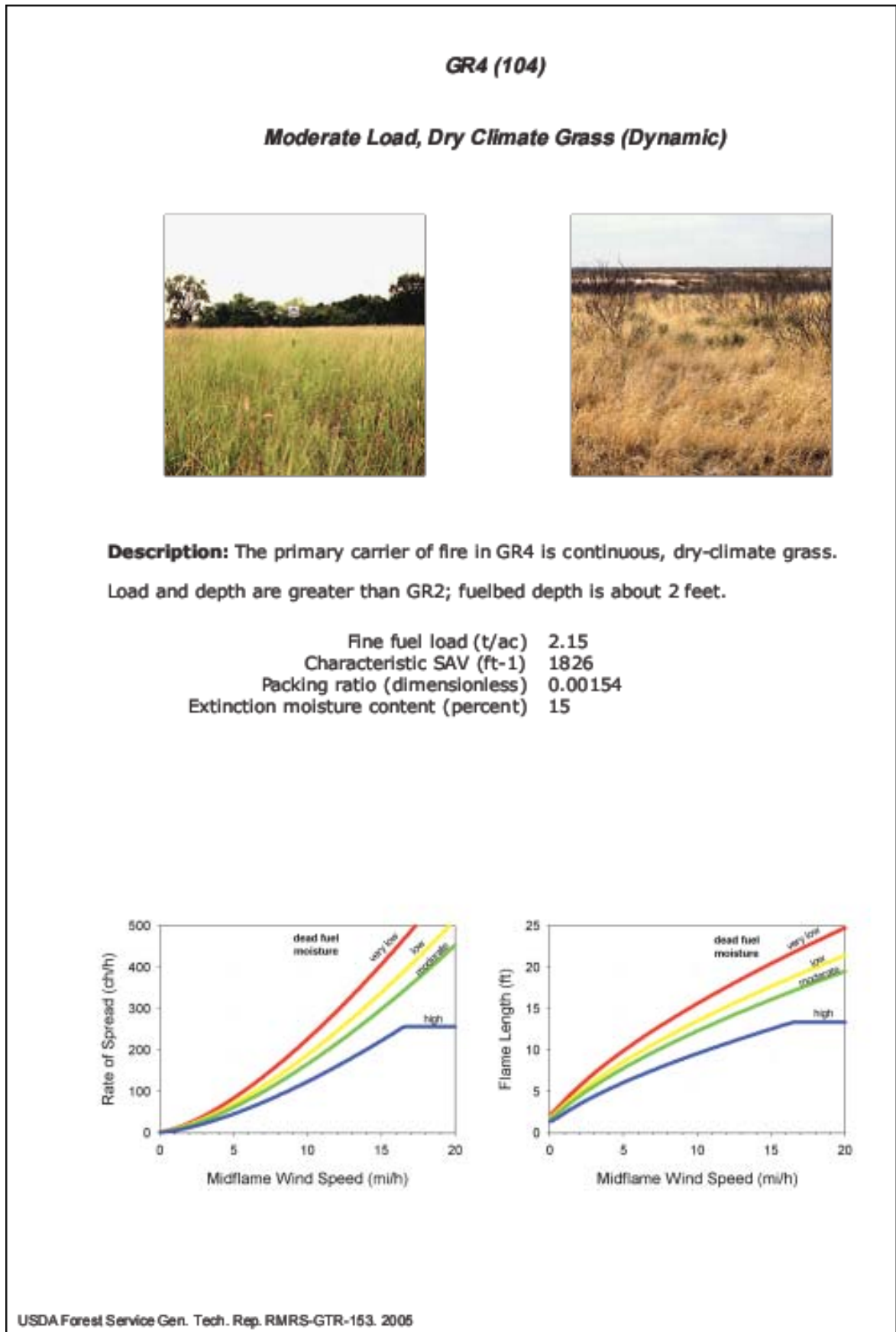
Napomena: Mjerne jedinice su i na ovim slikama američke a u njima se težina izražava u t/ac, brzina širenja vatre u ch/h, brzina vjetra u ml/h, a visina plamena u ft. Pretvorbene vrijednosti su slijedeće: $1 \text{ t/ac} = 1/0.4047 \text{ t/ha}$, $1 \text{ ch/h} = 20.12 \text{ m/h} = 0.0055888 \text{ m/s} = 0.02012 \text{ km/h}$; $1 \text{ ft} = 0.304 \text{ m}$; $1 \text{ ml/h} = 1.6044 \text{ km/h} = 0.446 \text{ m/s}$; $1 \text{ BTU/lb} = 2.326 \text{ kJ/kg} = 0.556 \text{ kcal/kg} = 0.000646 \text{ kWh/kg}$.



Slika 6.22. Travnata kategorija GR1 prema (Scott i Burgan 2005).



Slika 6.23. Travnata kategorija G2 prema (Scott i Burgan 2005.)



Slika 6.24. Travnata kategorija GR4 prema (Scott i Burgan 2005).

Scott i Burgan parametre gorenja daju u funkciji brzine vjetra na pola visine plamena (eng. Midflame Wind Speed) i vlage mrtvog goriva (eng. Dead Fuel Moisture) koja se klasificira kao velika, umjerena, niska i vrlo niska. U našem slučaju u poglavlju 4. procijenjena je prema simulacijskom modelu ALADIN i MM5 brzina vjetra u vrijeme požara na području mjesta nesreće, **na visini od 10 m od 5.5 – 8 m/s** s kopnene strane, odnosno od **8 - 10.8 m/s (11.2 – 24.2 ml/h)** s morske strane. Ove brzine trebamo najprije preračunati u brzinu vjetra na polovici visine plamena, a nakon toga odrediti količinu vlage u mrtvom gorivu.

Proračun brzine vjetra na polovici visine plamena

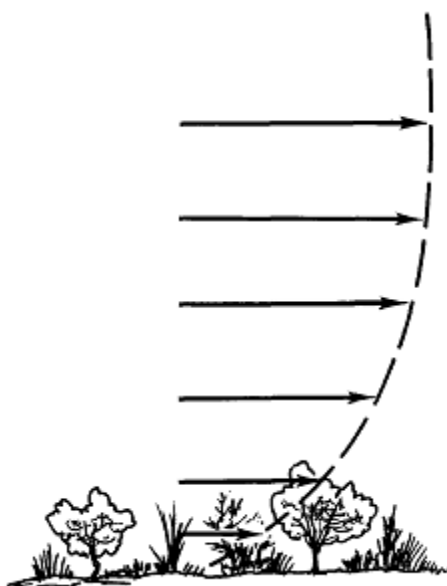
Prema Rothermelu (Rothermel 1983) brzina vjetra na visini polovice plamena (ukoliko plamen nije visok 12 m, a to definitivno kod nas nije slučaj) je dosta manja nego na visini od 10 metara gdje se brzina vjetra obično mjeri i računa. Rothermel (Rothermel 1983) je dao i empirijsku tablicu za brzi proračun ove korekcije (tablica 6.3.) od koje smo uzeli samo dio koji se odnosi na izložena (misli se otvorena vatri) goriva (eng. exposed fuels), što je kod nas bio slučaj.

Tablica 6.3. Proračun brzine vjetra na polovici visine plamena

Table II-5.— Wind adjustment table—quick reference. Values shown are approximate midflame windspeeds (mi/h) for range of 20 ft windspeed shown at top of column.

Fuel exposure	Fuel model	20-ft windspeed (mi/h)							
		0-3	4-7	8-12	13-18	19-24	25-31	32-38	39 up
		Midflame windspeed (mi/h)							
EXPOSED FUELS									
Fuel exposed directly to the wind—no overstory or sparse overstory; fuel beneath timber that has lost its foliage; fuel beneath timber near clearings or clearcuts; fuel on high ridges where trees offer little shelter from wind	4	1	3	6	9	13	17	21	24
	13	1	3	5	8	11	14	18	20
	1,3,5,6,11,12 (2,7) ¹ (8,9,10) ²	1	2	4	6	9	11	14	16

Naše brzine vjetra su se kretale od od 5.5 m/s = 5.5/0.446 ml/h = 12.33 ml/h do 8 m/s = 17.94 ml/h s kopnene strane, odnosno od 8 m/s = 17.94 ml/h do 10.8 m/s = 24.22 ml/h s morske strane. U Tablici 5.3 brzine vjetra se zadaju na 20 ft visine (6 m) dok je naš podatak o vjetru dan za 10 m visine. Korekcijski faktor je 0.87 (Andrews et al. 2005), pa se korigirane vrijednosti na visini od 20 ft kreću s kopnene strane od 10.72 – 15.56 ml/h, a s morske strane od 15.56 – 21.06 ml/h. Iz tablice 5.3 za gorive kategorije 1 i 3 koje su na Kornatima prevladavala brzina vjetra na visini polovine plamena bila od 4 ml/h = **1.8 m/s** do 6 ml/h = **2.7 m/s s kopnene strane**, odnosno od 6 ml/h = **2.7 m/s** do 9 ml/h = **4 m/s s morske strane**. Promjenu vjetra s visinom skicirana je i u Rothermelovom originalnom radu (Rothermel 1983), a prenosimo je na slici 6.25.



Slika 6.25. Promjena brzine vjetra s visinom iznad tla (Rothermel 1983)

Znači brzina vjetra na polovici visine plamena se kretala **od 1.8 m/s do 4 m/s**, sa **srednjom vrijednosti od 2.7 m/s**.

Proračun vlage u mrtvom gorivu

Travnati modeli su klasificirani kao dinamički što znači da je mrtvo gorivo direktno vezano s količinom vlage u živom gorivu. Ukoliko je količina vlage živog goriva 120 % ili više vegetacija je zelena i gorivo se smatra živim. S druge strane ukoliko je količina vlage živog goriva ispod 30 % smatramo da je gorivo u potpunosti mrtvo. Između 30 i 120 % primjenjuje se tablica 6.4.

Tablica 6.4. Vlaga u živom gorivu (Scott i Burgan 2005)

Table 4—Live fuel moisture content values (percent) for the live fuel moisture scenarios.

	L1 Fully cured Very low	L2 Two-thirds cured Low	L3 One-third cured Moderate	L4 Fully green (uncured) High
Live herbaceous	30	60	90	120
Live woody	60	90	120	150

U slučaju Kornata trava je 30. kolovoza 2007. bila potpuno suha pa se može slobodno pretpostaviti da je **vlaga u živom gorivu bila 30%**, a sigurno nije prelazila vrijednost od 60%.

Klasifikacija goriva u odnosu na vlagu u mrtvom gorivu provodi se na temelju tablice 6.5.

Tablica 6.5. Vlaga u mrtvom gorivu (Scott i Burgan 2005). 1-hr, 10-hr i 100-hr označavaju koliko je sati gorivo bilo mrtvo.

Table 3—Dead fuel moisture content values (percent) for the dead fuel moisture scenarios.

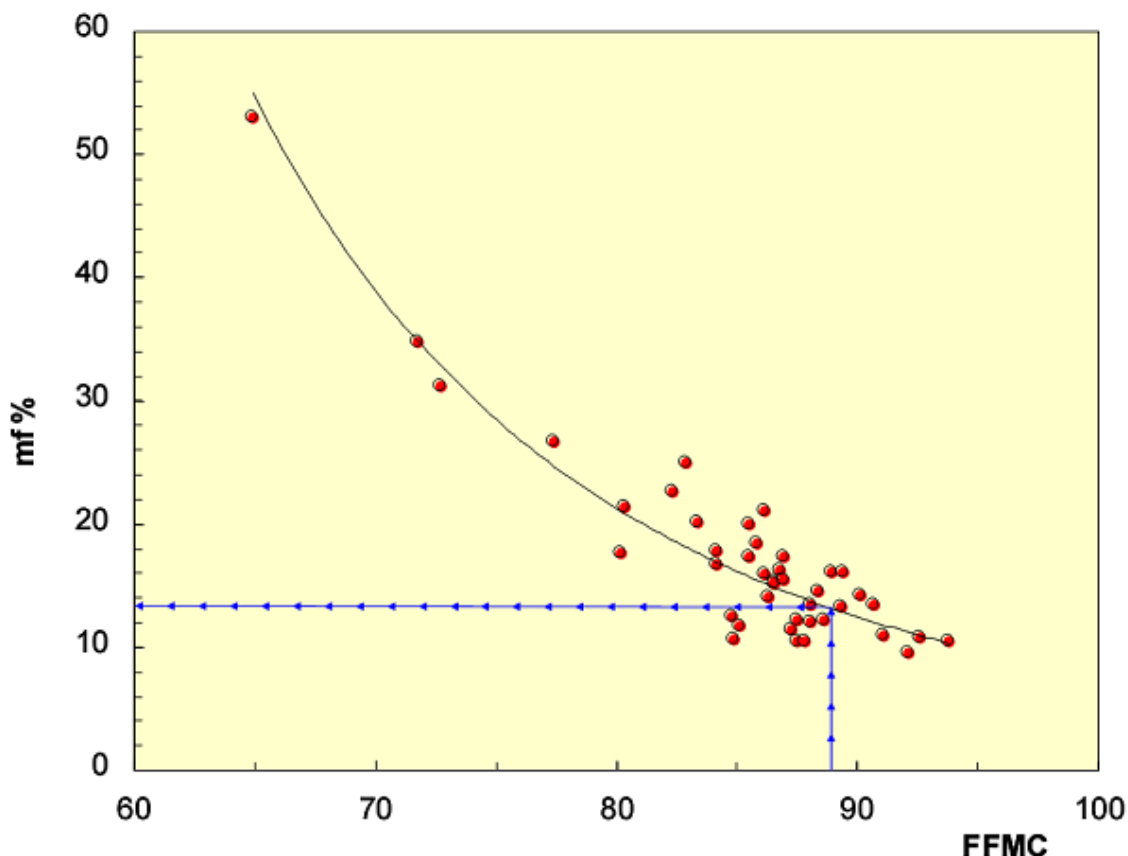
	D1 Very low	D2 Low	D3 Moderate	D4 High
1-hr	3	6	9	12
10-hr	4	7	10	13
100-hr	5	8	11	14

Uzorci na Kornatima su prikupljeni 25. rujna 2007., a ispitivanje u Eksperimentalnom laboratoriju za zaštitu šuma od požara u Makarskoj napravljena su 1. listopada 2007. Znači od uzimanja uzoraka do ispitivanja prošlo je više od 100 sati. Sadržaj vlage u gorivu u modelima širenja požara iskazuje se u odnosu na isušeno gorivo pa ga iskazujemo veličinom FMC (FMC – eng. fuel moisture content). Izmjerene vrijednosti su bile slijedeće:

1. Travnata vegetacija šifra Ploha 1 – 19.28 %
2. Travnata vegetacija šifra Ploha 2 – 16.57 %
3. Travnata vegetacija šifra Ploha 2a – 10.18 %
4. Smilax šifra A – 26.14%
5. Smilax šifra Ploha 2 – 24.94 %
6. Rubus šifra A1 – 15.43 %
7. Salvia šifra A2 – 116.58%

Prema ovim podacima 3. tip uzorka klasificirao bi se u kategoriju **umjerena** količina vlage mrtvog goriva (moderate dead fuel moisture), a sva ostala vegetacija u kategoriju **velika** količina vlage mrtvog goriva (high dead fuel moisture). Treći tip uzorka je trava manje gustoće, a za nju smo pretpostavili da utječe u ukupnoj masi goriva najviše, pa uzimamo da je **vlaga u mrtvom gorivu nakon 100 sati (100-hr) od 12 - 14 %**. Za usporedbu u procjeni brzine širenja požara i visine plamena dajemo vrijednosti i za 10%. Na slikama 6.22 – 6.24. krivulja **high** odgovara vrijednostima vlage od 12% pa je uzimamo kao referentnu vrijednost.

To se poklapa i s eksperimentalnim istraživanjima prof. Viegasa (Viegas 2005c) u kojima je tražena korelacija između pokazateljima vlažnosti finog goriva (FFMC) i količine vlage u mrtvom gorivu. Rezultati su prikazani na Slici 6.26.



Slika 6.26. Veza između pokazatelja vlažnosti finog goriva (FFMC) i količine vlage u mrtvom gorivu (Viegas 2005c)

U poglavlju 4. navedeno je da je 30. kolovoza 2007. vrijednost faktora FFMC za Zadar bila 88.5. Sa Slike 6.26. vidimo da toj vrijednosti faktora FFMC odgovara količina vlage u mrtvom gorivu od 12 – 14%. Trebamo naglasiti da su ovi pokusi rađeni za tipičnu vegetaciju Portugala koja se razlikuje od vegetacije Jadrana, i da bi se ovakav grafikon određen za našu vegetaciju sigurno razlikovale, međutim razlike sigurno ne bi bile drastične, a i vidimo da se za ovu vrijednost FFMC-a poklapaju s vrijednostima koje su izmjerene na kornatskim uzorcima. Grafikon smo prenijeli prije svega kako bismo i ovdje naglasili nužnost sustavnog istraživanja vegetacije hrvatske obale Jadrana u odnosu na parametre gorivosti.

U vezi s količinom vlage mrtvog goriva postoji određeni problem u odnosu na našu vegetaciju i vegetacijske kategorije Albini – Andersona i Scott-Burgana. Radi se o vrijednostima postotka vlage kod kojeg prestaje gorenje (eng. ME –Dead Fuel Moisture of Extinction) Albini-Anderson i Scott-Burgan zadali su ih u svojim tablicama, a prema njima postotak vlage kod kojeg prestaje gorenje je:

- Albini-Anderson model 1 – 12%
- Albini - Anderson model 3 – 25%
- Scott-Burgan model GR1 – 15%
- Scott-Burgan model GR2 – 15%
- Scott-Burgan model GR4 – 15%

Ova vrijednost utječe na parametre gorenja na način da ih znatno smanjuje ukoliko je vlaga mrtvog goriva blizu ovih vrijednosti. To se prije svega odnosi na brzinu širenja požara. Međutim ovako male vrijednosti sigurno ne vrijede za vegetaciju Jadrana i otoka Kornata. Analizirana travnata vegetacija imala je u prosjeku količinu vlage u mrtvom gorivu starijem od 100 sati od 12 – 14% i bila je izuzetno zapaljiva (odgoda zapaljivosti DI vrlo kratka – oko 2 s), što znači da je vrijednost od 12-14% bila daleko od granice na kojoj prestaje gorenje. Ovaj problem su uočili i drugi autori, pa primjerice Chuvieco et al. predlažu (Chuvieco et al. 2004) da se za travnata goriva uzme za ME vrijednost od 40 %. kako su ovu vrijednost koristili su je i drugi autori (Yebra et al 2007) i mi smo je usvojili, pa smo kod proračuna svih parametara gorenja uzeli da gorenje prestaje ukoliko je vlaga u mrtvom gorivu veća od 40%. Ostale parametre ostavili smo na razinama originalnih parametara Albini-Andersona, odnosno Scott-Burgana.

Još jedan put napominjemo su ovo procijenjene vrijednosti temeljene na analognim vegetacijskim klasama zabilježenim u literaturu i da u Hrvatskoj nikada nije napravljeno sustavno istraživanje vegetacije u odnosu na gorivost. To je svakako nužno napraviti u skoroj budućnosti. Naša bi vegetacija zbog specifičnog mediteranskog bilja bila sigurno još zapaljivija i imala veće vrijednosti od ovih standardnih kategorija, pa možemo smatrati da je provedena analiza na neki način konzervativna te da bi u realnoj situaciji temeljenom na eksperimentu vrijednosti bile još veće.

Osnovni parametri gorenja prema standardnim kategorijama

U ovom dijelu dajemo samo osnovne parametre gorenja prema temeljene na Rothermelovom semi-empirijskom modelu širenja požara (Rothermel, 1983) i to za:

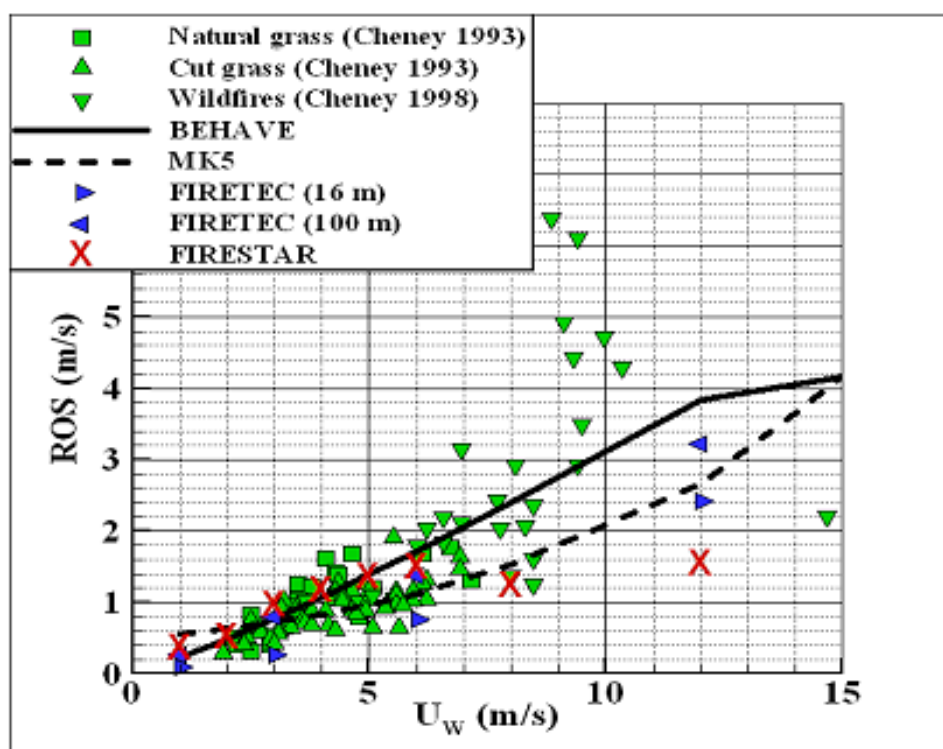
- Albini-Anderson vegetacijski model 1 (A-A M.1)
- Albini-Anderson vegetacijski model 3 (A-A M.3)
- Scott-Burgan vegetacijski model GR2 (S-B GR2)
- Scott-Burgan vegetacijski model GR4 (S-B GR4)

Kategorija GR1 u biti nam i nije posebno zanimljiva, pa smo je isključili iz daljnje analize.

Ulazni vrijednosti za određivanje parametara vezanih uz gorenje bili su:

- o brzina vjetra na polovice visine plamena na ravnoj plohi: 4 ml/h = **1.8 m/s**, 6 ml/h = **2.7 m/s** i 9 ml/h = **4 m/s**
- o vlaga u mrtvom gorivu od 10 – 14%
- o vlaga u živom gorivu od 30 – 60%
- o nagib terena 0 % (Korekciju vezanu uz nagib terena od 14% koji je bio u klancu iznad uvale Šipnate uvodimo u poglavlju 6.5)

Za brzine vjetra na polovici visine plamena koje su najvjerojatnije bile u vrijeme nesreće na otoku Kornatu, Rothermelov model ugrađen u programski paket BEHAVE koji smo koristili kod proračuna u potpunosti zadovoljava i dobro se poklapa sa opažanjima na terenu. Morvan i suradnici (Morvan et al. 2006) radili su usporedbu rezultata brzine širenja požara dobivenih mjerenjem i simulacijom, i to baš za travnatu podlogu. Do 7 m/s svi se simulacijski modeli relativno dobro slažu s eksperimentima kako zorno pokazuje i slika 6.27.



Slika 6.27. Usporedba rezultata brzine širenja požara u ovisnosti o brzini vjetra za eksperimente i različite simulacijske modele. Naš se proračun temeljio na programu BEHAVE koji ima implementirane osnovne Rothermelove jednadžbe širenja (Morvan et al. 2006)

Parametri gorenja vegetacije otoka Kornat

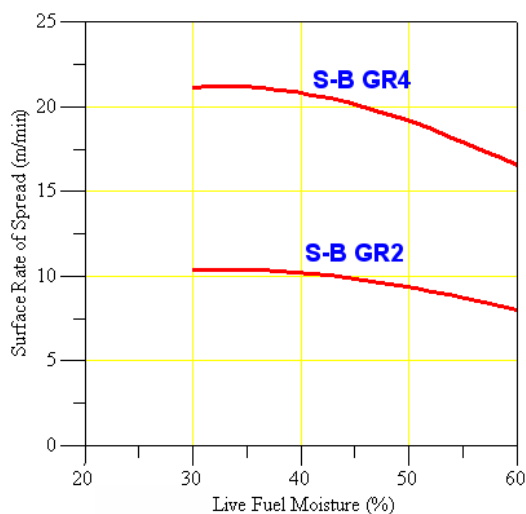
Brzina vjetra na polovici visine plamena 1.8 m/s (4 ml/h), a na 10 m iznad tla 5.5 m/s

	A-A M.1		A-A M.3		S-B GR2		S-B GR4	
Dead Fuel Moisture %	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m
10	19.7	1.2	25.6	3.3	11.6	1.4	23.6	2.6
12	17.7	1.1	23.0	3.1	10.4	1.3	21.2	2.4
13	16.9	1.1	21.9	3.0	9.9	1.3	20.2	2.4
14	16.2	1.1	21.0	2.9	9.5	1.2	19.3	2.3

Za 12% vlage u mrtvom gorivu preračunate vrijednosti su:

- A-A M. 1 - brzina širenja 17.7 m/min = 0.29 m/s; visina plamena 1.1 m
- A-A M. 3 - brzina širenja 23.0 m/min = 0.38 m/s; visina plamena 3.1 m
- S-B GR2 brzina širenja 10.4 m/min = 0.17 m/s; visina plamena 1.3 m
- S-B GR4 brzina širenja 21.2 m/min = 0.35 m/s ;visina plamena 2.4 m

Pogledajmo i usporedbu za različite vrijednosti vlage u živom gorivu i 12% vlage u mrtvom gorivu, ali samo za kategorije GR2 i GR4. Za Albini – Andersonove kategorije vlaga u živom gorivu nije ulazni faktor.



Slika 6.28. Ovisnost brzine širenja požara o količini vlage u živom gorivu za 12% vlage u mrtvom gorivu i različite kategorije vegetacije

Promjene brzina za manju travu vegetacijskih kategorije GR2 su manje nego za veliku travu GR4. Slično je i za ostale brzine vjetera. Kako je na putu od mjesta izbijanja požara do mjesta nesreća uglavnom vegetacija kategorija GR2, a trava je u doba nesreće je bila potpuno suha, u nastavku računamo samo s količinom vlage u živom gorivu od 30%.

Brzina vjetera na polovici visine plamena 2.7 m/s (6 ml/h), a na 10 m visine 8 m/s

Dead Fuel Moisture %	A-A M.1		A-A M.3		S-B GR2		S-B GR4	
	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m
10	44.8	1.7	43.2	4.2	20.6	1.8	42.1	3.4
12	40.2	1.6	38.8	3.9	18.5	1.7	37.8	3.2
13	38.4	1.6	37.0	3.8	17.7	1.6	36.1	3.1
14	36.8	1.5	35.5	3.7	16.9	1.6	34.6	3.0

Za 12% vlage u mrtvom gorivu preračunate vrijednosti su:

- A-A M. 1 - brzina širenja 40.2 m/min = 0.67 m/s; visina plamena 1.6 m
- A-A M. 3 - brzina širenja 38.8 m/min = 0.64 m/s; visina plamena 3.9 m
- S-B GR2 brzina širenja 18.5 m/min = 0.31 m/s; visina plamena 1.7 m
- S-B GR4 brzina širenja 37.8 m/min = 0.63 m/s ;visina plamena 3.2 m

Brzina vjetra na polovici visine plam. 4 m/s (9 ml/h), a na 10 m iznad tla 10.8 m/s

Dead Fuel Moisture %	A-A M.1		A-A M.3		S-B GR2		S-B GR4	
	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m	Rate of Spread m/min	Flame Length m
10	101.3	2.5	72.3	5.4	36.5	2.4	74.7	4.5
12	90.9	2.4	64.9	5.0	32.8	2.2	67.0	4.1
13	86.7	2.3	61.9	4.9	31.3	2.1	64.0	4.0
14	80.6	2.2	59.3	4.7	30.0	2.1	61.3	3.9

Za 12% vlage u mrtvom gorivu preračunate vrijednosti su:

- A-A M. 1 - brzina širenja 90.9 m/min = 1.52 m/s; visina plamena 2.4 m
- A-A M. 3 - brzina širenja 64.9 m/min = 1.08 m/s; visina plamena 5.0 m
- S-B GR2 brzina širenja 32.8 m/min = 0.55 m/s; visina plamena 2.2 m
- S-B GR4 brzina širenja 67.0 m/min = 1.12 m/s ;visina plamena 4.1 m

Zračna udaljenost od mjesta izbijanja požara do mjesta nesreće je oko 6.6 km. Požar je ovaj put prešao za 4 sata iz čega slijedi da je srednja brzina širenja požara na terenu bila **0.46 m/s**. Brzina vjetra na polovici visine plamena nešto manja od 2.7 m/s daje najbliže vrijednosti ovoj srednjoj brzini.

6.2.3. Procjena toplinske moći goriva

Toplinska moć goriva (*eng. Heat Content*) za sve tipove trave bez obzira da li se radi o mrtvom ili živom gorivu iznosi 8000 BTU/lib = 8000 * 2.326 kJ/kg = **18608 kJ/kg** = 18608 * 0.23885 kcal/kg = **4444 kcal/kg** = 18608 / 3600 kWh/kg = **5.16 kWh/kg**. Ove vrijednosti se slažu sa prosječnim vrijednostima toplinske moći različite vrste slame koja po literaturi iznose oko 18000 kJ/kg (Elert 2007). Ovo su vrijednosti gornje toplinske moći vegetacije promatrane kao gorivu materiju (*eng. Gross Heat Content* ili Higher Heat Content). Međutim prilikom izgaranja u požaru otvorenog prostora vegetacija ne oslobodi toliko toplinske energije. Rothermel je u svom modelu širenja požara (Rothermel 1972) uveo semi-empirijske izraze za proračun stvarne toplinske moći vegetacije kod požara otvorenog prostora koji prije svega ovise o vrsti goriva i količini vlage u gorivu. U poglavlju 6.5.1. izračunali smo te vrijednosti za dan 30. kolovoza 2007. i područje klanaca u kojemu se dogodila nesreća.

6.2.4. Procjena temperature gorenja

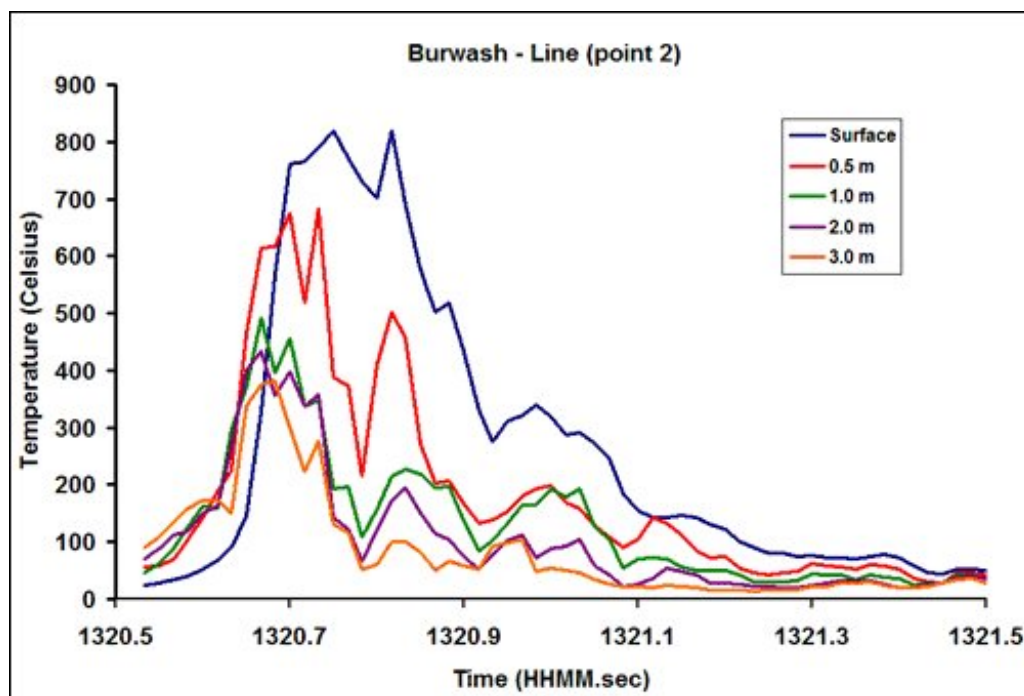
Kod određivanja temperature gorenja vegetacije hrvatskog priobalja i otoka situacija je ista kao kod određivanja toplinske moći ili parametara gorenja – eksperimenti ovog tipa u Hrvatskoj nikada nisu provedeni, pa nema podataka koji bi se odnosili baš na našu vegetaciju. Zbog toga smo i ovdje napravili procjenu na temelju znanstvene i stručne literaturi i rezultata mjerenja rađenih na travnatim podlogama u drugim svjetskim istraživačkim ustanovama.

Pri tome posebno ističemo suradnju s Prof. Mike Wotton kanadskim znanstvenikom iz Canadian Forest Service i profesorom Faculty of Forestry, University of Toronto koji je provodio pokuse gorenja travnate vegetacije, pa nam je dozvolio korištenje svojih

podataka. Osnovni pokusi koji su provodili u Canadian Forest Service bili su usmjereni na mjerenje brzine širenja požarne fronte, trajanja gorenja, te vertikalnog gradijenta temperature pri prolazu požarne fronte travnate podloge (Wotton 2007). Radilo se o travnatoj vegetaciji kanadske pokrajine Ontario, kod mjesta Sudbury, nešto sjevernije od grada Toronto. Tipičan izgled travnate vegetacije tok kraja prikazuje slika 6.29. Pokusi su rađeni i u požarima savane u Keniji tijekom AFARI projekta i uglavnom su potvrdili vrijednosti izmjerene u Canadi. Travnata vegetacija sa slike 6.29. prosječno gori oko 15 sekundi s temperaturom gorenja od **800 do 850 °C**. Slika 6.30. prikazuje vertikalni profil temperature pri prolazu požarne fronte travnate podloge. Temperatura je mjerena na visini tla, te na visinama od 0.5 m, 1 m, 2 m i 3 m. Maksimalna zabilježena temperatura gorenja je oko 850 °C i to na razini zemlje, dok je na visini od 0.5 m maksimalna zabilježena temperatura bila oko 700 °C .



Slika 6.29. Požar travnate podloge kod kojeg je mjereno vertikalno gorenje pri prolazu požarne fronte



Slika 6.30. Vertikalni profil gorenja pri prolazu požarne fronte

Slika 6.31. prikazuje izgled tipičnog pokusa. Na putu širenja požara postavljena je mjerna letva visine oko 3 m na kojoj je svakih 0.5 m postavljeno osjetilo temperature (termo-par) . Na Slici 5.31. (pokus iz 2001. kod Matchedash-a) vidi se da su plameni jezici bili prosječne visine od 1.5 m (od 1 do 2 m).



Slika 6.31. Pokus mjerenja vertikalnog profila temperature izgaranja i trajanja gorenja (Matchedash fire, 2000)

U slučaju Kornata pretpostavili smo da trava može po Albini – Anderonu pripadati kategorijama GR1, GR2 ili GR4. Uzmemo li srednju vrijednost GR2 visina plamena bi bila od 1.2 – 2.1 m, što bi otprilike odgovaralo plamenu sa Slike 6.31. U Kanadskim pokusima zabilježeno je vrijeme gorenja od oko 15 sekundi, dok je u našim pokusima travnate vegetacije (poglavlje 5) vrijeme gorenja bilo oko 12 sekundi pa nam i po tome Kanadski pokusi mogu biti smjernica u procjeni temperature gorenja.

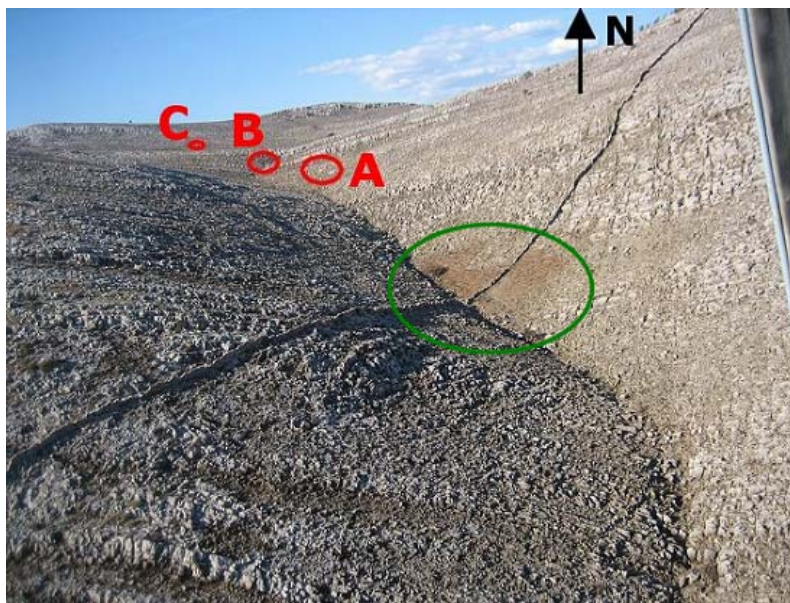
6.3. Posebna napomena vezana uz vegetaciju na mjestu nesreće

I na kraju spomenimo još i to da je tijekom posjeta otoku Kornatu uočeno područje na kojemu je najvjerojatnije bila vegetacija veće gustoće. Područje prikazuju Sl. 6.32 – 6.36 (sve je slike snimio Darko Stipaničev 25. rujna 2007).

Područje karakterizira veća koncentracija zemlje. Pojava ovakvih područja na otoku Kornatu nije neuobičajena. Erozijom se u udolinama i klancima stvaraju veće naslage zemlje, pa je u njima vegetacija obično bujnija.

Ovaj podatak o postojanju područja sa zemljom vjerojatno plodnijom nego li je bila u drugim dijelovima klanca, nije presudan za objašnjenje termodinamičkih pojava koje opisujemo u poglavlju 8., ali ga ipak navodimo zbog toga što je on mogao biti uzrokom aerodinamičkih anomalija, te je moguće da su se zbog njega dogodile i neke druge pojave koje spominjemo u poglavlju 7.

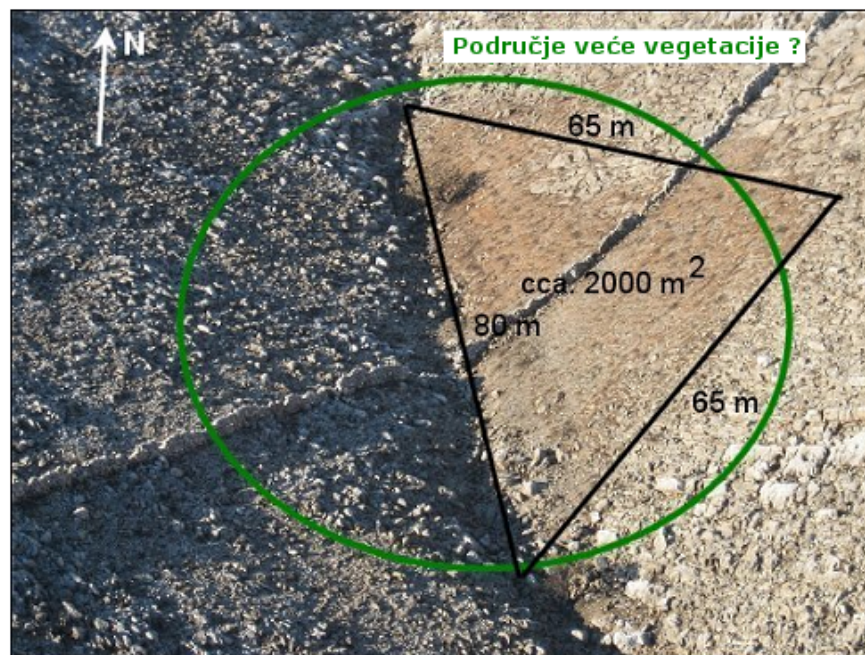
Kolika je stvarno bila trava na tom mjestu biti će moguće ustanoviti tek za nekoliko godina kada se u potpunosti obnovi sloj vegetacije i nadopuni mrtvim nagomilanim komponentom gorive tvari.



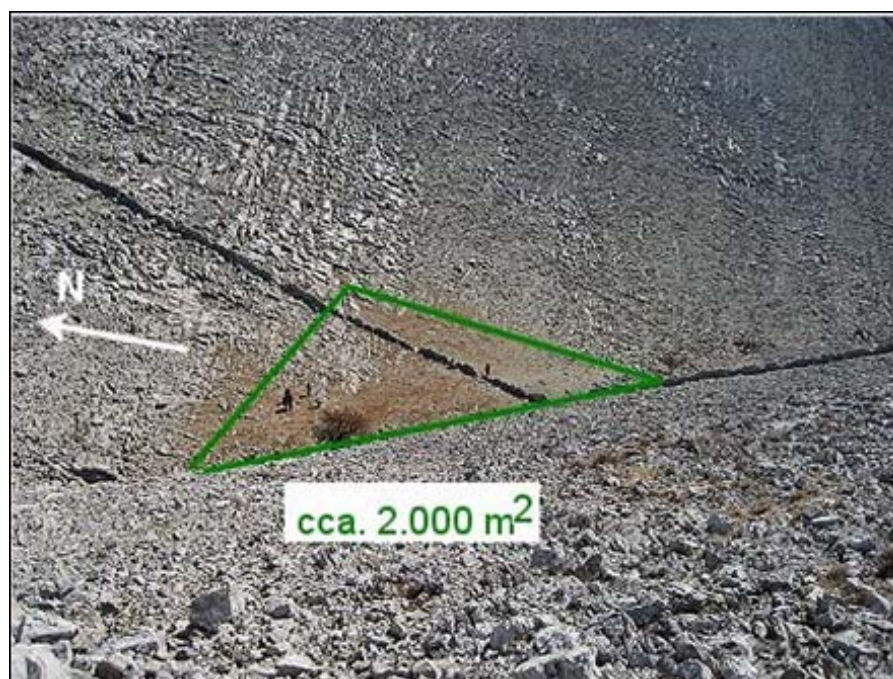
Slika 6.32. Područje na kojem je vjerojatno bila veća vegetacija označeno je zeleno



Slika 6.33. Pogled iz helikoptera na isto područje



Slika 6.34. Procjena veličine područja na kojemu je vjerojatno bila veća trava



Slika 6.35. Pogled sa zapadne strane klanca.

Naglasimo na kraju još jednu značajku ovog područja koja se dobro vidi na Slici 6.36. (pogled na klanac s juga). Na sjevernom dijelu ovog područja patuljasto je stablo koje smo već prikazali na Slici 2.28. Stablo nije izgorjelo, što govori da je vatra brzo prošla ovim područjem. Lišće do visine 1.5 je izgorjelo, a lišće iznad je samo sasušeno i smeđe je boje što je znači da nije bilo izloženo direktnom toplinskom udaru, ali je bilo u blizini većeg izvora topline. To što stablo nije izgorjelo govori da je požarna fronta preko ovog područja prešla jako brzo. Kada se požar polako kreće, sva vegetacija na njegovom putu

izgori (vidi Sliku 6.15), a ako se vatra brzo kreće upravo se mogla dogoditi ovakva posljedica. Pojavu detaljno objašnjavamo u poglavljima 7 i 8.



Slika 6.36. Pogled na područje na kojemu je možda bila veća vegetacija nego na drugim dijelovima klanca

6.4. Preliminarna analiza i simulacija širenja požara od uvale Vrulja do uvale Šipnata

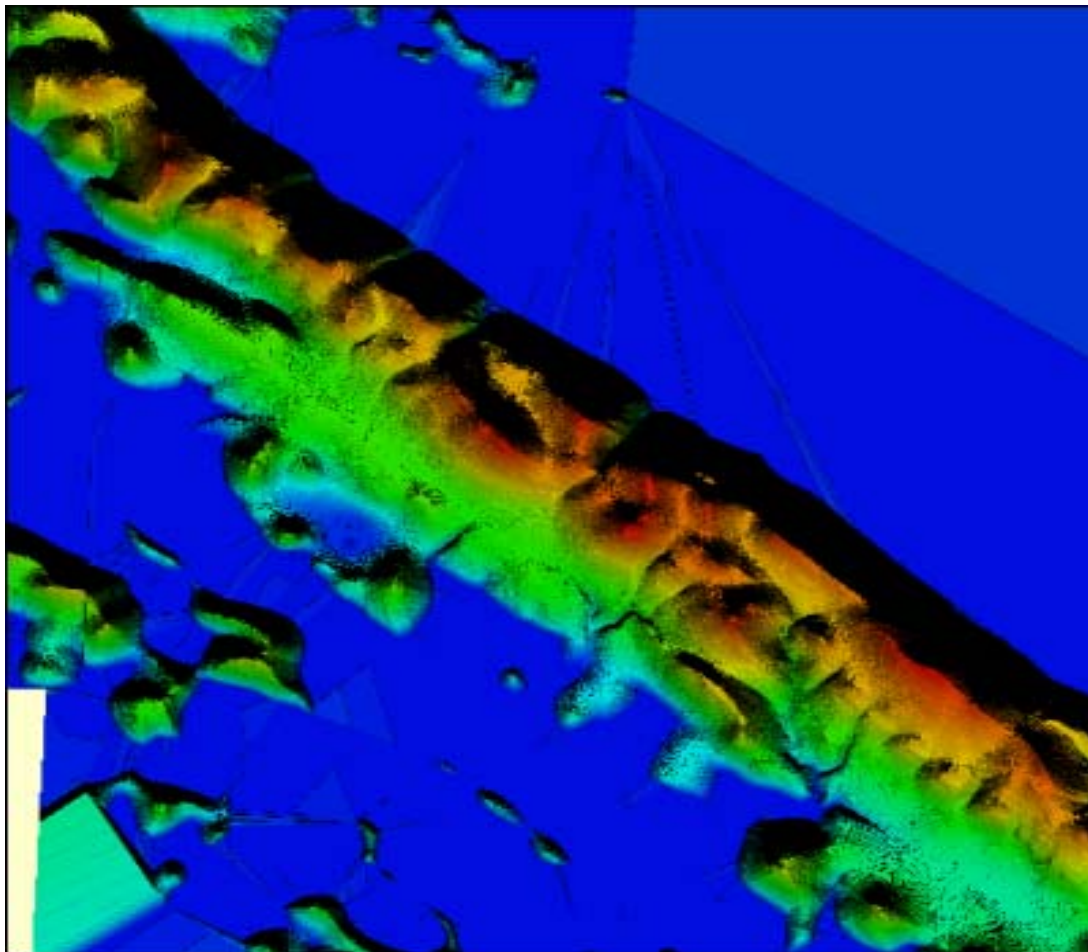
Simulaciju širenja požara od uvale Vrulja do uvale Šipnata temeljili smo na simulacijskom programu širenja požara koji se razvija na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) Sveučilišta u Splitu upravo na Katedri za modeliranje i inteligentne računalne sustave odakle dolazi većina autora ovog poglavlja. FESB-ov model kombinacija je semi-empirijskog Frandsen – Rothermelov modela (Rothermel 1972, Rothermel 1983) i simulacije širenja požara pomoću celularnih automata. Za sada je u prototipnoj fazi i čeka financijsku potporu kako bi se doveo u potpunu operativu fazu.

Prvi korak u primjeni simulacijskih modela širenja požara je postavljanje podloga i to:

- podloga s topografskim karakteristikama terena važnim za širenje požara (elevacije, nagibi padina, orijentiranost padina),
- podloge s karakteristikama vegetacije u odnosu na gorivost, i
- podloge s meteorološkim podacima.

6.4.1 Topografske karakteristike terena

Slika 6.37. prikazuje sliku elevacijske podloge za područje od uvale Vrulja do uvale Šipnate korištene u simulacijama širenja požara.

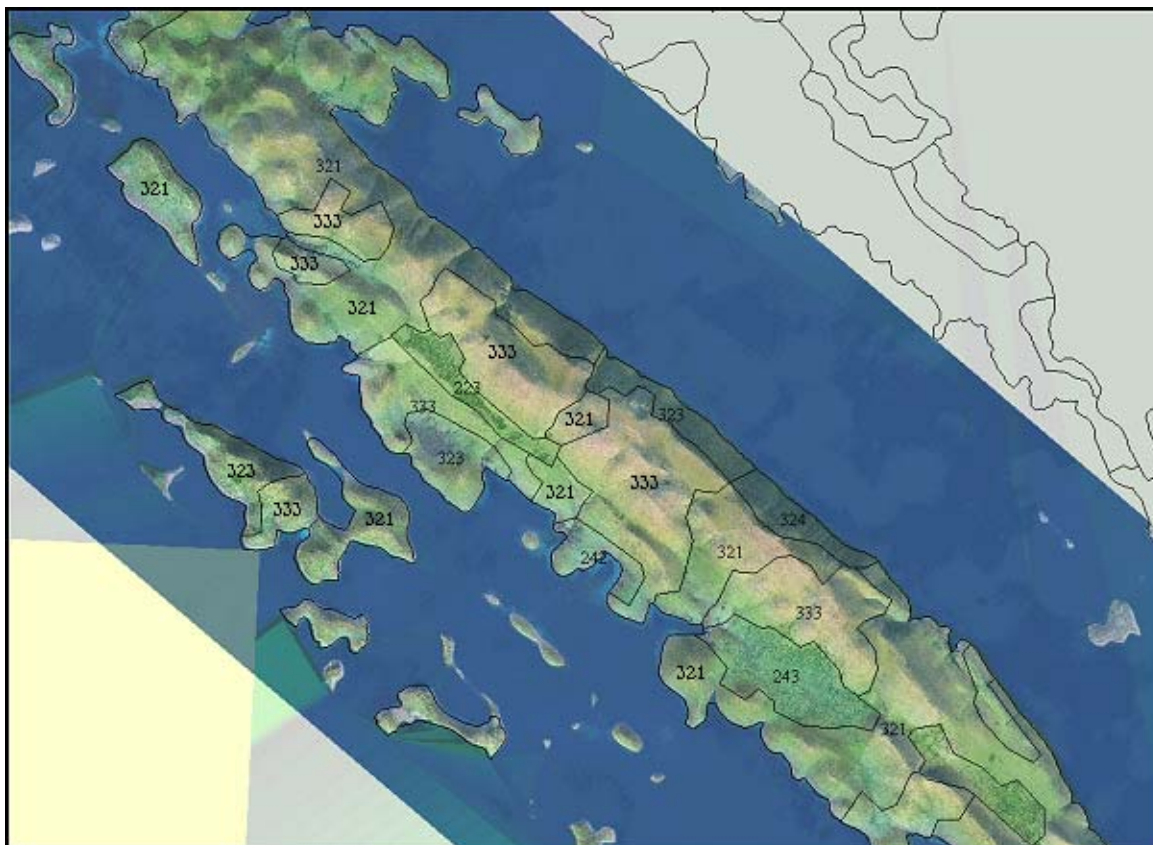


Slika 6.37. Elevacijska GIS podloga dijela otoka Kornata od uvale Vrulje do uvale Šipnate

Boje odgovaraju visinama terena - zelena boja manje visine, smeđa boja veće visine terena, a plavo je naravno more.

6.4.2 Vegetacijske karakteristike terena

Postoji nacionalna karta staništa na kojoj je vegetacija otoka Kornata klasificirana prema tipovima staništa. Isto tako postoji klasifikacija pokrova i korištenja zemljišta CORINE CLC 2000 koju je naručila Agencija za zaštitu okoliša a izrađena je na temelju satelitskih slika iz godine 2000. snimljenih u multispektralnom području. Prikazuje je slika 6.38. Na temelju ove karte izrađena je vegetacijska karta otoka Kornata u odnosu na standardne klasifikacijske modele vegetacije u odnosu na gorivost (Albini-Anderson i Scott-Burgan). Ovo je postupak koje je već više puta korišten u literaturi, na primjer (Sebastian-Lopez et al. 2001., Arca et al. 2007.) kao prva iteracija u određivanju vegetacijskih karta u odnosu na karakteristike gorivosti. U našem slučaju mi smo za provjeru CORINE klasifikaciju još dodatno usporedili sa kartama staništa otoka Kornat.



