



SUVREMENE RAČUNALNE METODE SIMULIRANJA ŠIRENJA POŽARA RASLINJA I NJIHOVA MOGUĆA PRIMJENA ZA PROSTOR HRVATSKOG PRIOBALJA

Prof.dr.sc. Darko Stipanićev
*Katedra za modeliranje i intelligentne sustave i
Centar za istraživanje šumskih požara (u osnivanju)
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Splitu - dstip@fesb.hr tel. 021 305 643*

Seminar "Požari otvorenog prostora" – Trogir 29.travnja 2008.

Sadržaj

- Što je simulacija širenja požara raslinja ?
- Zašto simulacija širenja požara raslinja ?
- Kako napraviti simulaciju širenja požara ?
- Što se od toga može primijeniti u Hrvatskoj ?



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Što je simulacija širenja požara ?

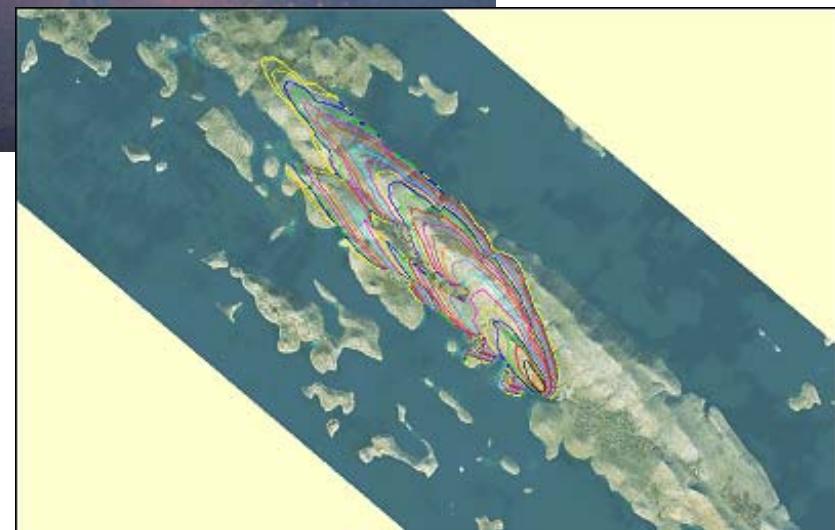
- Simulacija i modeliranje **širenja požara** raslinja (eng. Fire Spread Modelling) samo je jedan od dijelova kompleksnijeg modela **ponašanja šumskog požara** (eng. Fire Behavior Modelling). Modeliranje ponašanja šumskog požara osim modela širenja uključuje i **modeliranje zapaljenja šumskog požara** (eng. Fire Ignition Modelling) i **modeliranje intenziteta šumskog požara** (eng. Fire Intensity Modelling).

Što je simulacija širenja požara ?

- Modeliranje ponašanja šumskog požara je dosta složenije i uključuje interakciju požara s dinamikom atmosfere te modelira primjerice i problem nastajanja i širenja dima.
- Međutim po praktičnim iskustvima EU projekata koji su se proteklih 10 godina bavili ovom problematikom za operativni rad vezan s požarnom preventivom i upravljanjem gašenjem požara dovoljno je **simuliranje i modeliranje širenja požara raslinja**, pa se u ovom dijelu prvenstveno njime i bavimo.

Zašto simulacija širenja požara ?

- **Zbog**
 - prošlosti,
 - sadašnjosti i
 - budućnosti



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Prošlost

■ Prošlost – Simulacija širenja požara koji su se dogodili u prošlosti – rekonstrukcija i analiza

- Analiza događanja koji su se dogodili sa ciljem detaljnijeg razumijevanja i razjašnjenja pojedinih događanja, pogotovo kada se radi o nesretnim događanjima i velikoj materijalnoj šteti.
- Analiza intervencije sa ciljem unaprjeđenja djelotvornosti u budućnosti.
- Zašto požari koji su se dogodili ? Zbog mogućnosti **provjere modela usporedbom** zabilježenog kretanja požara i simuliranog kretanja požara.