Slika 6.38. CORINE CLC 2000 – klasifikacija pokrova i korištenja zemljišta za 2000. g

Na otoku Kornatu se pojavljuju slijedeće CORINE kategorije:

- 223 Maslinici – prostori na kojima maslinici zauzimaju najmanje 80 % površine
- 242 Mozaik različitih načina poljoprivrednog korištenja - prostori s mozaičnim rasporedom oranica, vrtova i vinograda, voćnjaka, maslinika, livada; na ovim se prostorima vrlo često nalaze i pojedinačne kuće u službi poljoprivredne proizvodnje
- 243 Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije
- 321 Prirodni travnjaci – sve površine na kojima dominira travna vegetacija i ostala ne-drvenasta vegetacija
- 323 Grmolika vegetacija mediteranska – sve površine na kojima dominiraju grmoliki oblici vegetacije
- 324 Prijelaz grmlja (šikare) i šume – površine na kojima se grmolika vegetacija izmjenjuje sa šikarama i šumskim sastojinama
- 333 Područja s oskudnom vegetacijom – kamenite površine na kojima se vegetacija javlja s udjelom manjim od 40 % ili je vegetacija vrlo rijetka

Slika 6.39. uspoređuje vegetacijsku kartu staništa i CORINE klasifikaciju. Lako se uoči dobro poklapanje područja na potezu od uvale Vrulja do mjesta nesreće, s tim da u tom području CORINE ima dvije prevladavajuće kategorije: 321- Prirodni travnjaci (sve površine na kojima dominira travna vegetacija i ostala ne-drvenasta vegetacija) i 333 - Područja s oskudnom vegetacijom (kamenite površine na kojima se vegetacija javlja s udjelom manjim od 40 % ili je vegetacija vrlo rijetka), a kod vegetacijske karte sve je više-manje klasificirano kao C35 – Submediteranski i epimediteranski suhi travnjaci.



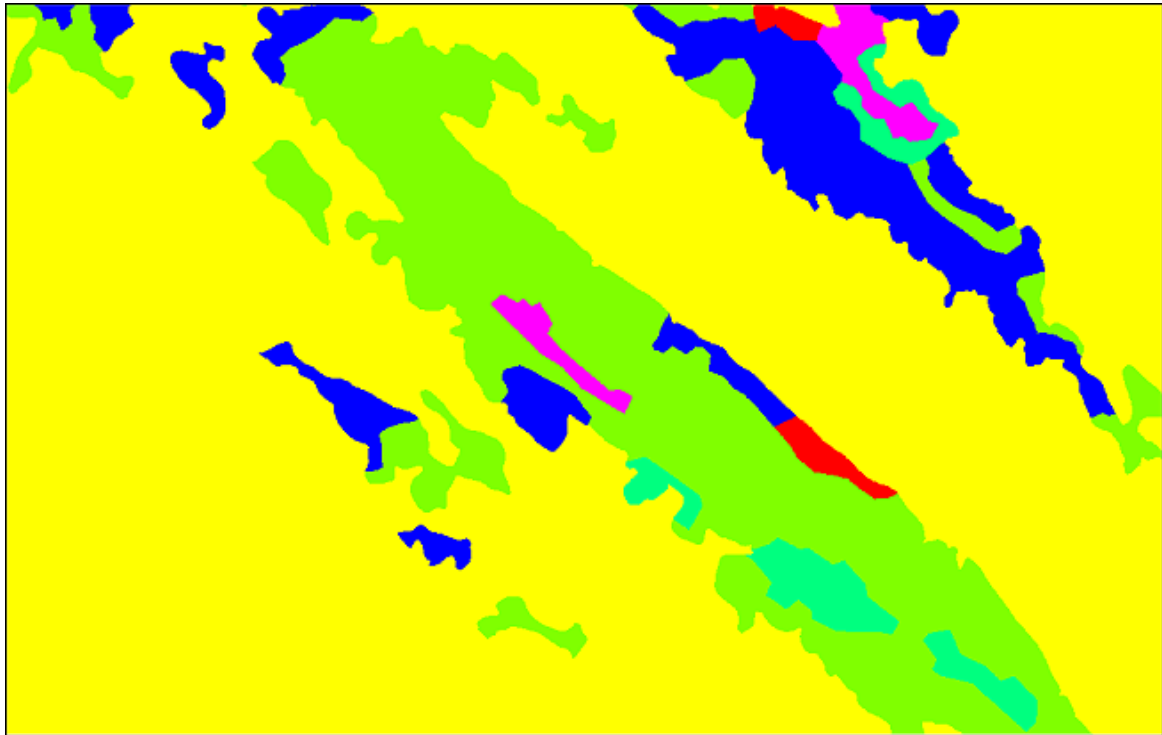
Slika 6.39. Usporedba vegetacijske karte staništa i CORINE CLC 2000

Spomenimo i to da je na obje karte dobro izdvojeno područje obradive površine (maslinici i vinogradi) u području Željkovac između Striznje i Šipnate. CORINE ih klasificira kao 223 - Maslinici (prostori na kojima maslinici zauzimaju najmanje 80 % površine) koji uglavnom predstavljaju branu širenju požara.

Naš simulacijski program za širenje požara u sadašnjoj prototipnoj fazi temelji se na 13 Albini – Andersonovih kategorija, pa je nužno CORINE klasifikaciju prebaciti u Albini – Andersonove kategorije. Pri tome smo koristili slijedeću korelacijsku tablicu u nastavku (Napomena: zbog potpunosti navodimo i standardne Scott-Burganove kategorije iako ih u simulacijama širenja od Vrulja do Šipnate nismo koristili, ali smo ih koristili kod simulacije širenja požara unutar klanca u kojem se dogodila nesreća):

Corine → Albini /Andersonovih 13 kategorija → Scott/Burgan 40 kategorija
 223 → 8 (Closed timber litter) → TL1 181 (Low Load Compact Conifer Litter)
 242 → 3 (Tall grass (2.5 feet)) → SH2 142 (Moderate Load Dry Climate Shrub)
 243 → 3 (Tall grass (2.5 feet)) → SH5 145 High Load, Dry Climate Shrub
 321 → 1 (Short grass (1 foot)) → GR2 102 (Low Load, Dry Climate Grass (Dynamic))
 ili GR4 104 (Moderate Load, Dry Climate Grass (Dynamic))
 323 → 6 (Dormant brush) → SH1 141 (Low Load Dry Climate Shrub (Dynamic))
 324 → 7 (Southern rough) → SH7 147 (Very High Load, Dry Climate Shrub)
 333 → 1 (Short grass (1 foot)) → GR2 102 (Low Load, Dry Climate Grass (Dynamic))

U početnom koraku prevladajuće travnate kategorije 321 i 333 identificirali smo istom vegetacijskom kategorijom (A-A M1), s tim da smo u simulacijama koristili i druge travnate kategorije. Slika 6.40 prikazuje kartu goriva korištenu kod simulacije širenja požara od Vrulja do uvale Šipnate. Svaka boja odgovara određenoj kategoriji.



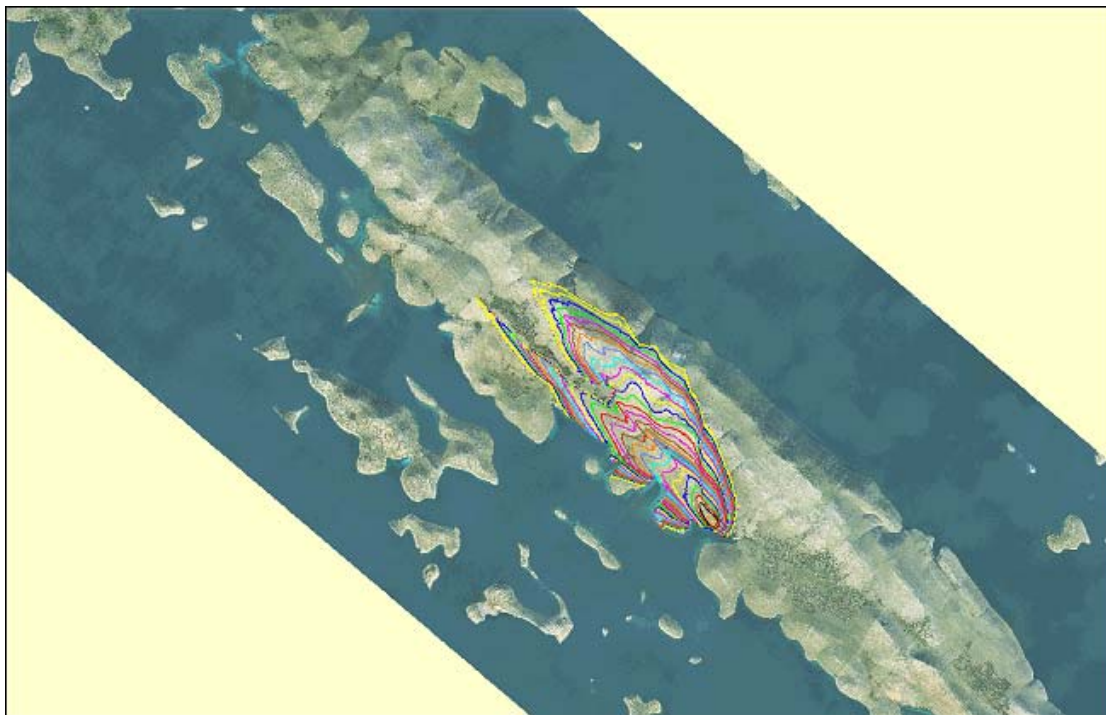
Slika 6.40. Vegetacijska karta dobivena na temelju karte CORINE CLC 2000

6.4.3 Simulacija širenja požara od uvale Vrulja do uvale Šipnate

Požar je počeo kod zgrade NP Kornati u uvali Vrulja između 11:00 i 11:30. Nesreća se dogodio u klancu iznad uvale Šipnate oko 15:25. Udaljenost od uvale Vrulja i uvale Šipnate je 6.6 km. Prema simulacijskim modelima vjetar na potezu od mjesta izbijanja vatre (Vrulje) do mjesta nesreće (Šipnate) bio je iz smjera 145° (SE). Naš simulacijski model temelji se na Frandsen – Rothermelovim jednadžbama kod kojega se brzina vjetra iskazuje na visini polovice plamena (eng. mdflame windspead), što smo poglavlju 6.2.2. izračunali.

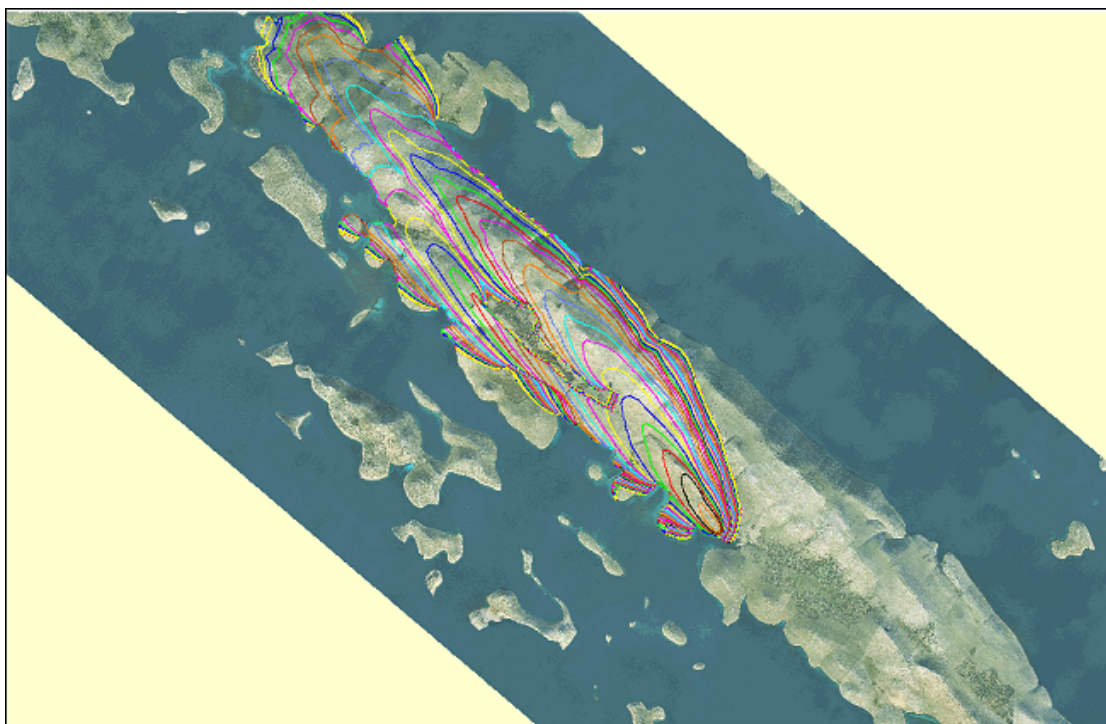
Brzine vjetra s kopnene strane kretale su se od $5.5 \text{ m/s} = 5.5/0.446 \text{ ml/h} = 12.33 \text{ ml/h}$ do $8 \text{ m/s} = 17.94 \text{ ml/h}$, odnosno s morske strane od $8 \text{ m/s} = 17.94 \text{ ml/h}$ do $10.8 \text{ m/s} = 24.22 \text{ ml/h}$, pa je za gorive kategorije koja je na Kornatima prevladavala iz Poglavlja 6.2.2. slijedi da je brzina vjetra na visini polovice plamena bila od $4 \text{ ml/h} = 1.8 \text{ m/s}$ do $6 \text{ ml/h} = 2.7 \text{ m/s}$ s kopnene strane, odnosno od $6 \text{ ml/h} = 2.7 \text{ m/s}$ do $9 \text{ ml/h} = 4 \text{ m/s}$ s morske strane.

Slika.6.41. prikazuje krivulje širenja požarne fronte za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 1.8 m/s . Svaka od boja odgovara vremenu od 10 minuta, a simulacija se zaustavlja 270 minuta od početka širenja požara. Vlaga mrtvog goriva je bila 12%, a smjer vjetra 140° (SE) .



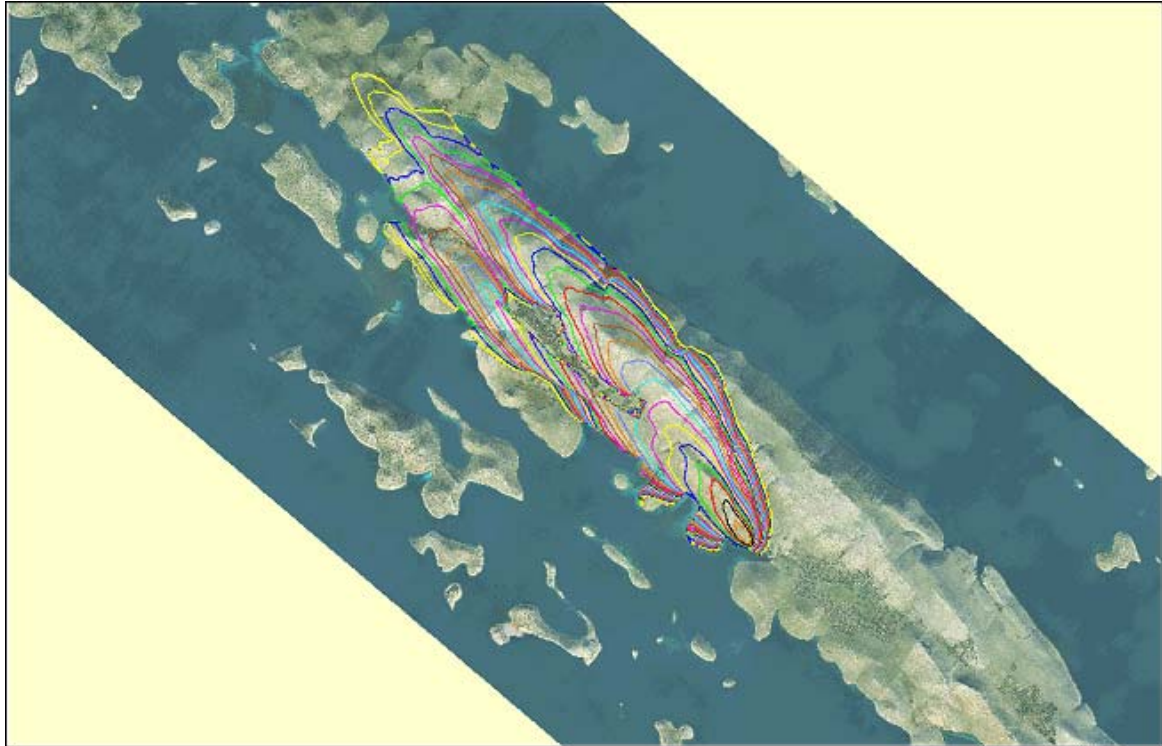
Slika 6.41. Simulacija širenja požara za vegetacijsku kartu prema slici 6.40. dobivenu na temelju CORINE klasifikacija i brzinu vjetra od 1.8 m/s na polovici visine plamena

Očito je da prema rezultatima simulacije požar za 270 minuta ne bi došao do uvale Šipnate. Slika 6.42. prikazuje rezultate dobivene za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 4 m/s.



Slika 6.42. Simulacija širenja požara za za vegetacijsku kartu prema slici 6.40. i brzinu vjetra od 4 m/s na polovici visine plamena

Očito je da bi za pretpostavljenu brzinu vjetra od 4 m/s na polovici visine plamena požarna fronta za 240 minuta već daleko prešla uvalu Šipnata. Približno točne vrijednosti od 240 minuta za kretanje požara od uvale Vrulja do uvale Šipnata dobiju se za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.29 m/s.



Slika 6.43. Simulacija širenja požara za vegetacijsku kartu prema slici 6.40. i brzinu vjetra od 2.29 m/s na polovici visine plamena i vlagu u mrtvom gorivu od 12%

Kao napomenu uz ove rezultate kažimo da se usklađivanje simulacijskog vremena sa stvarnim vremenom dolaska požara od uvale Vrulja do klanca iznad Šipnate, moglo napraviti ili smanjivanjem brzinu vjetra (što smo mi napravili) ili korigirati parametre standardne ulazne brzine širenja požara. Parametar standardne brzine širenja požara sigurno će u budućnosti trebati korigirati, ali to zahtjeva detaljnija istraživanja vegetacije u odnosu na parametre gorivosti. Brzina širenja požara gorive kategorije 1 prema Andersonu (vidi poglavlje 6.2) iznosi za brzine vjetra od 1.8 – 4 m/s na polovici visine plamena od 0.29 – 1.52 m/s, odnosno za srednju brzinu vjetra od 2.7 m/s na polovici visine plamena ulazna brzina širenja požara bi bila 0.67 m/s. Pretpostavljamo da bi za vegetaciju Kornata prosječna brzina širenja požara vjerojatno trebala biti manja od ovih Andersonovih vrijednosti. Dokaz je slijedeći: Pravocrtna udaljenost mjesta nesreće i mjesta izbijanja požara je 6.6 km, a požar bi se po ravnoj podlozi bez vjetra trebao širiti brzinom od 0.46 m/s da tu udaljenost pređe za 4 sata. Uzmemo li u obzir vjetar i nagibe terena koji povećavaju brzinu širenja, prosječna brzina širenja vatre (bez vjetra na ravnoj podlozi) sigurno mora biti manja od 0.46 m/s da bi on za 4 sata uz relativno jak vjetar i složenu konfiguraciju terena prešao pravocrtni put od 6.6 km (realni je još duži). Međutim svaka promjena originalnih Andersonovih vrijednosti bilo bi čisto pogađanje. Jedini ispravni put je sustavno klasificiranje i kartiranje vegetacije hrvatskog priobalja i otoka s obzirom na gorivost, koje bi svakako trebalo uključivati i pokuse gorenja.

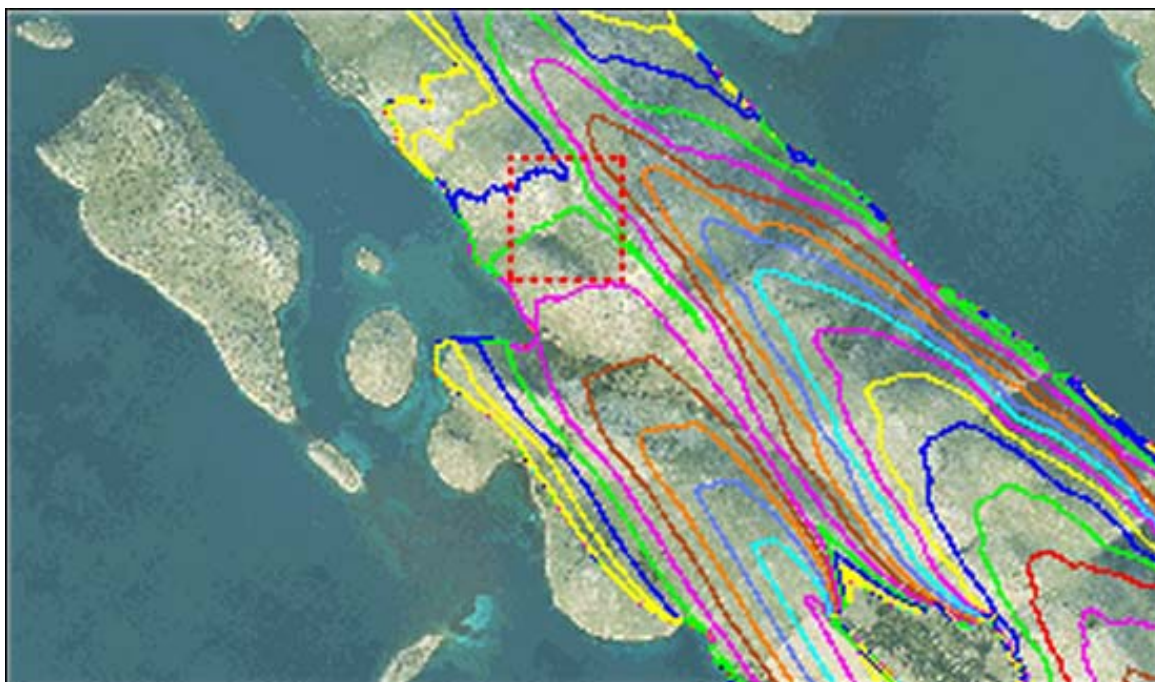
Sadašnja prototipna verzija našeg simulacijskog modela širenja požara temelji se na originalnoj Albini-Andersonovoj klasifikaciji vegetacije, pa ove vrijednosti nismo htjeli mijenjati, ali smo zato simulacije ponovili s manjim brzinama vjetra i dobili dobro poklapanje za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.29 m/s.

Povećamo li vlagu mrtvog goriva na 14% najbolje poklapanje se dobije za nešto veću brzinu vjetra na polovici visine plamena koja iznosi 2.39 m/s, a izgled požarne fronte je sličan.

Na slici 4.43. posebno trebamo napomenuti način na koji je prema simulacijskom modelu požarna fronta došla do uvale Šipnate. Taj je dio povećano prikazan na slici 6.44. Područje nesreće zaokruženo je crvenim pravokutnikom točkastih rubova. Pažnju treba obratiti na ljubičastu i zelenu liniju koje odgovaraju vremenima 230 i 240 minuta od početka požara.

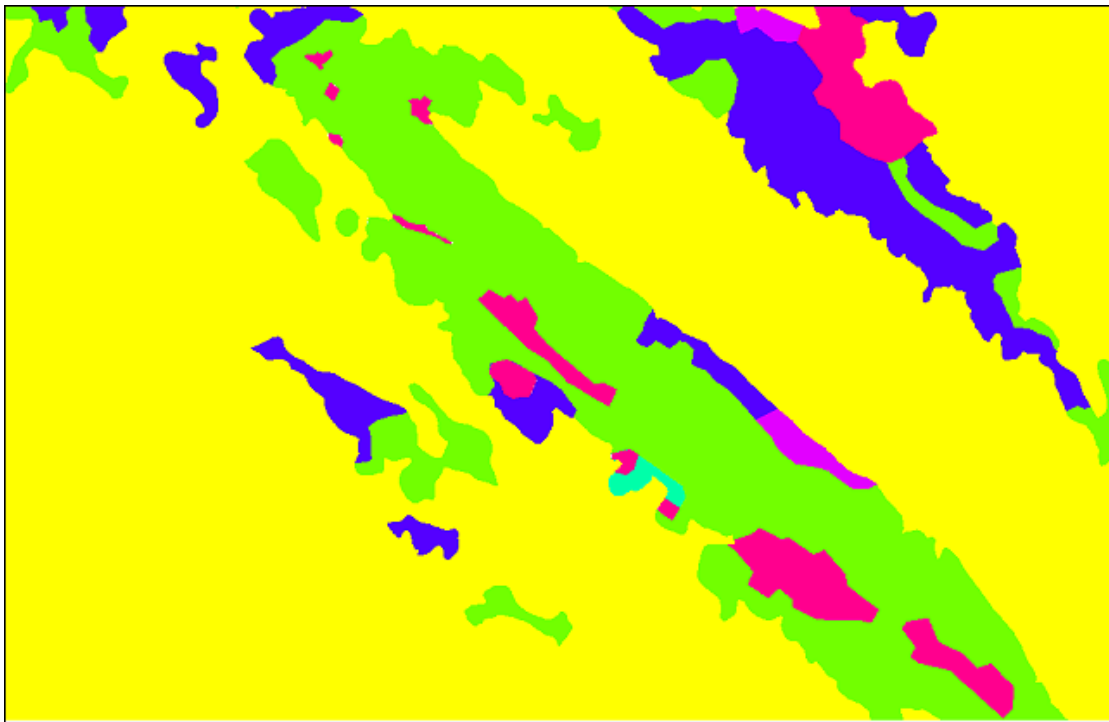
Prema simulacijskom modelu sjeverni krak požarne fronte napredovao je brže od južnog kraka iz čega bi se moglo zaključiti da je vatra do klanca Šipnate najprije došla sa sjeverne strane. Zbog toga je moguće je da su vatrogasci vatru najprije ugledali upravo na sjevernom dijelu, pa to može biti i razlog zašto su se krenuli južnije i našli se u klanecu u trenutku događanja nesreće.

Isto tako prema krivuljama širenja požara do klanca može pretpostaviti da je požarna fronta najvjerojatnije u sami u klanac ušla preko južnog dijela brda Veli Vrh. Sjeverni krak požara je prošao iznad klanca, ali se zbog smjera i brzine vjetra nije mogao širiti prema jugu. Simulacijski rezultati ukazuju da je požarna fronta u klanac najvjerojatnije mogla ući iz smjera jugoistoka preko južnih padina brda Veli vrh.

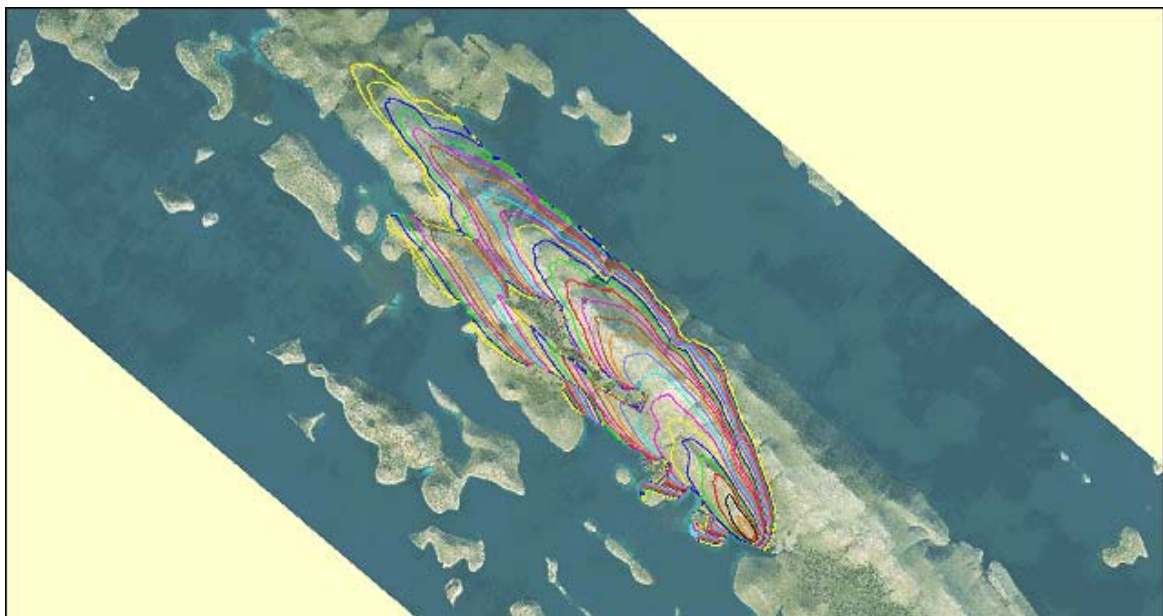


Slika 6.44. Povećani dio simuliranog kretanja požarne fronte oko klanca u kojem se dogodila nesreća. Crtkani pravokutnik označava područje nesreće, a ljubičasta linija odgovara vremenu od 230 minuta nakon početka požara, dok razmak između linija odgovara vremenskom intervalu od 10 minuta.

Na kraju posebno naglasimo da bi za točniju simulaciju širenja požara trebali i točniji podaci, prije svega o vegetaciji i njenim stvarnim, eksperimentalno određenim parametrima vezanim uz širenje požarne fronte, točnije vegetacijske mape, ali i točniji podaci o lokalnim smjerova i brzinama puhanja vjetra. Svaki od ovih parametara može dosta utjecati na brzinu širenja požara. Primjer prikazuje slike 6.45 i 6.46.



Slika 6.45. Vegetacijska karta dobivena na temelju karte CORINE CLC 2000 djelomično modificirana posebno oko uvale Šipnate



Slika 6.46. Simulacija širenja požara uz malo promijenjenu vegetacijsku kartu, brzinu vjetra od 2.29 m/s na polovici visine plamena i vlagu u mrtvom gorivu od 12%

Slika prikazuje rezultate simulacije uz malo promijenjenu vegetacijsku kartu na način da je oko uvale Vrulja uneseno područje s maslinikom kojeg u originalnoj CORINE klasifikaciji nema. Rezultat je promijenjen izgled požarne fronte. međutim niti ova karta nije u potpunosti mjerodavna zato što ne uzima u obzir lokalno puhanje juga u smjeru prostiranja klanca. Tako je na primjer u klanac nesreće osim dominantnog vjetra iz smjera SE postojala i komponenta vjetra u smjeru od klanca iz S smjera. To isto se vjerojatno događalo i u svim ostalim klancima i gudurama na putu kretanja požara.

Zbog toga zaključimo da analiza kretanja požara od uvale Vrulja do uvale Šipnata ovom preliminarnom analizom sigurno nije gotova. Ponovo ćemo joj se vratiti, a pogotovo kada se dobije mogućnost uvida u izjave svjedoka o položaju požarne fronte u pojedinim vremenskim trenucima. **Međutim, kako je za ovaj izvještaj puno važnije je što se događalo nakon ulaska vatre u klanac iznad uvale Šipnate, širenjem požara po otoku Kornatu do klanca nesreće u ovom se izvješću više se nećemo baviti.** U slijedećim poglavljima razmatraju se samo događanjima u klanac, a od ove analize uzimao u obzir samo mogućnost da je požarna fronta u klanac iznad uvale Šipnate mogla ući preko SE padina brda Veli vrh.

6.5. Širenje požara unutar klanca u kojem se dogodio nesreća

Simulacija iz poglavlja 6.4. temelji se na modelu koji računa standardno širenje požara uzimajući u obzir vegetaciju, vjetar i nagib terena na razini makro lokacije. U ovom smo dijelu to ponovili na razini mikro lokacije – klanca u kojemu se dogodila nesreća. Pri tome smo proračun proveli na dva načina:

- a) Koristeći standardni Rothermelov model (Rothermel 1983) koji daje proračunava kinetiku širenja požara u području nesreće, i to prije svega brzinu i smjer širenja požara, visinu plamena i prosječnu količinu oslobođene toplinske energije bez uzimanja u obzir mogućnost ubrzanja požarne fronte.
- b) Koristeći Viegasov model širenja požara (Viegas 2005) prema kojemu se požarna fronta na nagnutom terenu bez ili uz prisustvo vjetra ne kreće stalnom brzinom, već ubrzano ispoljavajući efekt koji je Viegas nazvao eruptivni sfekt.

Viegasov model smo primijenili zbog toga što je u praksi primijećeno da se dolaskom požarne fronte u područje izražajnije kosine, a posebno na terena oblika klanca u uspinjanju kod širenja požara pojavljuju efekti koji nisu prisutni kod standardnog širenja požara. Ove je efekte koje je znanstveno obradio i detaljno izučio prof. Viegas poznati su pod nazivom **eruptivni efekt** (eng. eruptive fire ili blow-up fire u američkoj literaturi). Tijekom istraživanja vezanih s problematikom eruptivnog efekta u klanac iznad uvale Šipnate intenzivno smo surađivali s prof. Viegasom i zajedno pokušali doći do odgovora na pitanje: *"Da li se 30.kolovoza 2007. u klanac iznad uvale Šipnate moglo dogoditi širenje požara prema pojava u stručnoj literaturi opisanoj kao eruptivni efekt ?"* U drugom dijelu ovog poglavlju odgovor na to pitanje temelji se na uvrštavanju ulaznih podataka iz klanca iznad uvale Šipnate u matematički model koji opisuje ponašanje eruptivnog efekta.

6.5.1. Proračun širenje požara u području nesreće

U ovom dijelu, osnovni nam je zadatak, koristeći standardne Rothermelov model širenja požara, odrediti kinetiku širenja požara u području nesreće, i to prije svega brzinu i

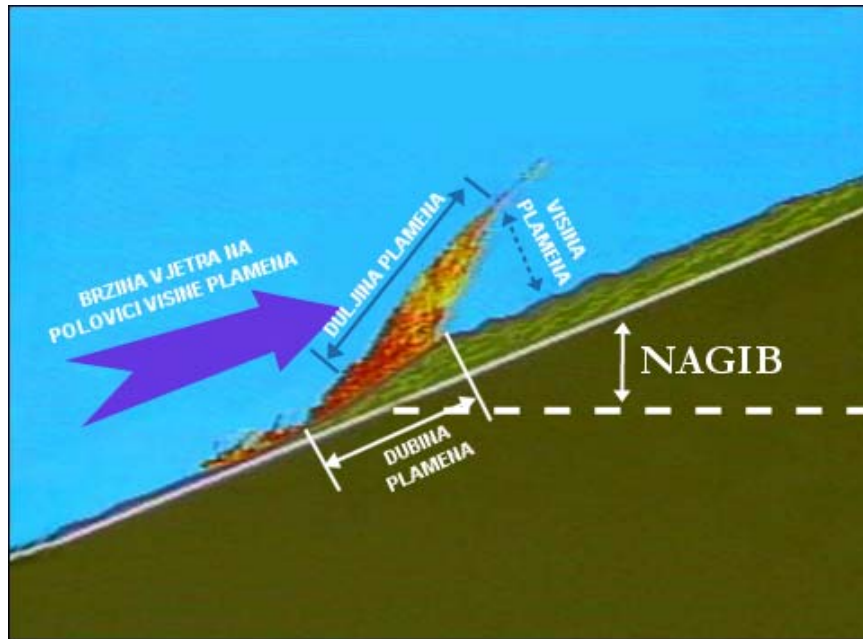
smjer širenja požara, visinu plamena i prosječnu količinu oslobođene toplinske energije. Pri tome koristimo slijedeće ulazne podatke:

- brzina vjetra na polovice visine plamena na ravnoj plohi 4 ml/h = **1.8 m/s**, 6 ml/h = **2.7 m/s** i 9 ml/h = **4 m/s**
 - vegetacijske kategorije:
 - Albini-Anderson model 1 (A-A M.1)
 - Albini-Anderson model 3 (A-A M.3)
 - Scott-Burgan model GR2 (S-B GR2)
 - Scott-Burgan model GR4 (S-B GR4)
- Napomena: Za sve kategorije izmijenjena je vrijednosti postotka vlage kod kojeg prestaje gorenje (ME – Dead Fuel Moisture of Extinction) postavljena je na iznos 40%
- vlaga u mrtvom gorivu od 12 – 14%
 - vlaga u živom gorivu od 30%
 - nagib terena 14% (prosječni nagib terena koji je bio u klanca iznad uvale Šipnate)

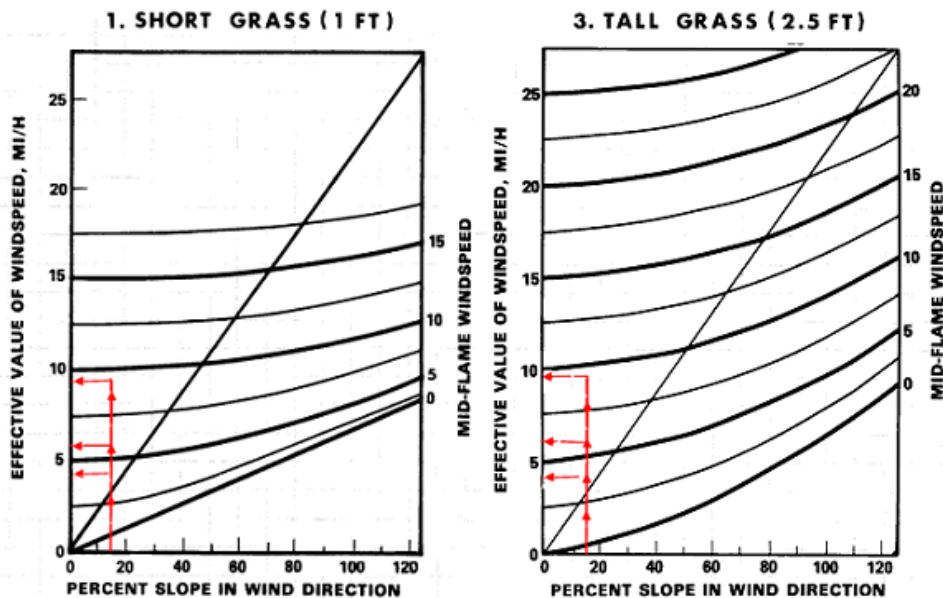
Brzinu vjetra na polovici visine plamena u poglavlju 6.2. odredili smo u odnosu na ravnu plohu. Ulazni podaci su bili brzina vjetra na visini od 10 m, a izlazni, ovisno za vegetacijske kategorije GR2 i GR4, brzina vjetra na polovici visine plamena za ravnu plohu.

Za vjetar brzine od 5.5 - 8 m/s na visini od 10 m, koliko je prema simulacijama vjetra prevladavalo s kopnene strane, procijenjena brzina na polovici visine plamena je bila od 1.8 - 2.7 m/s (6.4 – 9.6 km/h). Za vjetar brzine od 8 – 10.8 m/s na visini od 10 m, koliko je prema simulacijama vjetra prevladavalo s morske strane, procijenjena brzina na polovici visine plamena je od 2.7 - 4 m/s (9.6 – 14.4 km/h). Srednja vrijednost je brzina vjetra od 8 m/s na visini od 10 m iznad tla, odnosno na polovici visine plamena 2.7 m/s (6 ml/h).

Ovo vrijednosti ulaznih brzina vjetra dane su za nulti nagib terena, pa ih trebamo korigirati za stvarni nagib terena. Nagib terena u smjeru pohanja vjetra povećava brzinu vjetra na polovici visine plamena (vidi sliku 6.47). U poglavlju 3. (slika 3.4) odredili smo prosječni nagib osi klanca koji je od točke b (ulaz u ravni dio klanca) to točke nesreće A iznosio $NAGIB_{bA} = 14.49\%$ (8.3°). Na slici 6.48. su Rothermelove krivulje (Rothermel, 1983) za korekciju brzine vjetra na visini polovine plamena za teren različite nagutosti. Na krivuljama su ucrtane linije za brzinu vjetra na pola visine plamena od 1.8 m/s (4 ml/h), 2.7 m/s (6 ml/h) i 4 m/s (9 ml/h).



Slika 6.47. Brzina vjetra na polovici visine plamena i nagib terena osnovni su utjecajni faktori na početnu brzinu širenja požarne fronte. Brzina vjetra na polovici visine plamena veća je uz veći nagib terena.



Slika 6.48. Korekcija brzine vjetra na polovici visine plamena (midflame wind speed) za nagnutost terena (Rothermel 1983)

Lako je uočiti da nagib terena od 14 % ne povećava bitno brzinu vjetra na polovici plamena. Ova se opažanja poklapaju i s drugim autorima i suvremenijim istraživanjima (Butler et al 2007). Točan proračun za nagib terena 14%, količinu vlage u mrtvom gorivu od 12%, vektor smjera vjetra kolinearan s vektorom rasta nagiba i brzinu vjetra od 6.4 km/h, 9.6 km/h i 14.4 km/h daje rezultate efektivnih brzine vjetra na polovici visine plamena (Andrews et al 2005) prikazane u tablici 6.6.

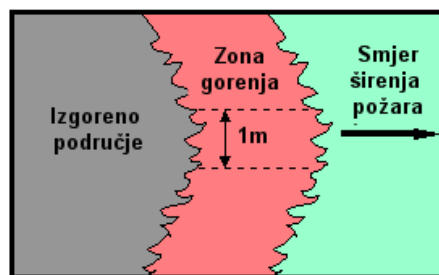
Tablica 6.6. Točne vrijednosti korekcija brzine vjetra na polovici visine plamena (eng. Effective Wind Speed) za nagnutost terena od 14% za ulazne vrijednosti brzine vjetra u smjeru najvećeg nagiba (eng. Midflame Wind Speed – upslope)

Kornati klanac Sipnate
Effective Wind Speed (km/h)

Fuel Model	Midflame Wind Speed (upslope)		
	km/h		
	6.4	9.6	14.4
A-A_M_1	6.6	9.7	14.5
A-A_M_3	6.6	9.8	14.5
S-B_GR2	6.6	9.8	14.5
S-B_GR4	6.6	9.8	14.5

U nastavku dajemo sve parametre vezane uz gorenje 4 razmatrane vegetacijske kategorije (Fuel Model) u uvjetima koji su vladali na Kornatima 30. kolovoza 2007. Promjenjivi parametar je ulazna brzina vjetra na polovici visine plamena u smjeru najvećeg nagiba prije korekcije za nagnutost terena (Midflame Wind Speed – upslope). Parametri u tablicama su slijedeći:

- Midflame Wind Speed - ulazna brzina vjetra na polovici visine plamena u smjeru najvećeg nagiba prije korekcije za nagnutost terena u km/h
- Rate of Spread – Brzina širenja požarne fronte u m/min
- Heat per Unit Area – Toplinska energija po jedinici površine u kJ/ m² – ovo je mjera količine energije koju gorivo predaje okolini, a dobije se tako da se od toplinske moći gorive materije oduzme dio energije koja se potroši na isušivanje. Ne ovisi o brzini i smjeru vjetra i nagibu terena, ali ovisi o tipu goriva i količini vlage u njemu.
- Fireline Intensity – Intenzitet požarne fronte – toplinska energija koja se oslobodi u jedinici vremena (toplinska snaga) po 1 m gorive materije na početku požarne fronte u kW/m



- Flame Length – Duljina plamena u m (vidi Sl.6.38)
- Reaction Intensity – Intenzitet reakcije – toplinska energija koja se oslobodi u jedinici vremena (toplinska snaga) po jedinici horizontalne površine požarne fronte u kW/ m² - ne ovisi o brzini i smjeru vjetra i nagibu terena.
- Spread Distance - Udaljenost koju bi vatra prešla za 1 sat u m.

Tablica 6.7. Parametri gorenja za Albini – Andersonovu travnatu kategoriju 1

A-A M.1

Midflame Wind Speed km/h	Rate of Spread m/min	Heat per Unit Area kJ/m ²	Fireline Intensity kW/m	Flame Length m	Reaction Intensity kW/m ²	Spread Distance m
6.4	19.0	1115	353	1.2	169	1140.8
9.6	41.0	1115	763	1.6	169	2463.0
14.4	92.1	1115	1712	2.4	169	5525.1

Tablica 6.8. Parametri gorenja za Albini – Andersonovu travnatu kategoriju 3

A-A M.3

Midflame Wind Speed km/h	Rate of Spread m/min	Heat per Unit Area kJ/m ²	Fireline Intensity kW/m	Flame Length m	Reaction Intensity kW/m ²	Spread Distance m
6.4	23.9	7963	3168	3.2	518	1432.4
9.6	39.2	7963	5205	4.0	518	2353.1
14.4	65.3	7963	8670	5.0	518	3919.6

Tablica 6.9. Brzina širenja požarne fronte za Scott-Burganovu travnatu kategoriju GR2

S-B GR2

Midflame Wind Speed km/h	Rate of Spread m/min	Heat per Unit Area kJ/m ²	Fireline Intensity kW/m	Flame Length m	Reaction Intensity kW/m ²	Spread Distance m
6.4	11.0	2641	483	1.3	209	657.8
9.6	19.0	2641	835	1.7	209	1138.3
14.4	33.4	2641	1471	2.2	209	2005.1

Tablica 6.10. Brzina širenja požarne fronte za Scott-Burganovu travnatu kategoriju GR4

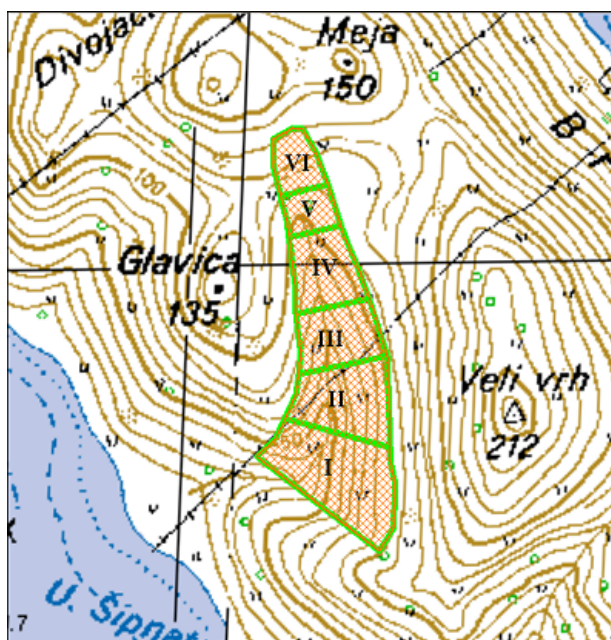
S-B GR4

Midflame Wind Speed km/h	Rate of Spread m/min	Heat per Unit Area kJ/m ²	Fireline Intensity kW/m	Flame Length m	Reaction Intensity kW/m ²	Spread Distance m
6.4	22.0	5123	1877	2.5	406	1319.2
9.6	38.1	5123	3252	3.2	406	2285.4
14.4	67.2	5123	5735	4.1	406	4030.1

Napominjemo da su sve ove vrijednosti proračunate za ravnu nagnutu plohu, a mi imamo nagnuti V profil (klanac) u kojemu su brzine širenja još veće od ovih koje daju ove Rothermelovim krivuljama.

Gornje nam tablice daju osnovne veličine vezane uz gorenje. Travnata vegetacija na Kornatima je prema rezultatima mjerenja imala prosječnu količinu goriva od $0.62 - 0.76 \text{ kg/m}^2$, procijenjene prosječne gornje toplinske moći od $18\,000 \text{ kJ/kg}$. Albin-Andersonov vegetacijski model A-A M.3 ima prosječnu količinu gorive materije 0.744 kg/m^2 , a Scott-Burganov model S-B GR4 ima prosječnu količinu gorive materije 0.531 kg/m^2 . Za 12% vlage u mrtvom gorivu prosječna toplinsku energiju oslobođena po jedinici požarne površine za vegetacijski model A-A M.3 iznosi 7963 kJ/m^2 , a za model S-B GR4 5123 kJ/m^2 . Prema tome može se zaključiti da je prosječna **oslobođena toplinska energija po jedinici požarne površine bila između $5500 - 7500 \text{ kJ/m}^2$** , a toplinska snaga po 1 m^2 horizontalne površine požarne fronte kretala se **između $410 - 510 \text{ kW/m}^2$** .

Uzmemo li u obzir samo centralni dio kanjona prema Poglavlju 3. i Slici 3.8 koju ovdje ponovo prenosimo:



Slika 6.49. Podjela klanca na 6 dijelova

količina oslobođene toplinske energije u pojedinim dijelovima klanca je bila:

PODRUČJE	POVRŠINA	OSLOBOĐENA TOPLINSKA ENERGIJA
I	$31\,964 \text{ m}^2$	$175\,802 - 239\,730 \text{ MJ}$
II	$20\,976 \text{ m}^2$	$115\,368 - 157\,320 \text{ MJ}$
III	$15\,982 \text{ m}^2$	$87\,901 - 119\,865 \text{ MJ}$

IV	14 983 m ²	82 406.5 – 112 372.5 MJ
V	6 882 m ²	37 851 – 51 615 MJ
VI	8 990 m ²	49 445 – 67 425 MJ
UKUPNO	99 887 m²	549 378.5 – 749 152.5 MJ

Znači ukupna toplinska energija u unutrašnjem dijelu klanca koju je gorivo predalo okolini mogla se kretati od 550 000 – 750 000 MJ, odnosno od 153 – 208 MWh. Slikovito kazano energija od 153 MWh je energija koju bi žarulja od 100 W potrošila ukoliko bi neprekidno gorila 1 530 000 sati, odnosno skoro 175 godina.

U tablicama od 6.7 – 6.10 dane su udaljenosti koje požarna fronta može preći za 1 sat vremena. Prema Rothermelovom modelu brzina širenja požara ostaje konstantna ukoliko nema promjene tipa vegetacije, brzine vjetra ili nagiba padine. Prema tome na dionici bA od ulaska u ravni dio kanjona do mjesta stradavanja A, brzina širenja požarne fronte bi trebala prema Rothermelovom modelu biti stalna. Za te uvjete zanima nas koliko bi vremena požaru trebalo da pređe udaljenost od 350 m. Rezultat za različite tipove vegetacije i različite brzine vjetra na visini polovice plamena dan je u tablici 6.11.

Tablica 6.11. Vrijeme potrebno da požarna fronta pređe put od 350 m

Vegetacija - Vjetar	6.4 km/h	9.6 km/h	14.4 km/h
A-A M.1	18.42 min	8.54 min	3.80 min
A-A M.3	14.64 min	8.93 min	5.36 min
S-B GR2	31.82 min	18.42 min	10.48 min
S-B GR4	15.91 min	9.19 min	5.21 min

Vremena su relativno duga i kreću se od 3.80 min (najkraće) do 31.82 min (najduže). Za vegetaciju kategorija A-A M.3 i S-B GR3 koja prema prosječnoj količini goriva odgovara uzorcima iz klanca iznad uvala Šipnate, vrijednosti su se kretale od 5.21 min do 15.91 min, što je još uvijek relativno dugo. Da se požar ovoliko dugo kretao kroz klanac, vatrogasci bi sigurno uspjeli pobjeći vidjevši da vatra ide prema njima. Prema tome za pretpostaviti je da kretanje požara unutar klanca nije dovoljan standardni model, opisan Rothermelovim jednadžbama širenja požara na temelju kojih smo proračunali gornje vrijednosti.

Jedan od mogućih odgovora koji daje kraće vrijeme dolaska požarne fronte od ulaska u klanac do mjesta nesreće nalazi se u proširenom Viegasovom matematičkom modelu širenja požara koji uzima u obzir ubrzanje požarne fronte nazvano eruptivni efekt. Ova je teorija danas također dobro razrađenoj i opisanoj u stručnoj literaturi, pa se na nju u nastavku detaljnije osvrćemo.

6.5.2. Što je eruptivni efekt ?

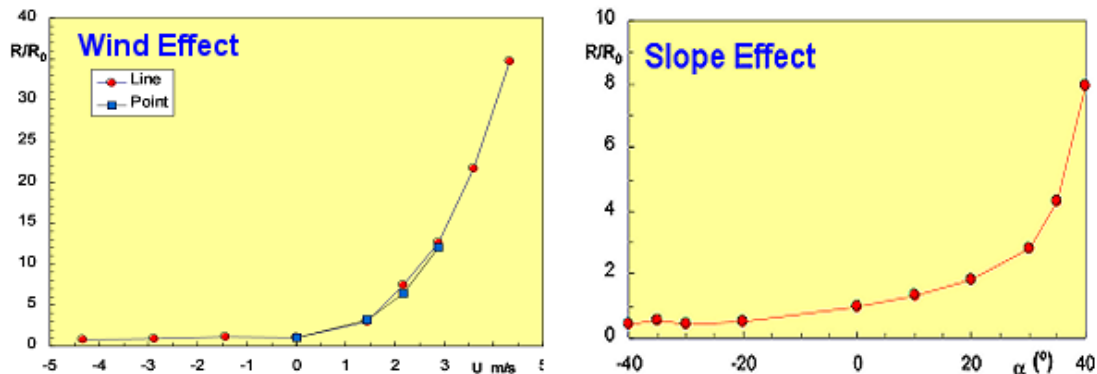
Prije svega odmah na početku hoćemo razjasniti zabunu koja se često javlja vezana s eruptivnim efektom. Razlog zabune možda leži u tome što je Viegas pojavu nazvao '*eruptive fire*' što se prevodi kao '*eruptivni požar*'. Prevodeći pojam kao eruptivni požar, stječe se utisak da postoji **običan požar** i **eruptivni požar**, odnosno da je eruptivni požar nešto posebno, posebna vrsta požara koja se ne javlja uvijek nego samo u posebnim situacijama. Međutim takav posebni eruptivni požar ne postoji. Postoji samo požar, a svaki požar može iskazati i efekt koji nazivamo **eruptivni efekt**.

Što je u stvari glavna zasluga Viegasa i kakav je to Viegasov matematički mode eruptivnog efekta ? Uobičajeni matematički modeli širenja požara, od kojih je najviše korišten Rothermelov model, smatrali su da se požar kreće stalnom, konstantnom brzinom koji ovisi o vegetaciji, smjeru i brzini vjetra i nagib terena. Za istu vegetaciju, isti vjetar i isti nagib terena, brzina požarne fronte se na cijeloj padini ne mijenja. Požar na padinu uđe određenom brzinom i tu brzinu zadržava do kraja. Međutim opažanja u prirodi i istraživanja u laboratorijima su pokazali da to nije tako. Postoji i četvrta komponenta koja utječe na brzinu širenja požara, a to je vrijeme. Brzina kretanja požara uz istu vegetaciju, vjetar i nagib padine nije ista na početku i na kraju padine. **Požarna se fronta širi ubrzano**, na dnu padine je brzina manja, a na vrhu padine veća. I to vrijedi za svaki, baš za svaki požar.

Međutim za veliki broj požara duljina padine, vrsta vegetacije, brzina vjetra i/ili nagib padine nisu toliki da bi ubrzanje požarne fronte bile značajna i vidljiva. Požarna fronta uvijek ubrzava, ali često ne toliko da bi ovo ubrzanje bilo jako uočljivo. Pogledamo li krivulje na slici 6.53 koje prikazuju odnos između ulazne brzine i konačne brzine, u velikom broju slučajeva nalazimo se na horizontalnom dijelu krivulje koja kaže da razlike između ovih brzina nisu velike. U određenim uvjetima padine i/ili vjetra možemo se lako naći na vertikalnom (desnom) dijelu krivulje kada se promjene brzine na ulazu i na kraju padine značajne. U tom slučaju govorimo o **eruptivnom efektu**, a Viegas je dao njegov matematički opis.

Dvije su vrste eruptivnog efekta: **eruptivni efekt izazvan kosinom** (*eng. slope-driven eruptive fire*) i **eruptivni efekt izazvan vjetrom** (*eng. wind-driven eruptive fire*). Kako je pojava eruptivnog efekta izazvana kosinom češća, uobičajeno je da se pod pojmom eruptivni efekt obično misli na ovaj, iako se ne smije zaboraviti da se eruptivni efekt može pojaviti i izazvan vjetrom. Viegas je još 2004. (Viegas 2004c) dokazao ovaj dualitet i mogućnost jedinstvenog tretiranja utjecaja vjetra i nagiba na mogućnost razvoja eruptivnog efekta. Ove Viegasove rezultate istraživanja najbolje ilustrira Slika 6.41 dobivena ispitivanjima na platformi sličnoj onoj prikazanoj na Slici 6.51. Slika prikazuje relativni omjer brzine širenja požara u odnosu na početnu brzinu u ovisnosti o brzini vjetra, bez nagiba, te u ovisnosti o nagibu, bez vjetra (Viegas 2004c, Viegas 2005c). Očito je da su efekti vrlo slični.

U rezultatima na slici brzina se promatra u istom vremenskom razmaku nakon početka pojave, što znači da se faktor vremena ne razmatra. Međutim kod eruptivnog efekta koji rezultira u eruptivnom širenju požara, vrijeme je vrlo bitan faktor. Viegas naglašava da se u biti klasični trokut širenja požara otvorenog prostora: vegetacija – konfiguracija – meteorologija treba nadopuniti na četverokut vegetacija – konfiguracija – meteorologija – vrijeme.



Slika 6.50. Relativni odnos brzina širenja požara R u odnosu na ulazne brzine R_0 nakon istog vremenskog razmaka za (Viegas 2005c):
a) različite brzine vjetra uz nulti nagib padine
b) različite nagibe padine za situaciju bez vjetra

Eruptivni efekt izazvan kosinom je, najkraće kazano, pojava koja se javlja kada požarna fronta naiđe na padinu ili klanac koji je po svojoj osnovnoj osi dovoljno nagnut, te na terenu postoji odgovarajuća goriva materija. Za pojavu ovog tipa eruptivnog efekta postojanje vjetra nije presudno. Eruptivni efekt će se javiti i u slučajevima kada vjetra nema, pa čak i ukoliko puše u suprotnom smjeru, ukoliko je padina ili klanac dovoljno nagnut i dovoljno dug. Koliko nagnut i koliko dug, ovisi o vegetaciji na padini ili klanecu.

Međutim važno je odmah na početku naglasiti da se u zadnje vrijeme u novinskim natpisima ponavlja neistinita činjenica da je za pojavu eruptivnog efekta isključivo važno nagib kosine. Kosina je važna za pojavu eruptivnog efekta izazvanog kosinom koji će se javiti za dovoljno nagnutu kosinu čak i onda kada puše vjetar suprotnoga smjera od smjera nagiba kosine. Eruptivni efekt je toliko jak da će nadvladati vjetar suprotnog smjera. Pri tome se spominje nužni nagib kosine od 10° . Međutim eruptivni efekt i eruptivni efekt mogu se javiti i kada nagib nije toliki ako je uz to i ispunjen uvjet da vjetar puše u smjeru rasta kosine i širenja požara. Takav vjetar pogodnoga smjera pospješuje i pojačava eruptivne efekte, pa do eruptivnog efekta dolazi i na kraćim padinama ili klanecima manjeg nagiba, uz uvjet da je vjetar dovoljno jak.

Što se u biti fizikalno događa? Pretpostavimo u prvom trenu da vjetra nema. Ukoliko se požar kreće po ravnom terenu brzina njegovog širenja biti će više-manje stalna i ovisiti prije svega o značajkama vegetacije, a oblik požarne fronte biti će kružni. Označimo brzinu kretanja požara po ravnoj plohi bez vjetra s R_0 . Dolaskom do padine ili nagnutog klanca, požar se u početku nastavlja širiti ulaznom brzinom. Međutim vrlo brzo visina plamena na početku požarne fronte počinje rasti, a brzina širenja požara postaje sve veća i veća. Razlog je pojava u tehnici poznata kao **pozitivna povratna veza**. Požar na vrhu se kontinuirano potpomaže toplinom iz plamena ispod sebe što pojačava njegov efekt, a on nakon toga još više potpomaže požar koji će se razviti ispred njega. Povećanjem intenziteta gorenja pojačava se i strujanje zraka u njegovoj blizini što još više potpomaže gorenje i povećava brzinu širenja požarne fronte.

I tako redom, jedan efekt potpomaže drugog, pa požar vrlo brzo nekontrolirano eruptira. Otuda mu i ime eruptivni efekt, iako se u Americi ovaj efekt često naziva i "blow-up" što se hrvatski može prevesti kao eksplodirajući, uvećavajući ili napuhavajući. Zabilježeno je da se brzina požara na kraju padine ili klanca (koju ćemo označiti sa R) u odnosu na brzinu kojom je požar došao na dnu padine ili ulazu klanca (koju smo označili s R_0) može povećati i više od 100 puta ($R/R_0 > 100$) u relativno kratkom vremenu.

Ovakav nagli razvoj velike količine topline uzrokuje pojavu vrlo jakih vjetrova koji proizvode **zvuk sličan zavijanju ili huku** dolazeće lokomotive. Ovo su svjedočili i brojni svjedoci koji su preživjeli nalet eruptivnog širenja požara.

Prisustvo vjetra koji puše u smjeru padine ili u smjeru uspona klanca sve to još dodatno pojačava, na način da prividno povećava nagib terena. Zbog puhanja vjetra plameni jezici su polegnuti, pa kosina ili klanac izgledaju prividno još više nagnuti, nego li su stvarno, čime je efekt erupcije brži i jači, pa ne treba velika duljina padine da do eruptivnog efekta dođe. Uz prisustvo vjetra eruptivni efekt se javlja i u klancima u koji nisu dovoljno dugi i/ili nisu niti previše nagnuti da bi se dosegla točku erupcije. To se najvjerojatnije i dogodilo u klanecu iznad uvale Šipnate.

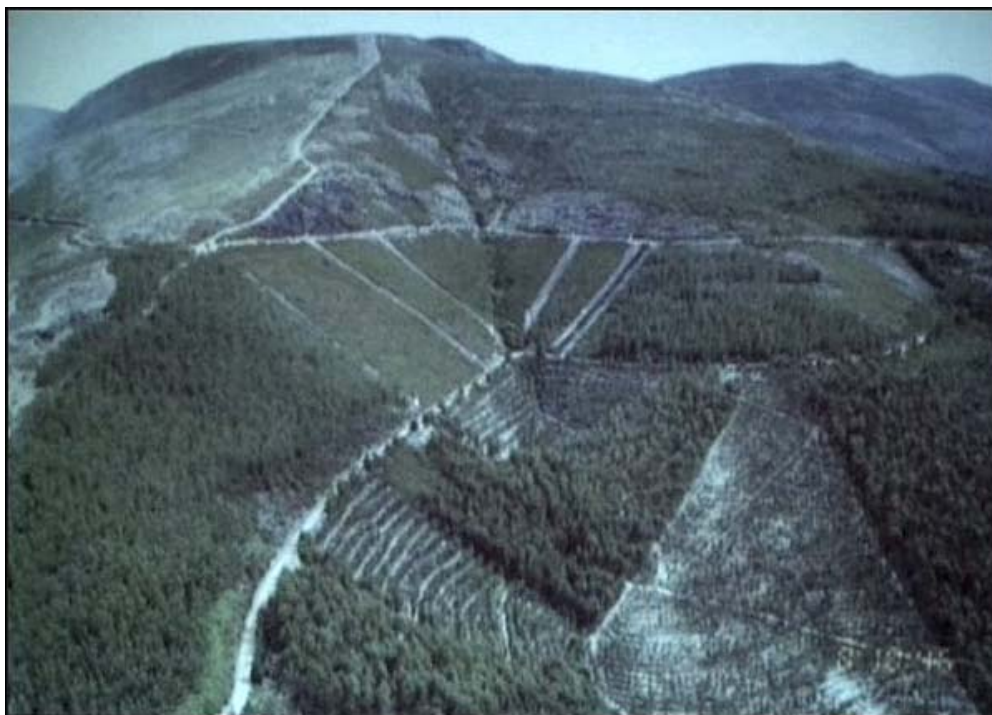
Brzina dolaska do eruptivne faze ovisi i o vegetaciji na padini ili u klanecu. Što je gorivo lakše, to će do erupcije prije doći. Najopasnija je suha travnata podloga u kojoj do eruptivne faze dolazi i nekoliko puta brže nego na primjer na padini koja je obrasla grmolikom vegetacijom ili šibljem. Ukoliko je na padini šuma sa malim udjelom prizemne travnate podloge onda je dolazak do eruptivne faze još sporiji, pa se često dogodi da se na šumovitim obroncima požarna fronta dođe do vrha padine, a ne dosegne točku prelaska u eruptivnu fazu.

Prof.Viegas je u laboratoriju u Louisi u Portugalu sagradio fizički simulator za simuliranje eruptivnih požara na ravnoj kosini i u nagnutom klanecu, te je napravio stotine pokusa mjereći ulazne brzine i brzine na kraju kosine ili klanca. Slika 6.51. prikazuje dva takva eksperimenata kojima je voditelj ove radne grupe i sam svjedočio.



Slika 6.51. Pokusi Prof.Viegasa s eruptivnim požarima koji su rezultirali matematičkim modelom eruptivnog efekta – gore na kosini, dolje u klancu (slike su snimljene za vrijeme posjeta prof.dr.sc. Darka Stipaničeve laboratoriju prof.Viegasa)

Na slikama se vidi razvoj eruptivnog efekta na ravnoj kosini i u nagnutom klancu. Laboratorij prof.Viegasa ima i eksperimentalni poligon prikazan na Slici 6.52 gdje su također rađeni brojni eksperimenti.



Slika 6.52. Eksperimentalni poligon laboratorija prof.Viegasa u kojem su rađena istraživanja eruptivnog efekta u stvarnim uvjetima

Konačni rezultat svih ovih istraživanja portugalskih istraživača je semi-empirijski matematički model koji određuje brzinu širenja požara R u klancu ili na kosini u ovisnosti od ulaznoj brzini R_0 , nagnutosti terena, brzini vjetra i karakteristika gorive materije. Osim u laboratoriju i na probnom poligonu, model je primijenjen i provjeren na brojnim stvarnim povijesnim vatrogasnim nesrećama koje su rezultirale fatalnim posljedicama (Viegas et al 2005b), primjerice Freixo de Espada-a-Cinta 2003 (2 poginula), Montigua - Portugal 2005. (4 poginula), Guadalajara – Španjolska 2005. (11 poginulih), Mann Gulch Fire USA 1949 (13 poginulih), South Canyon Fire – USA 1994. (14 poginulih), Thirty Mile Fire USA 2001 (4 poginula), Rattlesnake Fire 1953 (15 poginulih), Cramer Fire – USA 2003 (2 poginula). Isti model koji smo u nastavku primijenili na Kornatsku nesreću primijenjen je i u svim ovim slučajevima, te je dobiveno zadovoljavajuće poklapanje a time i verifikacija modela.

Napomenimo da francuski autori kod eruptivnih požaru mediteranskog bilja naglašavaju značaj i drugih čimbenika osim pozitivne povratne veze i samo-prihrane energije. To je prije svega pojava lako hlapivih organskih komponenata koje za vrućeg vremena ispušta vegetacija mediteranskog tipa pa se gomilaju u prostoru iznad vegetacijskog sloja. O njemu, prije svega zbog potpunosti, više govorimo u slijedećem poglavlju, iako smatramo da ovaj efekt nije bio primarno prisutan tijekom kornatskih događanja, prije svega zbog jakog vjetra koji je puhao u smjeru osi klanca.

6.5.3. Eruptivni efekt izazvan naglim izgaranjem lako hlapivih organskih komponenti mediteranskog bilja

Tijekom vrućih ljetnih dana moguće je pojačano hlapljenje lako hlapivih organskih komponenti mediteranske vegetacije koje se mogu gomilati na prostoru iznad vegetacije. Naglo zapaljenje ovih, inače lako zapaljivih para, može biti "okidač" pojeve eruptivnog efekta. Smatra se da su brojni mediteranski požari, kao na primjer požar u Palacu Corsica 2000 (2 poginula i 6 teško ranjenih) i požar u Les Pennes-Mirabeau na jugu Francuske 1989 (1 poginuli 1 teško ranjen) upravo uzrokovani ovom pojavom. Konzistentni matematički model ovakvog nastajanja eruptivnog efekta još ne postoji, a u literaturi je moguće pronaći samo detaljne opise događanja u kojima ima dosta sličnosti s Kornatskim slučajem. Na primjer Peuch (Peuch 2007) detaljno analizira tri takva požara, uključujući i prije spomenuta dva, te zaključio da su u svim slučajevima bili ispunjeni slijedeći uvjeti:

- period: ljeto
- vrijeme: tijekom ili pri kraju dana
- meteorološki uvjeti: vrlo suho, vjetrovito i sunčano vrijeme
- vegetacija: mediteranska niska i grmolika vegetacija – rijetka stabla
- reljef: mali klanca ili usjeka i blagi nagibi
- vjetar na mikrolokaciji: uz samo tlo na području gomilanja hlapivih tvari male brzine, iako na lokaciji može biti i jaki

Primijećeno je da se efekt nikada ne pojavljuje odmah nakon izbijanja požara, a uvijek je bila prisutna topologija klanca ili usjeka. Osnovno napredovanje vatre je bilo relativno sporo uz padinu pa čak i niz padinu.

Kvalitativni opis događanja je slijedeći: Iz vegetacije se pod utjecajem sunca, ali i topline požara ubrzava hlapljenje lako hlapivih destilacijskih komponenti koje su teže od zraka. U normalnim uvjetima prolaskom požara izgara samo manji dio ovih para, a većina

biva raspršena u prostor. Međutim moguće je i naglo izgaranje cjelokupne količine ovih para, a pogotovo ukoliko je gorenje popraćeno vjetrom izazvanim eruptivnim efektom izazvanim kosinom ili vjetrom opisanom u prošlom poglavlju. Naglo izgaranje cjelokupne količine hlapivih para izaziva dodatnu požarnu erupciju. U pojedinim slučajevima, pogotovo vezanim uz konfiguraciju klanca ili usjeka moguće je da se u samom dnu klanca gomilaju hlapive komponente iz cijelog područja klanca, pa je eruptivna reakcija još snažnija.

Posebno je zanimljivo opažanje (Peuch 2007) koje je direktno primjenjivo na situaciju na otoku Kornatu, o čemu detaljnije govorimo u poglavlju 7. i poglavlju 8. Originalni citat kaže (Peuch 2007 p. 3):

"It happens sometimes that the sudden ignition of a concentration of gas is possible during a strong wind period. It seems that the flood of wind, with particular relief configuration-, blowing over a canyon, from a ridge to an other, prevents smoke and gas from evacuating suitably out of the canyon. Gases are enclosed in a virtual space where they concentrate. If the fire fighters enter the zone of concentration when a spark coming from the main fire falls down on the concentration of mix air-gas, fire fighters might be in great danger of blow-up caused by the sudden ignition of an amount of inflammable gas."

odnosno u slobodnom prijevodu:

"Ponekad je moguće naglo zapaljenje koncentriranih plinova i za jakog vjetra. Ukoliko struja vjetra, u posebnoj konfiguraciji reljefa, puše preko kanjona, sa jednog ruba prema drugom, ona može spriječiti dim i plinove da izađu iz kanjona. Plinovi su zatvoreni u virtualnom prostoru u kojem se koncentriraju. Ako vatrogasci uđu u zonu koncentracije, u trenutku kada dođe do zapaljenja mješavine zraka i plinova izazvanih osnovnim požarom, vatrogasci su u velikoj opasnosti od požarne erupcije (blow-up) izazvane naglim zapaljenjem ovih lako zapaljivih plinova."

Požar u Les Pennes-Mirabeau na jugu Francuske 1989 je detaljno analiziran i na način da je se efekt nastojao ponoviti u kontroliranim laboratorijskim uvjetima, a posebna pažnja je dana analizi lako hlapivih komponenti iz uzoraka bilja. Iako se mediteranska eterična komponenta vegetacije temeljila na ružmarinu (*Rosmarinus officinalis*), dok je u slučaju Kornata prema poglavlju 5. i prema slici 6.5. prevladavala kadulja (*Salvia officinalis*), ovdje ipak prenosimo njihove rezultate, uz napomenu da bi ovakvu analizu trebalo provesti i za vegetaciju otoka Kornata. U slučaju Les Pennes-Mirabeau vegetacije, temeljene na ružmarinu, identificirane su slijedeće lako hlapive organske komponente (VOC – Volatile Organic Components): Tricyclen, p-Cymen, α -Pinene, Limonene, Camphene, 1-8 Cineole, β -Pinene, γ -Terpinene, β -Myrcene, α -Terpinolene, α -Phellandrene, Camphor, β -Carene, Borneol, α -Terpinene. Značajno je i to da su ove hlapive komponente nevidljive i da se ne mogu detektirati standardnim detektorom plinova.

Aerodinamička i termodinamička analiza dana u poglavljima 7. i 8. upravo ukazuje na ovakvu mogućnost prirodnog razvoja događanja u klancu iznad uvale Šipnata 30. kolovoza 2007. godine, ali prije svega u odnosu na formiranje virtualnog dimnjaka. Mišljenja smo da je možda došlo do formiranja virtualnog dimnjaka, ali da efekt gomilanja lako hlapivih komponenti najvjerojatnije nije bio prisutan u većoj mjeri

tijekom kornatskih događanja, prije svega zbog prisustva jakog vjetra koji je puhao u smjeru osi klanca.

Međutim bez obzira kako je došlo do eruptivnog efekta, model prof. Viegasa određuje što se događa kada požar krene. Model daje parametre vezane uz brzinu širenja požara, pa zbog toga u nastavku dajemo proračun parametara eruptivnog efekta za slučaj Kornata temeljen na Viegasovom modelu. Uvrstili smo podatke vezane s Kornatima, te izračunali osnovne parametre nastajanja eruptivnog širenja vatre unutar klanca iznad uvale Šipnata.

6.5.4. Proračun parametara vezanih uz efekt eruptivnog efekta

Osnovna jednadžba eruptivnog efekta prema Viegasu i njegovim koautorima (Viegas i Pita 2004; Viegas 2004b; Viegas 2005; Viegas i dr. 2005b, Viegas 2006, 2006a, 2006b) je semi-empirijska jednadžba koja povezuje prirast brzine požarne fronte u odnosu na brzinu kojom bi se požar širio ukoliko eruptivnog efekta požara ne bi bilo. Odmah na početku napominjemo da su jednadžbe izvedene za kretanje požara po kosoj plohi a ne po terenu oblika klanca. U klancu bi svi ovi efekti bili još izražajniiji, a brzine još i veće, što je i eksperimentalno dokazano (Viegas et al. 2002, Viegas 2004c).

Prva hipoteza modela eruptivnog efekta (koja je u istraživanjima prof. Viegasa i eksperimentalno dokazana) jest da postoji veza između brzine strujanja zraka U i relativnog prirasta brzine širenja požarne fronte R' . Relativni prirast brzine širenja požarne fronte je bez-dimenzionalna veličina

$$R' = \frac{R}{R_0} \quad (6.1)$$

gdje je R_0 ulazna brzina (eng. ROS – Rate of spread) – brzina kojom bi se požar uz padinu kretao da nema eruptivnog efekta. Ovisnost brzine strujanja zraka i relativne brzine širenja požarne fronte opisana je jednadžbom:

$$R' = 1 + a_1 U^{b_1} \quad (6.2)$$

gdje su a_1 i b_1 koeficijenti koji ovise o tipu goriva.

Druga hipoteza jest da se trenutna brzina vjetra mijenja pod utjecajem strujanja zraka induciranog vatrom. Doprinos promjene brzine vjetra pod utjecajem brzine širenja vatre jest:

$$dU = a_2 \cdot (R')^{b_2} \cdot dt \quad (6.3)$$

Vrijednosti koeficijenta a_2 i b_2 isto tako ovise o tipu goriva.

Iz jednadžbi (6.2) i (6.3) izvodi se nelinearna diferencijalna jednadžba koja modelira relativnu brzinu širenja eruptivnog efekta:

$$\frac{dR'}{dt} = (a_1)^{\frac{1}{b_1}} \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot \left(\frac{R'-1}{a_1}\right)^{1-\frac{1}{b_1}} \cdot (R')^{b_2} \quad (6.4)$$

odnosno u bez-dimenzionalnoj formi:

$$\frac{dR'}{dt'} = (a_1')^{\frac{1}{b_1}} \cdot a_2' \cdot b_1 \cdot (R'-1)^{1-\frac{1}{b_1}} \cdot (R')^{b_2} \quad (6.5)$$

gdje su:

$$a_1' = a_1 \cdot (U_0)^{b_1} = a_1$$

$$a_2' = a_2 \cdot t_0$$

$$t' = t / t_0$$

a R_0 , t_0 i U_0 su referentni parametri:

R_0 – Osnovna ulazna brzina širenja požarne fronte – brzina kojom bi se požar uz padinu kretao da nema eruptivnog efekta. Ovisi o konfiguraciji terena, vjetru, o tipu i količini vegetacije, te količini vlage u finom gorivu.

t_0 – Vrijeme izgaranja goriva (eng. Residence Time) – mjera dinamičkih svojstava goriva. karakterizira se vremenom gorenja na određenom mjestu gorive tvari. Može se povezati samo s fazom gorenja kada postoji plamen, ali može uključivati i fazu usijanja zato što se i tijekom ove faze oslobađa toplinska energija. Određuje se pokusima u laboratoriju, što smo i mi napravili na uzorcima s Kornata.

U_0 – referentna brzina vjetra od 1 m/s u odnosu na koju se iskazuje skalirana brzina vjetra $U' = U/U_0$.

Jednadžba (6.5) temeljni je Viegasov matematički model eruptivnog efekta koja za $R' > 1$ daje pozitivno ubrzanje vatrene fronte i vrijedi $1 < R' < \infty$. Za $R' = 1$ model odgovara početnom stanju kada se požar širi ulaznom brzinom i nema ubrzanja požarne fronte. Ulazni, intrinzični parametri ovog modela su koeficijentata a_1 , b_1 , a_2 i b_2 , te referentni parametri R_0 i t_0 , a svi oni prije svega ovise o tipu i karakteristikama goriva. Viegas (Viegas 2006) je odredio vrijednosti parametara za različite tipove gorivog materijala koje dajemo u Tablici 6.12.

Tablica 6.12. Kretanje parametara modela eruptivnog efekta za različite tipove goriva (Viegas 2006b)

Parameter	Unit	Herbaceous	Litter	Shrubs	Slash
a_1	SI	1–3	0.5–1.5	0.2–1	0.1–0.5
b_1	–	2–2.5	2–2.5	1.5–2.5	1–1.5
a_2	SI	0.001–0.01	0.001–0.01	0.0001–0.001	10^{-5} – 10^{-4}
b_2	–	1.5–2	1–1.5	1–1.5	0.5–1
t_0	s	10–50	30–100	100–1000	1000–10 000
a'_1	–	1–3	0.5–1.5	0.2–1	0.1–0.5
a'_2	–	0.1–0.5	0.1–0.3	0.1–1	0.1–1

Za slučaj Kornat važni su nam parametri za travnatu vegetaciju (prvi stupac tablice). Viegas (Viegas 2006) kao srednje vrijednosti predlaže $a_1 = 1.4$, $b_1 = 2.3$, $a_2 = 0.01$, $b_2 = 1.5$, ali mi smo proračun napravili i s drugim vrijednostima. Razlog je taj što se točne vrijednosti parametara za određenu vegetaciju mogu odrediti samo eksperimentalno. Kako za sada kod nas ne postoje uvjeti za provedbu eksperimenta, **ovom smo analizom htjeli računom pokazati da li se u okviru vrijednosti parametara tipičnih za travnate vegetacije navedene u literaturi mogao unutar klanaca dogoditi eruptivni efekt.**

Na radionici u Splitu 4. veljače 2008. prof. Viegas je prikazao preliminarnu eksperimentalnu analizu eruptivnog efekta primijenjenu na kornatski slučaj čije osnovne rezultate dajemo u poglavlju 6.5.6., dok u poglavlju 6.5.7. komentiramo razlike.

Za potrebe proračuna ostaje još odrediti parametre t_0 i R_0 . Parametar t_0 smo odredili eksperimentalno testirajući uzorke prikupljene na Kornatima i detaljno opisali u Poglavlju 4. Ovaj parametar stavljamo u relaciju s izmjerenim vrijednostima parametra DC – trajanje gorenja. DC je vezan s trajanjem plamena, zato što se radi uglavnom o gorivu s vrlo malim parametrom DI – odgode zapaljivosti, pa možemo smatrati da je faza usijanja vrlo kratka. Vrijednost parametra DC za travnatu vegetaciju, koja je prevladavala na Kornatima, kretala se oko 12 sekundi, pa smo tu vrijednost i usvojili.

Parametar R_0 je osnovna ulazna brzina širenja požarne fronte brzinom kojom bi se požar uz padinu kretao da nema eruptivnog efekta. Ova veličina ovisi o stvarnoj brzini vjetera, konfiguraciji terena i to prije svega nagibu, o tipu i količini vegetacije, te količini vlage u finom gorivu. Odredili smo je u Poglavlju 6.3.1 kao osnovnu brzinu širenja požarne fronte (ROS - Rate of Speed) i to baš za područje klanaca. Zbog različitih pretpostavki o brzini vjetera s morske i s kopnene strane, ali i pretpostavki o različitom tipu vegetacije u klanacu, jednadžbu eruptivnog efekta riješiti ćemo za više vrijednosti ulazne brzine R_0 i to 0.18 m/s, 0.32 m/s i 1.54 m/s, koje odgovaraju vjeru na 10 m visine od 5.5, 8 i 10.8 m/s. Kao srednju vrijednost uzeti ćemo 0.32 m/s koja odgovara Scott-Burganovoj vegetacijskoj kategoriji GR2 za srednju brzinu vjetera od 9.6 km/h (2.7 m/s) na polovici visine plamena.

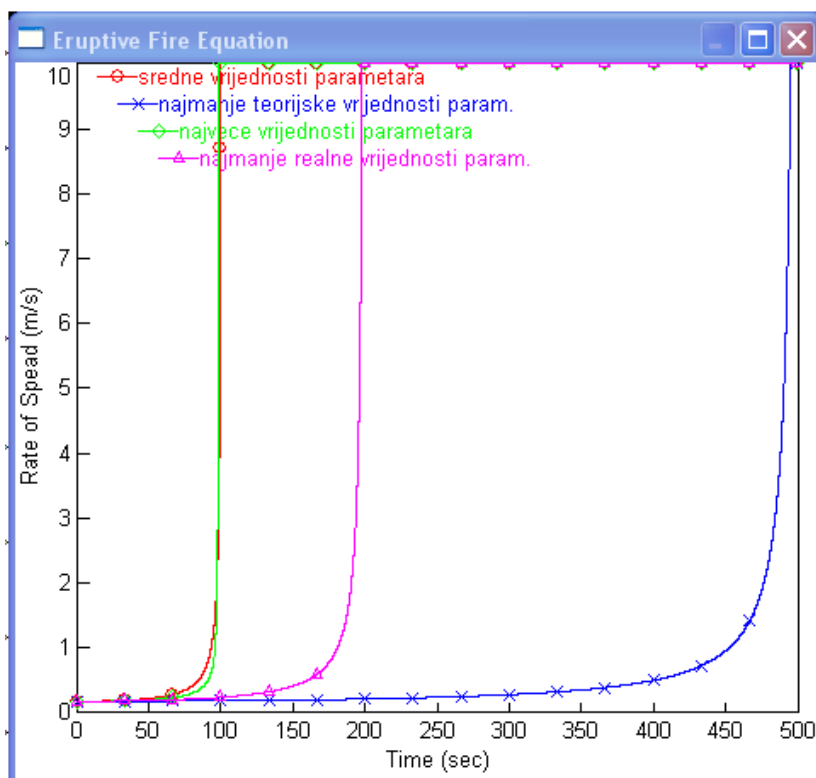
Rješenja prikazuju slike 6.53 i 6.54 na kojima je dana vremenska ovisnost brzine širenja požara $R = R' \cdot R_0$ za različite vrijednosti ulaznih parametara i to:

- a) Za najmanju brzinu širenja požara od $R_0 = 0.18$ m/s i različite vrijednosti parametara koji odgovaraju:
 - o srednjim vrijednostima: $a_1 = 1.4$, $b_1 = 2.3$, $a_2 = 0.01$, $b_2 = 1.5$ i $t_0 = 12$ s,

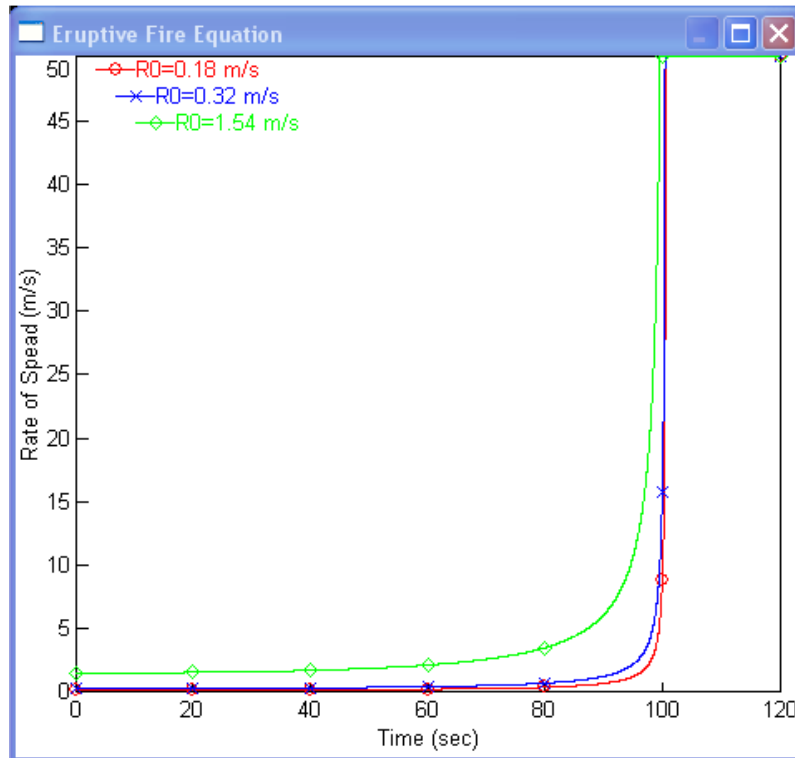
- najmanjim teorijskim koje daju najduže teorijsko vrijeme do izbijanja eruptivnog efekta: $a_1=1.0$, $b_1=2.0$, $a_2=0.002^*$, $b_2=1.5$ i $t_0=12$ s,
 - najmanjim koje se mogu realno očekivati: $a_1=1.0$, $b_1=2.0$, $a_2=0.005^*$, $b_2=1.5$ i $t_0=12$ s, i
 - najvećim koji daju najkraće vrijeme do izbijanja eruptivnog efekta: $a_1=3.0$, $b_1=2.5$, $a_2=0.01$, $b_2=2.0$ i $t_0=12$ s.
- b) Za srednje vrijednosti parametara $a_1=1.4$, $b_1=2.3$, $a_2=0.01$, $b_2=1.5$ i $t_0=12$ s i različite početne vrijednosti osnovne ulazna brzina širenja požarne fronte brzina R_0 od 0.18 m/s, 0.32 m/s i 1.54 m/s.

**Napomena vezana uz parametar a_2 – Ovaj je parametar najvažniji u odnosu na vrijeme od ulaska požarne fronte do početka eruptivnog efekta. Viegas navodo da se ovaj parametar teorijski može kretati u granicama od 0.001 do 0.01 za travnatu vegetaciju, s tim da je donja vrijednost određena proizvoljno i nije utvrđena mjerenjima. Realne vrijednosti su se kretale od 0.005 – 0.01. Na primjer u pokusima sa suhim borovim iglicama vrijednost parametra a_2 je bila 0.0062. U našim simulacijama ograničili smo donju najmanju teorijsku vrijednost na 0.002, smatrajući da manje od toga ne može biti, ali teško da se i ova vrijednost može postići. Puno realnija donja vrijednost ovog parametra je 0.005 pa smo zato u analizu uvrstili i ovu vrijednost kao najmanju koja se može realno očekivati.*

Trebamo napomenuti da smo za početne uvjete stavili da je brzina $R'(0) = 1.000001$ (ova vrijednost mora biti bar malo veća od 1 da bi se diferencijalna jednadžba (6.4) mogla riješiti). Jednadžbu smo riješili numeričkom integracijom, a metoda integracije je bio adaptivni Runge-Kutta petoga reda.

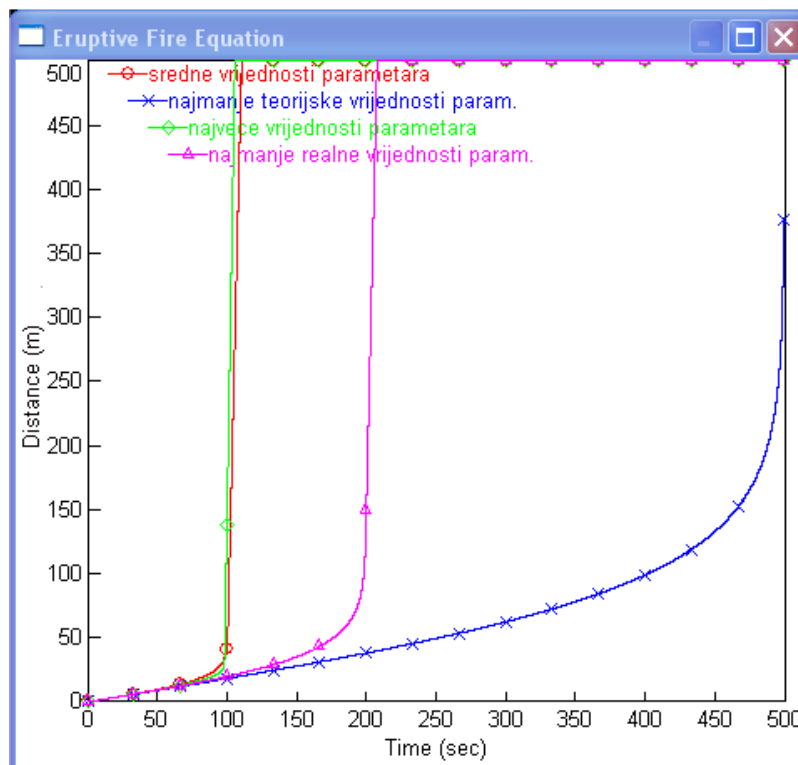


Slika 6.53. Rješenje jednadžbe eruptivnog efekta za srednje, najmanje teorijske, najmanje realne i najveće vrijednosti parametara

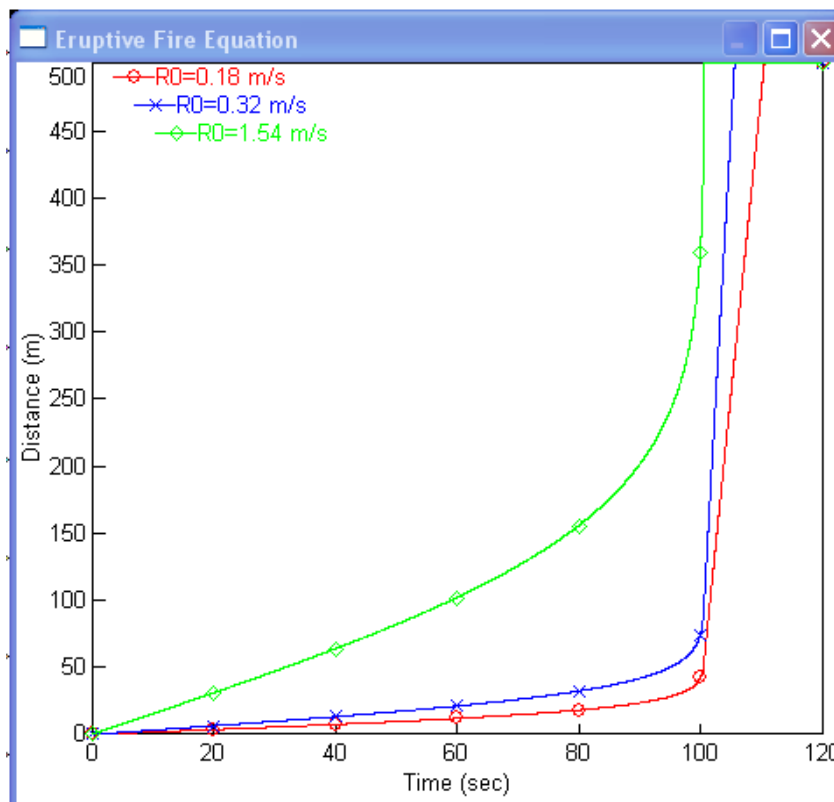


Slika 6.54. Rješenje jednadžbe eruptivnog efekta za $a_1=1.4$, $b_1=2.3$, $a_2=0.01$, $b_2=1.5$ i $t_o=12$ s i različite vrijednosti osnovne ulazna brzina širenja požarne fronte R_o

Na slikama 6.53. i 6.54. je na ordinatnoj osi promjena brzine širenja požarne fronte. Zanimljivo je pogledati i pređeni put. Prikazuju ga slike 6.55. i 6.56.



Slika 6.55. Pređeni put za parametre sa Slike 6.53.



Slika 6.56. Pređeni put za parametre sa Slike 6.54.

6.5.5. Komentar rezultata dobivenih proračunom eruptivnog efekta

Na temelju matematičkog modela eruptivnog efekta analizirali smo da li se u okviru tipičnih vrijednosti parametara koje se u literaturi mogu pronaći za travnate vegetacije u uvjetima klanca iznad uvale Šipnate mogao dogoditi eruptivni efekt i kada je do njega moglo doći. Sa dijagrama na slici 6.53. možemo uočiti da do eruptivnog efekta u slučaju najnepovoljnije kombinacije parametara, koji daju najbrži efekt, dolazi za 100 sekundi od trenutka ulaska požara u klanac. Za kombinaciju parametara koje daju teorijski najsporiji efekt, do erupcije dolazi za maksimalno 500 sekundi ($a_2=0.002$), međutim ovako niska vrijednost parametra a_2 nije realna. Realne vrijednosti su od 0.005 – 0.01. Ponovimo li pokus za $a_2=0.005$ dobiti ćemo vrijeme od 200 sekundi od ulaska vatre do pojave eruptivnog efekta. Za uočiti je da je najnepovoljnija vrijednost parametara samo malo brža od srednjih vrijednosti.

Utjecaj ulazne brzine požarne fronte koja prije svega ovisi o brzini vjetra i karakteristikama vegetacije je također značajan. Za najnepovoljniju kombinaciju $R_0=1.54$ m/s (visoka trava i brzina vjetra od 8 – 10.8 m/s na 10 m visine) sa slike 6.53 vidimo da će se brzina udvostručiti već nakon 80 sekundi, kada u biti već počinje eruptivni efekt. Svega 10 sekundi kasnije brzina je 10 puta veća od ulazne brzine.

Još je zanimljivija analiza pređenih putova. Na slici 6.55 uspoređuju se najnepovoljnije i najpovoljnije vrijednosti parametara (dijagram odgovara rezultatima sa slike 6.53), dok su na slici 6.56. dana usporedbe pređenih putova za srednje vrijednosti parametara i različite ulazne brzine (dijagram odgovara rezultatima sa slike 6.54).

Prva dionica klanca od ulaza (točka b na slici 3.4.) do prvog mjesta nesreće (točka A na slici 3.4) duga je oko 350 m. Za srednje vrijednosti parametara taj bi put požar potpomognut eruptivnim efektom prošao od 95 do maksimalno 110 s, ovisno o ulaznoj brzini. Za vrijednosti parametara koje daju najsporiji teorijski dolazak do točke erupcije prikazan na slici 6.55 put od 350 m požar bi prešao za 500 sekundi, međutim kako smo već naglasili realnije je očekivati vrijednosti parametra a_2 do 0.05, a za tu vrijednost do erupcije dolazi već za 200 sekundi, s tim da zadnju polovicu puta požar prema modelu prelazi u 10-20 sekundi.

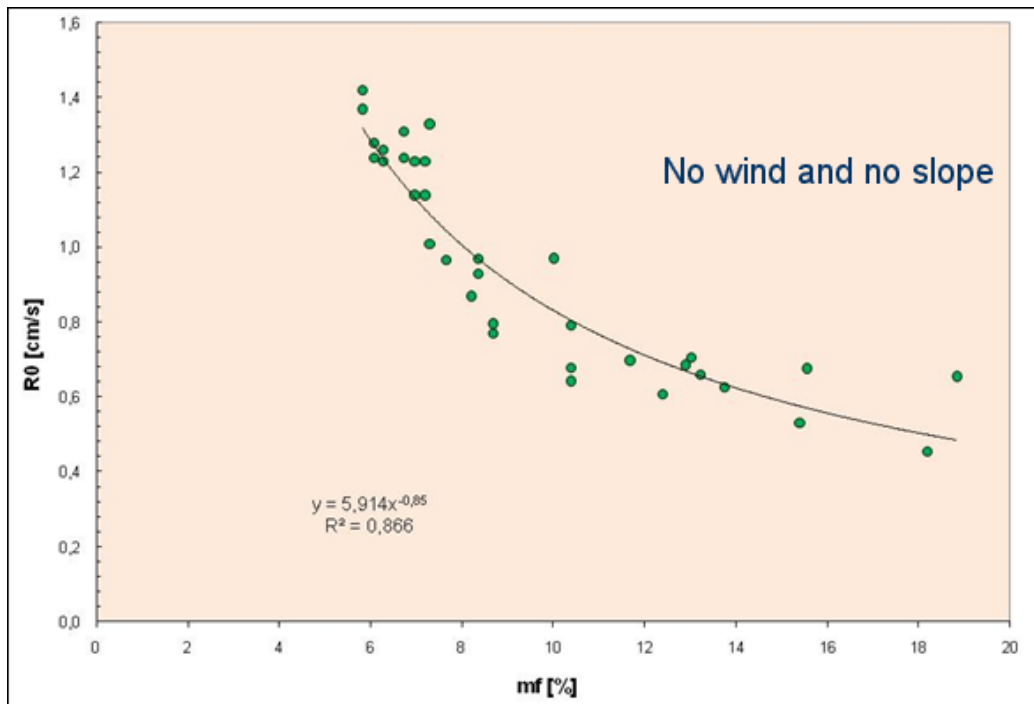
Napomenimo da smo u svim ovim proračunima pretpostavili da se požarna fronta do točke b (na slici 3.4 iz poglavlja 3) gdje klanac prelazi u ravniji dio kretao ulaznom brzinom bez ubrzanja požarne fronte. Međutim prema izgledi stabla na slici 2.27 koje se nalazilo potpuno na ulazu klanca blizu točke a (na slici 3.4 iz poglavlja 3), a i same konfiguracije terena prikazane na slici 3.4., postoji mogućnost da je eruptivni efekt počeo još ranije, te je ulaskom u ravni dio klanca (potez bA) požar već bio blizu eruptivne faze. Zbog toga su vremena od njegovog dolaska u točku b do prvog mjesta nesreće A bila mogla biti još kraća od onih koja smo dobili na slikama 6.55 i 6.56. To su i dokazali preliminarni pokusi prof. Viegasa koje opisujemo u slijedećem poglavlju.

6.5.5. Preliminarna eksperimentalna analiza mogućeg eruptivnog efekta

Na temelju ulaznih podataka koje smo poslali, prof. **Domingos Xavier Viegas** je zajedno sa svojim suradnicima **Lous Mario de Silva Ribeiro, Luis Paolo Pitta i Carlos Rossa** u laboratoriju za ispitivanje ponašanja šumskih požara u mjestu Lousã u Portugalu napravio preliminarnu eksperimentalnu analizu eruptivnog efekta u klancu iznad uvale Šipnate. Naglašavamo preliminarnu s obzirom da je namjera i nas i prof. Viegasa u budućnosti još detaljnije analizirati događanja vezana s nesrećom na Kornatima. Međutim i ovakva preliminarna analiza navodi na zaključak da je u klancu iznad uvale Šipnate moglo doći do naglog (eruptivnog) izgaranja dijela klanca od točke b na ulazu u drugi dio klanca do mjesta nesreće.

Prvi dio pokusa grupe prof. Viegasa odnosio se na intenzivna ispitivanja utjecaja vlage u gorivu na brzinu širenja požara u travnatim gorivima. U laboratorijskim eksperimentima kao gorivo je korištena slama (*eng. straw*), koja po većina karakteristika gorenja odgovara vegetaciji koja je bila na otoku Kornatu. Slika 6.57. prikazuje konačni rezultat. Iz krivulje je za 12 – 14% vlage uzeta vrijednost početne brzine širenja vatre $R_0 = 0.61$ cm/s.

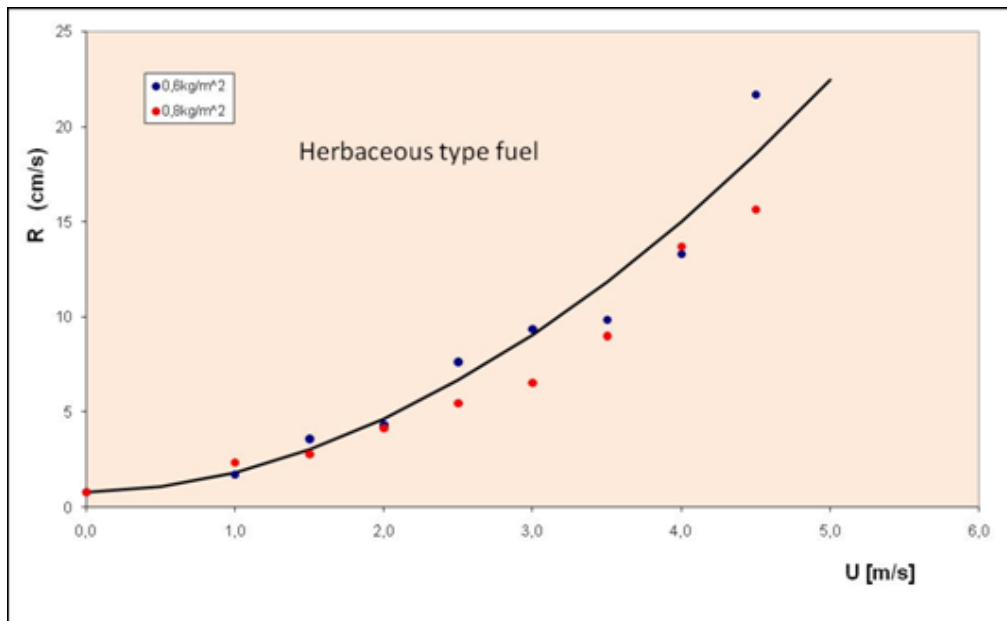
Drugi dio pokusa odnosio se na utjecaj vjetra na širenje požara na travnatom tipu goriva istog tipa. Slika 6.58. prikazuje jedan od pokusa. Konačni rezultat ovih pokusa je slika 6.59. koja daje ovisnost brzine vjetra o brzini širenja požara. Iz nje su određeni koeficijenti a_1 i b_1 modela opisanih jednadžbom (6.2) koje dajemo u nastavku.



Slika 6.57. Ovisnost brzine širenja požara o količini vlage u gorivu za gorivo tipa slame koje po karakteristikama gorenja najbolje odgovara kornatskoj vegetaciji

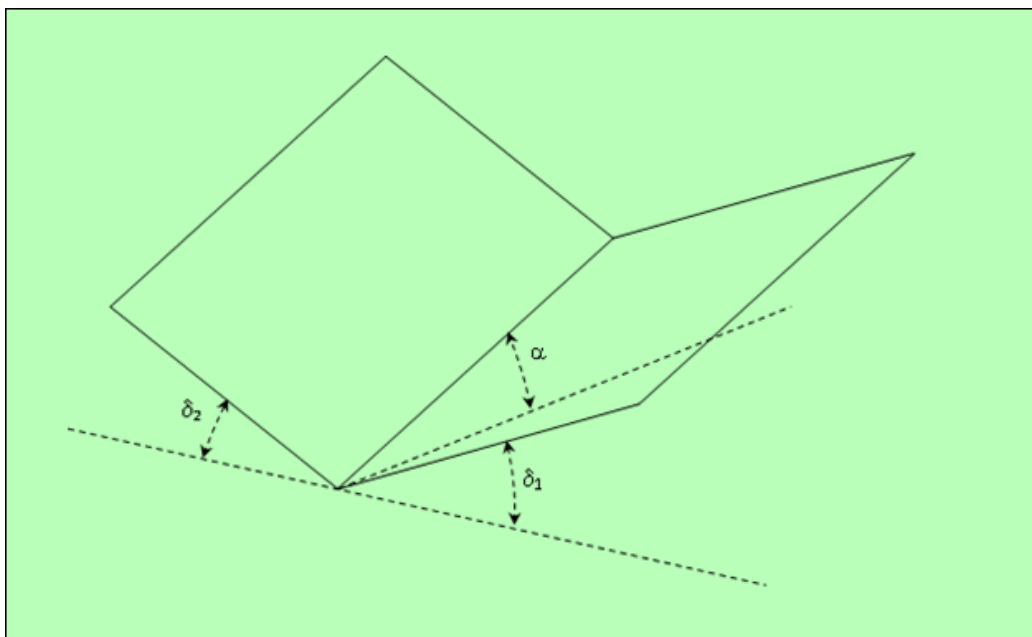


Slika 6.58. Pokusi vezani s određivanjem utjecaja vjetra na širenje požara na travnatoj podlozi



Slika 6.59. Ovisnost brzine širenja požara o brzini puhanja vjetra za slamu koja najbolje odgovara travnatoj vegetaciji kornatskog tipa i dvije vrijednosti količine goriva 0.6 kg/m^2 (plave točke) i 0.8 kg/m^2 (crvene točke)

Slijedeća grupa pokusa odnosila se na manji simulator eruptivnog efekta u pojednostavljenoj konfiguraciji klanca. Simulator se zadaje sa tri kuta: kut nagnutosti osi klanca α , kut nagnutosti desne strane klanca δ_1 i kut nagnutosti lijeve strane klanca δ_2 prema slici 6.60.