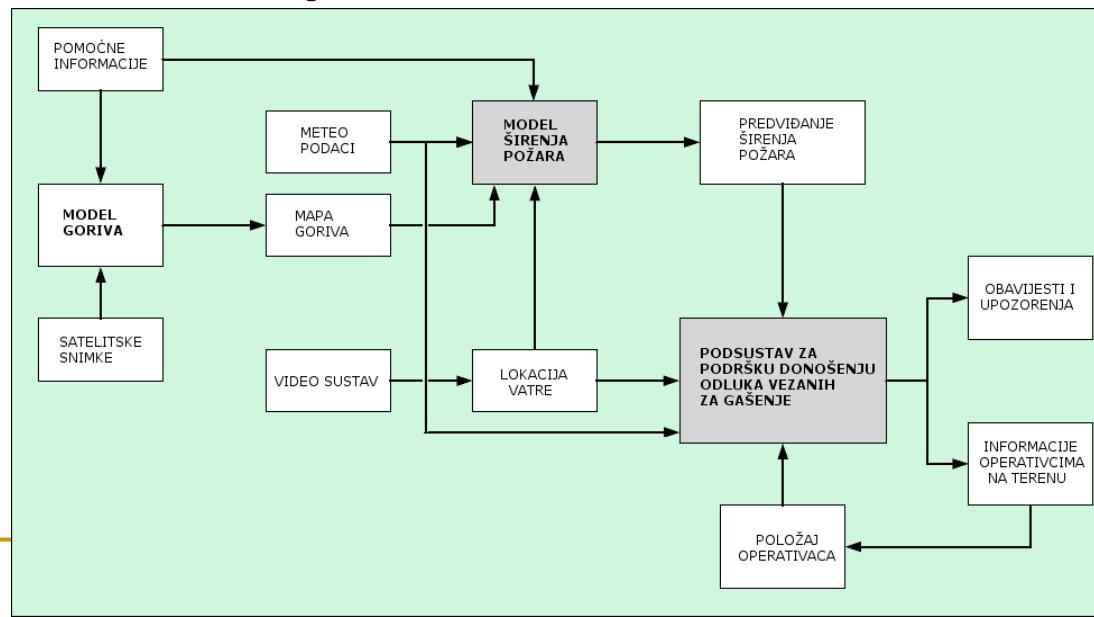


IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Sadašnjost

- **Sadašnjost – simulacija aktivnih požara**
 - Pomoć pri donošenju odluka o gašenju požara.
 - Analiza pojave mogućih pogibeljnih situacija, te planiranje putova evakuacije.
 - Provjera djelotvornosti pojedinih poduzetih akcija.