Slika 6.60. Pojednostavljena geometrija klanca definirana s tri kuta – kut nagnutosti osi klanca i kutovi nagnutosti bočnih ploha

Pokusi su rađeni sa slijedećim vrijednostima kutova:

Profile	α	δ_1	δ_2
1	7.2	7.9	8
2		15.9	11.3
3		22.7	9.5

a jedan od pokusa prikazuje slika 6.61.



Slika 6.61. Jedan od pokusa na malom eksperimentalnom stolu za gorivo tipa slame. razmak između slika je 20 sekundi. Pokusi su rađeni u razdoblju od listopada do prosinca 2008.

Nakon toga je slijedio pokusi na velikom eksperimentalnom stolu koji prikazuje slika 6.62. Pokusi su rađeni za $\alpha = 17^\circ$, $\delta_1 = 14^\circ$ i $\delta_2 = 10^\circ$, čime se želio uzeti u obzir i utjecaj vjetra. Osnovni kut nagnutosti klanca je oko $7 - 8^\circ$, međutim kako je pokus rađen bez simulacije vjetra, nužno je bilo povećati kut osi klanca kako bi se u obzir uzeo i

utjecaj vjetra u smjeru osi klanca. Zato je kut α bio 17° , a ne $7 - 8^\circ$, koliko je uzeto kod pokusa na malom stolu.



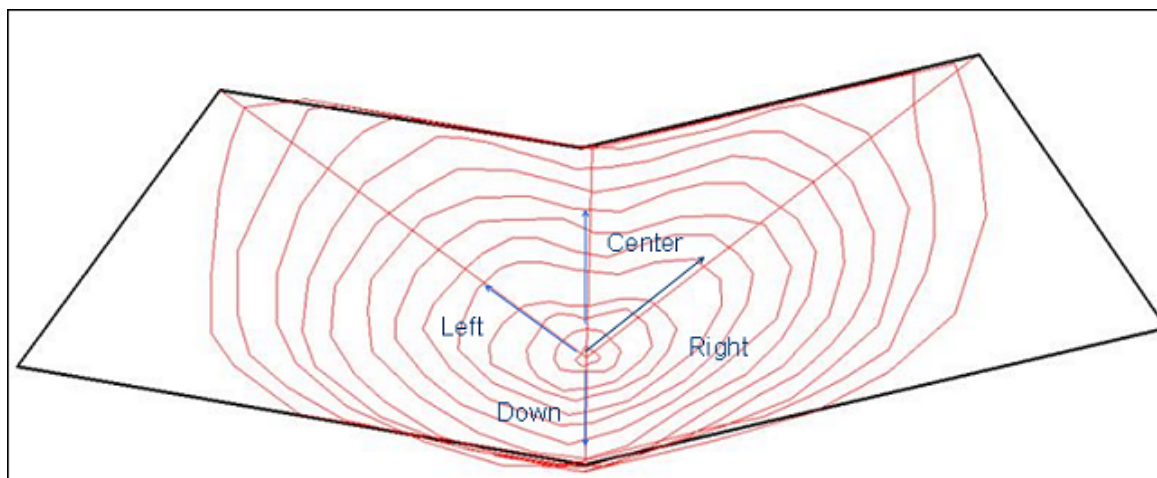
Slika 6.62. Veliki eksperimentalni stol za pojednostavljeno modeliranje konfiguracije klanca

Pokus je sniman termičkom i video kamerom prikazanom na slici 6.63.



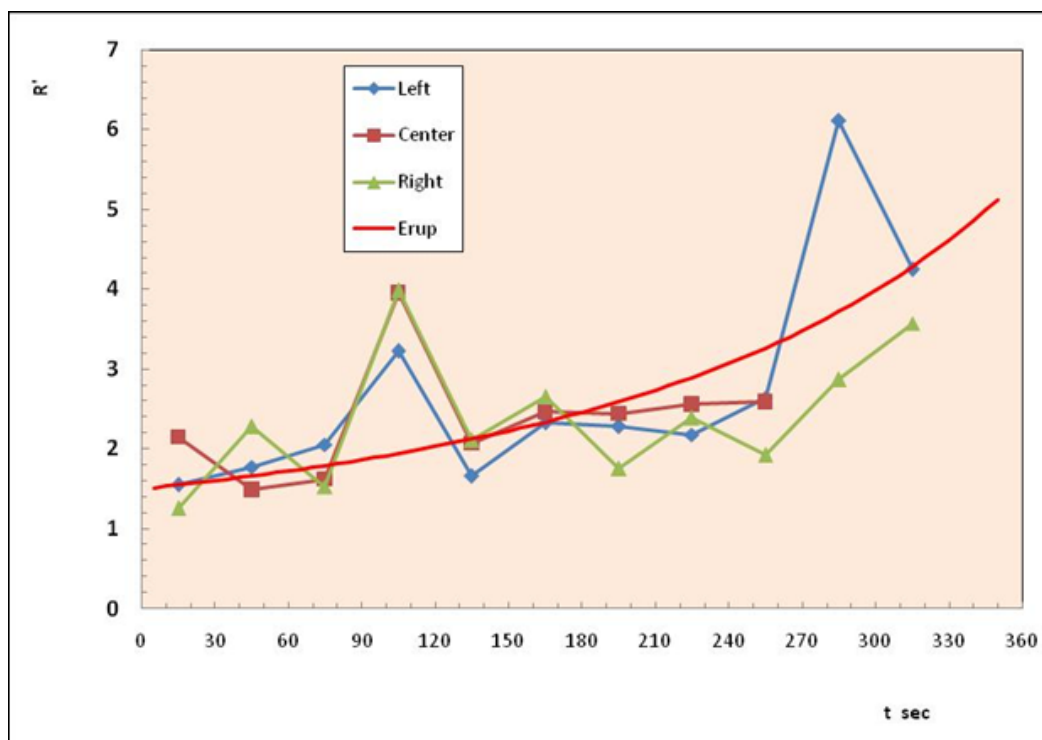
Slika 6.63. Snimanje pokusa termičkom i video kamerom

Vatrena fronte je slična slici 6.61, ali nam je ovdje zanimljiviji izgled širenja vatrene fronte snimljen termičkom kamerom koji pokazuje slika 6.64. i analize koje su iz toga izvedene.



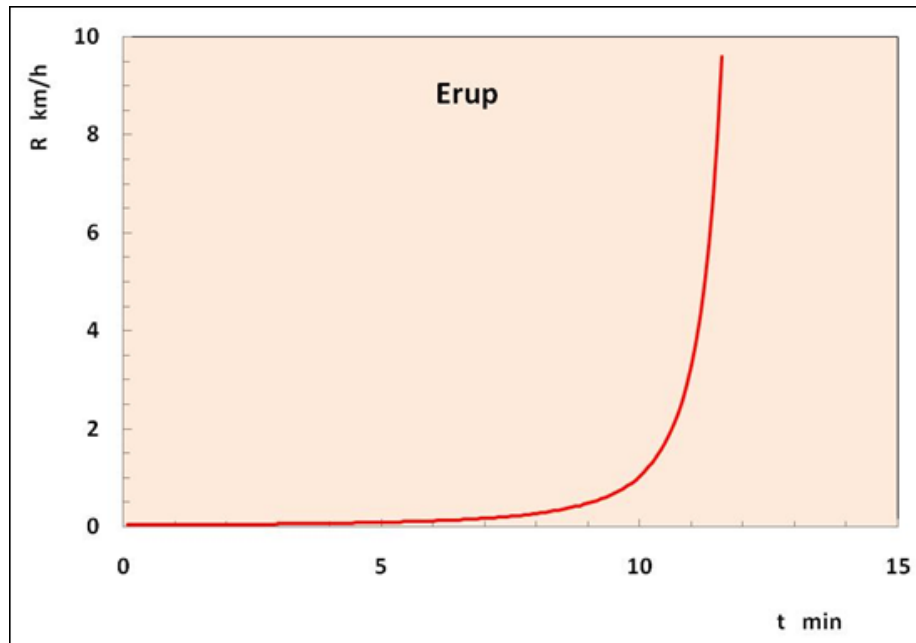
Slika 6.64. Linija vatrene fronta snimljena termičkom kamerom

Cilj analiza je bio odredit točnije vrijednosti modela eruptivnog efekta. Slika 6.65 prikazuje širenje požara po centralnoj osi, te po lijevoj i desnoj padini, ali i crvenu liniju koja odgovara modelu eruptivnog efekta za vrijednosti parametara $a_1'=0.2$, $b_1=1.8$ (ove su vrijednosti određene na temelju pokusa u tunelu), $a_2'=0.2$, $b_2=1.0$ i $t_0=50$ s (ove su vrijednosti određene na temelju pokusa s geometrijom klanca).



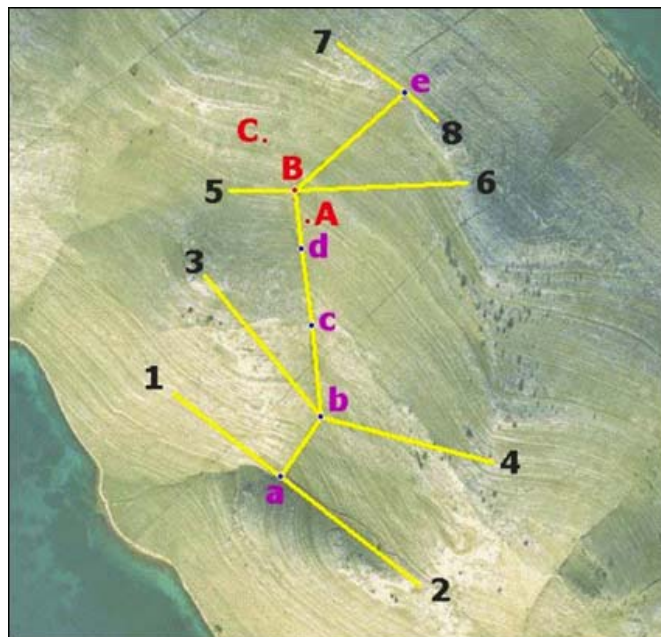
Slika 6.65. Linija vatrene fronta snimljena termičkom kamerom

I na kraju na temelju ovih, eksperimentalno određenih vrijednosti parametara eruptivnog efekta dobiven je model promijene brzine požarne fronte koji prikazuje slika 6.66.



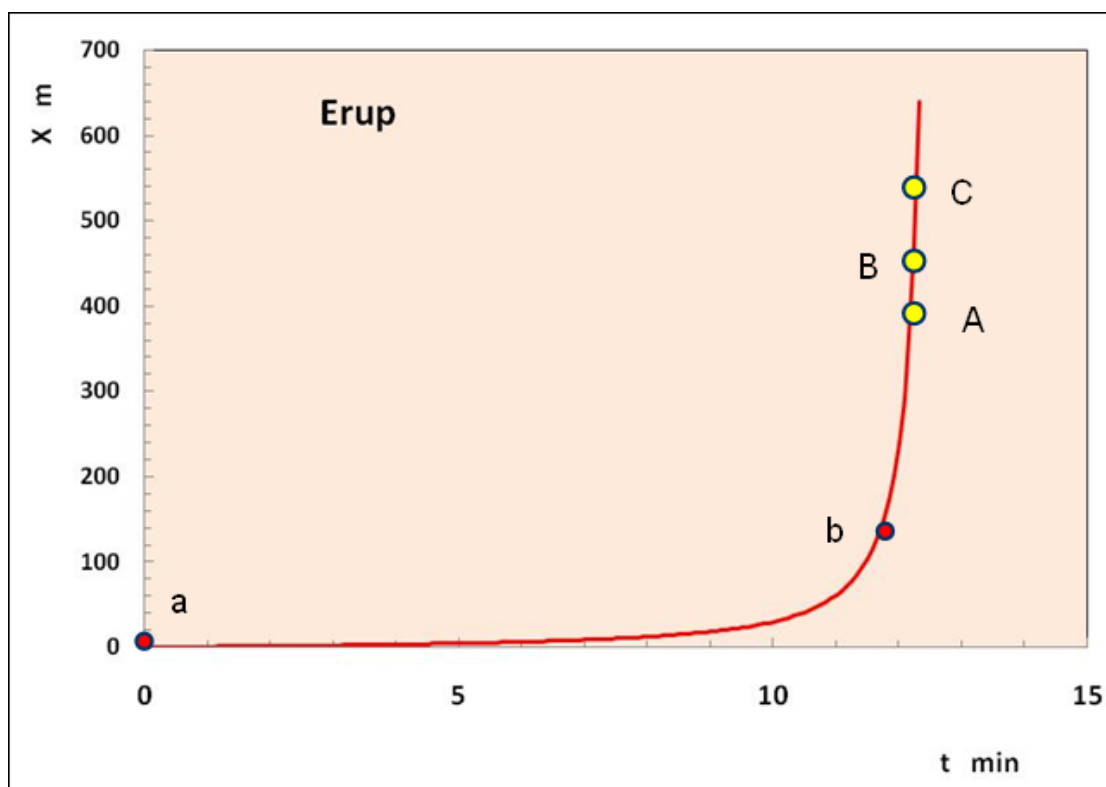
Slika 6.66. Primjena eksperimentalno određenih parametara modela eruptivnog efekta

Slika 6.66. daje brzinu širenja požara, ali je zanimljivije pogledati pređene puteve, a pogotovo ako se na krivulji označe karakteristične točke unutar klanca u kojem se dogodila nesreća. Pri tome je prof. Viegas krenuo od realne pretpostavke da je požar u klanac ušao na mjestu točke a prikazane na slici 6.67.



Slika 6.67. Karakteristične točke klanca u kojem se dogodila nesreća. A , B i C su mjesta na kojem su vatrogasci stradali, a točke a , b , c i d su točke na osi klanca.

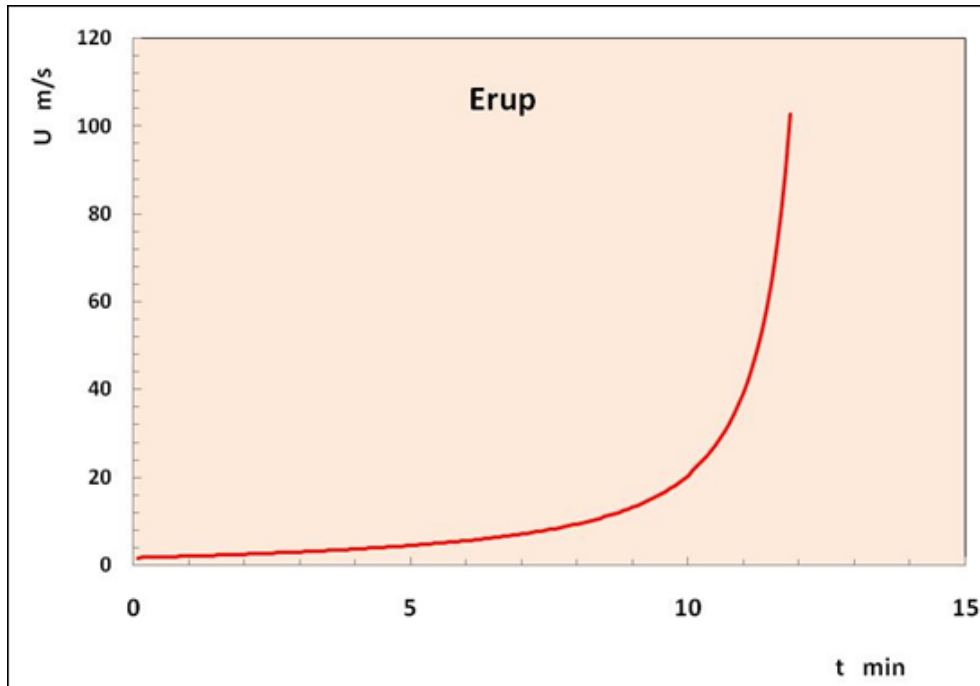
Rezultat prikazuje slika 68.



Slika 6.68. Pređeni put požarne fronte za eksperimentalno određene parametre koji po karakteristikama gorenja dobro odgovaraju vegetaciji otoka Kornata u doba nesreće

Slika sve kaže. Uz pretpostavku ulaska požarne fronte u klanac u točki **a** požar se polako kretao, te je put od točke **a** do točke **b** od 127 m prešao je za 12-ak minuta. Međutim i prije dolaska do točke **b** požar ulazi u eruptivnu fazu, dolazi do naglog ubrzanja požarne fronte a kao rezultat imamo da put od točke **b** do mjesta nesreće **A** ($bA = 350$ m), te točaka **B** i **C** vatra prelazi u vremenu kraćem od 1 minute.

I na kraju slika 6.69. prikazuje moguće brzine vjetra na čelu požarne fronte uzrokovane ovim naglim izgaranjem. Eruptivni efekt izaziva termički vjetar koji se velikom brzinom kreće u smjeru širenja požara, ali traje jako kratko. Radi se o udarnom vjetru, a prema rezultatima proračuna grupe prof. Viegasa na mjestima stradavanja vatrogasaca mogle je ova brzina vjetra prelaziti i 60 m/s. Ovakav vjetar je i eksperimentalno utvrđen u slučaju nesreće kod Freixo-de-Espada-à-Cinta Freixo 2003. godine kada se na vrhu brda nalazila meteorološka stanica koja je snimila veliki udar vjetra u trenutku dolaska požarne fronte na vrh padine.

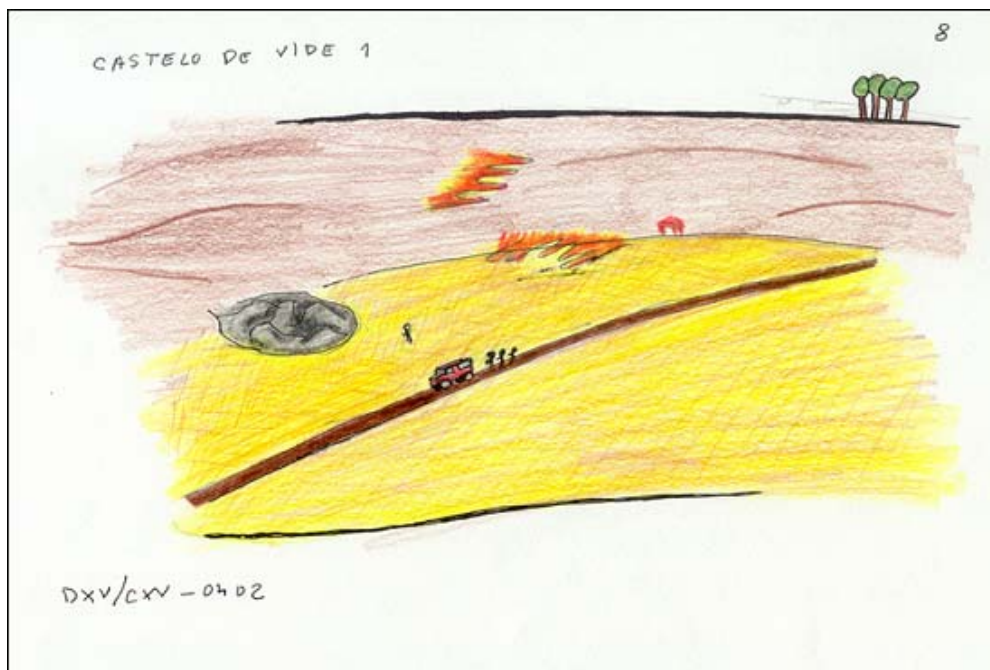


Slika 6.69. Požarom inducirani vjetar na početku požarne fronte prema modelu eruptivnog efekta.

Prof. Viegas je prezentirao i slične slučajeve koje je analizirao, a u kojim je vegetacija bila travnatog tipa relativno male količine goriva. Jedna od njih je nesreća koja se dogodila 2003. u Portugalu u mjestu Castelo de Vide kada su poginula 2 vatrogasca. Izgled terena prikazuje slika 6.70, a rekonstrukciju nesreće slika 6.71.

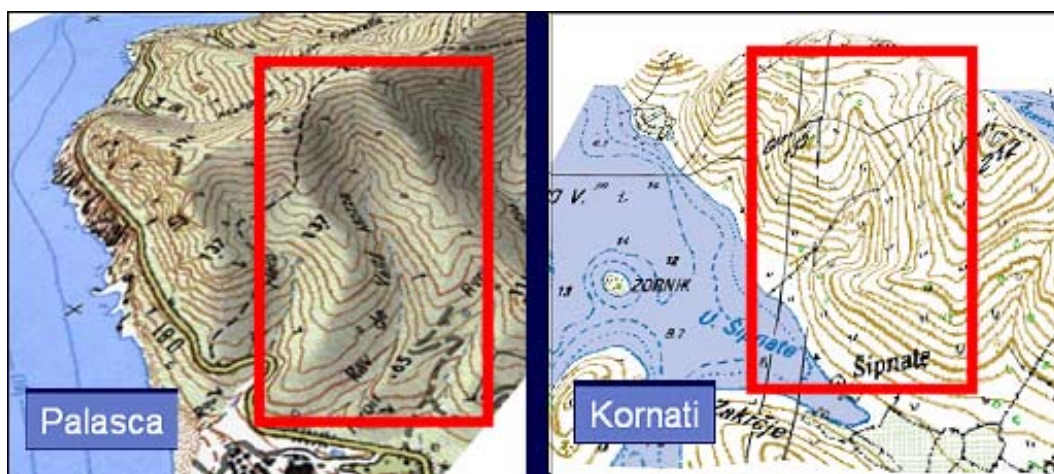


Slika 6.70. Castelo de Vide Portugal 2003. – dva vatrogasca su stradala na terenu malog nagiba i travnate podloge uz koji se uspio razviti eruptivni efekt.



Slika 6.71. Rekonstrukcija nesreće u Castelo de Vide 2003. Vatrogasci su stradali u eruptivnom širenju vatre uz padinu malog nagiba obraslu niskom travom.

Još bolji primjer je Palasca nesreća na otoku Corsica 2000. godine. Slika 6.72. prikazuje usporedbu konfiguracije terena klanca Palasce i klanca Šipnate.



Slika 6.72. Usporedba terena klanca Palasce i klanca Šipnate

Postojala je i određena razlika u tipu vegetacije. U slučaju Palasce radilo se o grmolikoj vegetaciji prikazanoj na slici 6.73. , a u slučaju Kornata prevladavala je travnata vegetacija. U slučaju Palasce amaterski video je snimio tipičnu pojavu eruptivnog efekta koji se još teže razvije na terenu s grmolikom vegetacijom, pa je zaključak prof. Viegasa da je 30. kolovoza 2007. u klanu iznad uvale Šipnate bila realna i moguća pojava eruptivnog efekta.



Slika 6.73. Izgled klanaca u slučaju Palasca na Korzici – prevladavala je grmolika vegetacije u kojoj se eruptivni efekt sporije razvija, a ipak se razvio

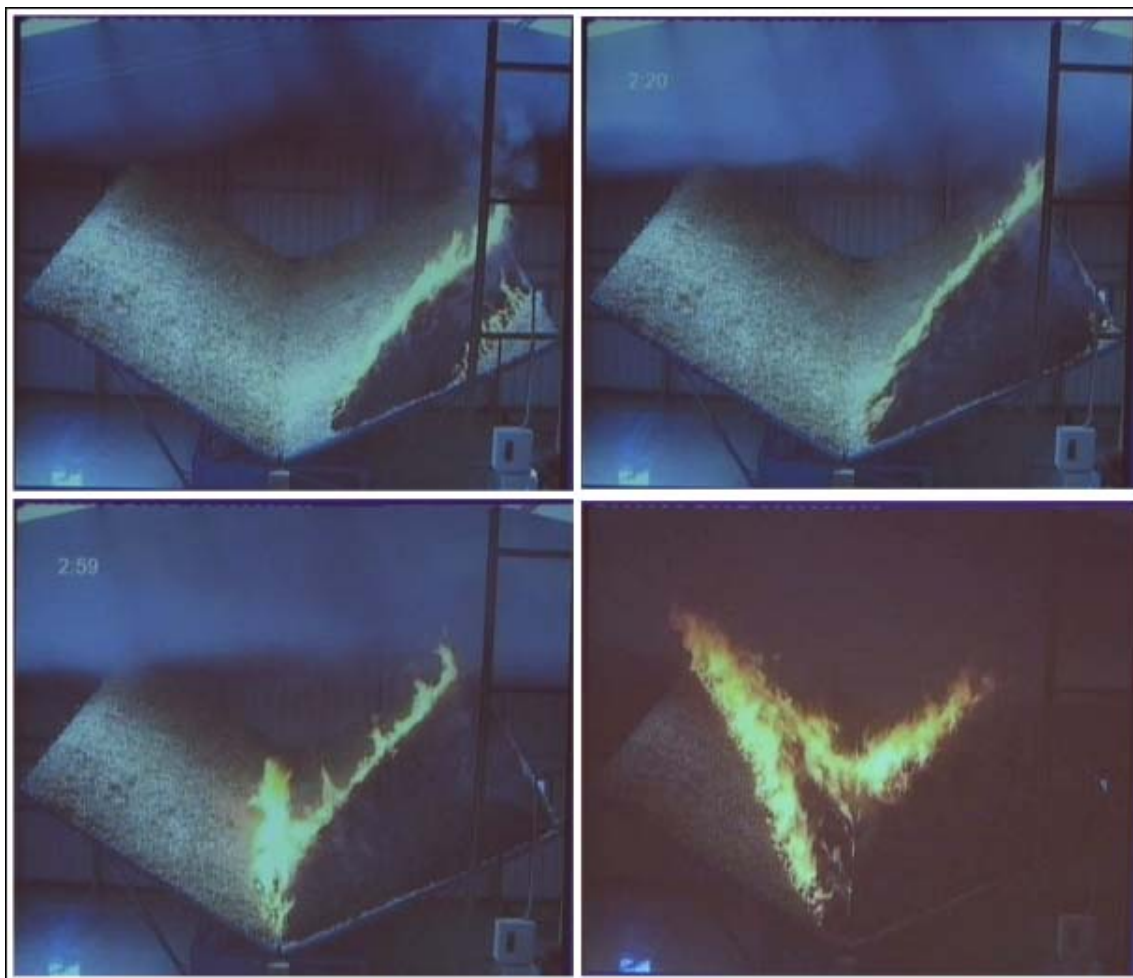
6.5.5. Komentar rezultata dobivenih proračunom i preliminarnih eksperimentalnih rezultata

Analizirali smo moguću pojavu eruptivnog efekta u klanacu iznad uvale Šipnate na dan 30. kolovoza 2007. na temelju tipičnih parametara karakterističnih za travnatu vegetaciju i eksperimentalno određenih parametara pokusima u laboratorijima prof. Viegasa.

Pri tome je osnovna pretpostavka ulazak požara u klanac u donjem dijelu klanca, što sugeriraju i simulacije širenja požara od mjesta izbijanja do mjesta nesreće, iskazi očevice gosp. Lučića i mikro-dokazi prikupljeni na terenu, prije svega položaj preostalog lišća na stablima divlje kruške koja nisu izgorjela. O ovim mikro dokazima više u slijedećem poglavlju, a ovdje se prije svega osvrćemo na analize provedene u ovom poglavlju.

Požar je prema simulacijskom modelu širenja požara od uvale Vrulje vjerojatno u klanac došao preko južnih padina brda Veli vrh, te se spustio do osi klanca u kojoj je moguće da je došlo do eruptivnog efekta. Sličnu situaciju prikazuje slika 6.74., također snimljena u laboratoriju prof. Viegasa, na kojoj se prikazuje baš takav dolazak požara do osi klanaca. Važno je napomenuti da su slike snimljene u istim vremenskim intervalima tako da je lako uočljivo ubrzano širenje požarne fronte. Pokus je rađen za situaciju bez vjetera, znači početni brzina požara je samo određena nagibom klanca pa se zbog toga požar i proširio na veći dio lijeve padine. U slučaju Kornata nagib osi klanca je bio kao na slici, ali su bočne strane bile pod nešto manjim nagibom. Međutim postojala je

komponenta vjetra u smjeru rasta klanca, što rezultira sa većim prividnim nagibima u smjeru puhanja vjera, pa se požarna fronta može uz prisustvo takvog vjetra relativno brzo pomaknuti u smjeru osi kanjona. Zbog toga je na Kornatu vjerojatno došlo do još manjeg izgaranja lijeve padine kotline, a sigurno su još više pridonijeli i drugi aerodinamički i termodinamički efekti koji su se 30. kolovoza 2007. godine mogli dogoditi u klanecu iznad uvale Šipnata i o kojima govorimo u poglavljima 7. i 8. Posebno je zanimljivo **uočiti požarnu frontu oblika polumjeseca** koja je karakteristična za širenje eruptivnog efekta u klanecu.



Slika 6.74. Pokus prof. Viegasa gdje se prikazuje razvoj eruptivnog efekta u nagnutom klanecu bez vjetra u slučaju kada požarna fronta kreće iz desnog kraja na ulazu u klanac. Slike su snimane u istim vremenskim intervalima

Tipični parametri travnatih vegetacija daju nešto kraća vremena dolaska požarne fronte od ulaska u kanjon od modela dobivenih eksperimentanim određivanjem vrijednosti parametara. Međutim u svim slučajevima, konačan zaključak bi bio da se dana 30. kolovoza 2007. u klanecu iznad uvale Šipnate mogao pojaviti eruptivni efekt. To **ne znači da smatramo kako je isključivo efekt širenja požara otvorenog prostora nazvan imenom eruptivni efekt** odgovoran za događanja i nesreću na otoku Kornatu.

Moguće je da je eruptivni efekt izazvan nagibom i vjetrom bio jedan od efekata koji su se 30. kolovoza 2007. dogodili u klanecu nesreće, te je mogao doprinijeti slijedu događanja, **ali najvjerojatnije nije bio i jedini**. U to vrijeme na otoku Kornatu vladali su

i specifični meteorološki uvjeti koji su mogu izazvat niz aerodinamičkih efekata detaljno obrađenih u poglavlju 7, a sve zajedno je moglo pokrenuti termodinamičke efekte opisane u poglavlju 8.

6.6 Zaključci vezani s širenjem požara od mjesta izbijanja do mjesta nesreće i u samom klanu u kojem se nesreća dogodila

U prvom dijelu analizirali smo vegetaciju u odnosu na karakteristike vezane uz gorenje i širenje požara, te donijeli slijedeće zaključke:

- Na otoku Kornatu je tipična pašnjačka vegetacija sa submediteranskim vegetacijskim oblicima.
- Zapadnom dijelu klanca u kojem se dogodila nesreća nije izgorio, pa su u njemu 25. rujna 2007. uzeti uzorci vegetacije koji su ispitani u Eksperimentalnom laboratoriju za zaštitu šuma od požara u Makarskoj.
- Rezultati ispitivanja u poglavlju 5. su pokazali da se radi o vrlo zapaljivoj vegetaciji kod koje je **odgoda zapaljenja** bila vrlo kratka i za dominantnu travnatu vegetaciju iznosila oko **2 sekunde**, dok je **trajanje gorenja** iznosilo oko **12 sekundi**.
- Na temelju izmjerene težine uzoraka u Poglavlju 5. te procijenjene **pokrovnosti vegetacije** od **45 – 55%** procijenjena je **prosječna količina goriva** na mjestu nesreće od **6228 – 7612 kg/ha (0.6228 – 0.7612 kg/m²)**.
- Izmjerena količina vlage dominantne travnate vegetacije kretala se od 10.18 – 19.28%. Uzorci su uzeti više od 100 sati prije ispitivanja, pa je za **količinu vlage mrtvog goriva ubranog prije više od 100 h uzeta srednja vrijednost od 12 - 14%**. Trava na terenu u doba tragedije je bila pretežno suha, pa se može pretpostaviti da je **vlaga živog goriva bila između 30 – 60%**.
- Kako u Hrvatskoj nikada nije rađeno sustavno ispitivanje vegetacije u odnosu na parametre gorivosti oni su procijenjeni na temelju sličnih vegetacijskih kategorija standardnih sustava Albini – Andersona (Anderson 1983) i Scotta i Burgana (Scott i Burgan 2005). Kornatska vegetacija je klasificirana u travnate vegetacijske kategorije A-A M. 1 i A-A M. 3 po Albini-Andersonu te S-B GR2 i S.B GR4 po Scott-Burganu.
- Parametri gorenja ovih vegetacijskih kategorija su:
**Brzina vjetra na polovici visine plamena 1.8 m/s (4 ml/h),
odnosno na 10 m iznad tla 5.5 m/s**
 - A-A M.1 - brzina širenja 0.29 m/s; visina plamena 1.1 m
 - A-A M.3 - brzina širenja 0.38 m/s; visina plamena 3.1 m
 - S-B GR2 brzina širenja 0.17 m/s; visina plamena 1.3 m
 - S-B GR4 brzina širenja 0.35 m/s ;visina plamena
- Brzina vjetra na polovici visine plamena 2.7 m/s (6 ml/h),
odnosno na 10 m iznad tla 8 m/s**
 - A-A M.1 - brzina širenja 0.67 m/s; visina plamena 1.6 m

- A-A M.3 - brzina širenja 0.64 m/s; visina plamena 3.9 m
- S-B GR2 brzina širenja 0.31 m/s; visina plamena 1.7 m
- S-B GR4 brzina širenja 0.63 m/s ;visina plamena 3.2 m

***Brzina vjetra na polovici visine plamena 4 m/s (9 ml/h),
odnosno na 10 m iznad tla 10.8 m/s***

- A-A M.1 - brzina širenja 1.52 m/s; visina plamena 2.4 m
 - A-A M.3 - brzina širenja 1.08 m/s; visina plamena 5.0 m
 - S-B GR2 brzina širenja 0.55 m/s; visina plamena 2.2 m
 - S-B GR4 brzina širenja 1.12 m/s ;visina plamena 4.1 m
- **Toplinska moć** gorive materije procijenjena je na **18000 kJ/kg**
 - Na temelju usporedbe s pokusima koji su rađeni u Kanadi u kojima je mjeren vertikalni profil temperature u trenutku prolaza požarne fronte na travnatoj podlozi procijenili smo **temperaturu plamena 610 °C** , što iznosi oko **880 K**.
 - U južnom dijelu klanca na samoj osi klanca primijećeno je područje za koje bi se moglo pretpostaviti da je bilo obraslo većom vegetacijom od vegetacije u drugim dijelovima klanca. Iako ovaj podatak nije presudan za termodinamičko objašnjenje pojava koje su se u klancau mogle dogoditi i koje obrađujemo u poglavlju 8, ipak ga navodimo zbog toga što je on mogao biti uzrokom nekih aerodinamičkih anomalija koje spominjemo u poglavlju 7.

U drugom dijelu analizirali smo dinamiku širenja požara:

- a) od mjesta izbijanja kod uvale Vrulja do klanca iznad uvale Šipnata u kojem se dogodila nesreće i posebno
- b) unutar samog klanca, od ulaska vatre u ravni dio klanca do mjesta na kojima se dogodila nesreća.

Analiza prvog dijela temeljila se na kombiniranom semi-empirijskom Rothermelovom modelu širenja požara koji uzima u obzir karakteristike vegetacije, reljef terena, te brzinu i smjer vjetra, povezanom s modelom temeljenim na celularnim automatima kojima se modelira formiranje požarne fronte. Dobiveni rezultati su slijedeći:

Požar je započeo u uvali Vrulja 30.kolovoza 2007. između 11:00 i 11:30. Nesreća se dogodila oko 15:25, što znači da je vatrenoj fronti trebalo oko 4 sata da pređe put pravocrtne zračne udaljenosti od 6.6 km. Prosječna pravocrtna brzina širenja požara je prema ovome bila oko 0.46 m/s. Prema prethodnim zaključcima vezanim uz vegetacijske kategorije ovom rezultatu je najbliža brzina vjetra na polovici plamena nešto manja od 2.7 m/s. To smo dokazali i simulacijom širenja požara.

Ulazni podaci u simulacijski model su bili:

- a) Klasifikacija vegetacije u 13 Albini-Andersonovih kategorija na temelju CORINE CLC 2000 klasifikacije pokrova i korištenja zemljišta

- b) Simulacija vjetra dobivena modelima ALADIN i MM5 dala je da je u vrijeme od izbijanja požara do same nesreće puhao vjetar iz smjera SE (jugo) čija je brzina na visini od 10 m s kopnene strane bila od 5.5 – 8 m/s, s s morske strane 8 – 10.8 m/s.
- c) Iz ove brzine vjetra na visini od 10 m izračunate su brzine vjetra na polovici visine plamena koje su se kretale od 1.8 m/s – 4 m/s

Simulacijski model za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.29 m/s (oko 7 m/s na 10 m visine) i 12% vlage finog mrtvog goriva daje rezultate koji bi odgovarali stvarnom događaju – dolazak požara od mjesta izbijanja do klanca iznad uvale Šipnate za približno 4 sata od trenutka izbijanja. Za 14% vlage finog mrtvog goriva požar bi ovaj put prešao za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.39 m/s. To odgovara vezi između prosječne pravocrtne brzine širenja požara i karakteristika vegetacijskih kategorija vezanih uz parametre gorenja.

Posebno je zanimljivo napomenuti način na koji je prema simulacijskom modelu požarna fronta došla do uvale Šipnate. Prema rezultatima simulacije sjeverni krak požarne fronte napredovao je brže od južnog kraka iz čega bi se moglo zaključiti da je vatra do klanca Šipnate najprije došla sa sjeverne strane, ali se zbog brzine i smjera vjetra nije spuštala u klanac. Rezultati simulacije sugeriraju da je požar u klanac ušao preko južnog dijela brda Veli vrh koje se nalazi s istočne strane klanca. Zbog toga je moguće je da su vatrogasci vatru najprije ugledali upravo na sjevernom dijelu, pa je to može biti i razlog zašto su se krenuli južnije i našli se baš u klanacu u trenutku događanja nesreće.

***Napomena:** Kako nismo raspolagali forenzičkim podacima o međupoložajima požarne fronte između 11:30 i 15:30, rezultate modela u tom dijelu nismo mogli provjeriti, pa taj dio dinamike požara nismo detaljno niti analizirali. Kada ovi podaci postanu dostupni, napraviti ćemo dodatni napor u podešavanju parametara simulacijskog modela sa ciljem poklapanja sa stvarnim podacima zabilježenim na terenu. Inače kretanje požara od izbijanja do ulaska u kanjon i nije toliko bitno za događanja u kanjonu. Može biti zanimljivo za podešavanje parametara globalnog simulatora širenja požara na kojem i inače radimo, ali ne doprinosi bitno razumijevanju onoga što se dogodilo u klanacu nesreće, osim u dijelu koji objašnjava kako se požarna fronta kretala u blizini klanca što smo komentirali u prethodnom odlomku.*

Drugi dio istraživanja opisanih u ovom poglavlju zanimljiviji je s obzirom da daje odgovore vezane s okolnostima u kojima se dogodila nesreća. Sastojao se od dva dijela. U prvom dijelu osnovni nam je cilj bio ustanoviti kinetiku širenja požara u području nesreće, te proračunati brzinu i smjer širenja požara, visinu plamena i prosječnu količinu oslobođene toplinske energije, koristeći provjerene simulacijske modele modeliranja širenja požara na razini mikrolokacije temeljene na poznavanju topografskih, vegetacijskih i meteoroloških uvjeta na području nesreće, opisanih u poglavljima 2, 3, 4 i 5. Dobiveni rezultati su slijedeći:

Na analizu širenja požara unutar samog klanca iznad uvale Šipnate primijenili smo standardni Rothermelov semi-empirijski model širenja požara. Ulazni parametri za određivanje parametara vezanih uz širenje požara su bili:

- brzina vjetra na polovice visini polovice plamena na ravnoj plohi 4 ml/h = **1.8 m/s**, 6 ml/h = **2.7 m/s** i 9 ml/h = **4 m/s**
- vegetacijske kategorije:
 - Albini-Anderson model 1 (A-A M.1)

- Albini–Anderson model 3 (A-A M.3)
- Scott-Burgan model GR2 (S-B GR2)
- Scott-Burgan model GR4 (S-B GR4)

Napomena: Za sve je kategorije izmijenjena vrijednosti postotka vlage kod kojeg prestaje gorenje (ME – Dead Fuel Moisture of Extinction) sa originalnih vrijednosti na iznos 40% koji bolje odgovara situaciji na Kornatima.

- vlaga u mrtvom gorivu od 12 – 14%
- vlaga u živom gorivu od 30%
- nagib terena 14% (prosječni nagib terena koji je bio u klanca iznad uvale Šipnate)

Travnata vegetacija na Kornatima je prema rezultatima mjerenja imala prosječnu količinu goriva od **0.6228 – 0.7612 kg/m²**, procijenjene prosječne gornje toplinske moći od **18000 kJ/kg**. Usporedbom s odgovarajućim vegetacijskim kategorijama koje imaju toliku prosječnu količinu goriva (A-A M.3 i S-B GR4) može se zaključiti da je prosječna **oslobodena toplinska energija po jedinici površine u klanca iznad uvale Šipnate u trenutku nesreće bila između 5500 – 7500 kJ/ m²**, a toplinska snaga po 1 m² horizontalne površine požarne fronte **između 410 – 510 kW/ m²**. Uzmemo li u obzir samo centralni dio klanca koji ima površinu od 99 887 m² ukupna količina oslobođene toplinske energije unutar klanca **bila je između 550 000 – 750 000 MJ** (153 – 208 MWh). Usporedbe radi energija od 153 MWh je energija koju bi potrošila žarulja od 100 W da neprestano gori 175 godina.

Prema Rothermelovom modelu **brzina širenja požara kretala se od 0.18 – 1.54 m/s** (od 11 – 92.1 m/min). Prema tim vrijednostima vrijeme potrebno da bi požar prešao udaljenost od 350 m od točke b na ulasku u ravni dio kanjona do prvog mjesta nesreće A kretalo se 3.80 min (najkraće) do 31.82 min (najduže), ovisno o tipu vegetacije i uzetoj brzini vjetra na polovici visine plamena. Za vegetaciju kategorija A-A M.3 i S-B GR3 koja prema prosječnoj količini goriva odgovara uzorcima sa Kornata vrijednosti su se kretale **od 5.21 min do 15.91 min**, što je još uvijek relativno dugo. Da se požar ovoliko dugo kretao kroz klanac, vatrogasci bi sigurno uspjeli pobjeći vidjevši da vatra ide prema njima. Prema tome za pretpostaviti je da kretanje požara unutar klanca nije bilo standardno opisano ovim Rothermelovim jednadžbama širenja požara na temelju kojih smo proračunali gornje vrijednosti.

Jedan od mogućih odgovora koji daje kraće vrijeme dolaska požarne fronte od ulaska u klanac do mjesta nesreće nalazi se u teoriji eruptivnog efekta, teoriji dobro razrađenoj i opisanoj u stručnoj literaturi. U drugom dijelu analize kretanja požara unutar klanca napravljene u ovom poglavlju bavili smo se procjenom mogućnosti pojave eruptivnog efekta eruptivnog. Ova su istraživanja jednim dijelom rađena u suradnji s prof. Vígasom, autorom priznatog i provjerenog matematičkog modela euptivnog požara kojeg smo i mi primijenili.

Na početku rada na ovom dijelu problematike postavili smo pitanje: *"Da li se 30. kolovoza 2007. u klanca iznad uvale Šipnate **mogla dogoditi pojava u stručnoj literaturi poznata kao eruptivni efekt ?"***

Odgovor je da, u klanca iznad uvale Šipnate dana 30. kolovoza 2007. oko 15:30 bili su ispunjeni uvjeti da se dogodi eruptivni efekt. Pri tome prije iznošenja rezultata proračuna trebamo naglasiti slijedeće: U zadnje se vrijeme u medijima zna pojaviti neistinita činjenica da je za pojavu eruptivnog efekta isključivo važno nagib kosine.

Kosina je važna za pojavu **eruptivnog efekta izazvanog kosinom** koji će se javiti za dovoljno nagnutu kosinu čak i onda kada puše vjetar suprotnoga smjera od smjera nagiba kosine. Eruptivni efekt je toliko jak da će nadvladati vjetar suprotnog smjera. Pri tome se spominje da kosina treba imati najmanji nagib od 10° . Međutim postoji i **eruprivni požar izazvan vjetrom**. Eruptivni efekt može se javiti i kada nagib kosine i nije toliki da bi se pojavio eruptivni efekt izazvan kosinom, ukoliko puše vjetar u smjeru rasta kosine i širenja požara. Takav vjetar pogodnoga smjera, u biti čini virtualni nagib kosine većim nego što je prirodno, pa do eruptivnog efekta dolazi i na kraćim padinama ili klancima znatno manjeg nagiba, uz uvjet da je vjetar odgovarajućeg smjera i dovoljne brzine.

To se upravo na Kornatima moglo i dogoditi. Prosječni nagib osi kotline je bio oko 8° (14%), s tim da su bočni dijelovi kotline bili nagnuti i pod većim kutom, i do 24° . Točka u osi klanca d i prvo mjesto nesreće A bili su na nagibu od 13° . Međutim prevladavajući smjer vjetra na mjestu nesreće je bio u smjeru rasta osi kotline. Brzina vjetra na 10 m visine kretala se od 5.5 – 10.8 m/s sa srednjom vrijednosti od 8 m/s. Preračuna li se ova brzina vjetra na ekvivalentnu brzinu na polovici visine plamena dobiju se vrijednosti od 1.8 – 4 m/s, sa srednjom vrijednosti od 2.7 m/s.

Za ove brzine vjetra i nagib kotline od 8° (14%) ulazne brzine požarne fronte bile su 0.18 m/s, 0.32 m/s i 1.54 m/s. Prema modelu eruptivnog efekta, za tipične vrijednosti parametara travnate vegetacije uzete iz literature, od trenutka ulaska požara u klanac do pojave eruptivnog efekta **za realne vrijednosti parametara prošlo je od 80 sekundi do maksimalno 200 sekundi**. Toliko je vremena prošlo dok brzina nije počela eruptivno rasti i vjerojatno jako brzo dosegla i 10 m/s. Do prvog mjesta nesreće u poglavlju 3. označenog slovom A požar potpomognut eruptivnim efektom mogao je, **doći u vremenu od 95 sekundi do maksimalno 200 sekundi**.

Napomenimo da smo u ovim proračunima pretpostavili da se požarna fronta do ulazu u ravni dio klanca (točke b na slici 3.4 iz poglavlja 3) kretao stalnom ulaznom brzinom. Međutim prema izgledu stabla na samom južnom ulazu u klanac prije prelaska u njegov ravni dio (slika 2.27 – stablo se nalazilo blizu točke a na slici 3.4 iz poglavlja 3), postoji mogućnost da je eruptivni efekt počeo još ranije, te je ulaskom u ravni dio klanca (potez bA) požar već bio blizu eruptivne faze. Zbog toga su vremena od njegovog dolaska u točku b do prvog mjesta nesreće A mogla biti još kraća od onih koje spominjemo i iznositi samo nekoliko desetaka sekundi.

To je potvrdila i preliminarna eksperimentalna analiza eruptivnog efekta koju je proveo istraživački tim prof. Viegasa. Na temelju niza pokusa eksperimentalno su određeni mogući parametri modela eruptivnog efekta. Uz realnu pretpostavku početka širenja požara u klanac na početku klanca preliminarna istraživanje prof. Viegasa su pokazala da je u drugom dijeluklanca eruptivni efekt mogao biti već dobro razvijen, pa se cijela dionica drugog dijela klanca mogla zapaliti u vremenu kraćem od jedne minute.

Spomenuti i to da francuski autori spominju i **eruptivni efekt izazvan naglim zapaljenjem lako hlapivih organskih komponenata** koje za vrućeg vremena ispušta vegetacija mediteranskog tipa. Naglo zapaljenje ovih, inače lako zapaljivih para, može biti još jedan "okidač" pojave eruptivnog efekta. Iako smatramo da je malo vjerojatna takva pojava u klanac iznad uvale Šipnate u vrijeme nesreće, prije svega zbog jakog vjetra u smjeru osi klanca koji je vjerojatno raznosio ove lako hlapive komponente prenosimo e zanimljiv komentar vezan s ovakvim tipom eruptivnog efekta (Peuch 2007):

"Ponekad je mogući naglo zapaljenje koncentriranih plinova i za jakog vjetra. Ukoliko struja vjetra, u posebnoj konfiguraciji reljefa, puše preko kanjona, sa jednog ruba prema drugom, ona može spriječiti dim i plinove da izađu iz kanjona. Plinovi su zatvoreni u virtualnom prostoru u kojem se koncentriraju. Ako vatrogasci uđu u zonu koncentracije, u trenu kada dođe do zapaljenja mješavine zraka i plinova izazvanih osnovnim požarnom, vatrogasci su u velikoj opasnosti od požarne erupcije (blow-up) izazvane naglim zapaljenjem ovih lako zapaljivih plinova."

Aerodinamička i termodinamička analiza dana u poglavljima 7. i 8. upravo ukazuje na ovakvu mogućnost prirodnog razvoja događanja u klancu iznad uvale Šipnata 30. kolovoza 2007. godine, ali prije svega u dijelu formiranja virtualnog dimnjaka. Moguće je da se upravo takav efekt pojavio i u klancu nesreće.

Konačan zaključak bi bio da se dana 30. kolovoza 2007. u klancu iznad uvale Šipnate mogao pojaviti i eruptivni efekt. To **ne znači da smatramo kako je isključivo efekt širenja požara otvorenog prostora nazvan imenom eruptivni efekt** odgovoran za događanja i nesreću na otoku Kornatu. Moguće je da je eruptivni efekt izazvan nagibom i vjetrom, bio jedan od efekata koji su se 30. kolovoza 2007. dogodili u klancu nesreće, te je mogao doprinijeti slijedu nesretnih događanja, **ali najvjerojatnije nije bio i jedini**. U to vrijeme na otoku Kornatu vladali su i specifični meteorološki uvjeti koji su mogu izazvat niz aerodinamičkih efekata detaljno obrađenih u poglavlju 7. Isto tako i iz termodinamičke analize opisane u poglavlju 8, za događanja na mjestu nesreće važno je ubrzano izgaranje većeg dijela klanca što je eruptivni efekt mogao izazvati.

Na kraju napomenimo da smo sve rezultate u ovom poglavlju dobili znanstveno utemeljenim i u praksi provjerenim matematičkim modelima, međutim kod određivanja vrijednosti ulaznih parametara jednim smo se dijelom temeljili na objektivnim podacima dobivenim pokusima na uzorcima vegetacije uzete na otoku Kornatu, a drugim smo dijelom tražili analogne primjere u stručnoj i znanstvenoj literaturi. To se prije svega odnosi na parametre vegetacije vezane uz karakteristike gorenja koje nikada do sada nisu sustavno istraživane u Republici Hrvatskoj. Zbog toga smatramo da bi ova istraživanja trebalo u skoroj budućnosti provesti, napraviti sustavne pokuse vezane sa širenjem požara tipičnih vegetacija hrvatskog priobalja i otoka, te na temelju toga odrediti njihove kategorije u odnosu na gorenje. To smo u suradnji s Šumarskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu i Državnim hidrometeorološkim zavodom i zacrtali kao jedan od zadataka Centra za istraživanje požara otvorenog prostora u osnivanja, čije bi laboratorije trebao opremiti za ovaj tip mjerenja.

Osim toga smatramo da bi bilo korisno napraviti i fizički model klanca u kojem se dogodila nesreća, te pokuse širenja požara ponoviti u kontroliranim laboratorijskim uvjetima za skaliranu konfiguraciju terena i vegetaciju razrađenih prema zakonima teorije sličnosti. Ovaj bi fizički simulator bio koristan i za testiranje i drugih hipoteza vezanih uz aerodinamički i termodinamički aspekt kornatske tragedije koji obrađujemo u poglavljima 7 i 8, a to je inače i dio uobičajene prakse i u ostalim zemljama nakon sličnih događanja.

6.7 Literatura

Literatura koju smo koristili u analizama ovog poglavlja dana je u poglavlju 11.

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U SPLITU



POGLAVLJE 7

AERODINAMIČKI ASPEKTI DOGAĐANJA NA
MJESTU NESREĆE

AUTOR:
DOC.DR.SC. BRANKO KLARIN

SPLIT 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	3
7. AERODINAMIČKI ASPEKTI DOGAĐANJA NA MJESTU NESREĆE.....	5
7.1. PODLOGE ZA OPIS	5
7.1.1. Geografske i topografske odrednice	5
7.1.2. Vjetar	9
7.2. POSEBNE OKOLNOSTI.....	14
7.2.1. Nastanak zaustavnog vrtloga	14
7.2.2. Nastanak usmjerenog strujanja duž klanca.....	14
7.2.3. Struja viših slojeva atmosfere iznad tla - nastajanje gornje granice	15
7.3. MOGUĆE POJAVE SINGULARITETA.....	16
7.4. REZULTATI PRELIMINARNOG NUMERIČKOG PRORAČUNA 2D PROFILA BRZINA DUŽ KLANCA	16
7.4.1. Rezultati preliminarnog numeričkog proračuna 2D profila brzina na pretpostavljenim glavnim pravcima strujanja (presječne ravnine).....	16
7.4.2. Rezultati preliminarnog numeričkog proračuna 2D profila brzina na pretpostavljenom odsječku terena	20
7.4.3. 3D simulacija - kombinacija aerodinamičkih i termodinamičkih modela	21
7.4.4. Nastanak tunelskog efekta – horizontalno vrtloženje	22
7.4.5. Nastanak mezo-vrtloženja	23
7.4.6. Podudaranje smjera kretanja vatrogasaca i fronte širenja požara	23
7.5. ZAKLJUČCI VEZANI UZ AERODINAMIČKE ASPEKTE DOGAĐANJA NA OTOKU KORNATU 30.KOLOVOZA 2007.....	24
7.5. LITERATURA	27

7. AERODINAMIČKI ASPEKTI DOGAĐANJA NA MJESTU NESREĆE

U ovom je poglavlju dana kvalitativna procjena aerodinamičkih aspekata događanja na otoku Kornatu 30. kolovoza 2007. Ulazni podaci temelje se na dosad prikupljenim spoznajama o meteorološkim aspektima koji su utjecali na tijek i širenje požara a važan je i posjet mjestu događanja 25. rujna 2007. Aerodinamički aspekt događanja ilustriramo fotografijama koje smo snimili tom prilikom.

Bavimo se isključivo mogućim slijedom prirodnih događanja. Ispitivanje uzroka koji nisu posljedica prirodnih događanja nisu predmet ove studije, pa niti ovog razmatranja. Ovo poglavlje pokušava dati odgovor na pitanje: Koje su se prirodne pojave koje imaju uporište u fizikalnim zakonima i prirodnim pojavama **mogle dogoditi** u klancu iznad uvale Šipnate 30.kolovoza 2007. godine? Ne tvrdimo da su se i stvarno dogodile. To je zadatak službene istrage. nama je dovoljno dokazati da su se mogle dogoditi, te na temelju toga dati preporuke za unapređenje sigurnosti kod gašenja požara otvorenog prostora.

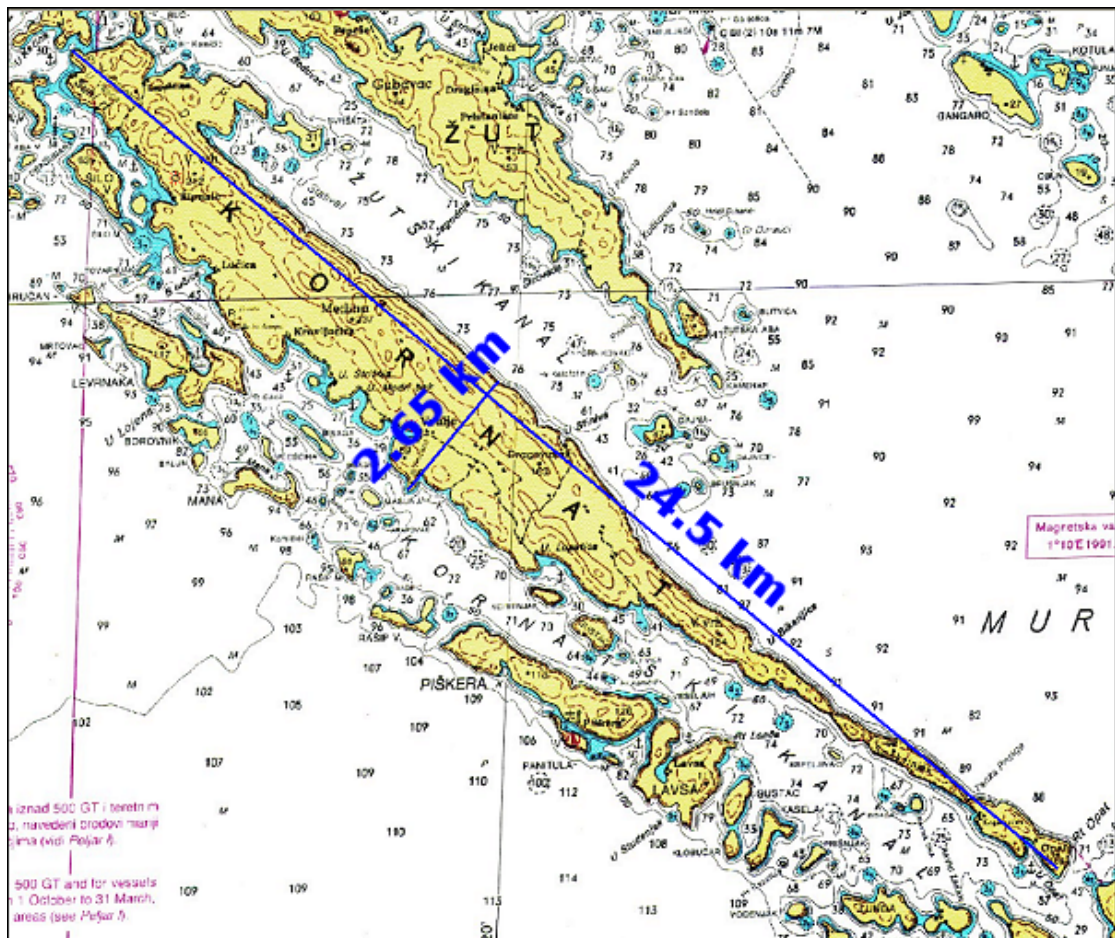
Prema poznatim činjenicama i spoznajama, u klancu iznad uvale Šipnate najvjerojatniji se pojavila kombinacija brzog izgaranja raslinja u kotlini koji je uzrokovao nagli nastanak velike količine vrućeg zraka, te dotok vrućeg zraka od požara iz središta otoka koji je rezultirao sudarom ovih dviju struja tako da se je na mjestu nesreće stvorio jastuk vrućeg zraka. Ovaj je zračni jastuk nošen strujom SE vjetra mogao je stvoriti horizontalni makro-vrtlog, koji je zadržao svoju stabilnost kratko vrijeme na mjestu nesreće. Zbog velikih relativnih brzina koje se postižu u vrtlogu, ovako ubrzana masa vrućeg zraka mogla je u kratko vrijeme izazvati poznate posljedice.

7.1. Podloge za opis

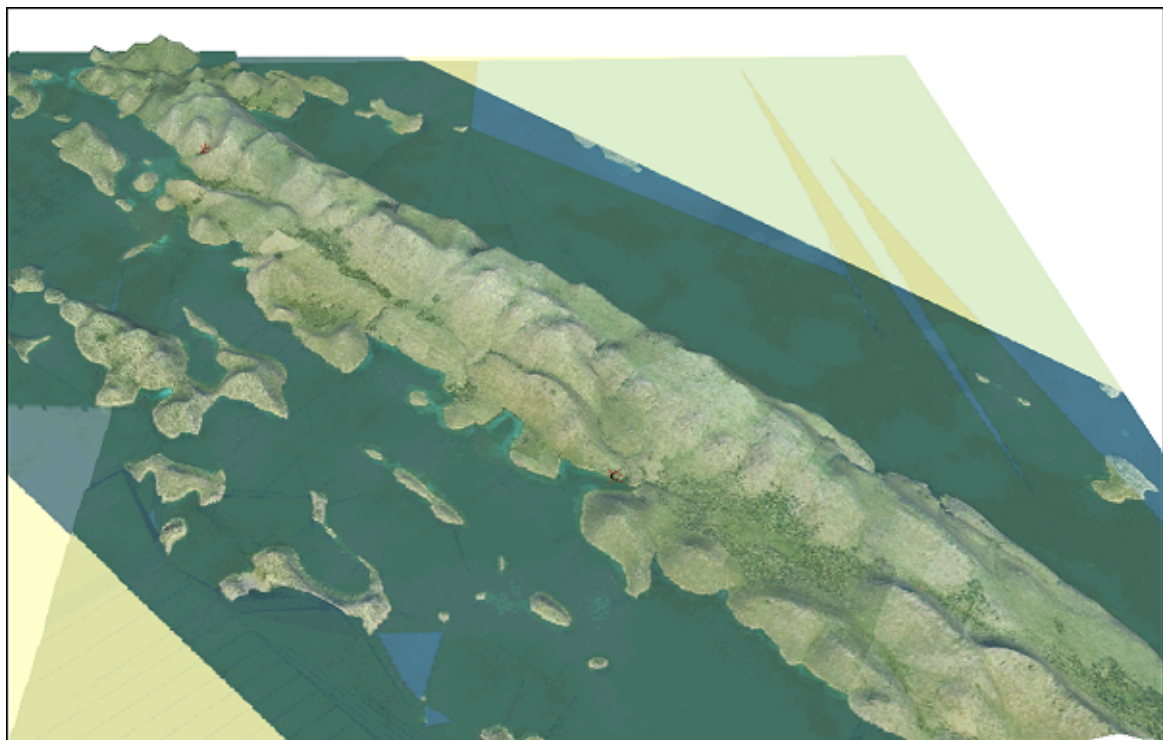
7.1.1. Geografske i topografske odrednice

Jedna od bitnih činjenica je ta da je otok Kornat, najveći od otoka u kornatskom arhipelagu, relativno uzak u odnosu na svoju duljinu. Proteže se u smjeru sjeverozapad-jugoistok (NW-SE) kao što pokazuje Slika 7.1. Pravocrtna duljina otoka je 24,5 km, a najveća širina 2,65 km. 30.kolovoza 2007. na području otoka Kornat puhalo je jugo – vjetar iz SE smjera. Može se pretpostaviti da je smjer puhanja vjetra pratio uzdužnu os otoka, s blagim odmakom od nekoliko stupnjeva što pokazuju i karte simulacije strujanja vjetra (Slike 4.5 i 4.6).

Otok ima karakterističnu mediteransku topografiju – razvedenu obalu s dosta brda i uzvisina (kompleksna topografija), Slika 7.2. i 7.3. Za ovakvu je topografiju karakteristično da bez obzira iz kojeg smjera vjetar puhao, niži slojevi atmosfere - granični sloj do 100 m visine iznad razine površine (mora) – nastoje se prilagoditi trenutno zatečenoj lokalnoj topografiji, djelomično ili u potpunosti prateći njen tijek. Za razliku od nižih, viši slojevi pratit će glavnu atmosfersku struju, ali je visinski profil brzina do 1000 m visine dovoljno nestabilan (Poglavlje 4. – radio-sondažnim mjerenjima iz Državnog hidrometeorološkog zavoda) da prati visoku topografiju, prema očekivanjima.



Slika 7.1. Otok Kornat.

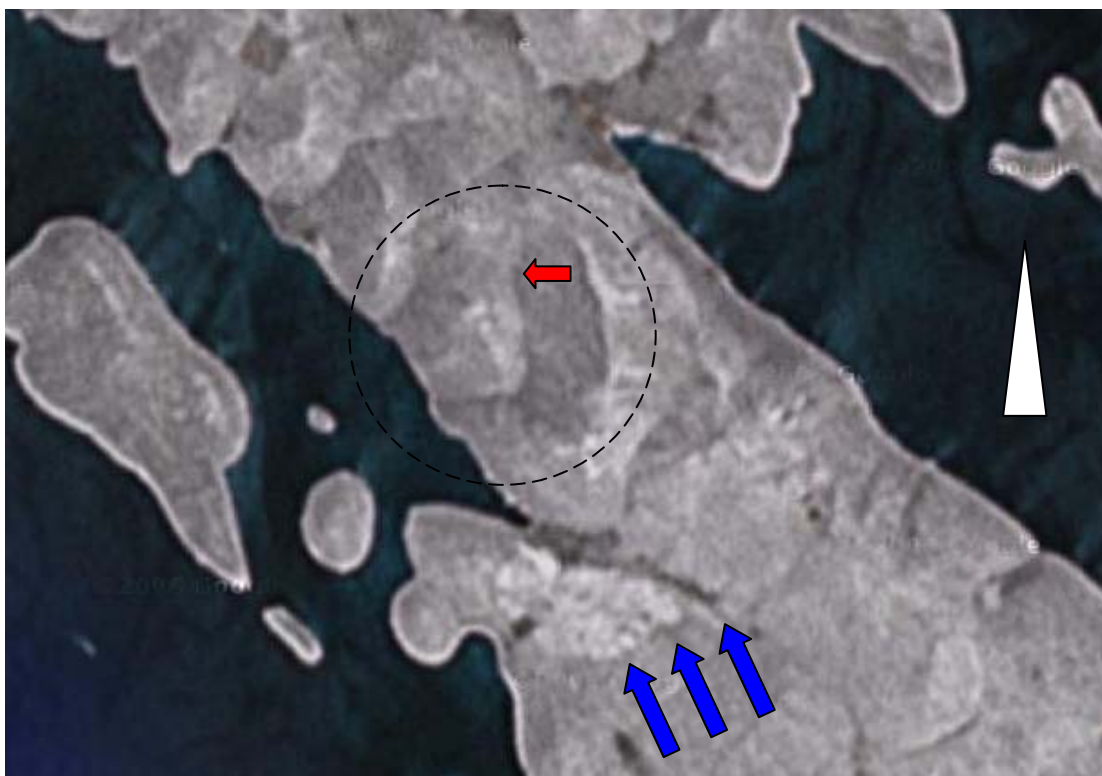


Slika 7.2. Kompleksna topografija otoka Kornata.



Slika 7.3. Kompleksna topografija kornatskog otočja (izvor Web NP Kornati).

Nesreća se dogodila pri vrhu klanca iznad uvale Šipnate, mjesto označeno strelicom na slici 7.4. Klanac se razvija iz smjera zapada prema istoku (W-E) s blagim usponom a onda ima nagli prijelaz smjera širenja klanca prema sjeveru (S-N) ali s bitno većim usponom.



Slika 7.4. Klanac sjeverno od uvale Šipnata (omeđeno područje), položaj nesreće (mala strelica) i načelni SE smjer puhanja vjetra (velike strelice).

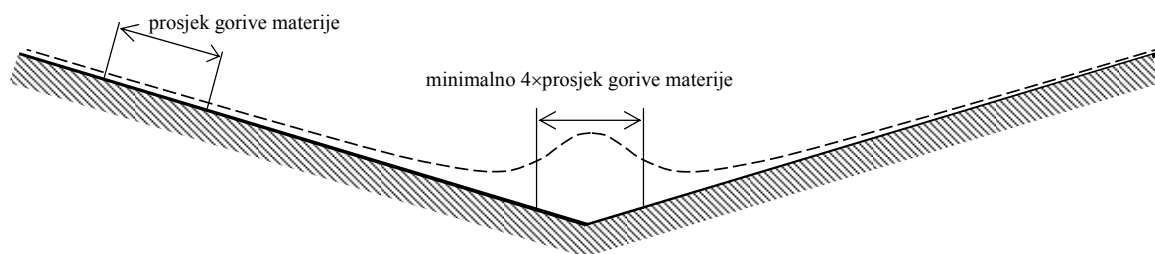
Samo mjesto događaja udaljeno je nekoliko metara od kamenog zida, nastalog prirodnim urušavanjem terena niz kotlinu. Ispod ovog zida završava uspon kotline a počinje zaravan, slika 7.5.



Slika 7.5. Kotlina snimljena iz pravca SW, mjesto stradavanja najvećeg broja vatrogasaca je zaokruženo i označeno debelom strelicom a visoki zid je označen tankom strelicom. Uočljivo je područje izrazitije travnate vegetacije s desne strane od dna kotline, kojeg presjeca granični suhozid. Snimio B.Klarin 25. rujna 2007.

Podrazumijeva se da se voda slijeva s te zaravni kroz kotlinu do mora. Iako je teren kraški, postoji uglavnom nepropusni zemljani sloj, smješten između kamena koji je u obliku vododerine formirao dno kotline u obliku slova V. Može se zaključiti da je zbog povećane količine vlage dno kotline pogodno za vegetativni rast.

Slijedi prikaz iskustvene procjena presjeka kroz gorivu materije u neposrednoj blizini dna usjeka klanca V-oblika na Kornatima.



Na slici 7.5. uočljivo je područje na kojem se pretpostavlja postojanje veće travnate vegetacije, posebno s desne strane od dna kotline, kojeg presijeca granični suhozid. Ova vegetacija se nalazi neposredno pred dijelom klanca koji ima najveći kut uspona kao i ispod nagnutog terena koji vodi prema Velom Vrh (prateći suhozid).

Iz navedenog se može zaključiti da se moglo očekivati pojačano strujanje vjetra i to upravo za slučaj vjetra iz SE smjera. Za slučaj maestrala (W-NW) ili bure (N-NE-E), ostala dva dominantna vjetra na Jadranu, ne treba očekivati velike brzine vjetra na mjestu događaja jer se u oba slučaja to mjesto nalazi u zavjetrini.

7.1.2. Vjetar

Prema podacima iz Poglavlja 4. na dan 30. kolovoza 2007. puhalo je jugo – jak vjetar iz smjera jugoistoka, oko 135° (SE). Na prikazu strujanja do 10 m visine, uočljiv je SE vjetar oko Kornata, brzine koja se u prosjeku kreće u intervalu od 5,5 – 8 m/s odnosno od 8 do 10,8 m/s.

Uvidom na terenu od 25. rujna 2007., kad je isto tako puhalo jugo ali bitno manjeg intenziteta, ustanovljeno je da je okolina mjesta nesreće podložna povremenim turbulentnim udarima vjetra iz SE smjera – dominantno strujanje iz viših slojeva atmosfere. Mjerenjem priručnim ručnim anemometrom (komercijalni, nekalibrirani), u trenutku udara na oko 2 m visine iznad tla brzina vjetra iznosila je 5 do 6 m/s u trajanju od 20 do 30 s.

Nakon prestanka turbulentnih udara, struja zraka ponovno se prilagođava terenu – strujanje uz tlo kotline iz S smjera. Tada je brzina vjetra bila trajnije ispod 4 m/s. Uočen je interval između dva udara od oko 2 do 3 min. U nekim od izjava ljudi koji su nakon nesreće došli na lice mjesta objavljenim u medijima spomenuto je da je vjetar bio jugozapadni SW a udari su procijenjeni na dvadesetak m/s. Međutim mi pretpostavljamo da je za opaženi smjer SW u stvari uzet smjer S koji prati kotlinu i koji ima odmak od SE smjera istog iznosa kao i SW od S. Za stvarno puhanje iz smjera SW vjetar je trebao puhati preko prijevoja iznad susjedne uvale, dolazeći kroz kotlinu koja i jest smještena na SW pravcu, što se vidi na slici 7.6.

Iako je do promjene smjera moglo doći, ovo je malo vjerojatni događaj u trenutku nesreće ako se uzme u obzir pokazatelj - usmjerenost spaljenog i dehidriranog lišća na raslinju na prijevoju ne poklapa navedenom odnosno jest SE prema NW usmjerenja. Karakteristični položaji označeni su na Slici 7.6. Na slici 7.7. vidljiv je navedeni detalj. Može se zaključiti da je u trenutku naleta struje vrućeg zraka na stablo na prijevoju, koje se moglo dogoditi svega nekoliko minuta nakon stradavanja, ova struja bila usmjerena SE, zbog smjera glavne zračne struje koja je i na tom mjestu pratila konfiguraciju terena.



Slika 7.6. Klanac iznad Šipnate i prijevoj iznad susjedne sjeverne uvale. Veća strelica označava mjesto stradavanja a manje strelice usmjerenost lišća na vegetaciji i promatrano stablo 6 na prijevoju. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.



Slika 7.7. Usmjerenost i nagib dehidriranog lišća snimljeno na stablu na prijevoju. Usmjerenost je od SE prema NW. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Na slici 7.8. vidljivo je da je donji dio stabla pougljen od sporijeg gorenja trave u podnožju dok je gornji dio osušen vrućim zrakom do visine od oko 2.2 m. Sam vrh stabla je zelen.



Slika 7.8. Isto stablo kao i na slici 7.1.6. na kojem je vidljivo osušeno i usmjereno SE lišće do visine od oko 2,2 m i zeleni, neosušeni vrh do oko 3 m visine iznad tla. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Iz ovog se može zaključiti da je struja vrućeg zraka velikom brzinom prelazila preko terena, dok su vrhovi bili zaštićeni od gorenja brzom strujom hladnijeg zraka. Na samom tlu je osušena trava nešto sporije dogorijevala, što je i karakteristično za prizemni granični sloj jer je brzina strujanja zraka na samom tlu gotovo jednaka ničici.

Na veliku brzinu strujanja u trenutku nailaska vrućeg zraka ukazuje i slijedeći pokazatelj, slika 7.9.



Slika 7.9. Neizgoreno raslinje na prijevoju, lijevo iznad klanca, u neposrednoj blizini stabla fotografiranog na slikama 7.7. i 7.8. Debljom strelicom je označeno mjesto stradavanja A prve grupe vatrogasaca na desnoj strani klanca, a tankom smjer strujanja SE iznad neizgorenog raslinja. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Nakon ponovljenog uvida u stanje na terenu od 5. veljače 2008. foto-dokumentacijom je zabilježena usmjerenost na širem području događaja. Područje događaja omeđeno je pravokutnikom na slici 7.10. a načelna usmjerenost spaljenog i dehidriranog lišća (vektori u koordinatnom sustavu N-E-z) prikazana je na sljedećoj slici 7.11.

Treba napomenuti da se podrazumijeva 3D prikaz i da su vektori usmjerenosti pratili konfiguraciju terena (globalno promatrajući, tangencijalno na površinu terena).

Na ovaj način moguće je s povećanom točnošću rekonstruirati tokove strujanja (vrućeg) zraka uz pretpostavku da ovaj tok u najvećoj mjeri prati i pomicanje zračnih masa što prikazuju velike strelice.

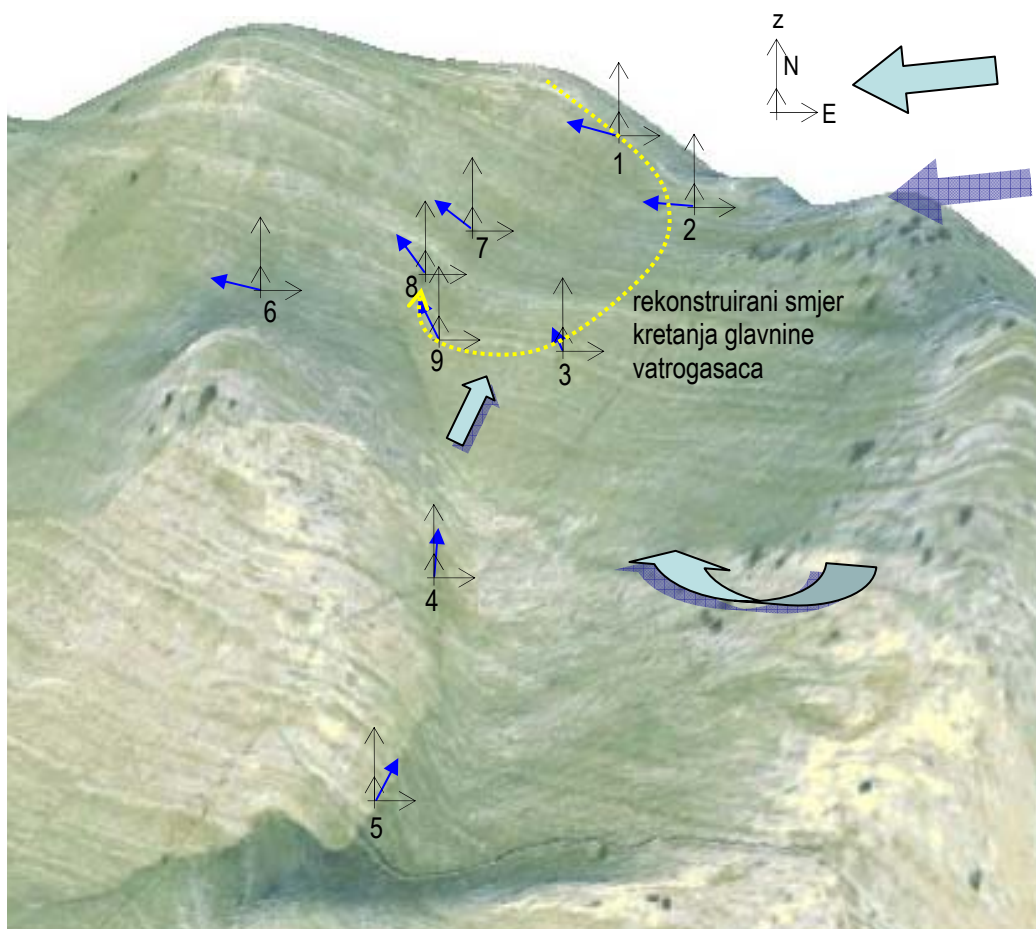
Do ovog izvješća nije bilo moguće utvrditi točniji raspored uzgonskih strujanja uslijed izgaranja, već je pretpostavljeno da upravo usmjerenost spaljenog i dehidriranog lišća odgovara ovim tokovima.

Treba napomenuti da ova logika vrijedi samo u trenutku spaljivanja i dehidriranja u kojem su položaju listovi ostali. Podrazumijeva se da je prije i poslije osušivanja bilo moguće da dođe do odstupanja usmjerenosti zagrijanog zraka, budući je i kod strujanja hladnog zraka iznad kompleksnog terena i kod izgaranja riječ o izrazito nestacionarnim pojavama.

Ove pretpostavke o strujanju potvrđuje i mjesto 3., gdje dolazi do blagog zastoja u usmjerenosti lišća, tj. lišće je dobrim dijelom orijentirano i naviše. Ovo ukazuje na moguću zastojnu točku, budući se u blizini tog mjesta a prema konfiguraciji terena može očekivati sukob struja iz tri smjera: iz kotline, preko prijevoja gdje se je nalazila kruška s vodom i s Velog Vrha (debele strelice).



Slika 7.10. Područje događaja oko klanca i uži prostor.

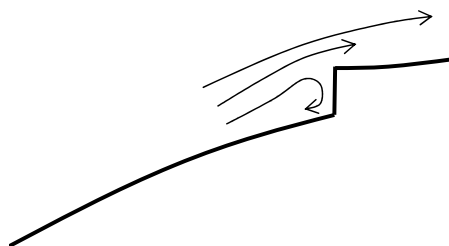


Slika 7.11. Uži prostor događaja i načelni vektori orijentacije dehidriranog i osušenog lišća na raslinju od 1-8 i orijentacija raspršivanja rastopine stijenama 9 (citirana foto-dokumentacija).

7.2. Posebne okolnosti

7.2.1. Nastanak zaustavnog vrtloga

Kameni zid prirodno je postavljen poprečno na smjer širenja klanca tako da strujanjem iz S smjera, sa dna klanca struja nailazi na okomitu prepreku – zid visine oko tri metra. Duljina prostiranja zida je oko 200 m, približno na pravcu SE-NW. Glavna struja slabijeg vjetra iz klanca prelazi zid i nastavlja uzdizanje preko visoravni prateći konfiguraciju terena do druge strane otoka. Na mjestu nailaska na prepreku struja zraka se zaustavlja i vrtloži, stvarajući privid smirivanja vjetra. Pojednostavljeni prikaz okolnosti koje dovele su do nastanka zaustavnog vrtloga ispod zida prilikom puhanja slabijeg vjetra iz klanca dat je na slici 7.12.



Slika 7.12. Presjek strujanja u klanacu u ravnini S-N: vjerojatna formacija zaustavnog vrtloga struje slabijeg vjetra koji iz S smjera prati klanac.

Ovo prividnog smirivanja vjetra ustanovili smo idući još nekoliko desetaka koraka duž zida i to kada je vjetar bio relativno slab, odnosno iz S smjera, odnosno kad nije dolazilo do udara iz SE smjera. Vjerojatnost ove pretpostavke raste, ako se ima u vidu da je trajanje slabijeg vjetra dugotrajnije nego turbulentni udari.

7.2.2. Nastanak usmjerenog strujanja duž klanca

Na slici 7.13. prikazano je stablo u klanacu, sa osušenim i usmjerenim lišćem koje prati pravac klanca S - N.



Slika 7.13. Stablo u klanacu sa požarom isušenim lišćem usmjerenim na pravcu S-N (položaj 4 na slici 7.11). Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

I ovo je stablo kao i ono na prijevoju izgorjelo pri dnu a u potpunosti je osušeno do visine od oko 1,8 - 2 m iznad tla. Na sljedećoj slici 7.14. vidljiv je izraziti V oblik kotline,

te nešto veći uspon klanca iza područja visoke trave. Stablo sa slike 7.13. nalazi se u dijelu klanca ispod područja s bogatom vegetacijom.

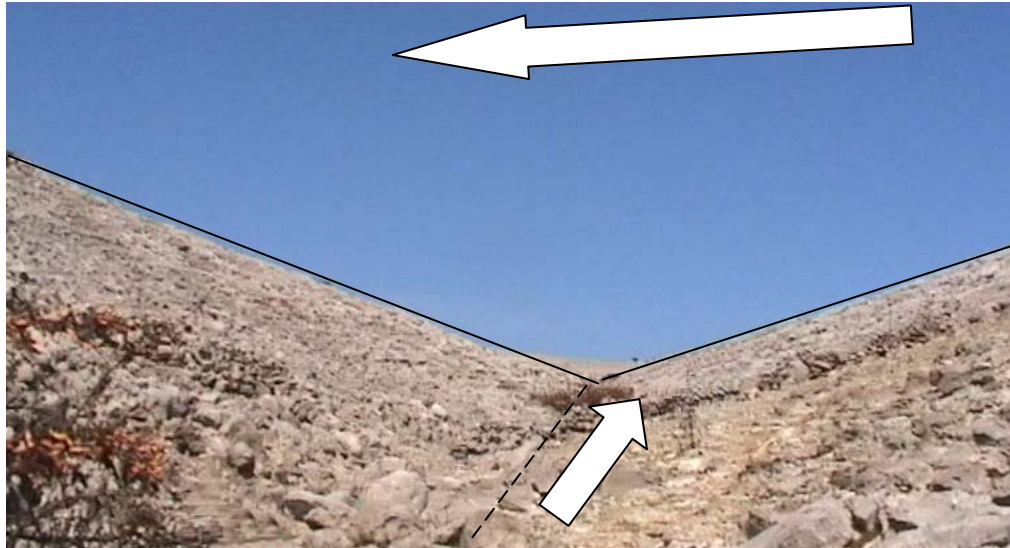


Slika 7.14. Klanac s vidljivim suhozidom koji prelazi preko područja visoke trave. U donjem lijevom kutu slike je stablo iz prethodnog opisa sa slike 7.13. Snimio B.Klarin 25. rujna 2007..

Postojanje područja više trave i V oblika dna kotline dva su najutjecajnija faktora koji su u slučaju zapaljenja visoke trave formirali izrazitiji uzgonski efekt (efekt dimnjaka) uz pretpostavku za formaciju nalijeganja vatrenog zida na tlo i izrazito brzog napredovanja vatrene fronte (eruptivno širenje požara) uz lokalno stvaranja vrlo velike količine vrućeg zraka. Može se i zaključiti da su produkti izgaranja i struja vrućeg zraka neometano pratili tok kotline prema mjestima gdje su bili vatrogasci.

7.2.3. Struja viših slojeva atmosfere iznad tla - nastajanje gornje granice

Treći faktor koji je najvjerojatnije imao važnu ulogu jest struja viših slojeva atmosfere, iznad 100 do 200 m, iz SE smjera. Kako ovu struju tvori u pravilu hladniji zrak, on stvara gornji, gušći tj. teži sloj koji zatvara konfiguraciju iznad V oblika kotline pod zidom, tvoreći zatvorenu konturu unutar koje struji slabija struja zraka iz S smjera. Prikaz ovog efekta dat je na slici 7.15.



Slika 7.15. Kotlina omeđena s nagnutim stijenkama V oblika na slici označena punom linijom _____ i visinskim SE strujanjem označenim velikom strelicom. Prikazan je pravac prostiranja kotline na slici označen iscrtkanom linijom ----- a manjom strelicom i smjer strujanja slabijeg vjetra iz S smjera. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Prateći kotlinu, dolaskom do zida, struja vrućeg zraka nastojala bi zaobići prepreku ali gornji brzi i hladniji sloj zraka siječe putanju ove struje i nastoji je usmjeriti duž zida.

7.3. Moguće pojave singulariteta

Iako se, zbog kontinuiteta strujanja kao neizbježne fizikalne zakonitosti, treba računati i na singularitete čija je posljedica vrtložno strujanje, prema najnovijim spoznajama temeljem uvida od 5. veljače 2008. ovakve se pojave mogu odbaciti kao uzrok stradavanja vatrogasaca.

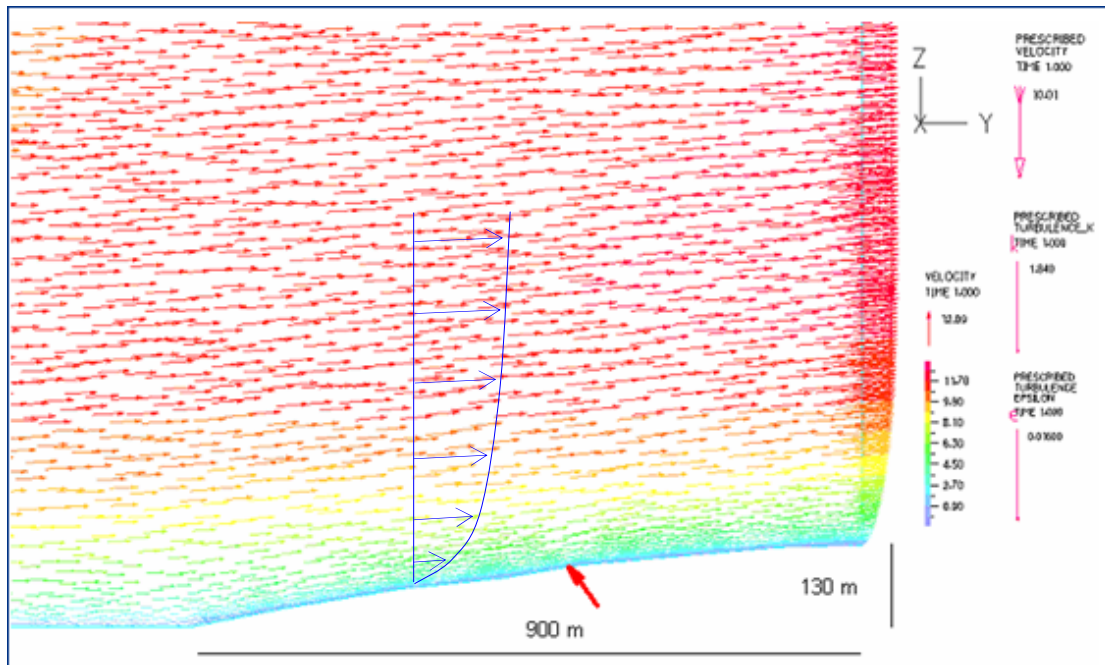
7.4. Rezultati preliminarnog numeričkog proračuna 2D profila brzina duž klanca

Prethodnim razmatranjima pridruženi su rezultati preliminarnog numeričkog proračuna visinskog 2D profila brzina za dio atmosfere iznad klanca, koji prati ulaz u klanac izložen SE vjetru sve do njegovog vrha odnosno do prijevoja brda prema drugoj strani otoka Kornat. Analiza je izvršena u programskom paketu ADINA, integriranom Navier-Stokes solveru, inačice 8.4. iz 2006. (ADINA 2006)

7.4.1. Rezultati preliminarnog numeričkog proračuna 2D profila brzina na pretpostavljenim glavnim pravcima strujanja (presječne ravnine)

Visinski i duljinski profil brzina odgovara razmjeru 1:1. Pretpostavljena je neporemećena ulazna brzina od 10 m/s a graničnom sloju ostavljen je razvoj od 2 km prije razmatranog područja. Isto tako, dozvoljen je visinski razvoj od 2 km. Zbog karaktera juga i zatečene kompleksne topografije, pretpostavljeno je turbulentno strujanje modelirano $K-\varepsilon$ modelom turbulencije sa pretpostavljenim parametrima turbulentne kinetičke energije $K=1.84$ i disipacijom $\varepsilon=0.016$. Ovi uvjeti zadani su na rubovima. Slobodna trokutna mreža generirana je sa 12864 čvora, fluid pretpostavljen kao nestlačljiv, gustoće 1.164 kg/m^3 i dinamičke viskoznosti $18.2748 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ u

gravitacijskom polju zemlje iznosa ubrzanja od 9.80665 m/s^2 . Primijenjena je iteracijska metoda sukcesivnih supstitucija sa relativnom tolerancijom 0.001 za zadane stupnjeve slobode. Proračun je konvergirao u 14 iteracijskih koraka. Dobivena je sljedeća razdioba brzina u okolišu klanca, Slika 7.24., na kojoj je strelicom označeno mjesto stradavanja vatrogasaca.

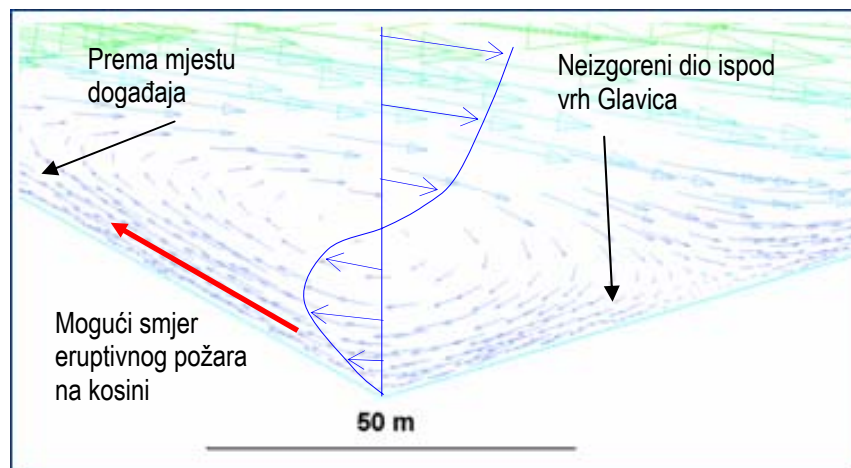
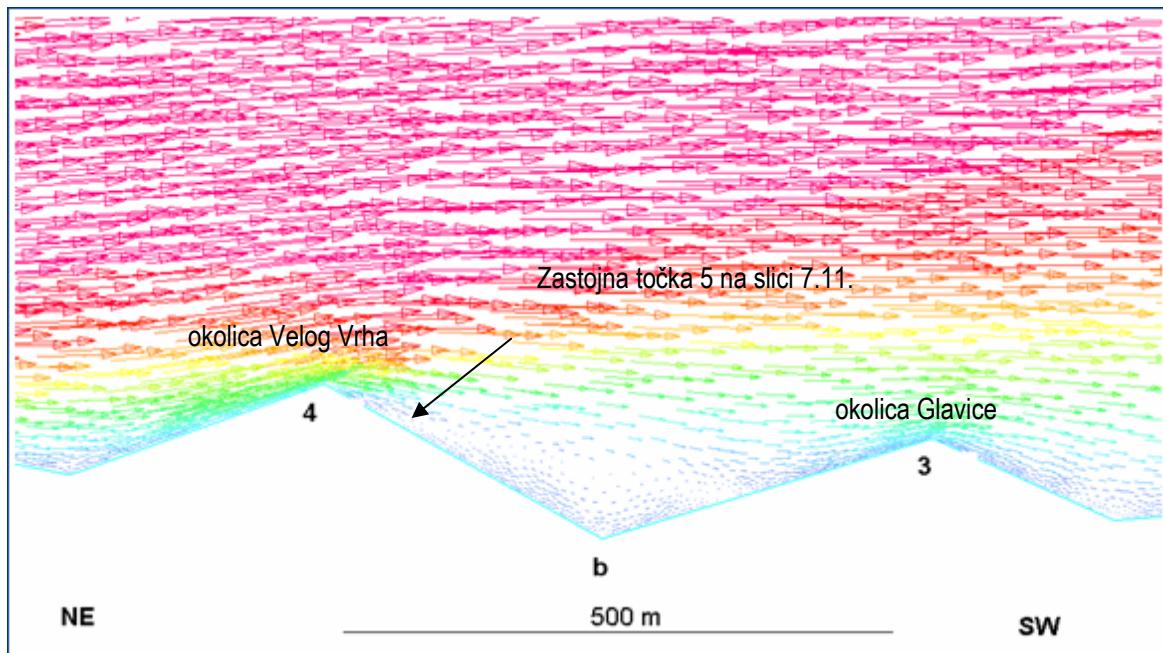


Slika 7.16. Razdioba vektora brzina iznad usjeka klanca iznad uvale Šipnata (2D).

Iako je turbulentno strujanje nestacionarnog karaktera, **slika predstavlja vremenski zamrznuto zatečeno stanje u jednom trenutku**. Vidljivo je da se penjanjem uz klanac prema visoravni formirani granični sloj nastoji stanjiti uslijed *speed-up* efekta. Isto tako, vidljivo je da narinuta brzina iznosa 10 m/s iz beskonačnosti u prizemnom sloju poprima relativno male iznose. Nadalje, ovdje je **razmatran utjecaj isključivo brzine vjetra ne i brzine uzrokovane uzgonskim strujanjem uslijed izgaranja**, što će biti predmet našeg budućeg istraživanja i analiza u okviru Centra za istraživanje požara otvorenog prostora u osnivanju. Dakle, ovo je procijenjeno proračunsko zatečeno stanje za vjetar brzine 10 m/s na visini od 10 m , **prije nego što je požarna fronta došla do klanca**.

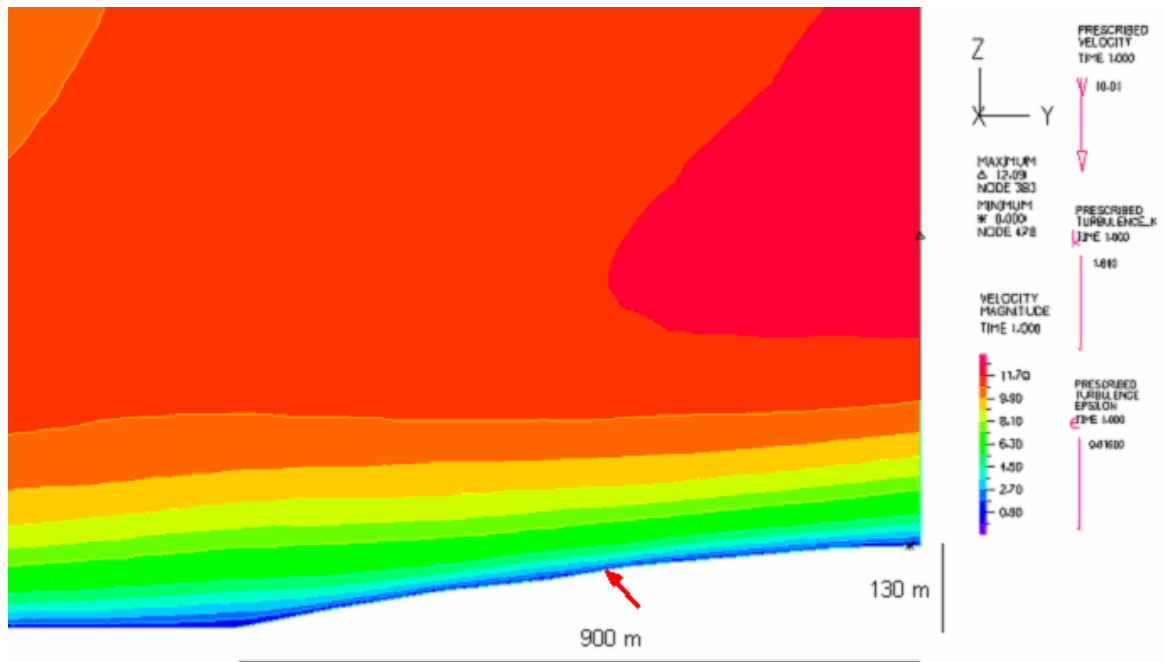
Za iste ulazne parametre, na slici 7.17. dana je pretpostavljena slika strujanja u poprečnom presjeku klanca (pravac NE-SW) odnosno uvećani detalj dna klanca (pravac 4-b-3) sa slike 3.2. (Napomena: ovo je pogled IZNAD klanca prema njegovom DNU). Vidljivo je inicijalno vrtloženje duž osi klanca, prije dodatnog unosa energije od strane gorenja, koje je moglo biti uzrok privremenog održavanja polegnutog vrtloga i njegovog progresivnog rasta.

Na slici se može prikazati i približna razdioba vektora brzina u presječnoj ravnini. Ova razdioba je važna jer ukazuje na poprečno strujanje obzirom na uzdužnu os klanca.



Slika 7.17. Pretpostavljena slika strujanja u poprečnom presjeku klanca (pravac NE-SW) i uvećani detalj dna klanca za iste ulazne parametre (pravac 4-b-3) sa slike 3.2.

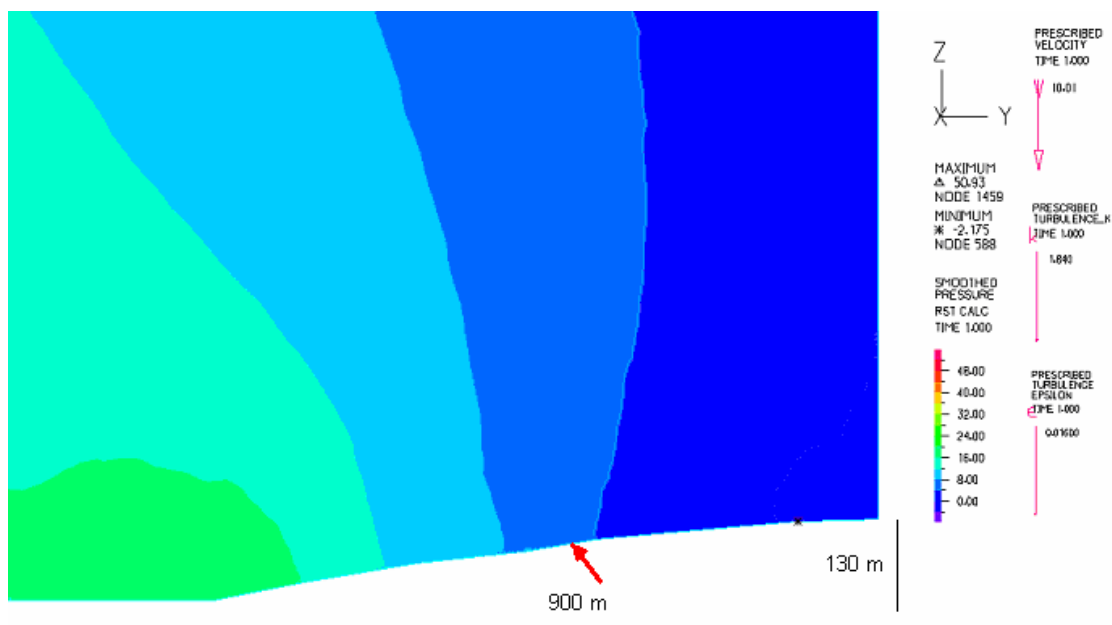
Kako bio se upotpunio i pojednostavnio izgled vektorske slike, na sljedećoj slici vektori su zamijenjeni poljem intenziteta brzina (slika 7.18).



Slik 7.18. Razdioba magnitude brzina iznad usjeka kotline iznad uvale Šipnata (2D).

Ova stanja su osnova za proračun tlaka prema Bernoulliju. Razdioba tlaka temeljem ovih brzina prikazana je na slici 7.19. Na ovoj slici je vidljivo kako tlak opada idući uz kosinu kotline zbog povećanja brzine.

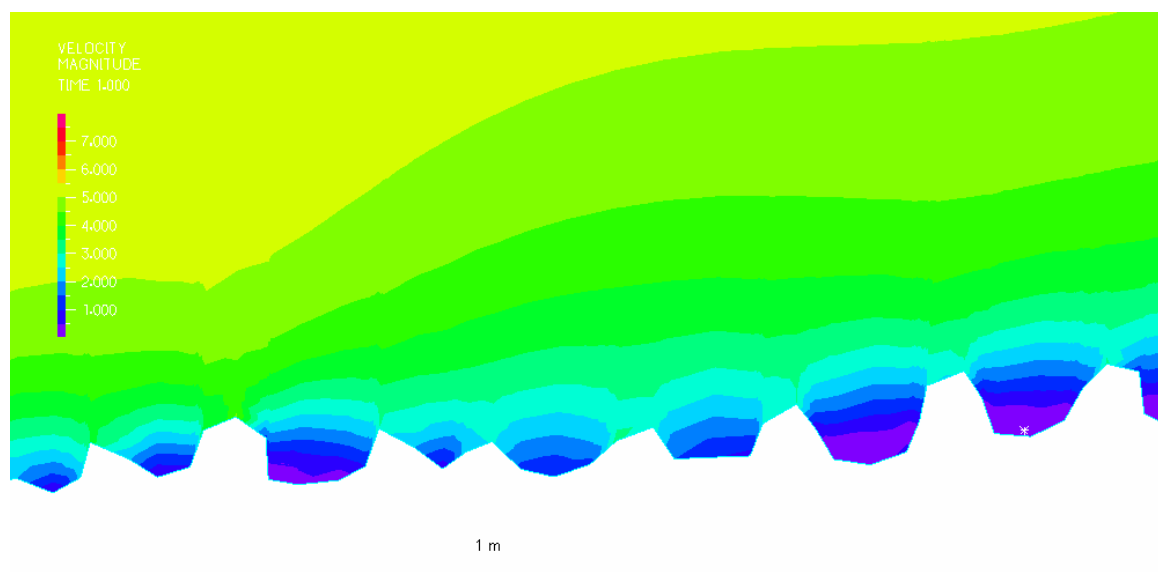
Ovako zatečena razlika tlakova mogla je pospješiti usisni i spomenuti efekt dimnjaka prilikom izgaranja.



Slika 7.19. Razdioba tlaka iznad usjeka klanca iznad uvale Šipnata (2D).

7.4.2. Rezultati preliminarnog numeričkog proračuna 2D profila brzina na pretpostavljenom odsječku terena

Već spomenuti lokalni efekti koji su mogli doprinijeti neravnomjernim razdiobama opeklina vidljivi su na slici 7.20. Slika prikazuje numerički proračun magnitude brzina iznad 2D aproksimacije presječnog stjenovitog terena, slična onoj koja se je mogla zateći na mjestu stradavanja. Slika je **navedena kao ilustracija i osim načelne sličnosti nema veze sa stvarnim stanjem na terenu**. Nastala je pod istim proračunskim uvjetima kao i proračuni u prethodnom poglavlju s tom razlikom što je ovdje na ulazu postojala brzina od 5 m/s.