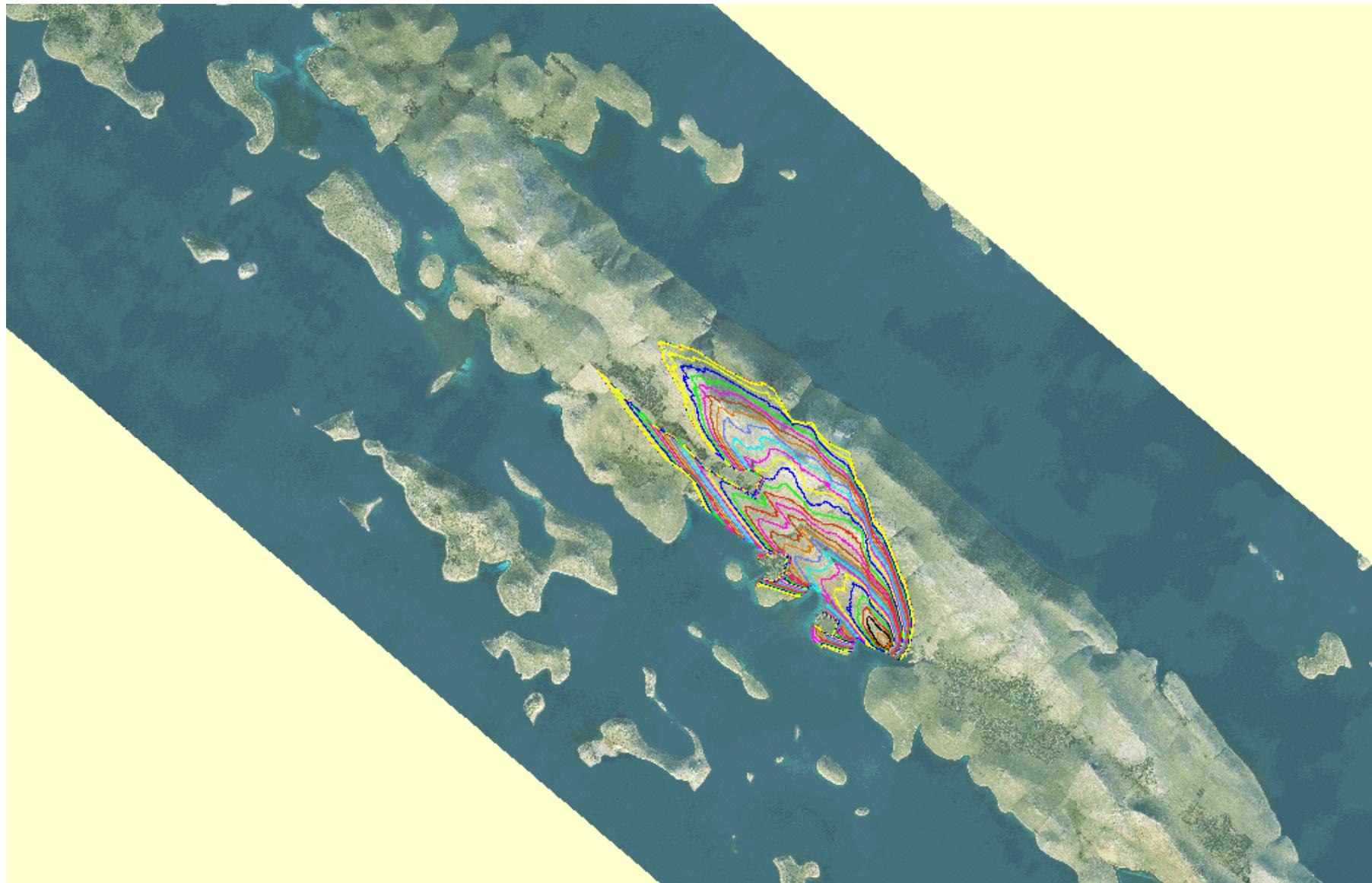
Budućnost

- **Budućnost – simulacija potencijalnih požara**
 - Pomoći pri planiranju preventivnog vatrogasnog djelovanja.
 - Pomoći pri planiranju učinkovitosti različitih postupaka gašenja u različitim uvjetima (prije svega vremenskim)..
 - Obuka budućih zapovjednika po principu “Što ... ako ...” (pojava požara na različitim lokacijama po različitim meteorološkim uvjetima).



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav



IPNAS

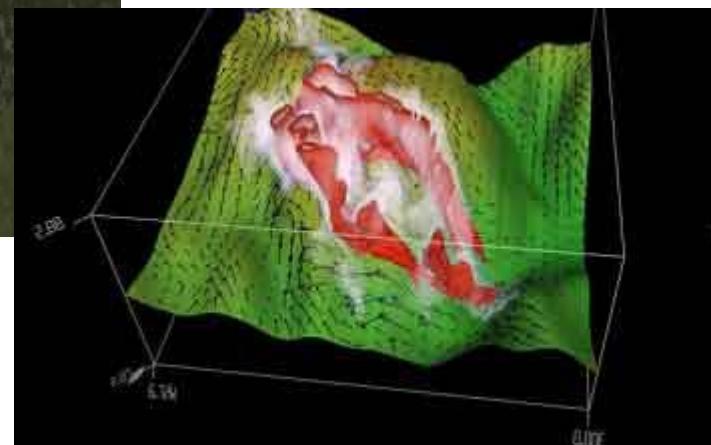
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Kako će simulacija šumskog požara izgledati u budućnosti

- **FILM 1**
- **FILM 2**



- **FILM 3**- Coupled Atmosphere-Fire Modeling



IPNAS
Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Kako napraviti simulaciju širenja požara raslinja ?

- Bez obzira koliko se požar raslinja činio kompleksan on se **ipak ponaša po zakonima fizike** i to prije svega termodinamike i aerodinamike.
- Proučavajući ponašanje požara i uspoređujući ih s poznatim zakonima fizike znanstvenici su postavili cijeli niz modela širenja požara raslina.



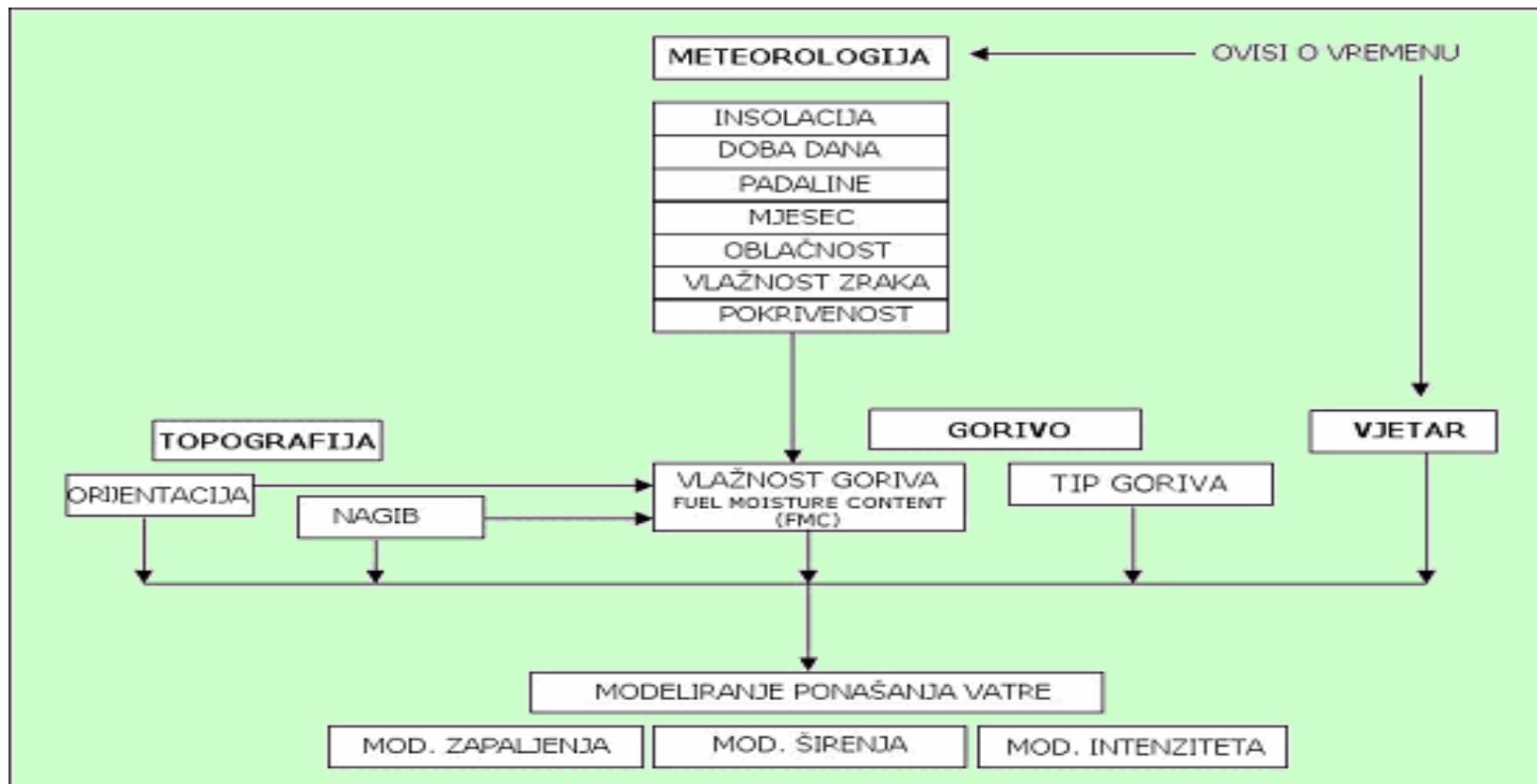
IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

O čemu ovisi brzina širenja požara ?