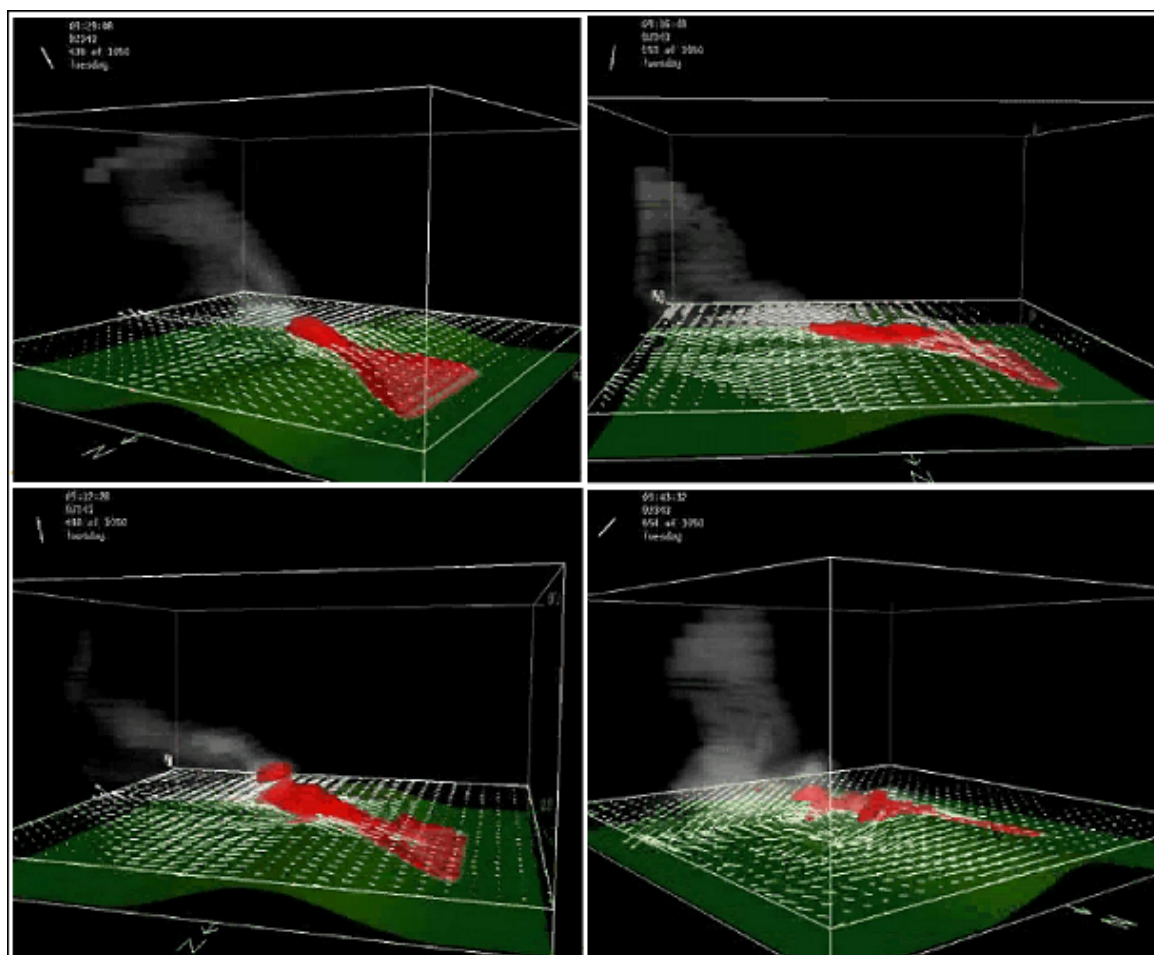
Slika 7.20. Ilustracija razdiobe magnitude brzina u prizemnom sloju zamišljenog presjeka kamenjara na Kornatima (2D).

Uočljivi su džepovi u kojima je brzina vrlo malog intenziteta kao i izboji brzina po vrhovima stijena. Vidljivo je da na udaljenostima od 0.5 do 1 m (duljine ekstremiteta) postoje lokalne razlike brzina i do 4 m/s. Brzine su proračunate **bez termalnog utjecaja tj. bez dodatnog utjecaja uzgonskih sila izgaranja uslijed požara**. Uz njih se pretpostavlja je da bi razlika brzina mogla biti samo veća, ali to će sigurno biti predmet budućih istraživanja Centra za istraživanje požara otvorenog prostora u osnivanju.

Ova slika može objasniti pojavu koja se je dogodila na mjestu kojeg je vektor strujanja označen brojem 9 na slici 7.11. Pojava se odnosi na raspršivanje dijelova izgorjele odjeće po stijenama niz pretpostavljenu brzinu struje toplog zraka. Struja je zahvaćala izgorjene dijelove odjeće i nosila sa sobom, međutim nailaskom na prepreku (gotovo okomite stijene) zračna struja se je prilagodila i zaobišla prepreku dok su teže čestice odnosno dijelovi rastaljene odjeće zbog inercije zadržali svoj prvotni smjer gibanja i udarali u prepreku (stijene), slika 2.34.

7.4.3. 3D simulacija - kombinacija aerodinamičkih i termodinamičkih modela

Još jedan put napominjemo da su u prethodna dva poglavlja simuliran samo utjecaj zračnih strujanja (vjetra), a ne uzgonskih strujanja uslijed izgaranja. Dodavanje i ovih efekata sigurno bi dalo puno potpuniju sliku, ali ovaj tip analize zahtjeva programske pakete koji kombiniraju termodinamičko – aerodinamička događanja. Njih, koliko je nama poznato, danas u Republici Hrvatskoj nema. Namjera nam je u okviru Centra za izučavanje požara otvorenog prostora (u osnivanju) nabaviti jedan takav programski paket. U međuvremenu u kontaktu smo s istraživačkom grupom prof. Janice Coean, koautorom kompleksnog CAFWE modela (Coupled Atmosphere - Wildland Fire - Environment Model) iz US NCAR (US National Center for Atmospheric Research) (CAFWE 2007), koji je u završnoj fazi, te ćemo, čim to bude moguće, situaciju u klancu nesreće simulirati i ovim modelom. Na slici 7.21. prikazan je primjer 3D simulacije ovim modelom, ali **naglašavamo ne za konfiguraciju koju smo imali na Kornatima**, već više kao ilustracija što 3D simulacija može pokazati.

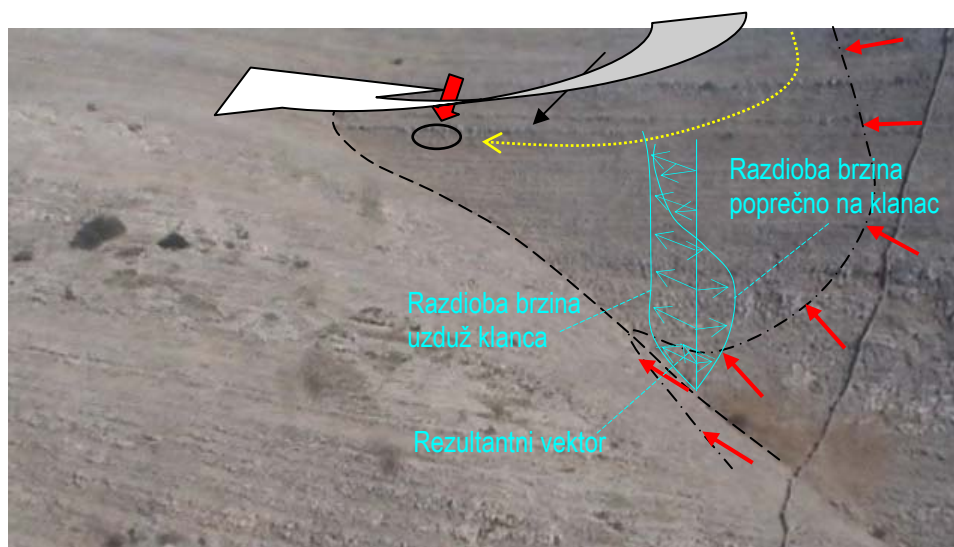


Slika 7.21. 3D simulacije dobivene CAFWE modelom koji kombinira termodinamiku i aerodinamiku za ravnu plohu konstantne vegetacije (Napomena: Ova konfiguracija terena **ne odgovara situaciji na Kornatu** i navodimo je više kao ilustraciju onoga što 3D CAFWE model može dati).

Prvi rezultati 3D simulacije situacije na Kornatima očekuju se tek za nekoliko mjeseci, međutim za sve bitne zaključke dostatne su analize koje smo do sada napravili i koje su napravljene odvojenim korištenjem aerodinamičkih, termodinamičkih i semi-empirijskih modela širenja požara.

7.4.4. Nastanak tunelskog efekta – horizontalno vrtloženje

Prema opažanjima turbulentni se udari iznad mjesta nesreće mogu očekivati svako nekoliko minuta iz SE smjera. Na visini od gotovo 200 m nad morem, prateći konfiguraciju okolnog terena, u vrijeme stradavanja postojala je jaka zračna struja iz smjera SE. Smjer ovog strujanja bio je gotovo podudaran sa smjerom postavljanja zida. Ovaj gornji sloj zraka bio je zagrijan uslijed požara iz središta otoka ali ipak hladniji od struje vrućeg zraka iz klanca. Samim time imao je veću gustoću tj. težinu i tako je formirana gornja granica do koje je dopirao topli zrak iz klanca. Ova granica bila je pomična jer je pratila SE smjer strujanja zraka, slika 7.22.



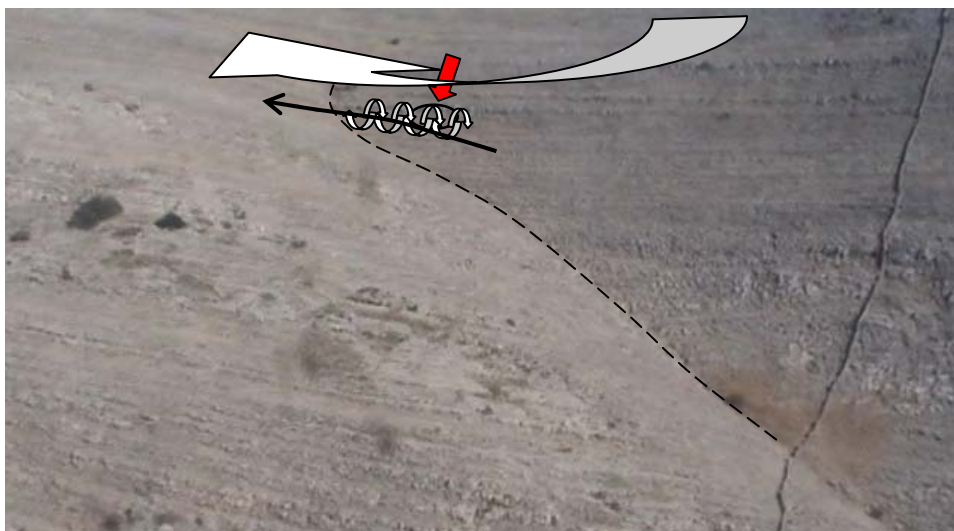
Slika 7.22. Najvjerojatnija linija požarne fronta rekonstruirana 5. veljače 2008. na mjestu događaja označena je linijom točka-crta -.- a strelice označavaju smjera širenja, dok je tijekom klanca označen crtkanom linijom ----. Velika strelica označava SE smjer strujanja visinskog sloj, tanka strelica pokazuje zid. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Struja vrućeg zraka nastala uslijed efekta naglog izgaranja suhog raslinja (na mjestu visoke trave i ostalog raslinja po terenu) je pomoću strujnog i uzgonskog efekta (rezultantni vektor brzina upravo u smjeru padine koja vodi prema vatrogascima) vrlo brzo došla prateći smjer nastanka vrtloga s južne strane zida, upravo do mjesta gdje je u tom trenutku nailazila prva grupa vatrogasaca nastojeći izbjeći vatrenu frontu ispod Velog Vrh. Naišavši na prepreku, ova je struja vrućeg zraka - vrtlog nastavila pratiti prepreku jer ga je sloj nešto hladnijeg zraka iznad njega pritisnuo i usmjerio uza zid, prema NW.

Ovaj bi se efekt nastajanja horizontalnog makro-vrtloga koji prati trenutno postavljene fizičke granice mogao nazvati tunelskim efektom - od strane kotline postojala je granica gdje se struja vrućeg zraka zbog uzgona više nije mogla vratiti a tlo i zid oblikovali su krute granice dok je sloj hladnijeg zraka tvorio prividnu gornju granicu. Iako je ovaj efekt sporedan u odnosu na ostale efekte, mogao je pridonijeti samoj pojavi i stradavanju.

7.4.5. Nastanak mezo-vrtloženja

Vrtložna struja iz klanca utrošila je dio kinetičke energije na trenje s podlogom tj. krutim granicama ali je ipak ostalo dovoljno energije da dosta homogeno nastavi pratiti zid prolazeći preko mjesta do kojeg su dolazili vatrogasci. Prije spomenuto, gotovo horizontalno vrtloženje, moglo se je zadržati djelomično stabilnim neko vrijeme (procjenjuje se red veličine nekoliko desetaka sekundi) dok je god pritjecala veća količina vrućeg zraka od progresivnog izgaranja i izboja iz srednjeg dijela klanca, odnosno dok ova struja nije oslabljena dogorijevanjem trave, slika 7.23. Za to vrijeme, pod turbulentnim udarom, zadržavao se je gornji sloj atmosfere i formirao gornju granicu.



Slika 7.23. Nastanak tunelskog efekta – nastajanje struje vrućeg zraka naglim izgaranjem visoke trave, nalijeganje i naglim gibanje prema zidu. Zaustavljanje i skretanje struje vrućeg zraka - nastajanje makro-vrtloga u podnožju zida i njegovo napredovanje duž zida. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

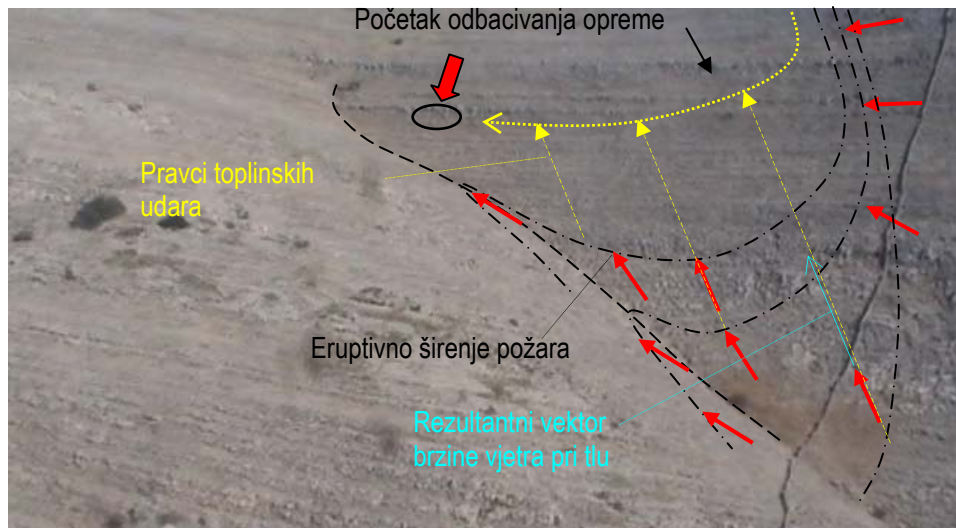
Svaka od brzina u manjim vrtlozima je vektorski zbroj komponenti, tako da su rezultatne brzine po iznosu veće od najveće komponente (relativna brzina, prividni vjetar). Zbog velikog unosa energije među čestice zraka došlo je do nesređenog (kaotičnog) strujanja čestica (mikro-vrtloženje), što je karakteristično za plamen i uočljiv fizikalni efekt bez potrebe za dokazivanjem (promatranje plamenog jezika).

Osim pretpostavljenog nastanka velikog makro-vrtloženja u podnožju zida te fizikalno jasnog mikro vrtloženja, procjenjuje se da je konfiguracija terena i oblik njegove površine uzrokovala je mrvljenje i usitnjavanje makro-vrtloga te formaciju lokaliziranih vrtloga ili usmjeravanja struje (mezo-vrtloženje). Ovo je posljedica pojačanog trenja s podlogom koje je moglo nastati i na mjestu nesreće.

7.4.6. Podudaranje smjera kretanja vatrogasaca i fronte širenja požara

Prema rekonstrukciji od 5.veljače 2008. može se zaključiti da se je smjer kretanja vatrogasaca poklapao sa smjerom nadiranja vatrena fronte uslijed požara. U trenutku prvog toplinskog udara, koje je vjerojatno nastupilo kad je vatrena fronta u dnu klanca zahvatila područje visoke trave, dolazi i do odbacivanja opreme. Tada je počeo bijeg pred stihijom po vrlo teškom terenu i to upravo u smjeru u kojem je bok vatrene stihija i

napredovao. Kako se, prema stvarni i eksperimentalno dokazanim spoznajama, eruptivno napredovanje najbrže širi bočno u nekom klanca tada struja prelazi i najveći put. Može se pretpostaviti da se je od dna klanca tj. od visoke trave prema vrhu, bočno kretanje eruptivne fronte i toplotni udari prema vatrogascima upravo poklapali s brzinom njihovog kretanja, slika 7.24.



Slika 7.24. Najvjerojatnija napredovanje eruptivne fronte i vatrogasaca te poklapanje mjesta udara – mjesta na kojima su se nalazili vatrogasci pod prvim naletima eruptivnog požara. Kako su se oni kretali duž zida, tako ih nalet novo izgorjene površine pratio. Snimio Branko Klarin 25. rujna 2007.

Prema opisanom scenariju, kako su se oni kretali duž zida, tako ih eruptivni nalet novo izgorjene površine pratio. Istovremeno, ovaj nalet bi se zavrtložio udarajući u visoki zid i pojačavao efekt.

Ovo poklapanje smjera kretanja i smjera širenja fronte uzrokovalo je udaranje na gotovo isto mjesto – a ovo je mjesto relativno mirovalo jer su se vatrogasci gibali u istom smjeru. Došlo je do velike koncentracije topline uslijed udara ali i njene akumulacije u tijelima koja su se gibala gotovo u samom vršku toplotnog udara, pojačavajući time sve toplinske efekte.

7.5. Zaključci vezani uz aerodinamičke aspekte događanja na otoku Kornatu 30.kolovoza 2007.

Prema do sada dostupnim spoznajama moguće je pretpostavke koje su se aerodinamičke pojave mogle dogoditi na mjestu nesreće. Najvjerojatnije je došlo do poklapanje više nepovoljnih okolnosti koji su se nadograđivale jedna na drugu, te zajedno doprinijele nesreći.

Okolnosti koje su mogle dovesti do nesreće

1. Usmjerenost klanca i padine prema putu kojim je išla glavnina vatrogasaca nastojeći izbjeći plamenu frontu – skupina se je našla približno u smjeru puhanja vjetra odnosno resultantnog strujanja pri tlu gledajući od smjera dna klanca prema liniji puta vatrogasaca,

2. Visina zida koja je predstavlja prepreku slobodnom strujanju te pospješila pojavu lokalnog vrtloženja istovremeno svojom visinom sprečavajući vatrogasce da se sklone od nadiruće struje vrućeg zraka,
3. Razlika u smjerovima gibanja donjih i gornjih slojeva atmosfere – formacija tunelskog efekta tj. efekta dimnjaka pojačanog prisustvom visokog zida,
4. Položaj visoke trave – ispred najvećeg nagiba klanca a prema putu kojim su se kretali što pogodno za nagli toplinski izboj upravo prema toj liniji puta. Pretpostavka je da je toplinski izboj od visoke trave nastao uslijed brzog nadiranja vatrene fronte iz dna klanca preko prijevoja, što oni nisu mogli vidjeti i to upravo u trenutku kad se je skupina vatrogasaca našla na liniji okomitoj na pridnenu struju koja je dolazila uz padinu iz dna klanca. Budući da nije bilo prirodnih prepreka, da je postignut kritični nagib terena, nalijeganje zračne struje na padinu stvoreni su svi uvjeti za eruptivno djelovanje požara. Pojedini vatrogasci uporno ističu da su u stanju preskočiti vatreni zid i naći se s "druge strane", gdje je izgaranje već obavljeno a količina topline bitno manja. Tada to nije bilo moguće jer je vrući zrak nadirao mnogo prije nego se je pojavila vatrena fronta pa je nisu ni mogli preskočiti,
5. Izraziti V oblik kotline – pretpostavka za kanaliziranje struje vrućeg zraka u naglom toplinskom izboju duž dna klanca čime je vatrena linija pretekla vatrogasce – istovremeno je strujanjem zraka prema liniji njihovog puta došlo do daljnjeg eruptivnog efekta,
6. Neravnomjerna razdioba gorive materije u samom dnu klanca V oblika – pogodna za dodatni lokalni unos energije i brzo napredovanje vatrene fronte po dnu klanca a ispred skupine vatrogasaca, koji na mjestima B i C zakreću prema sjeveru jer ih je vatra vjerojatno već prestigla i počela napredovati preko prijevoja iznad vrha Glavica a preko mjesta 6, 7 i 8.
7. Putanja vatrogasaca je bila upravo u smjeru vrha kojeg čini dno klanca i visoki zid. Idući duž zida i u njegovoj blizini (u fazi bijega) vatrogasci su se izložili nizu nepovoljnih okolnosti: vrtloženjima u okolišu zida, pojačanog lokalnog strujanja i položaju na kojem ih može zahvatiti eruptivni požar od dna,
8. Kraški teren – pogodan za preusmjeravanje strujanja vrućeg zraka u različitim smjerovima i lokalno kaotično gibanje vrućih plinova,
9. Mjesto na kojem su se vatrogasci zatekli – sve tri mjesta (A, B i C) bila su na direktnoj putanji toplinskog udara. Nakon formiranja zaustavnog vrtloga na lokaciji A, struja vrućeg zraka se nastavila kretati prema vrhu kotline i lokacijama B i C. što se vidi i na usmjerenjima spaljenog i dehidriranog lišća.

Poklapanjem ovog niza okolnosti, u klanu iznad uvale Šipnate na dan 30.kolovoza 2007. **moglo je doći** do nestandardne pojave formiranja **turbulentnog graničnog sloja** visine do maksimalno 2.5 m. Turbulentni granični sloj mogao je nastati kombiniranim djelovanjem naglog izgaranja vegetacije, puhanja vjetra u smjeru osi kanjona i uz padinu prema visoravni između Velog Vrh i vrha Meja te naleta bočne struje u višim dijelovima preko istočnih padina brda Veli vrh. Postojanje turbulentnog graničnog sloja i naglo zapaljenje 300 metarske dionice na putu požarne fronte prema mjestu nesreće mogući je "okidač" za fenomen koji je uveden i detaljno opisan u Poglavlju 8. kao "brzi toplinski udar".

Potvrdu naših razmišljanja našli smo i u literaturi što smo već i spomenuli u Poglavlju 6.3.2. Peuch (Peuch 2007) spominje mogućnost zatvaranja vrućeg zraka i dimova u zatvoreni virtualni prostor ukoliko ruba kanjona puše jaki vjetar. Osim toga na mjestu nesreće i u vrijeme nesreće bili su ispunjeni uvjeti za formiranje polegnutog vatrene

vertloga te njegovo raspršivanje u manje mezo-vertloge koje je moglo izazvati kratkotrajno kaotično gibanje vrućeg zraka (a ne plamena) u području najveće disipacije energije. Napominjemo vrtložno i kaotično gibanje zraka, a ne plamena, što znači da je moguće da je za promatrača pojava ovakvog gibanja nije bila vizualno uočljiva kao u slučaju klasičnog plamenog vatreneog vertloga.

Ovi zaključci i pretpostavke vezani s aerodinamičkim zbivanjima, napisani su s namjerom da budu podloge i smjernice za promišljanje ostalim članovima ekspertnog tima vezanih uz problematiku njihove ekspertize, a posebno termodinamičke analize koja slijedi u slijedećem poglavlju.

Situaciju u klancu nesreće analizirali smo i numeričkim proračunom visinskog 2D profila brzina za dio atmosfere iznad kotline korištenjem programskom paketu ADINA, integriranom Navier-Stokes solveru. U ovom je trenutku razmatran isključivo utjecaj brzine vjetra, a ne i brzine uzrokovane uzgonskim strujanjem uslijed izgaranja. Međutim i ovaj samo aerodinamički model ukazuje da tlak opada idući uz kosinu kotline zbog povećanja brzine. Ovako zatečena razlika tlakova mogla je pospješiti usisni i spomenuti efekt dimnjaka prilikom izgaranja. Numerički proračun magnitude brzina iznad 2D aproksimacije presječenog stjenovitog terena, slična onoj koja se je mogla zateći na mjestu stradavanja ukazuje na mogućnost lokalni efekata koji su mogli doprinijeti neravnomjernim razdiobama opeklina. Simulacija pokazuje da je da na udaljenostima od 0.5 do 1 m (duljine ekstremiteta) postoje lokalne razlike brzina strujanja i do 4 m/s.

Još jedan put napominjemo da su simuliran samo utjecaj zračnih strujanja (vjetra), a ne uzgonskih strujanja uslijed izgaranja. Kombiniranje i ovih efekata sigurno bi dalo puno potpuniju sliku, ali ovaj tip analize zahtjeva programske pakete koji kombiniraju termodinamičko – aerodinamička događanja. Njih, koliko je nama poznato danas nema u Republici Hrvatskoj. Namjera nam je u okviru Centra za izučavanje požara otvorenog prostora u osnivanju nabaviti jedan takav programski paket, a u međuvremenu u kontaktu smo s istraživačkom grupom prof. Janice Coen, koautorom kompleksnog CAFWE modela (Coupled Atmosphere - Wildland Fire - Environment Model) iz US NCAR (US National Center for Atmospheric Research) (CAFWE 2007), koji je u završnoj fazi te ćemo, čim to bude moguće situaciju u klancu nesreće simulirati i ovim modelom.

Na ovom mjestu želimo još samo razjasniti pojam koji se u posljednje vrijeme dosta spominje, a to je 3D simulacija događanja na Kornatima, ali se najčešće na krivi način interpretira. 3D simulacija uključuje korištenje termodinamičkih i aerodinamičkih modela koji u svakoj točki prostora proračunaju vrijednosti svih relevantnih parametara, kao što su tlakovi, temperature, vektori strujanja. Ovi se proračuni nakon toga kombiniraju sa 3D modelom prostora i dobije se 3D simulacija. To je upravo ovo što mi namjeravamo napraviti u suradnji s dr.sc. Janice Coen.

Međutim postoji i postupak koji se zove 3D vizualizacija požarnog događanja koji ne uključuje matematički proračun termodinamičkih i aerodinamičkih parametara, već se u 3D prostor unesu pretpostavljene putanje kretanja vatre i samo zorno vizualiziraju u nekom od programskih paketa 3D vizualizacije. 3D vizualizacija ne daje fizikalnu sliku mogućih događanja, ona samo na zgodan način, u maniri crtanog filma, vizualizira što se događalo. Iako smo u početku i mi razmišljali o vizualizaciji događanja, zaključili smo da bez relevantnog matematičkog i to kombiniranog termodinamičko – aerodinamičkog modela vizualizacija ništa bitno ne doprinosi boljem razumijevanju fizikalnih događanja na mjestu nesreće, a s druge strane vremenski je dosta zahtjevna, pa smo od nje odustali.

Za sadašnji stupanj razumijevanja mogućih događanja smatramo da je ovo što smo napravili odvojenim korištenjem aerodinamičkih, termodinamičkih i modela širenja požara dovoljno.

Na kraju ovog aerodinamičkog dijela naglasimo da smatramo da bi istraživanje bilo potpuno kada bi se ove pojave istražile i eksperimentalno, te bi ih trebalo pokušati rekonstruirati u laboratorijski kontroliranim uvjetima na skaliranom reljefu terena usklađenom sa stvarnom situacijom po teoriji sličnosti. Nadamo se da će to uskoro biti i moguće. U tijeku je postupak osnivanju *Centra za istraživanje požara otvorenog prostora* pri Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu u čijem sastavu bi trebao djelovati i aerodinamički – termodinamički laboratorij. U njemu bi u budućnosti bilo moguće, u laboratorijski kontroliranim uvjetima detaljno istraživati ovakve i slične pojave.

7.5. Literatura

Literatura koju smo koristili u analizama ovog poglavlja dana je u poglavlju 11.

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U SPLITU



POGLAVLJE 8

TERMODINAMIČKA OCJENA MOGUĆNOSTI
BRZOG TOPLINSKOG UDARA

AUTORI:
PROF.DR.SC.NEVEN NINIĆ
SANDRO NIŽETIĆ, DIPL.ING.

SPLIT 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	3
8. TERMODINAMIČKA OCJENA MOGUĆNOSTI BRZOG TOPLINSKOG UDARA.....	4
8.1. STRUJNE OSNOVE.....	4
8.2. FIZIČKI MODEL.....	6
8.2.1. Turbulentni granični sloj.....	6
8.2.2. Prvi zakon termodinamike.....	8
8.2.3. Utjecaj ulaznih podataka na parametre na mjestu nesreće.....	11
8.2.4. Ocjena mogućnosti.....	13
8.2.5. Topljenje aluminijskih spojnica.....	14
8.3. ZAKLJUČAK.....	16
8.4. LITERATURA.....	17

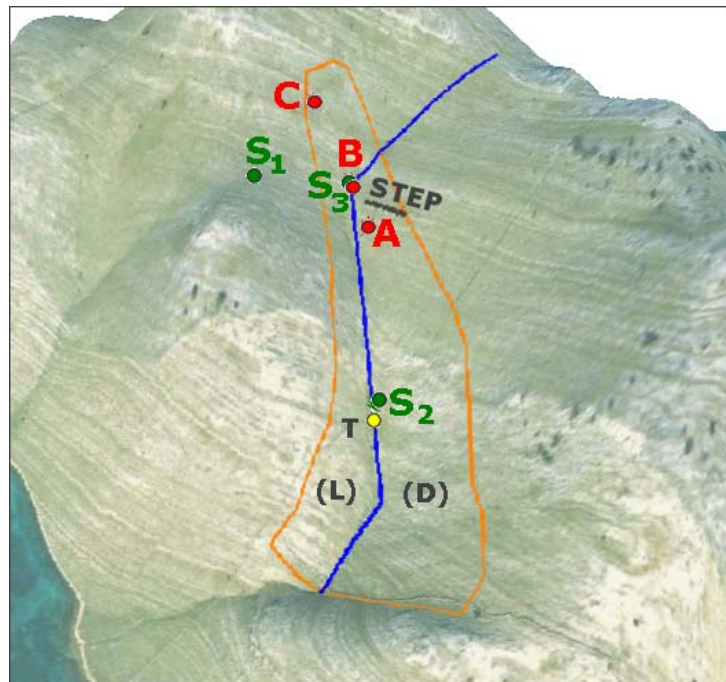
8. TERMODINAMIČKA OCJENA MOGUĆNOSTI BRZOG TOPLINSKOG UDARA

U ovom dijelu analize vezanoj za požar na Kornatu 30. kolovoza 2007. godine, **ne tumači se**, kao što je naglašeno u uvodu, **što se stvarno dogodilo**, zato što za to nemamo niti dovoljno podataka, niti dovoljno točan fizički i matematički model pojave. Ovdje se daje analiza **što se moglo dogoditi sa stajališta osnovnih fizikalnih zakona**, u ovom slučaju zakona termodinamike, kinetike i mehanike, a na osnovu podataka kojima smo raspolagali. Postavljen je pojednostavljen fizički model pojave koji se oslanja na razmatranja o strujanju zraka u području mjesta nesreće na dan 30. kolovoza 2007. oko 15 sati i 30 min.

8.1. Strujne osnove

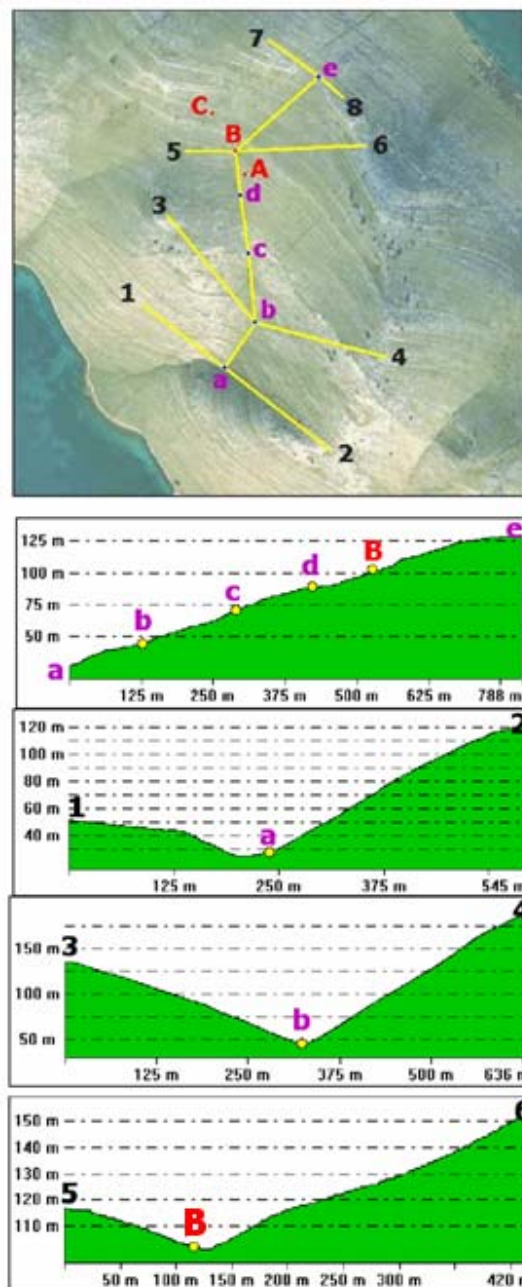
Prema danim meteorološkim podacima i prethodnom poglavlju koji se bavi aerodinamičkim aspektima događanja na mjestu nesreće srednja brzina vjetra bila je na visini od 10 m iznad tla oko 10.0 m/s. Karakteristika puhanja juga (smjer SE) na mjestu nesreće je da puše s promjenjivom brzinom: 20 – 30 s nešto većom od prosječne, a grubo uzevši, 2 – 3 minuta ispod prosječne. U periodima manje brzine utjecaj reljefa je veći, pa je pretpostavljeno da je tada smjer vjetra pri tlu bio približno u smjeru prostiranja i penjanja doline, od juga ka sjeveru. U periodima veće brzine prevladavajući smjer – naročito nešto više iznad tla – bio je jugoistočni.

Na slici 8.1. je pojednostavljeno prikazan oko 350 m dugački dio doline koji se penje prema sjeveru, sa naznačenim mjestima pogibije vatrogasaca A, B i C. Točke B je na liniji dna doline, točka A na desnoj strani doline (D) malo udaljena od crte dna doline, a točka C iznad se nalazi prema vrhu Meja.



Slika 8.1. Pojednostavljeni tlocrt doline sa mjestima stradanja A, B, C (plavo os klanac, narančasto analizirano područje na kojem se mogao dogoditi brzi toplinski udar)

Uspón dna doline je u prosjeku oko 8° . Na mjestu točke T niski suhozid presijeca dno doline. U zoni mjesta stradanja dolinu presijeca i jedna prirodna stepenica visine oko 3,0 m (na slici označena sa STEP). Uzdužni profil crte dna doline i nekoliko poprečnih presjeka prikazani su u mjerilu na Slici 8.2. Prema rečenom osnovni je tok zraka kroz dolinu pri tlu bio prizemno od juga ka sjeveru. Za vrijeme širenja požara, na prizemnu vruću struju produkata izgaranja djelovala je i uzgonska sila uvis. U periodu povećane brzine vjetra iz jugoistočnog smjera gornji dio struje toplog zraka bivao je prema tome djelomično zahvaćen prema lijevoj padini, gledajući s juga. Gornji sloj tople struje, ograničen po visini hladnim vjetrom iz jugoistočnog smjera, ostavio je na prijevodu lijeve strane doline (L) trag na stablu označenom na slici S1. Trag je po usmjerenosti dehidriranog lišća u smjeru od jugoistoka, a po visini do oko 2.2 m (vrh stabla je ostao zelen, prizemni dio je samo nagorio).



Slika 8.2. Uzdužni profil crte dna doline i nekoliko poprečnih profila

Drugo stablo opisano u istom elaboratu nalazi se u dolini, nešto sjevernije od točke T, na slici označeno sa S2. I ovo stablo ima dehidrirano lišće i deblo do visine od oko 1.5 – 1.8 m, ali u smjeru duž doline, u smjeru od juga. Skupina stabala kod mjesta stradanja B, označena sa S3 nagorjela je do visine od oko 2.5 - 3 m, sa dehidriranim lišćem u smjeru od juga ka sjeveru.

U poglavlju 7. se navodi još jedan podatak koji ukazuje na smjer i brzinu gibanja zraka u prizemnom sloju trenucima nesreće. To je dvostruki trag goruće odjeće (50% sintetika i 50% pamuk)-dolje na tlu i vodoravno na vertikalnoj stijeni-zbog nošenja kapljica jakim vjetrom u smjeru jug sjever.

8.2. Fizički model

Prema gornjim zapaženim činjenicama u elaboratu o strujnom aspektu osnovano se daje mišljenje da najniži sloj vruće prizemne struje udar jugoistočnog vjetra nije bitno skretao iz smjera duž doline, prema gore. Gibajući se u tom smjeru, ta prizemna struja je u vrijeme širenja požara nailazila na veću koncentraciju trave baš oko točke T, na oko 2000 m², na desnoj strani uz dno doline, na ulazu u nešto strmiji dio doline. Prelazila je preko stabla S2 oko točke T i preko stabala S3 kod mjesta nesreće. Drugim riječima, uz dno doline se, uključujući dio njene desne strane, formirao turbulentni granični sloj. On je na mjestu stradanja bio visok oko 2.5 m, a na oko 300 m uz vjetar (južno) oko 1.7 m. Brzinu strujanja na njegovoj gornjoj granici procjenjujemo s obzirom na meteorološki podatak i na utjecaj reljefa na oko 10.0 m/s.

Dok se granica plamena pomicala relativno sporo uz dolinu, ovaj se granični sloj kao relativno hladan mogao "prelijevati" preko vatrogasaca. Zdravo-razumski je pretpostaviti da je promjena toga graničnog sloja iz relativno hladnog u vreli mogla biti dovoljno brza da vatrogasci nisu stigli pobjeći. Trajanje njegove vruće faze zavisilo je od količine naglo zahvaćene trave. Relativno velika koncentracija trave visoke oko 60 cm oko mjesta T u trenutku zapaljenja mogla je izazvati visok plamen, kojeg je prizemni vjetar, zajedno sa "varnicama" savio i ponio uz dolinu. Mogućnost da pritom dođe do vrtložnih vatrenih stupova i posebno visokih vatrenih jezika je također realna, kao što se navodi i u drugom dijelu poglavlja 7. No sa ili bez pojave lokalnih vrtloga, viši plamen i varnice nastale zapaljenjem već suhe i zagrijane gušće trave oko točke T mogli su izazvati zapaljenja na dionici niz vjetar na više mjesta istovremeno. Učinak bi bio naglo zapaljenje cijele dionice od oko 300 m, slično pojavi eruptivnog požara. U poglavlju 6. je, primjenom polu-empirijskih numeričkih modela nađeno da je u okolnostima na Kornatu moglo biti elemenata eruptivnog požara.

U svakom slučaju, cijela 300 metarska dionica niz vjetar do mjesta stradanja mogla je planuti u vrlo kratkom vremenu. Ako ništa treće nije bilo po srijedi, vatrogasce je iznenadilo upravo to.

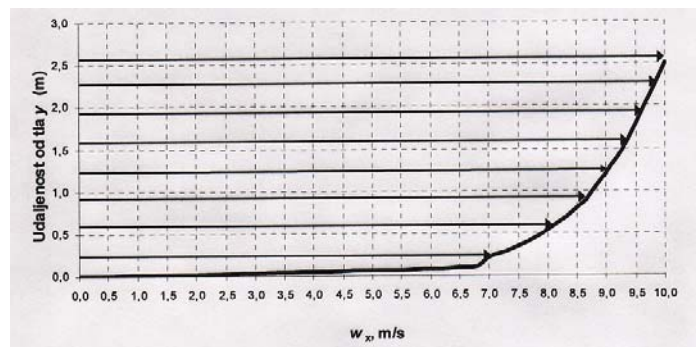
8.2.1. Turbulentni granični sloj

Turbulentni granični sloj sa gornjom brzinom $w_{max} = 10.0$ m/s i debljinom $\delta = 2.5$ m, za nestlačivi fluid ima profil brzine određen sa

$$w(y) = w_{max} \left(\frac{y}{2.5} \right)^{1/7} \quad (8.1)$$

prikazan na Slici 8.3.

y (m)	w (m/s)
2,5	10,0
1,6	9,4
1,2	9,0
0,8	8,5
0,4	7,7
0,2	7,0
0,1	6,7



Slika 8.3. Profil brzine u hladnom graničnom sloju uz tlo

Slijedi da je faktor umanjavanja protoka u graničnom sloju prema protoku bez utjecaja tla oko $\varphi = 0.86$. No s obzirom na temperaturno širenje zraka i s obzirom na utjecaj uzgonske sile na povećanje debljine (visine) graničnog sloja, ovaj faktor je nakon prelaska relativno hladnog sloja u vrući bio i manji. U nastavku procijenit će se i utjecaj tog faktora na proračun. Za jediničnu širinu graničnog sloja, njegov se protok na mjestu stradanja može procijeniti sa

$$\dot{m}_z = \rho_a \cdot \frac{T_a}{T} \cdot w_{\max} \cdot \varphi \cdot \delta \quad (8.2)$$

gdje su ρ_a gustoća atmosferskog zraka, T_a i T temperature atmosferskog i vrućeg zraka. Pretpostavimo li srednju temperaturu graničnog sloja na mjestu stradanja 423 K, a $\varphi = 0.50$ slijedi

$$\dot{m}_z = 1.2 \cdot \frac{300}{423} \cdot 10 \cdot 0.5 \cdot 2.5 = 10.6 \text{ kg/s} \quad (8.3)$$

Pretpostavimo sada da se naglo širenje plamena dogodilo preko one dionice do mjesta stradanja, na kojoj počinje veća strmina i na dnu koje je bila zona guste trave. Na toj dionici, dugoj oko $L = 250$ m bilo je, po podacima koje smo dobili, trave najmanje $g_g = 0.62 - 0.76 \text{ kg/m}^2$. U daljnjem proračunu uzeti ćemo u obzir manju vrijednost od $g_g = 0.6 \text{ kg/m}^2$. Odatle slijedi da je količina trave kao goriva G_g na dionici po 1 metru širine:

$$G_g = g_g \cdot L = 0.6 \text{ kg/m}^2 \cdot 250 \text{ m} = 150 \text{ kg/m} \quad (8.4)$$

U nedostatku podataka o elementarnom sastavu trave, odnosno gorivog materijala s kojim računamo, moramo dosta grubo procijeniti minimalnu količinu zraka potrebnu za potpuno izgaranje 1 kg trave $g_{z_{\min}}$. To je oko 8 kg zraka po kg trave (za tekuća ugljikovodična goriva to je oko 15, ali je s obzirom na omjer toplinskih moći – za suhu travu je prema dobivenim podacima oko 16000 kJ/kg, a za tekuće gorivo oko 40000 kJ/kg

- travi je dovoljno i manje zraka). O suhoći trave govori meteorološki podatak da su zadnje slabe oborine na tom području pale 20-ak dana prije požara.

Računajući namjerno s opasnim slučajem relativno malog viška zraka potrebnog za izgaranje ($\lambda=1.5$), količina zraka potrebna da izgori sva trava na dionici je

$$G_z = G_g \cdot g_{z_{\min}} \cdot \lambda = 150 \cdot 8 \cdot 1.5 = 1800 \text{ kg zraka} \quad (8.5)$$

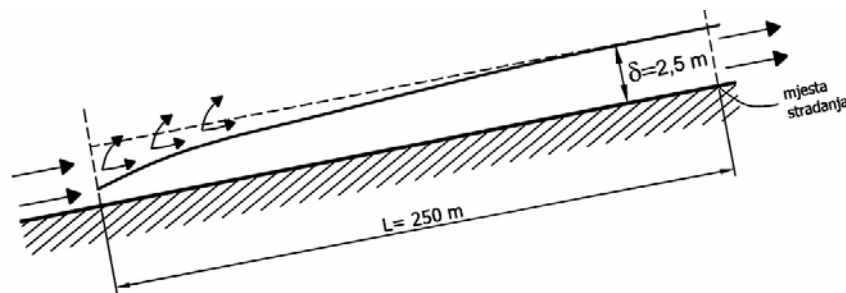
Ovoliko zraka prođe kroz granični sloj na mjestu stradanja za

$$\Delta\tau = \frac{G_z}{\dot{m}_z} = 1800 / 10.6 = 169 \text{ s} = 2.8 \text{ min} \quad (8.6)$$

Inače, prema rezultatima nekih pokusa vrijeme izgaranja trave je oko 12 s, ali u uvjetima koji nisu karakteristični za prilike na Kornatu (vjetar, duboke škrape u kamenju, goriva tvar i na dnu tih škrapa, ograničena količina kisika iz zraka). No taj podatak o znatno većoj brzini izgaranja u okolnostima bolje dostupnosti zraka opravdava našu prešutnu pretpostavku da u okolnostima nesreće sama kemijska kinetika nije diktirala brzinu procesa. Nju je u prosjeku diktirala raspoloživa količina zraka.

8.2.2. Prvi zakon termodinamike

Na slici 8.4. prikazana je shema ulaska relativno hladnog zraka u zonu graničnog sloja i izlaska vrućeg, za vrijeme strujanja preko goreće trave na tlu, na dionici naglo zahvaćenoj plamenom. Temperatura koju bi imali produkti izgaranja na izlasku iz plamena slijedi iz Prvog zakona termodinamike, odnosno iz približne bilance energije za produkte izgaranja u zoni graničnog sloja, u sekundi, tijekom izgaranja naglo zahvaćene trave (vidi sliku 8.4):



Slika 8.4. Shematski prikaz graničnog sloja dionice duljine L

$$\left(\dot{m}_z + \dot{G}_g\right) \cdot c_p \cdot (T - T_a) = \dot{G}_g \cdot H_d - \dot{E}_{zr} \quad (8.7)$$

Ovdje je \dot{m}_z protok zraka, T srednja temperatura u vertikalnom presjeku na mjestu nesreće, T_a temperatura okolnog zraka. \dot{G}_g je brzina izgaranja trave na dionici, H_d je

njena donja toplinska moć, \dot{E}_{zr} , je tok energije zračenjem u polu-prostor, tj. približni gubitak topline zračenjem plamena.

Strelicama je na slici naznačen ulaz atmosferskog zraka, s tim da su zanemareni konvektivni gubici s gornje strane sloja (temperaturni granični sloj, grubo, nije prelazio debljinu od 2.5 m) i da je zanemarena određena povišenost temperature dijela zraka na ulazu u kontrolnu zonu.

Plameni sloj trave mogao je prema podacima o tipičnim temperaturama pri izgaranju trave imati temperaturu T_{pl} između 800 K i 1000 K, a približni tok energije zračenjem je :

$$\dot{E}_{zr} \cong \sigma \cdot L \cdot \left[\left(\frac{T_{pl}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (8.8)$$

Usvajajući $T_{pl} = 973$ K i rješavajući jednadžbu (8.7) po T pokušavanjem slijedi približno u zoni stradanja

$$T = 423 \text{ K (150 °C)}$$

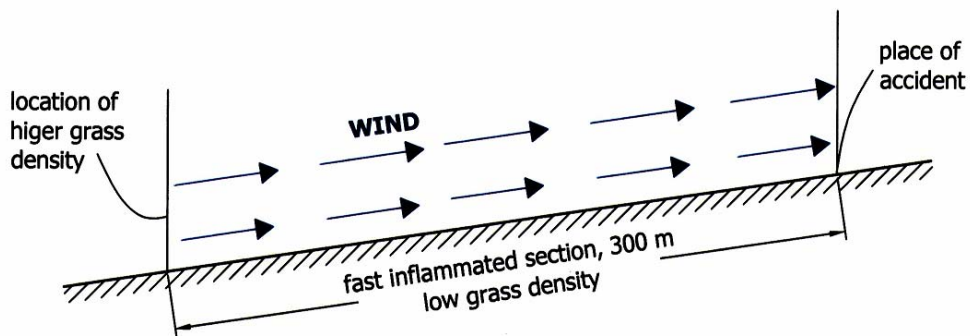
što se približno slaže sa pretpostavljenom srednjom temperaturom zraka i produkata izgaranja na mjestu stradanja (tome režimu odgovara prvi red priložene tablice 8.1., u kojemu su rezultati točnijeg iteriranja).

U pogledu izbora temperature plamena učinjena je aproksimacija pratećih okolnosti, a koje nije bilo moguće uzeti u obzir pojedinačno. To su utjecaji nehomogenosti biljnog pokrova na površinu plamena, te utjecaj pristunog dima, uglavnom kao apsorbera zračenja.

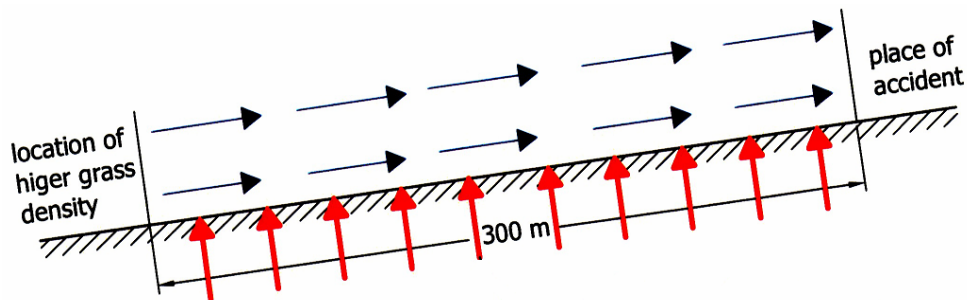
Temperatura T na mjestu nesreće je računata kao srednja protočna. U stvarnosti je moglo biti nehomogenosti u vertikalnom presjeku, naročito ako su do mjesta nesreće stigli plameni jezici uz same vruće produkte izgaranja. Sam plamen sadrži i užarene čestice neizgorenog ugljika, pa je više temperature od T i od temperature okolnih produkata izgaranja.

U svakom slučaju, za cijeli niz gore dosta slobodno pretpostavljenih podataka, u zoni mjesta stradanja se u vrlo kratkom vremenu-moguće i za samo 15 sekundi-moglo uspostaviti strujanje vrelog zraka temperature oko 200 °C debljine sloja oko 2.5 m, a u trajanju od 1.5 min do 5 minuta (vidi tablicu utjecaja parametara 8.1.).

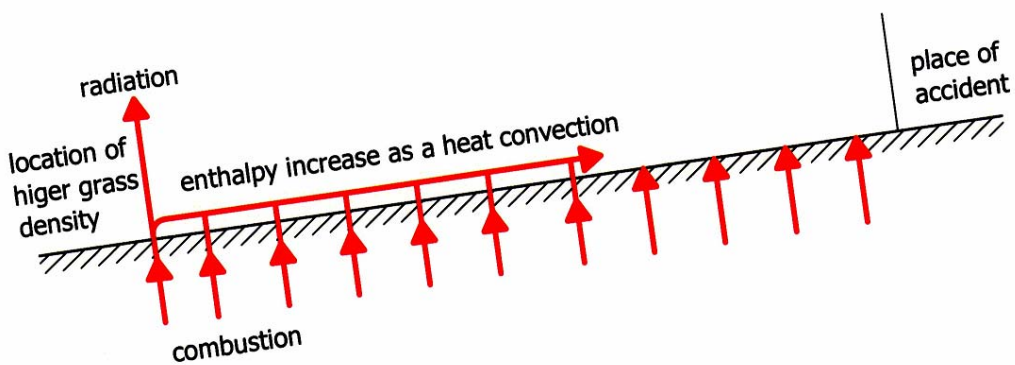
Prema iznjetom se može izvesti slijedeći bitan zaključak: **neovisno od prizemnog strujanja smjera vjetra, vjetar je u svom smjeru puhanja integrirao (zbrojio) "toplinsku" snagu cijele naglo zapaljene dionice na malu površinu vertikalnog presjeka na mjestu nesreće.** Taj fenomen nazvali smo ovdje "brzi toplinski udar". Prikaz njegova nastanka, razvijenog oblika i raspada dat je na nekoliko slijedećih slika s prezentacije (Workshop) održane 4.2.08. na FESB-u.



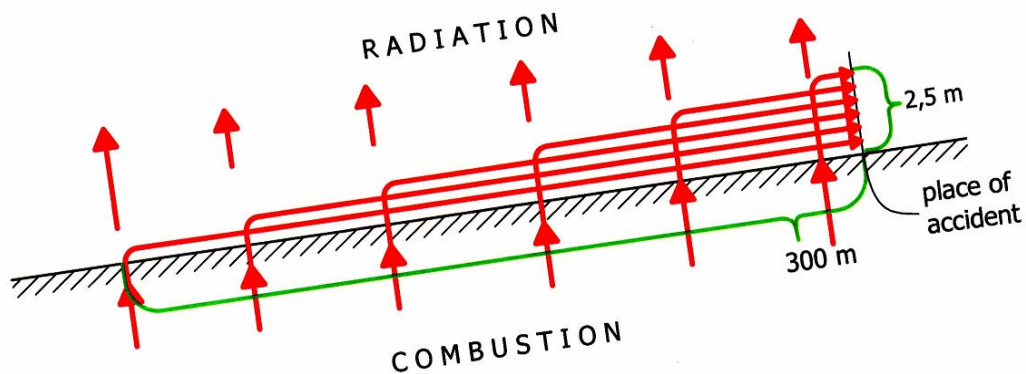
Slika 8.5. Sekcija uz vjetar od mjesta nesreće neposredno prije zapaljenja



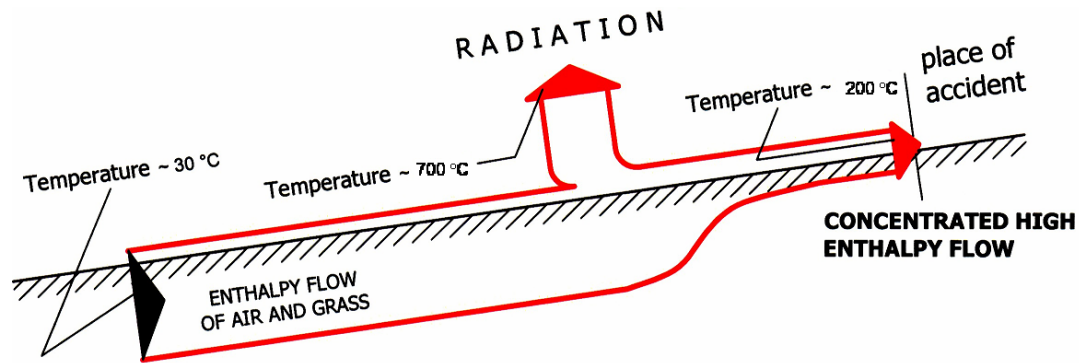
Slika 8.6. Brzo zapaljenje dionice uz vjetar



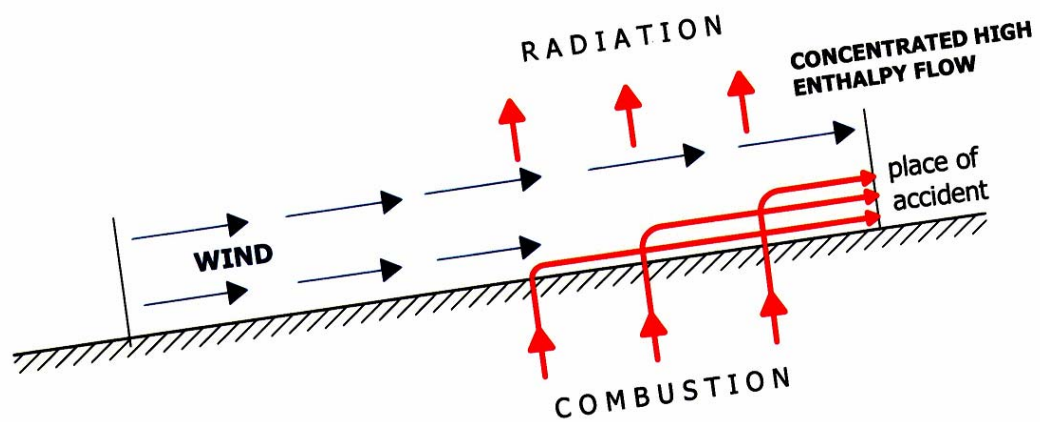
Slika 8.7. Početak formiranja "brzog toplinskog udara" (BTU)



Slika 8.8. Potpuno razvijeni BTU



Slika 8.9. Tokovi energije u razvijenom BTU



Slika 8.10. Raspad BTU

8.2.3. Utjecaj ulaznih podataka na parametre na mjestu nesreće

U nedostatku preciznijih ulaznih podataka i naravno puno točnijeg fizičkog i matematičkog modela, u nastavku će se ispitati utjecaj promjene vrijednosti slijedećih parametara na rezultate računanja:

- Duljina naglo zapaljene dionice ispred vatrogasaca L
- Srednja gustoća gorivog sloja (živog i mrtvog) g_g
- Koeficijent viška zraka λ
- Brzina vjetra na visini oko 2,5 m w_{max}
- Faktor umanjenja protoka φ
- Efektivna temperatura plamena T_{pl}

Rezultati ispitivanja utjecaja varijacije ovih parametara na temperaturu toplinskog udara T i na vrijeme njegova trajanja $\Delta\tau$ dati su u Tablici 8.1.

Tablica 8.1. Prikaz rezultata varijacije utjecajnih parametara

PARAMETRI POŽARA						MJESTO UDESA		
L (m)	φ	w_{vjetra} (m/s)	g_g (kg/m ²)	λ	T_{pl} (K)	t (°C)	$\Delta\tau$ (s)	P (kW/m ²)
250	0,5	10,0	0,6	1,5	973	150	169	654
300	- -	- -	- -	- -	- -	98	178	429
350	- -	- -	- -	- -	- -	57	185	204
300	- -	- -	0,4	- -	- -	98	119	429
- -	- -	- -	0,8	- -	- -	98	237	429
- -	- -	- -	0,6	1,2	- -	169	170	732
- -	- -	- -	- -	1,7	- -	64	183	244
- -	- -	- -	- -	1,5	1000	69	164	272
- -	- -	- -	- -	- -	780	380	313	1213
- -	0,8	- -	- -	- -	973	237	153	1475
350	0,5	- -	- -	1,2	- -	122	177	548
300	0,5	8,0	0,6	1,5	- -	40	188	75
200	- -	10,0	0,4	1,5	973	217	105	871

Komentar rezultata analize

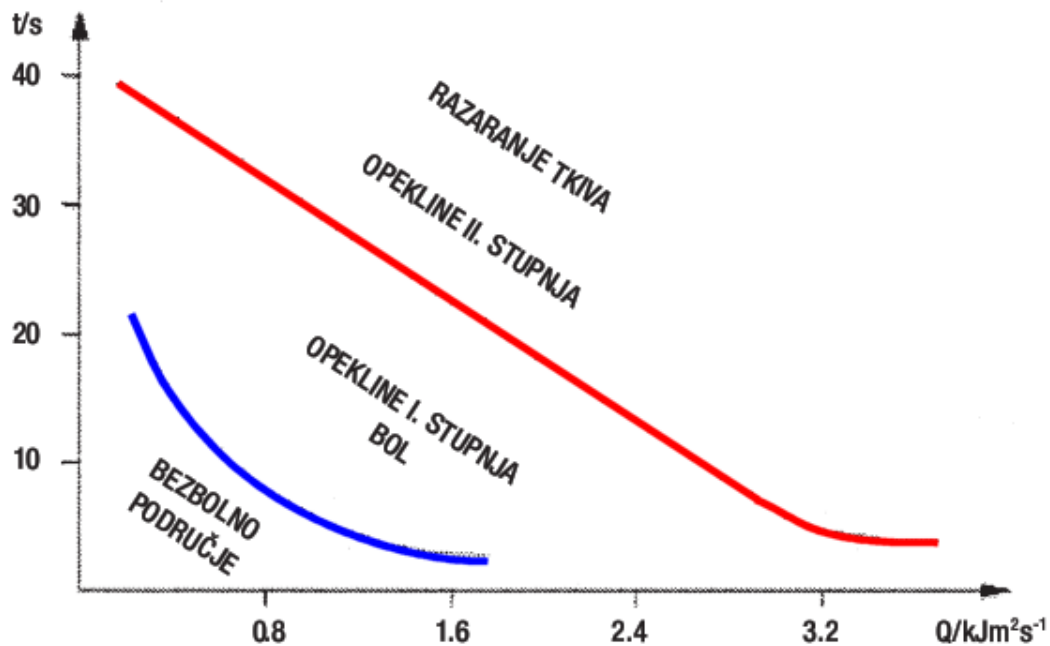
Relacija (8.6) daje niže temperature za veće duljine naglo zapaljene dionice. Razlog je što se, na primjer udvostručenjem duljine L , udvostručuju gubici topline zračenjem u jedinici vremena, ali za potpuno izgaranje trave na dionici treba i dvostruko više zraka u sekundi. Zadržavanjem koeficijenta viška zraka konstantnim, ta se količina zraka ne može dobiti, pa \dot{G}_g na dvaput dužoj dionici nije dvostruko veće. Time sa povećanjem duljine dionice gubici energije porastu više nego brzina izgaranja, pa temperatura na mjestu događanja pada.

Promjena gustoće trave, uz zadržavanje jednake duljine dionice i koeficijenta viška zraka ne utječe na temperaturu na mjestu nesreće nego samo povećava vrijeme njegova trajanja. Povećanje faktora φ (smanjenje protoka zraka) uz zadržavanje istog koeficijenta viška zraka λ , ubrzava izgaranje i diže temperaturu na mjestu nesreće.

Nešto je realnije pretpostaviti veći koeficijent viška zraka za kraću dionicu, a manji za dulju. U dva retka tablice promijenjeni su zato istovremeno i duljina dionice L sa 300 m na 350 m, i koeficijent viška zraka sa 1.5 na 1.2 (drugi redak sa $L = 300$ m i $\lambda = 1.5$ i jedanaesti redak sa $L = 350$ m i $\lambda = 1.2$). U tom slučaju dobiju se još nešto više temperature na mjestu nesreće. U dvanaestom retku tablice računato je sa manjom brzinom vjetra, ali zadržavajući sve ostalo kao u drugom retku. Vjerojatno bi u tom slučaju bilo realnije računati sa manjom površinom i efektivnom temperaturom plamena, što bi na mjestu nesreće dovelo do temperature više od 40 °C..

8.2.4. Ocjena mogućnosti nastajanja opekotina

Prema (S. Kirin i ostali 2002.) ljudsko tijelo podnosi bez opekotina, na dulje vrijeme, apsorbirane toplinske tokove do 250 W/m^2 . Pri tome temperatura kože ne prelazi $44 \text{ }^\circ\text{C}$. Kod apsorbiranih tokova koji izazivaju opekline temperatura kože je iznad $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Dijagram prikazuje područje u kojemu kombinacije apsorbiranih toplinskih tokova i njihova trajanja izazivaju opekotine drugog ili višeg stupnja (razaranje tkiva). Vidi se da apsorpcija toplinskog toka od 2000 kW/m^2 izaziva opekotine više od drugog stupnja već nakon 35 s djelovanja. Pri tome se temperatura kože može pretpostaviti oko $60 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 8.5. Osjetljivost ljudske kože na apsorbiranu količinu topline (Q) u odnosu na vrijeme ekspozicije (t) Izvor (Kirin et al. 2002).

Računajući da je između kože i odjeće sloj zraka od efektivno 2.0 mm , u gornjim je okolnostima toplinskog tola od 2000 W/m^2 temperatura vanjske površine odjeće t_{od} prema jednadžbi provođenja topline oko

$$t_{od} = 193 \text{ }^\circ\text{C}$$

Računajući toplinski tok unutar odjeće zanemaren je prijenos zračenjem, što ide na stranu sigurnosti krajnjeg zaključka. S druge strane zanemaren je izravni dodir odjeće s kožom s obzirom da je odjeća bila uglavnom u bar dva sloja.

Taj isti toplinski tok od 2000 W/m^2 neka apsorbira odjeća izvana. Tamo je sastavljen od konvektivnog i radijacionog dijela u struji vrelog zraka sa plamenim jezicima. Konvektivni je tok za, na primjer, uvjete toplinskog udara u drugom retku slijedeći

$$\dot{q}_{konv} = (5.7 + 3.8 \cdot w_{vjetra}) \cdot (98 - 193) = -4152 \text{ W/m}^2 \quad (8.9)$$

Dakle, vreli zrak u ovom slučaju bi čak hladio odjeću vatrogasaca. Usvojimo li da je obuhvaćenost tijela samim plamenom, sa kakvim se računalo u ocjeni parametara toplinskog udara, bila $\psi = 16\%$, te da je koeficijent emisivnosti odjeće bio $\varepsilon = 0.8$, imamo za radijacioni fluks približno

$$\dot{q}_{rad} = 5.67 \cdot \left[\left(\frac{973}{100} \right)^4 - \left(\frac{466}{100} \right)^4 \right] \cdot \varepsilon \cdot \psi = 6152 \text{ W/m}^2 \quad (8.10)$$

a ukupni koji je ušao u odjeći i kroz kožu $\dot{q}_{apsorb} = 2000 \text{ W/m}^2$.

Dakle za ljude u običnoj radnoj odjeći, u vrućoj zračnoj struji prema drugom retku tablice 8.1. dovoljna je i 16 % obuhvaćenost plamenom da bi apsorbirani toplinski fluks bio oko 2000 W/m^2 . Prema dijagramu na slici (8.5.) on u trajanju dužem od 30 sekundi izaziva opekotine teže od drugog stupnja. Proračun je samo približan, ali je za okolnosti većine režima tablice (8.1.) mogućnost dobivanja opekotina težih od drugog i trećeg stupnja očigledna.

8.2.5. Topljenje aluminijskih spojnica

Prema podacima kojima smo raspolagali na mjestu nesreće pronađene su rastopljene i skoro netaknute aluminijske spojnice koje su bile na vatrogasnim cijevima smotanim u klupka, sa ukupno 15 do 20 kg crijeva aluminijskom nosaču. Rastopljeni i skoro netaknuti nosač snimljen 31.kolovoza 2007. prikazuju slike 8.6. i 8.7.



Slika 8.6. Potpuno rastaljeni aluminijski nosač sa crijevom snimljen na mjestu nesreće. Snimili vatrogasci 31. kolovoza 2007.



Slika 8.7. Skoro nedirnuti aluminijski nosač sa crijevom pronađen na mjestu nesreće. Snimili vatrogasci 31. kolovoza 2007..

Jedan takav nosač imali smo na raspolaganju i u našem laboratoriju. Prikazuje ga slika 8.8.



Slika 8.8. Aluminijski nosač sa crijevom u laboratoriju FESB-a. Snimio Sandro Nižetić 25. rujna 2007.

Crijevo je od sintetičkog tekstila obloženo gumom iznutra. Taj materijal je zapaljiv i goriv čak i u maloj količini na mirnom i hladnom zraku (vidi sliku 8.9.). Procjenjujemo da je toplinska moć ovog materijala u opisanim okolnostima mogla lako dati temperaturu iznad temperature topljenja aluminija, sa trajanjem plamena dužim od trajanja samog toplinskog udara.

Za točnije ispitivanje ove pojave predlažemo pokus u kontroliranim laboratorijskim uvjetima tijekom kojega bi se izmjerili svi relevantni parametri. Ovdje napominjemo još samo to da je turbulentnim lokalnim razlikama u brzini strujanja i prisustvu plamena na mjestu nesreće moguće objasniti razlog što je moglo doći do zapaljenja jednog naramka cijevi, a da u njenoj blizini drugi naramak cijevi bude samo površinski oparen.



Slika 8.9. Gorenje uzorka na slobodnom (hladnom) zraku. Snimio Branko Klarin 10. siječnja 2008.

8.3. Zaključak

U cjelini, osnovna analiza je pokazala da se na otoku Kornatu u udolini iznad uvale Šipnate, dana 30. kolovoza 2007. oko 15 sati i 30 min mogla dogoditi pojava **brzog toplinskog udara** pod uvjetom da se prethodno brzo zapalila dionica duga 200 – 350 m, a vjetar da je bio pretpostavljenih smjerova i inteziteta. Pri tome sama brzina zapaljenja ne bi jako bitno utjecala na temperaturu na mjestu nesreće. Važna bi bila samo za brzinu kojom će se relativno hladni granični sloj pretvoriti u vrelu vrući s plamenim jezicima.

Karakteristične veličine toplinskog udara za na primjer okolnosti šestog reda tablice (8.1.) dajemo u nastavku. Za parametre:

- duljina dionice 300 m
- faktor umanjenja protoka 0.50
- brzina vjetra 10.0 m/s

- srednja gustoća gorivog sloja 0.60 kg/m^2
- koeficijent viška zraka 1.2
- efektivna temperatura plamena 973 K

proračunom je dobiveno da je toplinska snaga po 1 m^2 vertikalnog presjeka na mjestu nesreće mogla biti **430 kW/m^2** , vrijeme trajanja toplinskog udara oko **180 sekundi**, a srednja **zraka s plamenim jezicima $98 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Za parametre trinaestoga retka :

- duljina dionice 200 m
- faktor umanjenja protoka 0.50
- brzina vjetra 10.0 m/s
- srednja gustoća gorivog sloja 0.60 kg/m^2
- koeficijent viška zraka 1.5
- efektivna temperatura plamena 973 K

proračunom je dobiveno da je toplinska snaga po 1 m^2 vertikalnog presjeka na mjestu nesreće mogla oko **870 kW/m^2** , vrijeme trajanja toplinskog udara oko **105 sekundi**, a srednja **temperatura toplinskog udara $217 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Svi ovi učinci opravdavaju naziv brzi toplinski udar, uveden u ovoj studiji. Riječ je o posebnom strujno- termodinamičkom fenomenu koncentracije bočnog priliva. Takav je fenomen je prema ovoj analizi u prirodnim okolnostima na otoku Kornatu dana 30. kolovoza 2007. bio moguć.

Tokovi energije dati u zadnjem stupcu tabele (8.1.) su u obliku entalpije produkata izgaranja i vrućeg zraka, dok su samo apsorbirani tokovi topline oni koji ranjavaju i ubijaju. Prema računu u poglavlju (8.2.4.) i oni su mogli biti takvi da izazovu smrtonosne opekotine trećeg stupnja.

Pojave različitih lokalnih odstupanja od gore date opće slike su prema našoj gruboj analizi moguće bilo zbog lokalnog prisustva zapaljivog i gorivog materijala (klupko cijevi, mali gorivni spremnici), bilo zbog nehomogenosti produkata izgaranja sa plamenim jezicima, bilo zbog blizine bočne granice toka vrelog zraka.

8.4. Literatura

Literatura koju smo koristili u analizama ovog poglavlja dana je u poglavlju 11.

INTERDISCIPLINARNA – EKSPERTNA RADNA SKUPINA
ZA RAZRJEŠENJE OKOLNOSTI POŽARA
NA OTOKU KORNATU KOJI SE DOGODIO
30. KOLOVOZA 2007. GODINE

Radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara,
aerodinamičkih i termodinamičkih događanja na mjestu požara

POGLAVLJE 9

PREGLED REZULTATA I ZAKLJUČCI

SPLIT – ZAGREB, 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

9. PREGLED REZULTATA, ZAKLJUČCI I PREPORUKE.....	5
9.1. GEOMETRIJSKE ZNAČAJKE MJESTA NESREĆE	6
9.2. ZAKLJUČCI ANALIZE METEOROLOŠKE SITUACIJE NA OTOKU KORNATU	6
9.3. ZAKLJUČCI ANALIZE UZORAKA VEGETACIJE UZETIH NA OTOKA KORNATA	7
9.4. ZAKLJUČCI ANALIZE VEGETACIJE OTOKA KORNATA U ODNOSU NA KARAKTERISTIKE ŠIRENJA POŽARA	8
9.5. ZAKLJUČCI ANALIZE ŠIRENJA POŽARA OD MJESTA IZBIJANJA DO MJESTA NESREĆE	9
9.6. ZAKLJUČCI ANALIZE ŠIRENJA POŽARA NA MJESTU NESREĆE	10
9.7. ZAKLJUČCI VEZANI UZ AERODINAMIČKE ASPEKTE DOGAĐANJA NA MJESTU NESREĆE	12
9.8. ZAKLJUČCI VEZANI UZ TERMODINAMIČKE ASPEKTE DOGAĐANJA NA MJESTU NESREĆE	13
9.9. MOGUĆI TIJEK DOGAĐANJA	15

9. PREGLED REZULTATA I ZAKLJUČCI

Dana 3. i 10. rujna 2007. godine imenovani smo odlukom ministra unutrašnjih poslova u interdisciplinarnu ekspertnu radnu skupinu za razrješavanje okolnosti požara koji se dogodio na otoku Kornatu 30. kolovoza 2007. godine. i to u radne podskupine za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, širenja požara, te termodinamičkih i aerodinamičkih događanja na mjestu požara.

Za točno utvrđivanje svih okolnosti vezanih uz požar na otoku Kornatu, koji bi uključivali sve pretpostavke vezane i s prirodnim uzrocima nesreće i razlozima stradavanja vatrogasaca, ali i s uzrocima nesreće koji nisu prirodnog porijekla, nužni su podaci prikupljeni tijekom očevida i rezultati forenzičkih analiza. Kako je istražni postupak još u tijeku, do ovih podataka nismo mogli doći. Zbog toga su radne podskupine vezane uz širenje požara, aerodinamička i termodinamička događanja na otoku Kornatu u studenom 2007. godine preformulirala svoje zadatke i ciljeve.

Osnovni zadatak ovih radnih podskupina više nije bio „... razrješavanje okolnosti požara i stradavanja vatrogasaca koji se dogodio na otoku Kornatu 30.kolovoza 2007. godine ...“, s obzirom da se bez uvida u podatke prikupljene tijekom očevida i forenzičke analize to ne može napraviti. Ograničili smo se isključivo na **analizu mogućih prirodnih pojava koje su se mogle dogoditi 30. kolovoza 2007. godine u klancu iznad uvale Šipnata na otoku Kornatu**. U ovom izvješću pokušali smo znanstvenim metodama doći do odgovora na slijedeća pitanja:

- Koja se prirodna pojava vezana uz nastanak i širenje požara otvorenog prostora **mogla dogoditi** u klancu iznad uvale Šipnata 30. kolovoza 2007. godine?
- Kakvi su **mogle biti** termodinamičke i aerodinamičke okolnosti takve prirodne pojave ?

Osnovi poticaj provođenja ovakve analize bila je činjenica da vatrogasci i dalje gase požare otvorenog prostora bez obzira u kojoj je fazi službena istraga. Ne mogu se čekati rezultati sudske istrage kako bi se donijele preporuke o unapređenju vatrogastva i postupanju u situacijama sličnim onima koji su 30. kolovoza 2007. godine bili na otoku Kornatu. Pri tome su nas u ovom trenutku zanimale isključivo prirodne pojave, zbog toga što bi se one mogle dogoditi i na nekom drugom mjestu. Ukoliko istraga ustanovi, na temelju prikupljenih materijalnih dokaza, da uzroci nesreće nisu samo prirodnog porijekla, predložene preporuke će i dalje vrijediti, s time da bi se one u tom slučaju mogle dodatno proširiti i preporukama koje će uključivati i druge moguće uzroke nesreće.

U nastavku su zaključci dobiveni analizama koja su uključivala:

- a) Analizu mjesta nesreće u odnosu na geometrijske značajke terena..
- b) Analizu meteoroloških prilika koji su vladali na otoku Kornatu dana 30.kolovoza 2007. i to detaljni opis vremenske situacije, prognostička polja vjetera i meteorološke parametre vezane s meteorološkim indeksom opasnosti od požara.
- c) Analizu uzoraka vegetacije uzetih na otoku Kornatu.
- d) Analizu značajki vegetacije otoka Kornata vezane s parametrima širenja požara.
- e) Analizu širenja požara od mjesta izbijanja do mjesta nesreće i posebno na samom mjestu nesreće.

- f) Aerodinamičke aspekte događanja na mjestu nesreće.
- g) Termodinamičke aspekte događanja na mjestu nesreće.

Sve analize su provedene znanstvenim metodama i proračunima korištenjem provjerenih matematičkih modela. Proračuni su rađeni na temelju podataka mjerenja na meteorološkim i klimatološkim postajama, podataka koje smo dobili analizom uzoraka uzetih na mjestu nesreće, te procjenom vrijednosti parametara potrebnih modelima širenja požara na temelju usporedbe s rezultatima drugih znanstvenika objavljenih u znanstvenoj i stručnoj literaturi. Tijekom rada na ovom izvješću surađivali smo i sa stranim kolegama znanstvenicima, specijalistima u pojedinim područjima vezanim uz požare raslinja.

9.1. Geometrijske značajki mjesta nesreće

Analiza geometrijskih značajki mjesta nesreće napravljena je na temelju GIS podloga Nacionalnog parka Kornati. Dobiveni su slijedeći rezultati:

1. Nesreća se dogodila u zapadnom dijelu otoka Kornat u malom klanecu iznad uvale Šipnate, između brda Glavica (135 m) na zapadu, Meja (150 m) na sjeveru i Veli vrh (212 m) na istoku. Klanac je zatvoren sa ove tri strane (zapad, sjever, istok) a otvoren prema jugu.
2. Požar je počeo istočno od mjesta nesreće u uvali Vrulja 30. kolovoza 2007. godine **između 11:00 i 11:30**. Nesreća se dogodila u klanecu iznad uvale Šipnate **oko 15:25**. Pravocrtna, zračna **udaljenost uvale Vrulja i uvale Šipnate je 6.6 km**.
3. Klanac se sastoji od dva dijela. Prvi, južniji dio klanca položen je od ulaza u smjeru 35° (NNE - NE), a duljina mu je 125 m. Drugi dio klanca, kojim smo se u ovom izvješću prvenstveno bavili, položen je od ulaza u smjeru 353° (N - NNW), a **duljina mu je 350 m**. Os klanca je **prosječno nagnuta 8.3°** (14.5 %), a u presjeku klanac ima V oblik.
4. Ukupna površina centralnog dijela klanca za koju smo uglavnom provodili analizu iznosi **99 887 m²**.

9.2. Zaključci analize meteorološke situacije na otoku Kornatu 30. kolovoza 2007.

Analiza meteoroloških prilika za vrijeme požara na otoku Kornatu 30. kolovoza 2007. godine između 11 h i 18 h dala je slijedeće rezultate:

5. Prema podacima glavne meteorološke postaje Zadar i klimatološke postaje Vela Sestrica, kao najbližih postaja promatranoj lokaciji, pokazala da je prevladavalo sparno, djelomično oblačno i vjetrovito vrijeme zbog utjecaja ciklone sa zapadnog Sredozemlja. Analize ukazuju i na mogućnost **postojanja plitke mezociklone nad širim zadarskim područjem**.
6. Danja je temperatura zraka bila **iznad 26°C , a maksimum od 29°C** je postignut u popodnevnim satima. Zrak je bio relativno bogat vlagom na što ukazuje **relativna vlažnost zraka između 55% i 70%** te smanjena vidljivost do 10 km. U skladu sa zaklonjenošću Sunca grudastim niskim i srednjim oblacima (kumulusima, stratokumulusima i altokumulusima) te visokim vlaknastima oblacima (cirusima) mijenjale su se vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja (približno **između 5 kJ/m i 45 kJ/m**).
7. Tijekom dana tlak je zraka neprestano padao, što je ukazivalo na približavanje atmosferskog poremećaja, a svoj je minimum postigao između 17 i 18 sati.

8. Puhalo je umjereno do jako jugo većinom iz SE smjera. Digitalnim su anemometrom u Zadru izmjereni 10-minutni maksimalni **udari juga iznad 10 m/s u razdoblju od 10:10 h do 16:10 h**. Maksimalni udar vjetra od 15.9 m/s (57 km/h) zabilježen je u 13:20 h nakon čega je odmah i zabilježena najveća srednja 10-minutna brzina vjetra od 11.6 m/s (42 km/h). Srednja 10-minutna brzina vjetra veća od 10.8 m/s smatra se jakim vjetrom.
9. Rezultati simulacije numeričkim nehidrostatskim mezomodel MM5 koji se bolje slagao s radiosondažnim mjerenjima nad Zadar-aerodromom (Zemunikom) pokazuju da je SE vjetar jačao s visinom uglavnom do 150 m visine s jakim vertikalnim smicanjem vjetra (porast brzine vjetra iznosio je 3-4 m/s po 100 m visine).
10. Za vrijeme požara maksimalna se brzina vjetra u donjem sloju troposfere mijenjala između 12 m/s i 14 m/s. Model MM5 je procijenio da je jak vjetar puhao u sloju debljine od 70 m do 280 m. Tako je u 11 h na početku požara brzina vjetra 10 m/s bila u sloju visine 40 - 320 m, između 13 h i 16 h u sloju visine 150 - 220 m, a zatim u sloju 70 - 220 m. U tom sloju bilo je vrlo jako smicanje vjetra što je dovelo do velikih vrijednosti turbulentne kinetičke energije. **Ona ukazuje na mogućnost pojave jake turbulencije u donjim slojevima atmosfere iznad Kornata.**
11. Meteorološki indeks opasnosti od požara FWI i indeks početnog širenja vatre ISI tijekom cijelog kolovoza **najveću vrijednost na području Zadra imali upravo na dan 30.kolovoza 2007. kada se nesreća dogodila.** FWI je imao vrijednost 66.6, a ISI je imao vrijednost 31.8. Za sve vrijednosti veće od 18 kanadski znanstvenici kažu da se požar vrlo brzo širi u nekoliko fronta i da mu brzina kretanja u standardnom gorivu (kanadski bor) iznosi 18.3 m/min, pa je za očekivati da će se on na travnatoj podlozi kretati još i brže.
12. Vrijednost pokazatelja stanja vlažnosti mrtvog finog goriva FFMC iznosila je 88.5 za 30. kolovoza 2007. što bi **odgovaralo sadržaju vlage u mrtvom finom gorivu oko 10 –12% od njegove mase.**
13. Iz podataka je lako uočljivo da se fino gorivo FFMC brzo suši, pa je 24. rujna čak suše nego 30. kolovoza Radni posjet povjerenstva otoku Kornatu je bio 25. rujna 2007. godine, pa prema ovim rezultatima analiza uzoraka vegetacije od 25.r rujna može odgovarati situaciji koja je bila na otoku Kornatu 30. kolovoza. Napomenimo i to da su ovo podaci za Zadar, te trebamo uzeti u obzir da je na Kornatu tlo propusno i da je po podacima Vele Sestrice u rujnu palo puno manje kiše nego u Zadru i to prije nego smo uzeli uzorke. Na sadržaj vlage finog goriva utječe količina oborine veća od 0.5 mm. Količina oborina veća od 5.8 mm ne utječe na vlažnost finog goriva zbog njegovog zasićenja. Pod uvjetima standardnog dana (temperature 21 °C, relativne vlage 45 % i brzine vjetra od 3.6 m/s u 12 sati) vremensko zaostajanje FFMC iznosi 2/3 dana. Ovo znači i da za manje od jednog standardnog dana s navedenim uvjetima možemo očekivati da će fina goriva izgubiti oko dvije trećine svoje vlage.
14. Terenska zapažanja na otoku Kornatu ukazuju da je gorjelo lako i brzo zapaljivo gorivo (trava) te da su vatra i vrući zrak brzo prenošeni jakim vjetrom. Na vegetaciji je vidljiv učinak vatre tzv. mozaik slično kao u drugim slučajevima požara na Jadranu uz jaki vjetar.

9.3. Zaključci analize uzoraka vegetacije uzetih na otoka Kornata

Analiza vegetacije otoka Kornata na temelju uzoraka prikupljenih 25. rujna 2007. godine, dala je slijedeće rezultate:

15. Na otoku Kornatu najveći dio površine obrastao je pašnjačka vegetacija u kojoj prevladava *Stipia sp.*, *Poa sp.*, *Koeleria sp.* i *Brachypodium sp.*

16. Prema rezultatima testiranja zapaljivosti uzoraka travnate vegetacije vidljivo je da je **frekvencija, odnosno učestalost zapaljivosti bila prisutna 100 %**, kad se tome još doda **odgoda zapaljivosti od vremena manjeg od 2 sekunde**, može se zaključiti da je toga dana **stupanj zapaljivosti bio izrazito velik**, te da je **vegetacija bila krajnje zapaljiva** (nosi ocjenu 5 prema tablici (Valette 1990) i (Dimitrov 1994)). **Trajanje gorenja koje je iznosilo oko 12 sekundi potvrđuje činjenicu da se požar širio vrlo velikom brzinom. Sadržaj vlage gorivog materijala** travnate vegetacije se kretao **od 10 % do 16 %**.
17. Od ostalih vrsta na otoku Kornatu evidentirane su kadulja (*Salvia officinalis* L.), tetivka (*Smilax aspera* L.) i kupina (*Rubus ulmifolius* Schott).
18. Kod ovih ostalih vrsta koje su evidentirane na istraživanom području (kadulja, tetivka i kupina) **učestalost ili frekvencija zapaljivosti bila je prisutna maksimalno, odnosno 100 %**. **Odgoda zapaljivosti** bila je nešto veća i kretala se od **18 do 22 sekunde**. Na temelju ta dva parametra, a prema prethodno spomenutoj tablici stupanj zapaljivosti okarakteriziran je ocjenom 4, što je dovoljno za visok rizik od požara. Isto kao i kod travnate vegetacije trajanje gorenja potvrđuje brzo širenje požara. **Sadržaj vlage** kretao se **od 13 % do 53 %**.
19. Na osnovi prikupljenih podataka o biomasi gorivog materijala na pokusnim plohama ukupna biomasa gorivog materijala travne i drvenaste vegetacije po hektaru bi iznosila kretala od **6228 kg/ha do 7612 kg/ha** ($0.6228 - 0.7612 \text{ kg/m}^2$).
20. Udio drvenaste vegetacije čini 35 % do 45 %, tako da je njihova drvena masa kod 45 % ukupne pokrovnosti iznosila 2180 kg/ha do 2803 kg/ha, dok je travna vegetacija zastupljena sa 55 % do 65 %, što bi iznosilo od 3425 kg/ha do 4048 kg/ha. Kod ukupne pokrovnosti od 55 % biomasa gorivog materijala drvenaste vegetacije iznosila bi od 2664 kg/ha do 3425 kg/ha, dok bi biomasa travne vegetacije čija je pokrovnost 55 % do 65 % iznosila od 4187 kg/ha do 4948 kg/ha.

9.4. Zaključci analize vegetacije otoka Kornata u odnosu na karakteristike širenja požara

Kako u Hrvatskoj nikada nije rađeno sustavno ispitivanje vegetacije u odnosu na parametre gorivosti vezane uz širenje požara, ove su vrijednosti procijenjene na temelju sličnih vegetacijskih kategorija standardnih sustava klasifikacije vegetacije u odnosu na parametre vezane uz širenje požara. To su Albini – Andersona (A-A) klasifikacija (Anderson 1983) i nova Scott – Burganova (S-B) klasifikacija (Scott i Burgan 2005). Većina matematičkih modela i simulacijskih programa širenja požara temelji se na ovim klasifikacijama.

21. Kornatska vegetacija je klasificirana u travnate vegetacijske kategorije A-A M1 (Short Grass – 1 ft) i A-A M.3 (Tall Grass – 2.5 ft) po Albini-Andersonovoj klasifikaciji, odnosno S-B GR2 (Low Load, Dry Climate Grass) i S-B GR4 (Moderate Load, Dry Climate Grass) po Scott-Burganovoj klasifikaciji.
22. Prosječna količina gorive materije ovih vegetacijskih travnatih kategorija iznosi
- A-A M.1 - 0.183 kg/m^2
 - A-A M.3 - 0.744 kg/m^2
 - S-B GR2 - 0.272 kg/m^2
 - S-B GR4 - 0.531 kg/m^2 .

Na mjestu nesreće u klanca iznad uvale Šipnate prema zaključku br.19 prosječna količina gorive materije se kretala od 0.63 – 0.76 kg/m², pa prema tome vegetaciji u na mjestu nesreće najviše odgovaraju travnate kategorije A-A M. 3 i S-B GR4.

23. Analizirani uzorci vegetacije su uzeti više od 100 sati prije ispitivanja, pa je za **količinu vlage mrtvog goriva ubranog prije više od 100% uzeta vrijednost 12 - 14%** (srednje vrijednosti od izmjerenih 10 – 16% u zaključku 16).
24. Trava na terenu u doba tragedije je bila pretežno suha, pa se može pretpostaviti da je **vlaga živog goriva bila između 30 – 60%**.
25. Parametri gorenja standardnih travnatih vegetacijskih kategorija za 12% vlage u mrtvom gorivu i različite brzine vjetra su:

Brzina vjetra 5.5 m/s na 10 m iznad tla odnosno 1.8 m/s (4 ml/h) na polovici visine plamena

- A-A M1 - brzina širenja 0.29 m/s; visina plamena 1.1 m
- A-A M3 - brzina širenja 0.38 m/s; visina plamena 3.1 m
- S-B GR2 brzina širenja 0.17 m/s; visina plamena 1.3 m
- S-B GR4 brzina širenja 0.35 m/s ;visina plamena 2.4 m

Brzina vjetra 8 m/s na 10 m iznad tla odnosno 2.7 m/s (6 ml/h) na polovici visine plamena

- A-A M1 - brzina širenja 0.67 m/s; visina plamena 1.6 m
- A-A M3 - brzina širenja 0.64 m/s; visina plamena 3.9 m
- S-B GR2 brzina širenja 0.31 m/s; visina plamena 1.7 m
- S-B GR4 brzina širenja 0.63 m/s ;visina plamena 3.2 m

Brzina vjetra 10.8 m/s na 10 m iznad tla odnosno 4 m/s (9 ml/h) na polovici visine plamena

- A-A M1 - brzina širenja 1.52 m/s; visina plamena 2.4 m
- A-A M3 - brzina širenja 1.08 m/s; visina plamena 5.0 m
- S-B GR2 brzina širenja 0.55 m/s; visina plamena 2.2 m
- S-B GR4 brzina širenja 1.12 m/s ;visina plamena 4.1 m

26. **Gornja toplinska moć** svih standardnih vegetacijskih kategorija iznosi **18 000 kJ/kg**
27. Na temelju usporedbe s Kanadskim pokusima u kojima je mjereno vertikalni profil temperature u trenutku prolaza požarne fronte na travnatoj podlozi može se pretpostaviti da travnata vegetacija gori oko 15 sekundi s temperaturom gorenja pri tlu od **800 do 850 °C**, a na 0.5 m visine najveće zabilježene temperature su bile oko **700 °C**. Prema zaključku 16. prosječno trajanje gorenja kornatske vegetacije je bilo 12 sekundi.
28. U južnom dijelu klanca na samoj osi klanca primijećeno je područje za koje bi se moglo pretpostaviti da je bilo obraslo većom vegetacijom od vegetacije u drugim dijelovima klanca. Iako ovaj podatak nije presudan za termodinamičko objašnjenje pojava koje su se u klanca mogle dogoditi, ipak ga navodimo zbog toga što je on mogao biti uzrokom nekih aerodinamičkih anomalija koje spominjemo u dijelu gdje se obrađuju aeronautički aspekti događanja.

9.5. Zaključci analize širenja požara od mjesta nastanka do mjesta nesreće

Simulirano je širenje požara od mjesta izbijanja u uvali Vrulje do mjesta nesreće. Korišten je simulacijski model koji se upravo razvija na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje i koji se temelji na standardnom semi-empirijskom

Frandsel-Rothermelovom modelu (Rothermel 1972, Rothermel 1983) i simulaciji širenja požara celularnim automatima.

29. Ulazni podaci u simulacijski model su bili:

- a) Klasifikacija vegetacije u 13 Albini-Andersonovih kategorija na temelju **CORINE CLC 2000 klasifikacije pokrova i korištenja zemljišta**.
- b) Simulacija vjetra dobivena modelima ALADIN i MM5 dala je da je u vrijeme od izbijanja požara do same nesreće puhao vjetar iz smjera SE (jugo) čija je brzina na visini od 10 m s kopnene strane bila od **5.5 – 8 m/s**, s morske strane **8 – 10.8 m/s**.
- c) Iz ovih brzine vjetra koje su dana za visinu od 10 m iznad tla izračunate su brzine vjetra na polovici visine plamena za pretpostavljene vegetacijske kategorije. Računom je dobiveno da su se brzine vjetra na polovici visine plamena iznosile **1.8 m/s** (za 5.5 m/s na 10 m), **2.7 m/s** (za 8 m/s na 10 m) i **4 m/s** (za 10.8 m/s na 10 m).

30. Požar je započeo u uvali Vrulja 30.kolovoza 2007. između 11:00 i 11:30. Nesreća se dogodila oko 15:25, što znači da je vatrenoj fronti trebalo oko 4 sata da pređe put pravocrtne zračne udaljenosti od 6.6 km. Prosječna pravocrtna brzina širenja požara je prema ovome bila oko 0.46 m/s. Prema prethodnim zaključcima vezanim uz vegetacijske kategorije ovom rezultatu je najbliža brzina vjetra na polovici plamena nešto manja od 2.7 m/s. To smo dokazali i simulacijom širenja požara.

31. Simulacijski model za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.29 m/s (oko 7 m/s na 10 m visine) i 12% vlage finog mrtvog goriva daje rezultate koji bi odgovarali stvarnom događaju – dolazak požara od mjesta izbijanja do klanca iznad uvale Šipnata za približno 4 sata od trenutka izbijanja. Za 14% vlage finog mrtvog goriva požar bi ovaj put prešao za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 2.39 m/s.

32. Posebno je zanimljivo napomenuti način na koji je prema simulacijskom modelu požarna fronta došla do uvale Šipnate. Prema rezultatima simulacije sjeverni krak požarne fronte napredovao je brže od južnog kraka iz čega bi se moglo zaključiti da je vatra do klanca Šipnate najprije došla sa sjeverne strane, ali se zbog brzine i smjera vjetra nije spuštala u klanac. Rezultati simulacije ukazuju da je požar u klanac ušao preko južnog dijela brda Veli vrh koje se nalazi s istočne strane klanca. Zbog toga je moguće je da su vatrogasci vatru najprije ugledali upravo na sjevernom dijelu, pa je to može biti i razlog zašto su se krenuli južnije i našli se u klanecu u trenutku događanja nesreće.

9.6. Zaključci analize širenja požara na mjestu nesreće

Analizirano je širenje požara unutar samog klanca nesreće standardnim semi-empirijskim Frandsel-Rothermelovim modelom (Rothermel 1972, Rothermel 1983) i modelom eruptivnog požara. Dobiveni su slijedeći rezultati:

33. Analiza širenja požara unutar samog klanca iznad uvale Šipnate temeljena na standardnom Rothermelovom semi-empirijski model širenja požara za standardne vegetacijske kategorije A-A M3 i S-B GR4 koje po prosječnoj količini gorive materije najbolje odgovaraju ispitanim uzorcima uzetim u klanecu daje prosječnu oslobođenu toplinsku energiju po jedinici površine u klanecu iznad uvale Šipnate **između 5500 – 7500 kJ/ m²**, a toplinska snaga po 1 m² horizontalne površine požarne fronte **između 410 – 510 kW/ m²**.

34. Uzmemo li u obzir samo centralni dio klanca koji ima površinu od 99 887 m² ukupna količina oslobođene toplinske energije unutar klanca **bila je između 550 000 – 750 000 MJ** (153 – 208 MWh). Usporedbe radi energija od 153 MWh je energija koju bi potrošila žarulja od 100 W da neprestano gori 175 godina.
35. Prema Rothemelovom modelu **brzina širenja požara** kretala se za vegetacijsku kategoriju A-A M3 od **0.40 m/s** (23.9 m/min) za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 1.8 m/s (6.4 km/h) do naviše **1.09 m/s** (65.3 m/min) za brzine vjetra na polovici visine plamena od 4 m/s (14.4 km/h), a za vegetacijsku kategoriju S-B GR4 od **0.37 m/s** (22 m/min) za brzinu vjetra na polovici visine plamena od 1.8 m/s (6.4 km/h) do naviše **1.12 m/s** (67.1 m/min) za brzine vjetra na polovici visine plamena od 4 m/s (14.4 km/h).
36. Prema tim vrijednostima **vrijeme potrebno da bi požar prešao udaljenost od 350 m** od točke ulaska u ravni dio klanca do prvog mjesta nesreće kretalo se za vegetacijsku kategoriju A-A M3 **od 5.36 min do 14.44 min**, a za vegetacijsku kategoriju S-B GR4 **od 5.21 – 15.91 min**.
37. Vrijeme širenja požarne fronte iz zaključka 35. je relativno dugo vrijeme. Da se požar ovoliko dugo kretao kroz klanac, vatrogasci bi sigurno uspjeli pobjeći vidjevši da vatra ide prema njima. Prema tome za pretpostaviti je da kretanje požara unutar klanca nije bilo standardno opisano Rothemelovim jednadžbama širenja požara na temelju kojih smo proračunali ove vrijednosti.
38. Zbog toga je provedena je i analiza dinamike požara unutar klanca na temelju Viegasovog (Viegas 2005) modela eruptivnog požara.
39. Pitanje je bilo: "Da li se 30. kolovoza 2007. godine u klanecu iznad uvale Šipnate **mogla dogoditi pojava** u stručnoj literaturi opisana pod imenom eruptivni požar ?" Odgovor je da, u klanecu iznad uvale Šipnate dana 30.kolovoza 2007. oko 15:30 bili su ispunjeni uvjeti da se dogodi eruptivni požar, i to **kombinacija eruptivnog požara izazvanog kosinom i eruptivnog požara izazvanog vjetrom**, a moguća je da je eruptivni efekt nastao i **naglim izgaranjem hlapivih organskih komponenata koje za vrućeg vremena ispušta vegetacija mediteranskog tipa**.
40. Prosječni nagib osi kotline je bio oko **8° (14%)**, s tim da su bočni dijelovi kotline bili nagnuti i pod većim kutom (i do 24°). Prevladavajući smjer vjetra na mjestu nesreće je bio u smjeru rasta osi kotline. Brzina vjetra na 10 m visine kretala se od 5.5 – 10.8 m/s sa srednjom vrijednosti od 8 m/s. Preračuna li se ova brzina vjetra na ekvivalentnu brzinu na polovici visine plamena dobiju se vrijednosti od 1.8 do 4 m/s, sa srednjom vrijednosti od 2.7 m/s.
41. Za ove tri brzine vjetra i nagib kotline od 8° (14%) ulazne brzine požarne fronte (brzine širenja požara na ravnoj podlozi bez vjetra) bile su 0.18 m/s, 0.32 m/s i 1.54 m/s. Prema modelu eruptivnog požara za tipične vrijednosti parametara za travnate vegetacije uzete iz literature, od trenutka ulaska požara u klanac do pojave eruptivnog efekta **za realne vrijednosti parametara vegetacije travnatog tipa moglo je proći od 80 sekundi do maksimalno 200 sekundi**.
42. Analiza iz točke 41. daje da je od ulaza u drugi dio klanca do prvog mjesta nesreće požar je put od 350 m potpomognut eruptivnim efektom mogao proći **u vremenu od 95 sekundi do maksimalno 200 sekundi**, s tim da je prema modelu eruptivnog požara, prvu polovicu puta požar prelazio skoro 90 % vremena, a drugu polovicu puta u 10% vremena (10 – 20 sekundi).

43. Napomenimo da smo u svim ovim proračunima pretpostavili da se požarna fronta do ulazu u drugi dio klanca (orijentiran u smjeru 353° od ulaza prema gornjem kraju) kretao stalnom ulaznom brzinom. Međutim prema izgledu stabla koje se nalazi na samom južnom ulazu u klanac prije prelaska u njegov drugi dio, a na kojemu je lišće izgorjelo do visine od 0.5 m, postoji mogućnost da je eruptivni efekt počeo još ranije, te je ulaskom u ravni dio klanca požar već bio blizu eruptivne faze. Zbog toga je moguće da su vremena dolaska požarne fronte od ulaska u drugi dio kanjona do mjesta nesreće bila još kraća i iznosila manje od 40 sekundi, s obzirom da je brzina širenja požara u tom dijelu kanjona već došla do eruptivnog dijela.
44. To su i potvrdili preliminarni pokusi napravljeni u laboratoriju prof. Domingos Xavier Viegasa iz Portugala, najvećeg svjetskog eksperta za problematiku eruptivnog širenja požara. Na temelju preliminarnih određeni su parametri modela eruptivnog efekta koji najbolje odgovaraju vegetaciji otoka Kornata.
45. Na temelju ovih parametara, uz pretpostavku ulaska vatre u samom dnu klanca, prof. Viegas je proračunao posljedice eruptivnog efekta. U drugom dijelu klanca kada su vatrogasci mogli ugledati kretanje požara uz klanac, vatra je od ulaza do mjesta nesreće mogla doći za manje od jedne minute i uz to generirati, vatrom inducirani vjetar brzine veće od 60 m/s.
46. Naglasimo i to da požarna fronta tipičnog eruptivnog požara u klanacu, bez obzira da li je izazvan kosinom ili vjetrom, ima **oblik polumjeseca**.

9.7. Zaključci vezani uz aerodinamičke aspekte događanja na mjestu nesreće

Na temelju dostupnih spoznaja moguće je pretpostaviti da je na mjestu nesreće najvjerojatnije došlo do poklapanje više nepovoljnih aerodinamičkih okolnosti koji su se nadograđivale jedna na drugu, te zajedno doprinijele stradavanju vatrogasaca.

47. Okolnosti koje su mogle dovesti do nesreće su:

- a) Usmjerenost klanca i padine prema putu kojim je išla glavna vatrogasaca nastojeći izbjeći plamenu frontu – skupina se je našla približno u smjeru puhanja vjetra odnosno rezultantnog strujanja pri tlu gledajući od smjera dna klanca prema liniji puta vatrogasaca,
- b) Visina zida koja je predstavlja prepreku slobodnom strujanju te pospješila pojavu lokalnog vrtloženja istovremeno svojom visinom sprečavajući vatrogasce da se sklone od nadiruće struje vrućeg zraka,
- c) Razlika u smjerovima gibanja donjih i gornjih slojeva atmosfere – formacija tunelskog efekta tj. efekta dimnjaka pojačanog prisustvom visokog zida,
- d) Položaj visoke trave – ispred najvećeg nagiba klanca a prema putu kojim su se kretali što pogodno za nagli toplinski izboj upravo prema toj liniji puta. Pretpostavka je da je toplinski izboj od visoke trave nastao uslijed brzog nadiranja vatrene fronte iz dna klanca preko prijevoja, što oni nisu mogli vidjeti i to upravo u trenutku kad se je skupina vatrogasaca našla na liniji okomitoj na pridnenu struju koja je dolazila uz padinu iz dna klanca. Budući da nije bilo prirodnih prepreka, da je postignut kritični nagib terena, nalijeganje zračne struje na padinu stvoreni su svi uvjeti za eruptivno djelovanje požara. Pojedini vatrogasci uporno ističu da su u stanju preskočiti vatreni zid i naći se s "druge strane", gdje je izgaranje već obavljeno a količina topline bitno manja. Tada to nije bilo moguće jer je vrući zrak nadirao mnogo prije nego se je pojavila vatrene fronta pa je nisu ni mogli preskočiti,

- e) Izraziti V oblik kotline – pretpostavka za kanaliziranje struje vrućeg zraka u naglom toplinskom izboju duž dna klanca čime je vatrena linija pretekla vatrogasce – istovremeno je strujanjem zraka prema liniji njihovog puta došlo do daljnjeg eruptivnog efekta,
 - f) Neravnomjerna razdioba gorive materije u samom dnu klanca V oblika – pogodna za dodatni lokalni unos energije i brzo napredovanje vatrene fronte po dnu klanca a ispred skupine vatrogasaca, koji na mjestima B i C zakreću prema sjeveru jer ih je vatra vjerojatno već prestigla i počela napredovati preko prijevoja iznad vrha Glavica a preko mjesta 6, 7 i 8.
 - g) Putanja vatrogasaca je bila upravo u smjeru vrha kojeg čini dno klanca i visoki zid. Idući duž zida i u njegovoj blizini (u fazi bijega) vatrogasci su se izložili nizu nepovoljnih okolnosti: vrtloženjima u okolišu zida, pojačanog lokalnog strujanja i položaju na kojem ih može zahvatiti eruptivni požar od dna,
 - h) Kraški teren – pogodan za preusmjeravanje strujanja vrućeg zraka u različitim smjerovima i lokalno kaotično gibanje vrućih plinova,
 - i) Mjesto na kojem su se vatrogasci zatekli – sve tri mjesta (A, B i C) bila su na direktnoj putanji toplinskog udara. Nakon formiranja zaustavnog vrtloga na lokaciji A, struja vrućeg zraka se nastavila kretati prema vrhu kotline i lokacijama B i C. što se vidi i na usmjerenjima spaljenog i dehidriranog lišća.
48. Poklapanjem ovog niza okolnosti, u klancu iznad uvale Šipnate na dan 30.kolovoza 2007. **moglo je doći** do nestandardne pojave formiranja **turbulentnog graničnog sloja** visine do maksimalno 2.5 m. Turbulentni granični sloj mogao je nastati kombiniranim djelovanjem naglog izgaranja vegetacije, puhanja vjetra u smjeru osi kanjona i uz padinu prema visoravni između Velog Vrh i vrha Meja te naleta bočne struje u višim dijelovima preko istočnih padina brda Veli vrh. Postojanje turbulentnog graničnog sloja i naglo zapaljenje 300 metarske dionice na putu požarne fronte prema mjestu nesreće mogući je "okidač" za fenomen koji smo nazvali brzi toplinski udar kojeg uvodimo i detaljno opisujuemo u Poglavlju 8.
49. Situaciju u klancu nesreće analizirali smo i numeričkim proračunom visinskog 2D profila brzina za dio atmosfere iznad kotline, korištenjem programskog paketa ADINA - integriranom Navier-Stokes solveru. U ovom je trenutku razmatran isključivo utjecaj brzine vjetra, a ne i brzine uzrokovane uzgonskim strujanjem uslijed izgaranja. Međutim i ovaj, samo aerodinamički model ukazuje da tlak opada idući uz kosinu kotline zbog povećanja brzine. Ovako zatečena razlika tlakova mogla je pospješiti usisni i spomenuti efekt dimnjaka prilikom izgaranja.
50. Numerički proračun magnitude brzina iznad 2D aproksimacije presječenog stjenovitog terena, slične onoj koja se je mogla zateći na mjestu nesreće, ukazuje na mogućnost lokalnih efekata koji su mogli doprinijeti neravnomjernim razdiobama opekline. Simulacija pokazuje da je na udaljenostima od 0.5 do 1 m (duljine ekstremiteta) postoje lokalne razlike brzina strujanja i do 4 m/s.