- U zadnjih 50 godina razvijeno je više modela širenja požara, ali **svi oni ipak imaju nešto zajedničko**. Većina ih se slaže da način širenja požara ovisi o
 - **vremenskim uvjetima** i to prije svega smjeru i brzini vjetra, temperaturi i vlažnosti zraka,
 - **mjestu početka vatre**,
 - **vrsti i vlažnosti** mrtvog i živog dijela **vegetacijskog pokrova** na putu širenja vatre,
 - **topografiji terena** i to primarno o nagibu terena i orientaciji terena,
- Modeli se razlikuju po jednadžbama širenja i načinu kako se i u kojoj mjeri te ulazne veličine uključuju u model.

O čemu ovisi brzina širenja požara ?



Međuovisnost ulaznih varijabli koje utječu na modeliranje ponašanja šumskog požara

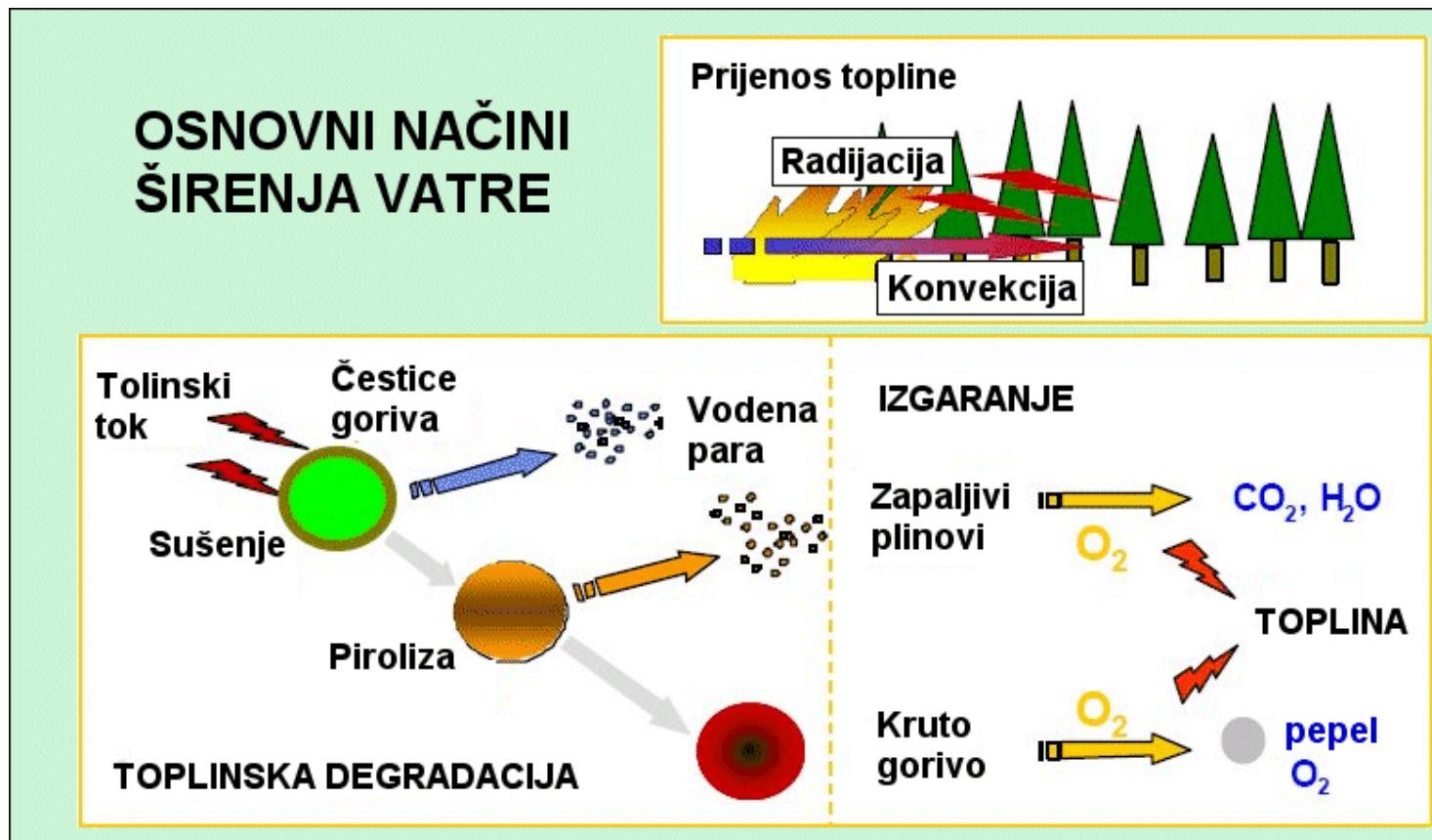
Procesi širenja požara

- Modeliranje širenja šumskog požara temelji se na tri procesa:
 - **Proizvodnje topline** od strane **izvora topline**, uglavnom zbog izgaranja gorivog materijala.
 - **Prijenos topline** sa izvora topline na prijamnik topline.
 - **Absorpcije topline** od strane **prijamnika topline** koji nakon zapaljenja postaje novi izvor topline (okolni nezapaljeni materijal).

Procesi širenja požara

- Modeliranje širenja šumskog požara temelji se na modeliranju sva tri procesa i kombiniranju njihovih rezultata kako prostorno, tako i vremenski.
- Modeliranje širenja šumskog požara je prostorno – vremenski problem. Kazano na jednostavan način, uzimajući u obzir samo balans 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 okolini točke gorenja.