9.8. Zaključci vezani uz termodinamičke aspekte događanja na mjestu nesreće

Termodinamička analiza dovela je do slijedećih zaključaka:

51. Na otoku Kornatu u klancu iznad uvale Šipnate, dana 30. kolovoza 2007. oko 15 sati i 30 min mogla se dogoditi pojava **brzog toplinskog udara** pod uvjetom da se

prethodno brzo zapalila dionica duga 200 – 350 m, a vjetar da je bio pretpostavljenih smjerova i dinamike. Preduvjet za fenomen brzog toplinskog udara je u tome, da se neposredno uz vjetar od mjesta nesreće brzo zapali čitava jedna dugačka dionica terena. To bi izazvalo nagli bočni priliv energije u turbulentni granični sloj u smjeru mjesta nesreće. Integracijom bočnih priliva po duljini dolazi do koncentracije toplinske snage na relativno malom (oko 100 puta manjem) vertikalnom presjeku graničnog sloja.

52. Pri tome sama brzina zapaljenja ne bi jako bitno utjecala na temperaturu na mjestu nesreće. Važna bi bila samo za brzinu kojom će se relativno hladni granični sloj pretvoriti u vreli i spriječiti vatrogasce da izbjegnu udar.

53. Proračunate karakteristične veličine toplinskog udara dajemo u nastavku. Za vrijednosti parametara:

- duljina dionice 300 m,
- faktor umanjenja protoka 0.50,
- brzina vjetra 10.0 m/s,
- srednja gustoća gorivog sloja 0.60 kg/m^2 ,
- koeficijent viška zraka 1.2
- efektivna temperatura plamena 973 K

proračunom je dobiveno da je toplinska snaga po 1 m^2 vertikalnog presjeka na mjestu nesreće mogla biti **430 kW/m^2** , vrijeme trajanja toplinskog udara oko **180 sekundi**, a srednja zrak s plamenim jezicima **$98 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Za vrijednosti parametara:

- duljina dionice 200 m,
- faktor umanjenja protoka 0.50
- brzina vjetra 10.0 m/s,
- srednja gustoća gorivog sloja 0.60 kg/m^2 ,
- koeficijent viška zraka 1.5
- efektivna temperatura plamena 973 K

proračunom je dobiveno da je toplinska snaga po 1 m^2 vertikalnog presjeka na mjestu nesreće mogla oko **870 kW/m^2** , vrijeme trajanja toplinskog udara oko **105 sekundi**, a srednja temperatura toplinskog udara **$217 \text{ }^\circ\text{C}$** .

54. Svi ovi učinci opravdavaju naziv brzi toplinski udar, uveden u ovoj studiji. Riječ je o posebnom strujno- termodinamičkom fenomenu koncentracije bočnog priliva. Takav je fenomen je prema ovoj analizi u prirodnim okolnostima na otoku Kornatu dana 30. kolovoza 2007. bio moguć.

55. Prema (S. Kirin i ostali 2002.) apsorpcija toplinskog toka od $4\,000 \text{ kW/m}^2$ izaziva opekotine više od drugog stupnja već nakon 10 sekundi djelovanja. Tokovi energije dati u zadnjem stupcu tabele termodinamičke analize u obliku su entalpije produkata izgaranja i vrućeg zraka, dok su samo apsorbirani tokovi topline oni koji ranjavaju i ubijaju. Prema računu u poglavlju 8.2.4. i oni su mogli biti takvi da izazovu smrtonosne opekotine trećeg stupnja.

56. U ovom izvještaju nismo ulazili u detaljnu analizu pojedinih događanja vezanih uz izgaranje, primjerice zašto je jedan naramak cijevi potpuno izgorio, a drugi nije i slično, prije svega zbog toga što nismo raspolagali relevantnim podacima koje su

prikupili istražitelji (od međusobnog položaja pojedinih dijelova pronađene opreme pa do rezultata dobivenih forenzičkom analizom). Detaljnu ćemo analizu eventualno provesti, koristeći modele kojima raspolažemo, onda kada svi ovi podaci postanu javno dostupni.

57. Pojave različitih lokalnih odstupanja opće slike opisane u prethodnim zaključcima, prema našoj su gruboj analizi moguće, bilo zbog lokalnog prisustva zapaljivog i gorivog materijala (klupko cijevi, mali spremnici goriva), bilo zbog nehomogenosti produkata izgaranja sa plamenim jezicima, bilo zbog blizine bočne granice toka vrelog zraka.
58. Ipak ovdje kratko napominjemo da se taljenje aluminijskih spojnica na mjestu nesreće može objasniti zapaljenjem i izgaranjem preko 15 kg tekstilnog gumiranog crijeva, smotanog na nosaču zajedno sa spojnicama.

9.9. Mogući tijek događanja

Cjelokupni tijek događanja na Kornatima u klanca između uvale Šipnate je mogao biti sljedeći:

- Požar je otprilike nakon 4 sata od trenutka izbijanja došao do klanca u kojem se dogodila nesreća.
- Simulacijski model ukazuje da se po požar brže širio po sjevernom dijelu otoka što znači da je on mogao do klanca prije doći sa sjeverne strane, ali zbog smjera vjetra nije prodirao prema klanca.
- Simulacijski model ukazuje da je požar u klanac ušao s južne i jugo-istočne strane preko južnih padina brda Veli vrh.
- Došavši do osi kanjona požarna fronta se ubrzano počinje penjati uz klanac. Proračun je pokazao da je za danu konfiguraciju terena, te smjer i brzinu puhanja vjetra na mjestu nesreće bila moguća pojava eruptivnog širenja požara i to kombinacija eruptivnog širenja požara izazvanog kotlinom i eruptivnog širenja požara izazvanog vjetrom. Konačni rezultat je moguće naglo zapaljenje dionice od 300 – 350 metara od ulaza u kanjon do mjesta nesreće.
- Analize pokazuju da je moguće da se u dnu klanca formirao turbulentni granični sloj visine do maksimalno 2.5 m. Topli turbulentni granični sloj je mogao nastati kombiniranim djelovanjem naglog izgaranja vegetacije, puhanja vjetra u smjeru osi klanca i naleta bočne struje u višim dijelovima preko istočnih padina brda Veli vrh.
- Postojanje turbulentnog graničnog sloja i naglo zapaljenje 300 - 350 metarske dionice na putu požarne fronte prema mjestu nesreće mogući je "okidač" za fenomen koji smo nazvali **brzi toplinski udar**.
- Brzi toplinski udar predstavlja uspostavljeno strujanje vrelog zraka temperature do 300°C i debljine sloja oko 2.5 m u trajanju od nekoliko minuta.
- Kao posljedica brzog toplinskog udara proračun je pokazao da je za tipične vrijednosti parametara na mjestu nesreće temperatura toplinskog udara mogla biti od 100 – 200 °C i trajati od 100 – 180 sekundi.
- **Brzi toplinski udar** je mogao nastati i **kao kombinacijom samog naglog (eruptivnog) izgaranja gornje dionice klanca i vjetra u smjeru osi klanca**. Karakteristika eruptivnog izgaranja je ta da u određenom trenutku cijela dionica gori – gornji dijelovi su se zapalili, donji još nisu u potpunosti izgorjeli. Postojanje vjera u smjeru osi klanca, i to vjetra zbog meteoroloških zbivanja, ali i lokalnog vjetra uzrokovanog gorenjem, kao posljedicu ima

„gomilanje“ toplinske energije u gornjem dijelu klanca i pojavu brzog toplinskog udara.

- Vremenski period od trenutka naglog ubrzanja plamene fronte i dolaska brzog toplotnog udara do mjesta na kojem su stradali vatrogasci mogao je biti vrlo kratak i iznositi manje od minute. U ovako kratkom vremenu nije bila moguća neka priprema niti bijeg sa pravca širenja.
- Pojavu je bilo **vrlo teško predvidjeti**, s obzirom da je na nju utjecalo sinkrono izgaranje vegetacije, i to najvjerojatnije eruptivno izgaranje, strujanje vjetra u smjeru osi klanca, a vjerojatno i zapuh vjetra preko rubova klanca koji je pripomogao formiranju turbulentnog graničnog sloj visine oko 2.5 m u smjeru pružanja klanca.

Na kraju ovog dijela želimo još samo razjasniti pojmove 3D simulacije i 3D vizualizacije. 3D simulacija uključuje korištenje matematičkih termodinamičkih i aerodinamičkih modela koji u svakoj točki prostora proračunaju u svakom trenutku vremena vrijednosti svih relevantnih parametara, kao što su tlakovi, temperature, vektori strujanja. Ovi se proračuni nakon toga kombiniraju sa 3D modelom prostora i dobije se 3D simulacija. U suradnji s prof. Janice Coean iz SAD namjera nam je u budućnosti napraviti ovakvu 3D simulaciju.

Međutim postoji i postupak koji se zove 3D vizualizacija požarnog događanja koji ne uključuje matematički proračun termodinamičkih i aerodinamičkih parametara, već se u 3D prostor unesu pretpostavljene putanje kretanja vatre i samo zorno vizualiziraju u nekom od programskih paketa 3D vizualizacije. 3D vizualizacija ne daje fizikalnu sliku mogućih događanja, ona samo na zgodan način, u maniri crtanog filma, vizualizira što se događalo. Iako smo u početku razmišljali o vizualizaciji događanja, zaključili smo da bez relevantnog matematičkog i to kombiniranog termodinamičko – aerodinamičkog modela vizualizacija ne doprinosi bitno boljem razumijevanju fizikalnih događanja na mjestu nesreće, a s druge je strane vremenski dosta zahtjevna. Zbog toga smo od nje odustali. Za sadašnji stupanj razumijevanja mogućih događanja smatramo da je ovo što smo napravili odvojenim korištenjem aerodinamičkih, termodinamičkih i modela širenja požara dovoljno.

Naglasimo još i to da smatramo kako bi istraživanje bilo potpuno kada bi se ove pojave istražile i eksperimentalno. To znači rekonstruirati u laboratorijski, kontroliranim uvjetima, na skaliranom reljefu terena usklađenom sa stvarnom situacijom uz pomoć teorije sličnosti, situaciju za koju smatramo da se na Kornatima dogodila

.....

U sljedećem poglavlju dajemo najvažniji dio ovog izvješća – kratkoročne i dugoročne preporuke koje smo izvukli iz provedenih analiza, ali i iz izvještaja u kojima su analizirane druge velike vatrogasne nesreće u svijetu. Želja nam je, a uostalom zbog toga smo se i prihvatili sudjelovati u ovoj radnoj grupi, da se u budućnosti više pažnje posvetiti unapređenju vatrogastva, ali i istraživanju problematike požara otvorenog prostora.

INTERDISCIPLINARNA – EKSPERTNA RADNA SKUPINA
ZA RAZRJEŠENJE OKOLNOSTI POŽARA
NA OTOKU KORNAT 30. KOLOVOZA 2007. GODINE

Radne grupe za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, termodinamičkih i
aerodinamičkih događanja na mjestu požara

POGLAVLJE 10

PREPORUKE

SPLIT – ZAGREB, 15. VELJAČE 2008.

SADRŽAJ

10. PREPORUKE.....	5
10.1. UVODNE NAPOMENE.....	5
10.2. PREPORUKE DONESENE NAKON RAZLIČITIH SVJETSKIH VATROGASNIH NESREĆA	5
10.3 PREPORUKE NA TEMELJU PROVEDENIH ANALIZA U OKVIRU OVOG IZVJEŠTAJA.....	7
10.3.1 Preporuke vezane uz sustavno istraživanje problematike požara raslinja	7
Opće preporuke.....	7
Preporuke vezane uz meteorološka istraživanja	8
Preporuke vezane uz istraživanja vegetacije.....	8
Preporuke vezane uz termodinamička, aerodinamička i računalno – simulacijska istraživanja.....	9
10.3.2 Preporuke vezane uz obrazovanje vatrogasaca.....	9
10.3.3 Preporuke vezane uz operativne vatrogasne zadatke te zadatke zaštite od požara raslinja .	10

10. PREPORUKE

10.1. Uvodne napomene

Radeći na ovom izvješću proučili smo što se u drugim zemljama radi u ovakvim situacijama i ustanovili da se u Hrvatskoj puno toga još treba napraviti i na istraživačkom, i na obrazovnom i na operativnom planu, a sve sa ciljem što bolje zaštite vatrogasaca i unapređenja vatrogastva. Pri tome se ograničavamo prvenstveno na požare raslinja kojima se ovaj izvještaj i bavio.

Kornatska nesreća zorno pokazuje kako razvoj požara raslinja može poprimiti neočekivane i teško predvidive, pa i ekstremne forme. Zbog toga je nužno sustavno istraživati fenomen požara raslinja i sve oblike njegovog razvoja, i to ne samo zbog toga da bi se produbilo naše znanje o tom fenomenu, već prije svega zbog toga da bi se definirali faktori na temelju kojih bi se takve pojave mogle identificirati i eventualno rano prepoznati, te na taj način djelovati na povećanje sigurnosti vatrogasaca koji u gašenju požara sudjeluju.

U prvom dijelu prenosimo preporuke koje su donesene nakon različitih velikih vatrogasnih nesreća u svijetu, a koje su relevantne i za našu situaciju. Nakon toga se predlaže niz kratkoročnih i dugoročnih mjera koje bi trebalo provesti kako se smanjila mogućnost ponavljanja ovakve nesreće, ali kojima bi se na veću razinu podiglo i razumijevanje što se događa tijekom požara raslinja i to posebno požara raslinja na hrvatskom priobalju i otocima.

10.2. Preporuke donesene nakon različitih svjetskih vatrogasnih nesreća

Nakon svakog velikog požara, pogotovo onih koji su imali fatalne posljedice slijedila je detaljna analiza, ponekad i nekoliko nezavisnih analiza s istim ulaznim podacima, a česte su i kumulativne analize požarnih nesreća za koje se pretpostavlja da su imale isti način širenje požara. Svaka od ovih analiza završavala je preporukama, tzv. "naučenim lekcijama" (eng. lessons learned). U ovom izvještaju ograničili smo se na tri analize od kojih se prve dvije odnose na eruptivna širenja požara, i to prvi na standardni eruptivni požari izazvani padinom, a drugi na eruptivni požar nastao naglim izgaranjem lako hlapivih organskih komponenata koje ispušta mediteransko bilje. Treća analiza je povezana s požarnom nesrećom u Novom Zelandu kod koje je isto tako došlo do naglog požarnog izboja. Iako se ova nesreća ne uklapa direktno u standardne teorije eruptivnih požara, predloženi zaključci su zanimljivi i direktno primjenjivi.

Prof. Viegas nakon prikaza i analize eruptivnih požara uzrokovanih padinom (Viegas 2006a) daje slijedeće savjete i preporuke:

- Eruptivni požar se ne može gasiti.
- Jedno od osnovnih pravila sigurnosti je nikada ne gasiti eruptivni požar, ali se niti ne zadržavati u području padine iznad požara ukoliko između postoji gorive materije. U tom slučaju vatrogasci se trebaju povući i razmotriti druge načine gašenja.
- Niti u jednom slučaju ljudi ili tehnike se ne smiju postavljati na padini iznad vatre ukoliko je ona aktivna i postoji sumnja na eruptivni požar.
- Ljudi se trebaju s oprezom postavljati i na rubove iznad padine po kojoj se požar penje. Ukoliko se dogodi požarna erupcija produkti izgaranja, te toplinski tok

zračenjem i konvekcijom može ugroziti sigurnost ljudi postavljenih na ove lokacije.

- Čak i relativno široka požarna brana može biti nedovoljna i ne garantirati sigurnost. Ukoliko se sumnja na mogućnost pojave eruptivnog požara ljude treba ukloniti s takvih mjesta kako bi se izbjegao nepotrebnii rizik.
- Čak i kuće i druge strukture ne garantiraju sigurnost. Ukoliko na vrhu postoji motrilački toranj, a vatra se penje padinom i postoji mogućnost pojave eruptivnog efekta, bez obzira na visinu tornja posadu treba odmah evakuirati.

Nakon analize tri požara na jugu Francuske i na otoku Korzici za koje se smatra da su nastali kao posljedica naglog izgaranja lako hlapivih organskih komponenti koje po vrućem vremenu ispušta mediteransko bilje Peuch (Peuch 2007) je predložio slijedeće zaključke:

- Osobna zaštitna odjeća treba se nositi cijelo vrijeme ili mora biti blizu.
- Tijekom obuke vatrogasaca treba im se prenijeti znanje o različitim ponašanjima požara.
- Kod svakog požara treba što prije uspostaviti permanentnu službu kojoj je zadatak praćenje razvoja požara.
- Provoditi obuku u vještinama samo-spašavanja koju treba ponoviti i prije slanja ljudi na intervenciju, pogotovo ukoliko se radi o snagama koje su došle sa sjevera (op.a. - misli se iz unutrašnjosti Francuske gdje nema toliko požara raslinja).
- Ponovo osmisliti i nadopuniti opremu vozila pokretnog zapovjedno-operativnog centra (op.a. - to znači da ga Francuzi već imaju, ali da se treba nadopuniti računalnom i komunikacijskom opremom).
- Niti jedan vatrogasac ne smije biti sam u vozilu.
- Sva vatrogasna vozila opremiti GPS sustavom opremljenim alarmnim dugmetom čije aktiviranje zapovjednom centru javlja položaj vozila. Razviti automatski sustav obrane vozila koji automatski aktivira alarm u slučaju opasnosti.
- Vozilo medicinske pomoći treba biti uz mjesto požara cijelo vrijeme.
- Uspostaviti službu "vatrogasnog časnika zaduženog za sigurnost" kod svakog većeg požara.
- Razviti i ugraditi automatski sustav obrane vozila koji treba uključivati sustav za stvaranje vodene magle, nezavisnu sigurnosnu pumpu i izvor zraka za disanje u kabini.

Nakon velike vatrogasne nesreće u području North Otego u Novom Zelandu (Pearce 2007) u kojoj je stradalo 8 vatrogasaca u neočekivanoj i nepredvidivoj situaciji naglog razvoja požara predložene su slijedeće preporuke:

- Vatrogasci moraju imati znanje o osobnoj sigurnosti i mogućim razvojima požara vegetacije i moraju primjenjivati to znanje svaki put kada idu u intervenciju.
- Vatrogasci trebaju voditi računa o svim utjecajnim faktorima koji mogu djelovati na razvoj vatre. Trebaju uzeti u obzir razvoj požara na širem području od onoga na kojem se trenutno nalaze (svjesnost situacije). U slučaju ovog požara (op.a. - misli se na požar u području North Otego) vatrogasci nisu mogli pratiti aktivnosti požara u području ispod svog položaja, pa su napravili opasnu pogrešku.
- Svjesnost situacije i stalna revizija strategija i taktika u svjetlu promjena požarne situacije treba biti prisutna kod svih koji sudjeluju u gašenju požara.

- Strategije i taktike gašenja trebaju uzeti u obzir i procjenu "vrijednosti koja se dobije u slučaju riskiranja".
- U treningu vatrogasaca treba pojačati potencijalne problematične aspekte ponašanja vatre i vatrogasne sigurnosti.
- U treningu vatrogasaca treba pojačati znanja o upotrebi zaštitne opreme. Primjeri kao što je ovaj incident trebaju poslužiti kako bi se jasno naglasilo što treba, a što ne treba raditi.

Ovakvih analiza ima još puno a u biti većina preporuka se odnose na unapređenja u obuci vatrogasaca i njihovom ponašanju na terenu. Pri tome se isto tako naglašava nužnost sustavnog izučavanja požara raslinja kao kompleksnog prirodnog fenomena koji nas još i dan danas iznenadi svojim, ponekad nepredviđenim razvojem. Na temelju ovakvih i vlastitih analiza, a posebno detaljne analize događanja na otoku Kornatu u nastavku predlažemo i odgovarajuće preporuke ove radne skupine.

10.3 Preporuke na temelju provedenih analiza u okviru ovog izvještaja

Predlaže se niz kratkoročnih i dugoročnih mjera koje bi trebalo provesti kako bi se smanjila mogućnost ponavljanja ovakve nesreće, a razumijevanje, što se događa tijekom požara raslinja i to posebno raslinja karakterističnog za priobalni i otočka područja Hrvatske podiglo na još veću razinu. Ovdje se ograničavamo samo na mjere vezane s termodinamičkim i aerodinamičkim aspektima požara raslinja. Preporuke vezane uz vatrogasnu opremu i postojeće operativne postupke obrađene su izvještajima drugih radnih grupa ove interdisciplinarne ekspertne skupine.

Preporuke smo podijelili na:

- Preporuke vezane uz sustavno istraživanje problematike požara raslinja.
- Preporuke vezane uz obrazovanje vatrogasaca.
- Preporuke vezane uz operativne vatrogasne zadatke, te zadatke zaštite od požara raslinja.

10.3.1 Preporuke vezane uz sustavno istraživanje problematike požara raslinja

Opće preporuke

1. U Republici Hrvatskoj nužno je pokrenuti sustavno i interdisciplinarno istraživanje problematike požara raslinja i to s meteoroloških, vegetacijskih, termodinamičkih, aerodinamičkih i računalno – simulacijskih aspekata.
2. Pri tome nužno je istraživanja usmjeriti, ne samo prema standardnim razvojima požara raslinja na različitim vegetacijskim podlogama i u različitim meteorološkim situacijama, već i prema nestandardnom širenju požara koji je prema svjetskim iskustvima najčešći uzrok stradavanja vatrogasaca pri gašenju požara raslinja.
3. Nužno je uspostaviti znanstvenu suradnju s znanstvenicima iz zemljama koje prednjače u ovakvim istraživanjima kao što su Portugal, Španjolska, Italija, Francuska, Kanada, ali i s institucijama EU. Pri tome posebno naglašavamo uspostavu čvršće suradnje sa JRC-IES (Joint Research Center- Institute for Environment and Sustainability) u Ispri – Italija koja se bavi problematikom požara otvorenog prostora, te omogućiti prijenos znanja i tehnologije i uspostaviti užu suradnju na području zaštite i gašenja požara.

4. Rezultati znanstvenog istraživanja, stečeno iskustvo i znanje treba biti tiskano i/ili u elektronskom obliku pripremljeno kao udžbenici, knjige, monografije i u svim drugim vidovima dostupnim prije svega svima koji su vezani uz požare otvorenog prostora, ali i svim drugim zainteresiranim, pa i širokom sloju stanovništva kroz medije.
5. Nakon velikih, katastrofalnih, pogibeljnih i specifičnih požara obavezno se mora napraviti detaljna interdisciplinarna analiza požara. Ona se prezentirati stručnoj i općoj javnosti te javno objaviti (Internet, časopisi, publikacije, TV i dr.)

Preporuke vezane uz meteorološka istraživanja

6. Organizirati sustavno praćenje i analiziranje klime i vremena te njihove povezanosti s pojavom požara na otvorenom.
7. Obavezno analizirati i javno objaviti meteorološke uvjete pri pojavi velikih požara kod kojih je došlo do stradavanja gasitelja i zaštićenih područja, velikih materijalnih šteta, ili su se pojavili neki zanimljivi popratni učinci vatre.
8. Nužnost prijenosa znanja iz područja povezanosti vremenskih prilika i ponašanja šumskih požara operativnom zapovjednom vatrogasnom osoblju, vatrogascima na terenu, ali i široj javnosti kako bi se povećala svijest o opasnosti šumskih požara i spremnost reagiranja u danim situacijama.
9. Uspostaviti sustav upozorenja, kao i proširiti prognostičko razdoblje za koje se ta upozorenja daju (umjesto sadašnjih 24 sata prognozu proširiti na 5 do 7 dana).
10. Raditi na daljnjoj prilagodbi i poboljšanju kanadskog indeksa opasnosti od požara za naše podneblje, kao i uvođenju i ispitivanju drugih indeksa.
11. Modernizirati i povećati broj automatskih meteoroloških postaja s namjenom zaštite šuma od požara, kao i nabaviti mobilnu meteorološku opremu za obavljanje mjerenja na terenu.
12. Eksperimentalni agro-meteorološki laboratorij u Makarskoj treba u potpunosti privesti svrsi, proširiti obim rada laboratorija u skladu sa zajedničkim interesom ostalih institucija u RH, te na taj način stvoriti nacionalni sustav za istraživanje šumskih požara po uzoru na druge sredozemne zemlje

Preporuke vezane uz istraživanja vegetacije

13. Naglašava se potrebu formiranja nacionalnog interdisciplinarnog projekta „Biotehničke mjere u zaštiti i obnovi šuma od požara“ budući dosadašnja minimalna davanja Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa nisu dostatna. Ako su (a jesu) požari otvorenog prostora (vegetacije) naš nacionalni problem onda oni i zaslužuju nacionalni projekt radi objedinjavanja svih institucija i znanstvenika koji se time bave na jednom mjestu.
14. Nastaviti opremiti i znanstveno ojačati kadrovski rad u eksperimentalnom laboratoriju u Makarskoj (Državni hidrometeorološki zavod). Za pohvaliti je dosadašnji trud DHMZ-a i Šumarskog fakulteta na dosadašnjim istraživanjima. U sklopu širenja znanstvenoistraživačkog rada na možebitnom „Nacionalnom projektu“ isti tako opremljeni laboratorij uspostaviti i na Nastavno pokusnom šumskom objektu na otoku Rabu, Šumarskog fakulteta, budući ovaj pričuveni ne zadovoljava uvjete eksperimentalnog rada.
15. Takvim pristupom moguće je postići prijenos znanja i informacija, objedinjavanje baza podataka (požarna statistika, pedološke karte, geomorfološke karte, vegetacijske karte, strukturna obilježja šumskih kompleksa i mnoge druge informacije), kvalitetna

izobrazba vatrogasnih kadrova, korištenje dobivenih rezultata i spoznaja u operativnim vatrogasnim sustavima (od pojedinca do cjelokupnog sustava).

Preporuke vezane uz termodinamička, aerodinamička i računalno – simulacijska istraživanja

16. Oformiti i opremiti termodinamički, aerodinamički i računalno – simulacijski laboratoriji, na način da se u njemu mogu provoditi simulacijske i fizičke rekonstrukcije događanja vezanih uz požare otvorenog prostora, te sustavno istraživati značajke vezane uz njihovo javljanje i širenje na području Republike Hrvatske, a posebno priobalja i otoka. Ovo je moguće realizirati kroz Centar za istraživanje požara otvorenog prostora koji je upravo u fazi osnivanja u suradnji Splitsko-dalmatinske županije i Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje (FESB) Sveučilišta u Splitu. Na FESB-u se kontinuirano od 2003. provode sustavna istraživanja vezana s problematikom upotrebe ICT tehnologija u ranom otkrivanju požara i simuliranju širenja požara otvorenog prostora.
17. Nabaviti i uvjetima hrvatskog priobalja i otoka prilagoditi odgovarajući simulacijski programski paket koji kombinira aerodinamička i termodinamička događanja kako bi se mogle provoditi 3D - simulacijska istraživanja širenja požara na razini mikrolokacije.
18. Razviti standardni simulator širenja požara na razini makrolokacije temeljen na trenutnim vremenskim prilikama u trenutku nastanka požara, topografiji i vegetacijskim kategorijama prilagođenih značajkama hrvatskog priobalja i otoka. Dobra polazna osnova je radna verzija simulatora razvijenog na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, koji smo koristili i u ovom izvještaju. Sustav se treba nadopuniti, u suradnji sa Državnim hidrometeorološkim zavodom, na način da može primati meteorološke podatke u realnom vremenu od simulacijskih programa tipa ALADIN, te koristiti vegetacijske kategorije prilagođene hrvatskom priobalju i otocima koje bi se odredile u okviru preporuke broj 15. Simulator treba biti prilagođen vatrogastvu Republike Hrvatske i dostupan svim vatrogasnim zapovjednicima i to najbolje kao Web informacijski sustav (WIS) dostupan na svakom mjestu gdje postoji žična ili bežična veza prema Internetu korištenjem standardnih Web preglednika. Simulator treba razviti tako da se izvan požarne sezone može koristiti u obuci vatrogasnih zapovjednika.
19. Organizirati mrežu za rano otkrivanje i vizualno daljinsko praćenja razvoja požara otvorenog prostora temeljeno na suvremenim informacijsko – komunikacijskim tehnologijama. Uzor ovakvom sustavu može biti protupožarni motrilački sustav Istarske županije, a odgovarajuća programska platforma sustav IPNAS – Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav koji je na natječaju časopisa VIDI i Instituta Ruđer Bošković izabran kao najinovativniji hrvatski proizvod u 2007. godini.

10.3.2 Preporuke vezane uz obrazovanje vatrogasaca

20. Nužno je doraditi i unaprijediti sustav obrazovanja vatrogasaca koji sudjeluju u gašenju požara otvorenog prostora, a posebno na način da budu upozoreni na moguće nestandardne načine širenja požara koji mogu dovesti do fatalnih posljedica.
21. Nužno je doraditi i unaprijediti sustav obrazovanja vatrogasaca koji sudjeluju u zapovijedanju na intervencijama, te uvesti odgovarajući sustav licenciranja.
22. Uspostaviti učinkovit dvosmjerni prijenos znanja iz istraživačke i tehnološke sfere i to posebno operativnim vatrogascima kroz redovite godišnje seminare tijekom kojih

bi se prenosila najnovija tehnološka znanja vezana uz pred-požarne, požarne i post-požarne aktivnosti.

23. Sva saznanja istraživačkog i znanstvenog rada moraju biti prenesena i široj javnosti (učenicima, srednjoškolcima, studentima, poljoprivrednicima, šumarima, nautičarima, što širem domicilnom stanovništvu na jadranskom području) na sve moguće načine (televizija, radio, Internet, novine, predavanja, letci, brošure itd.) u funkciji preventivne zaštite od požara otvorenog prostora.
24. Po uzoru na Portugal, predložimo izgradnju simulatora eruptivnog požara koji bi bio sastavni dio standardne obuke vatrogasaca za gašenje požara otvorenog prostora.
25. Izvan požarne sezone standardni simulator širenja požara koristiti u obuci vatrogasnih zapovjednika po principu "Što ... ako ...". Za ovu potrebu razviti tipične scenarije za različita područja hrvatskog priobalja i otoka.
26. Uspostaviti inter-disciplinarni stručni studij za vatrogasne rukovoditelje na kojemu bi se prenosila znanja iz područja vatrogasne preventive, operative, fizike, strojarstva, meteorologije, šumarstva, ekologije i računarstva. Posebni naglasak dati problematici požara otvorenog prostora.
27. Raditi na uspostavi inter-disciplinarnog sveučilišnog studija posvećenog znanosti o vatri (eng. fire science) kao kombinaciji znanja iz područja fizike, strojarstva, meteorologije, šumarstva, ekologije i računalnih znanosti. Uspostava ovakve znanstvene discipline bila je jedna od udarnih tema na renomiranom svjetskom skupu Conference of forest fire research 2006 koji se svake 4 godine održava u Portugalu.

10.3.3 Preporuke vezane uz operativne vatrogasne zadatke te zadatke zaštite od požara raslinja

28. Donijeti standarde i standardne operativne postupke koji na precizni način definiraju sve detalje vezane s gašenjem požara otvorenog prostora po uzoru na američke NFPA (National Fire Protection Association) propise. Standardnim operativnim postupcima definirati ponašanje i postupanje vatrogasaca u situacijama u kojima se očekuje povećana opasnost koja bi mogla dovesti do fatalnih posljedica.
29. Na temelju inter-disciplinarne analize većih, katastrofalnih, pogibeljnih i specifičnih požara izvesti zaključke i eventualno dopuniti standarde i preporuke vatrogascima.
30. Na redovitim godišnjim sastancima vatrogasnih zapovjednika vezanih uz proteklu požarnu sezonu obavezno uključiti i stručnjake drugih područja (primjerice meteorologije, šumarstva, strojarstva, računarstva, spašavanja, medicine itd).
31. Na temelju provedenih istraživanja, ali i iskustvima drugih zemalja donijeti preporuke o tome kako prepoznati moguće pogibeljne situacije.
32. Razviti sustav licenciranja vatrogasaca u smislu rukovođenja gašenjem požara otvorenog prostora u skladu s iskustvom ostalih mediteranskih zemalja (primjerice Francuska). Sustav licenciranja realizirati kroz sustav vatrogasnog obrazovanja.
33. U svakoj priobalnoj županiji nabaviti i opremiti odgovarajuće vozilo kao pokretni zapovjedno-operativni centar. Pokretni centar treba uključivati potrebnu računalno – komunikacijsku opremu a organizirati ga treba po uzoru ostalih mediteranskih zemalja.

34. Uspostaviti učinkoviti sustav evidencije učesnika svake intervencije gašenja požara otvorenog prostora koji može biti i sastavni dio informacijskog sustava kojeg predlažemo u posljednjoj točki.
35. Kod svakog većeg požara uspostaviti posebnu funkciju kojoj je zadatak praćenje razvoja požara koja pri tome može koristiti alate informacijskog sustava kojeg predlažemo u posljednjoj točki.
36. Kod svakog većeg požara uspostaviti posebnu funkciju za sigurnost koja se treba baviti svim aspektima sigurnosti vatrogasne intervencije, uključujući i razradu planova evakuacije u slučaju nepredviđenog razvoja požara. Funkcije opisane u preporuci 35. i 36. mogu biti i objedinjene.
37. U svakodnevnu vatrogasnu praksu uvesti korištenje suvremenih tehnologija kao pomoć u ranom otkrivanju, daljinskom vizualnom praćenju, procjeni, donošenju odluka i post-požarnoj analizi događanja. Pri tome posebno mislimo na uvođenje učinkovitog informacijskog sustava protupožarnog nadzora i upravljanja gašenjem požara koji bi prije svega služio vatrogasnim zapovjednicima te sadržavao:
 - GIS sustava sa svim podacima relevantnim za požare raslinja
 - sustav za procjenu opasnosti od požara temeljen na kanadskom indeksu opasnosti od šumskih požara
 - standardni simulatora širenja požara prilagođenog hrvatskom priobalju i otocima i hrvatskom vatrogastvu
 - sustava za rano otkrivanje i daljinsko vizualno praćenje razvoja požara po uzoru na protupožarni motrilački sustav Istarske županije podignut na razinu automatskog prepoznavanja požara
 - sustav za unošenje u realnom vremenu svih podataka vezanih uz razvoj požara
 - sustav praćenja vatrogasne intervencije i to praćenja vatrogasnih vozila i praćenja vatrogasnih postrojbi u realnom vremenu temeljen na GPS tehnologiji i mobilnim telekomunikacijskim uslugama s mogućnošću aktiviranja alarmnog dugmeta u slučaju opasnosti
 - ekspertni sustav podrške pri donošenju odluka vezanih uz gašenje požara

Sustav treba biti koncipiran kao Web informacijski sustav (WIS) dostupan na svakom mjestu gdje postoji žična ili bežična veza prema Internetu korištenjem standardnih Web preglednika.

.....

Svi članovi ove inter-disciplinarne skupine prihvatili su sudjelovati u radu na ovom izvještaju prije svega zbog toga što smatraju da su poslovi vatrogastva od izuzetne društvene važnosti, a po samoj svojoj naravi i potencijalno vrlo opasni poslovi.

Svaki požar, a pogotovo požar raslinja, često se ponaša drugačije nego li se u prvi tren očekuje, ali se i tada ponaša po prirodnim, fizikalnim zakonima.

Na nama znanstvenicima je da ih što bolje izučimo i razumijemo, kako bismo savjetima, objašnjenjima i dodatnom obukom pridonijeli vatrogastvu Republike Hrvatske.

Na društvu je, prije svega na izvršnoj vlasti, da to prepozna i podrži. Zato smo i izvještaj zaključili prijedlogom preporuka.

Uvjereni smo da bi se njihovom realizacijom znatno unaprijedilo razumijevanje požara raslinja hrvatskog priobalja i otoka, a vatrogastvo Hrvatske podiglo na još veću razinu, što i zaslužuje.

INTERDISCIPLINARNA – EKSPERTNA RADNA SKUPINA
ZA RAZRJEŠENJE OKOLNOSTI POŽARA
NA OTOKU KORNAT 30. KOLOVOZA 2007. GODINE

Radne grupe za analizu meteoroloških prilika, vegetacije, termodinamičkih i
aerodinamičkih događanja na mjestu požara

POGLAVLJE 11

LITERATURA

SPLIT – ZAGREB, 15. VELJAČE 2008.

LITERATURA

11. LITERATURA

ADINA 2006. Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis - <http://www.adina.com/>, 2006.

ALADIN, 1997: The ALADIN project: mesoscale modeling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research, WMO Bulliten, 46, 317–324.

Albini, F. A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. Gen. Tech. Rep. INT-30. Ogden, Utah: Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92 p.

Anderson, Hal E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-122, 22p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah 84401.

Andrews, P.L., Bevins C.D., Seli R.C. 2005. BehavePlus Fire Modelling-User's Guide, US Department of Agriculture, Tech.Rep.RMRS-GTR-106, June 2005.

Arca, B., Duce, P., Pallizzaro, G., Bacciu, V., Salis, M., Speno, D., 2007. Evaluation of Firsite Simulator in a Mediterranean Area, Wildfire 2007 Int.Conference, Sevilla, Spain, (Thematic Session 4) May 2007.

Bodrožić, Lj.; Marasović, J.; Stipaničev, D. Fire Modelling in Forest Fire Management, Proc.of Int. Conf. CEEPUS Spring School – Engineering for the Future, Kielce, Poland 6-16.06.2005. pp. 7 – 15

Bodrožić, Lj.; Stipaničev, D.; Šerić, M. Forest Fires Spread Modeling Using Cellular Automata Approach, Proc.of Int. Conf. CEEPUS Summer School – Modern trends in control, Košice, Slovak Republic, 1-15.7.2006. pp. 23-33

Bodrožić, Lj.; Stipaničev, .Štula, . 2006. Agent Based Data Collecting in Forest Fire Monitoring System, Proc. of IEEE Conference SoftCOM'99 (Internacional Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks), Split, Dubrovnik, Venice (Italy), Sept 29 – Oct. 1 2006, CD proceeding, 6 pages

Bonner, W. D., 1968: Climatology of the low level jet, Mon. Wea. Rev., 96, 833–850.

Bošnjaković, F. 1970. Nauka o toplini I, Tehnička knjiga, Zagreb

Bošnjaković, F. 1976. Nauka o toplini II, Tehnička knjiga, Zagreb

Butler B.W, Anderson W.R. Cathcopole E.A. 2007. Influence of Slope on Fire Spread rate, USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-46CD, 2007, pp.75-82

CAFWE 2007. Coupled Atmosphere - Wildland Fire - Environment model, <http://box.mmm.ucar.edu/research/wildfire/afm/afm.html> 2007.

Chuvieco, E., I. Aguado, and others (2004). Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. Canadian Journal of Forest

LITERATURA

Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere 34 (11): 2284-2293.

CLC 2000, Baza podataka CORINE Land Cover, <http://www.azo.hr/Default.aspx?sec=500>

Dimitrov, T. i drugi 1987: Osnove zaštite šuma od požara, Poglavlje: Šumski požari i sistemi procjene opasnosti od požara, CIP, Zagreb, 181-256.

Dimitrov, T. 1994: Biološki parametri prikladni za poboljšanje indeksa opasnosti od šumskih požara. Šumarski list, CXVIII (3-4): 105-113, Zagreb.

Dosje Kornat, posebni prilog Večernjeg lista, 7.listopad.2007. 15 p.

Elert, Glen, 2007. Chemical Potential Energy, The Physics Hypertextbook, 1998 – 2007 (<http://hypertextbook.com/physics/matter/energy-chemical/>)

Energy Density 2007. – Wikipedia - http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density_2007.

Filipi, A.R. 1972. Kornati, 80 str., Zadar

Fričanović, M.A. 1996. Kornati – gospodarsko promišljanje. Priopćenja sa simpozija „Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje“, 15 – 21, Zagreb

Finney, M.A. 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. 47 str.

Grell, G. A., Dudhia, J. and D. R., Stauffer, 1995: A Description of the Fifth' Generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 122 str.

Hrastnik, B. Stipaničev, D. i Vujčić, R. 2004. Regionalni model financijski samostojne i samoodržive preventivne zaštite od šumskih požara u Splitsko-dalmatinskoj županiji, EGE : energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, 12 (3) 2004, str. 38-42

Hrastnik, B.; Stipaničev, D. Vujčić, 2004. R. Forest Fire Protection by 24h Monitoring, Wood Collection Intended for District Heating Plants and Easy Access Routes Assigned to Firemen and Tourism, 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection ETA-Florence, Italy and WIP-Munich, Germany, 2004.. V3.36.

HTV objavio audio zapis tragedije na Kornatima – http://www.24sata.hr/index.php?cmd=show_clanak&tekst_id=28639

Ivančan-Picek, B., D. Glasnović, V. Jurčec, 2003:precipitation event on the Eastern side of the Alps during MAP IOP5. Meteorologische Zeitschrift, 12, 103-112.

Ivančan-Picek, B., Jurčec, V. and D. Drvar, 2006: On the causes of Adriatic jugo wind variations, Hrvatski meteorološki časopis, 41, 21–32.

Ivatek-Šahdan, S. i M. Tudor, 2004: Use of High-Resolution Dynamical Adaptation in Operational Suite and Research Impact Studies. Meteorologische Zeitschrift, 13, No. 2,

LITERATURA

99-108.

Ivatek-Šahdan, S. and B. Ivančan-Picek, 2006: Effects of different initial and boundary conditions in ALADIN/HR simulations during MAP IOPs, *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 2, 187–197.

Jurčec, V. i T. Dimitrov, 1986: Meteorološki indeks opasnosti od šumskih požara, *CAD/CAM*, 8, 419-424.

Kirin, S. Dragčević, Z. Rogale D. 2002. Stanje i normizacija zaštitne odjeće, *Tekstil* 51(5) 2002. pp. 230-237.

Kraljević, L. and K. Špoler Čanić, 2005: High resolution simulation of a severe bura event using nonhydrostatic numerical model, *Hrvatski meteorološki časopis*, 40, 292–295, Zagreb.

Kulišić, S. 1965. Kornatska otočna skupina, *Geografski glasnik*, br. 27, Zagreb, 215-245.

Matić, S., Đ. Rauš., Z. Seletković, Ž. Španjol, I. Anić, M. Oršanić, I. Tikvić, D. Baričević (2001). Prilog poznavanju šuma i šumske vegetacije nacionalnog parka Kornati i parka prirode Telašćica. *Šum. List CXXV* (11-12): 583 – 598, Zagreb

Pearce, H.G. 2007. Buckland Crossing Firefighter Burnover – A Case Study of Fire Behaviour and Firefighter Safety Implications, *USDA Forest Service Preceedings RMRS-P-46CD* (2007)

Pellizzaro, G., Cesaraccio, C., Duce, P., Ventura, A. i Zara, P.: Weather sesonality and pattern of thermochemical properties in vegetation living in the Mediterranean basin (Seventh Symposium on fire and forest meteorology, 23-25.10.2007, Atlantic oaks Bar Harbor, Maine

Peuch, E. 2007. Wild Fire safety: Feed Back on Sudden Ignitions causing Fatalities, *Wildfire 2007 Int.Conference*, Sevilla, Spain, (Thematic Session 6) May 2007.

Pevalek, I. (1930): Vaskularna flora. U: *Prirodoslovna istraživanja sjevernodalmatinskog otočja Dugi i Kornati*. *Prir. Istraž. Jugoslav. Akad.* 16, 119 – 158, Zagreb

Rothermel, R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *Research Paper INT-115*, United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT. 42 p.

Rothermel R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *General Technical Report INT-143*, United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Reserach Station, Ogden, UT. 161 p.

Scott, Joe H.; Burgan, Robert E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p..

LITERATURA

Sebastian-Lopez A.; San Miguel-Ayaz, J.; Liberta, G., 2001. An integrated forest fire risk index for Europe, Remote Sensing in the 21st Century: A decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. (EARSeL), Buchroichtner (ed) 2001 Balkema, Rotterdam, , ISBN 90 5809 187 2

Stipaničev D. i Hrasnik B. 2004. Studija za Splitsko-dalmatisku županiju : "Integralni model zaštite od šumskih požara na području Splitsko – dalmatinske županije", Split 2004. (240 stranica)

Stipaničev D. i Štula M. 2006. Projekt za Splitsko-dalmatisku županiju : "Projekt integralnog informacijskog sustava zaštite od šumskih požara za područje Splitsko – dalmatinske županije", Split 2006. (241 stranica)

Stipaničev, D., Vuko, T. Krstinić, D. Štula, M. Bodrožić, Lj. 2006. Forest Fire Protection by Advanced Video Detection System - Croatian Experiences , Third TIEMS Workshop – Improvement of Disaster Management System, Trogir, Sept. 26 – 27, 2006., CD proceeding, 10 pages

Stipaničev, D. Vuko, T, Bodrožić, Lj. 2007. Location Determination of Automatic Forest Fire Monitoring Stations based on AHP and GIS data, TIEMS (The International Emergency Management Society) 2007 Int.Conference, Trogir, June 2007.

Stipaničev, D. Hrastnik, b. Vujčić, R. 2007. Holistic Approach to Forest Fire Protection in Split and Dalmatia County of Croatia, Wildfire 2007 Int.Conference, Sevilla, Spain, (Thematic Session 2) May 2007.

Šiki, Z., 2002: Knjiga o kalendarima. Profil, Zagreb. 256 str.

Šoštarić, E. Iskaz jedinog preživjelog, Nacional, 18.rujna 2007. pp.14 – 17

Štula, M. Stipaničev, D. Vuko, T. Agent Based Fuzzy Cognitive Maps in Fire Fighting Decision Support, TIEMS (The International Emergency Management Society) 2007 Int.Conference, Trogir, June 2007.

Trinajstić, I., 1996: Sukcesija vegetacije na požarištima šuma crnike i crnog jasena as. Orno-Quercetum ilicis u Hrvatskoj. Šumarski list. 1-2, s.3

Trinajstić, I. (1996): Pregled flore Kornatskog otočja. Priopćenja sa simpozija „Prirodna podloga, zaštita, društveno i gospodarsko valoriziranje“, 161 – 179, Zagreb

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

Valette, J.C. 1990: Inflammabilites des especes forestieres Mediterraneennes- Consequences sur la combustibilite des formations forestieres. Rev. For. Fr. 42, 76-92

Van Wagner, C.E. and T.L. Pickett, 1985: Equations and Fortran Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System, Canadian Forestry Service, Government of Canada, Forestry Technical Report 33, 18 pp.

LITERATURA

- Viegas D.X, Ribeiro PR i Cruz MG 1998. Characterization of the combustibility of forest fuels, Proc. of III Int.Conf. on forest fuels, Nov. 1998, Vol B17 (Ed. DX Viegas), pp. 467 – 482, Coimbra, Portugal
- Viegas D.X., Pita L.P., Matos L. i Palheiro P. 2002. Slope and Wind Effect on Fire Spread, Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Viegas (ed.), 2002 Millpress, Rotterdam, p.16
- Viegas D.X e LP Pita, 2004. Fire Spread in Canyons. International Journal of Wildland Fire. 13(3):1-22.
- Viegas, D.X. 2004b - On the existence of a steady-state regime for slope and wind driven fire. International Journal of Wildland Fire. 13(1): 101-117.
- Viegas D.X, 2004c. Slope and Wind Effects on Fire Propagation. Int. J. Wildland Fire, 13(2): 143-156.
- Viegas D.X, 2005. A Mathematical Model for Forest Fires Blow-up. Combustion Science and Technology. 177:1-25.
- Viegas, D. X. Pita, . L. P. Ribeiro L. and Palheiro P. 2005b Eruptive Fire Behaviour in Past Fatal Accidents, Eighth International Wildland Fire Safety Summit, April 26-28, 2005 Missoula, MT.
- Viegas D.X. 2005c. Forest Fire Methodology, research and Application, Wild Fire Workshop, Melburn, Australia, June 2005.
- Viegas D.X. 2006. Analysis of Eruptive Fire Behaviour, V Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, Portugal, Nov. 2006, 13 p.
- Viegas D.X 2006a. Anatomy of the blow-up, Wildfire Magazin Sept/Oct 2006. http://wildfiremag.com/mag/anatomy_blowup/index.html
- Viegas D.X. 2006b. Parametric study of an eruptive fire behaviour model, International Journal of Wildland Fire, 2006, 15,169–177, 2006.
- Viegas D.X., L.Ribeiro, L.Pita, C.Rossa 2008. „The Kornati Island Accident – A Preliminary Analysis“ Workshop Forest Fire Behavior Research and Kornati Fire Accident – Facts and Preliminary Research Results, Split, 4.veljače 2008.
- Van Wagner, C.E.; Pickett, T.L.. 1985. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Can.For.Serv., Ottawa, Ontario. For.tech. Rep.33.
- Vučetić, M., 1987: Meteorološka analiza katastrofalnog šumskog požara na Koruli 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., 1998a: Specijalna mjerenja nakon šumskih požara na otoku Hvaru,

LITERATURA

Vatrogasni vjesnik, 4, 12.

Vučetić, M., 1998b: Utjecaj vremena na nastanak i širenje šumskog požara, Vatrogasni vjesnik, 10, 21–22.

Vučetić M., 1998c: The influence of weather condition on forest fire on the island of Hvar, 28 July–4 August 1997, III International Conference on Forest Fire Research, Vol. I, Luso, Portugal, 16–20 November 1998, 1295–1303.

Vučetić M., 1999: Požari u različitim vremenskim situacijama, Vatrogasni vjesnik, 12, 12–14.

Vučetić, M., 2001: Vremenske prilike i šumski požari na hrvatskom priobalju tijekom 2000, Šumarski list, 7–8, 367–378.

Vučetić M. i T. Dimitrov, 2000: Vremenske prilike i šumski požari u priobalju Republike Hrvatske u 1999. godini, Šumarski list, 9-10, 549–560.

Vučetić M. i V. Vučetić, 1999: Different types of the forest fires on the Croatian coast, Symposium Forest Fires: Needs and Innovations, DELFI99, Athens, Greece, 17–20 November 1999, 365–369.

Wotton, M. 2007. “Grass Fire Behaviour and Flame”, Fire Management System laboratory, http://www.firelab.utoronto.ca/behaviour/grass_fire.html i osobna prepiska s Dr. Mike wottonom

www.24sata.hr – Galerije sa slikama vezanim uz Kornatsku tragediju - http://www.24sata.hr/index.php?cmd=show_clanak&tekst_id=28019 (dosta slika i video materijala se dobije i ukoliko se pod ‘upišite traženi pojam’ stavi ‘Kornati’)

www.vatrogasni-portal.com – Izbor tekstova, fotografija i video-klipova vezanih uz Kornatsku tragediju - <http://www.vatrogasni-portal.com/search.php?stype=n> (pod nađi staviti Kornati)

Yebra, M.;Aguardo,I.; Garcia, M.:Nieto, H.; Chuvieco, E. et Salas, J. 2007. Fuel moisture estimation for fire ignition mapping, Wildfire 2007. Sevilla, Espania, 2007.

Žabec, K.; Petrušić, Ž. Prva dojava o pogibelji stigla nakon odlaska kanadera, Jutranji list, 9.studeni 2007.