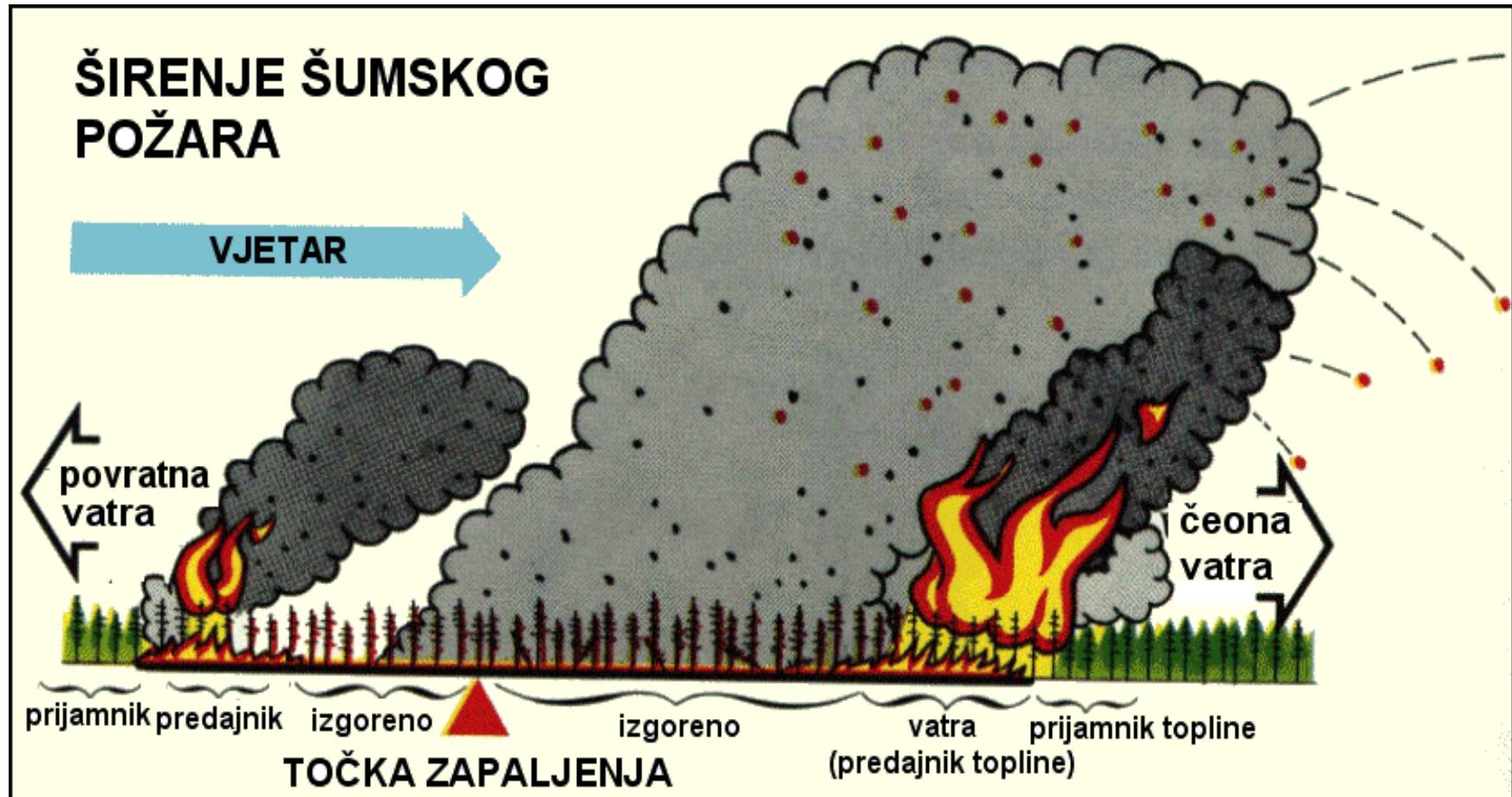
Osnovni načini širenja vatre



IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Osnovni načini širenja vatre



IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Procesi širenja požara

Na pojavu i širenje šumskog požara utječe mnogo različitih faktora, ali najvažniji su:

- **vegetacija - šumsko gorivo,**
- **meteorološki parametri** koji primarno utječu na **vlažnost goriva** (mrtvog i živog),
- **vjetar** i
- **topografija terena.**



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Vegetacija- šumsko gorivo

- Prema prije spomenutom jednostavnom modelu širenja šumskog požara šumsko gorivo je **izvor topline, prijamnik topline**, a u nekim slučajevima i **sredstvo prijenosa topline sa izvora na prijamnike**.
- Šumsko je gorivo odgovorno za zapaljenje, širenje i konsolidaciju vatre u obliku kranske vatre u krošnjama.

Vegetacija- šumsko gorivo

- Šumsko se gorivo sastoji od čestica različite veličine, kombinacije mrtvog i živog goriva, složenih na način da čine vrlo kompleksnu kombinaciju sastavljenu od:
 - **Prizemnog gorivog sloja** (eng. duff)
 - **Sloja otpadnog materijala** (eng. litter)
 - **Posjećenog materijala** (eng. slash)
 - **Trave** (eng. grass)
 - **Grmlja** (eng. bush)
 - **Stabla (krošnje)** (eng. trees)

Vegetacija- šumsko gorivo

- U odnosu na tip 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.



IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Vegetacija- šumsko gorivo

- Parametri koji se kod modeliranja širenja požara uzimaju u obzir su:
 - **Količina goriva** – iskazuje se u kg/m² ili t/ha i u direktnoj je vezi sa biomasom. Dio goriva koji sudjeluje u procesu gorenja naziva se **aktivno požarno gorivo**.
 - **Veličina gorivih čestica** – direktno ovisi o ponašanju vatre.
 - **Energetska vrijednost goriva** – izražava količinu topline koju jedinična masa goriva oslobađa.
 - **Specifična tolina goriva**
 - **Temperatura paljenja** koja ovisi o vrsti goriva

Vegetacija- šumsko gorivo

- Parametri koji se kod modeliranja širenja požara uzimaju u obzir su:
 - **Omjer površine i volumena gorive čestice** – mjera je proporcionalnosti površine izložene prijenosu topline u odnosu na masu čestice.
 - **Količina goriva u jediničnom volumenu prostora** – ova veličina iskazuje odnos količine goriva i ukupnog volumena područja na kojem je gorivo.
 - **Količina minirela, voskova i ulja** – voskovi i ulja utječu na način prijenosa topline i djeluju kao dobri prijamnici topline.

Meteorologija i njen utjecaj na vlažnost goriva

- **Meteorologija** je faktor koji znatno utječe na ponašanje požara. **Vlažnost zraka** i **vjetar** su dva faktora koji su odgovorni za više od **90% ponašanja požara**, pa je njihovo poznavanje i mjerjenje na lokalnoj razini od izuzetnog značaja za upravljanje gašenjem požara i modeliranje širenja požara.
- Zapaljenje i širenje vatre direktno je vezano sa vlažnošću goriva, a u odnosu na vlažnost gorivo grubo dijelimo u mrtvo gorivo kod kojega je iznos vlage mali i živo gorivo koje ima veliki postotak vlage.



IPNAS

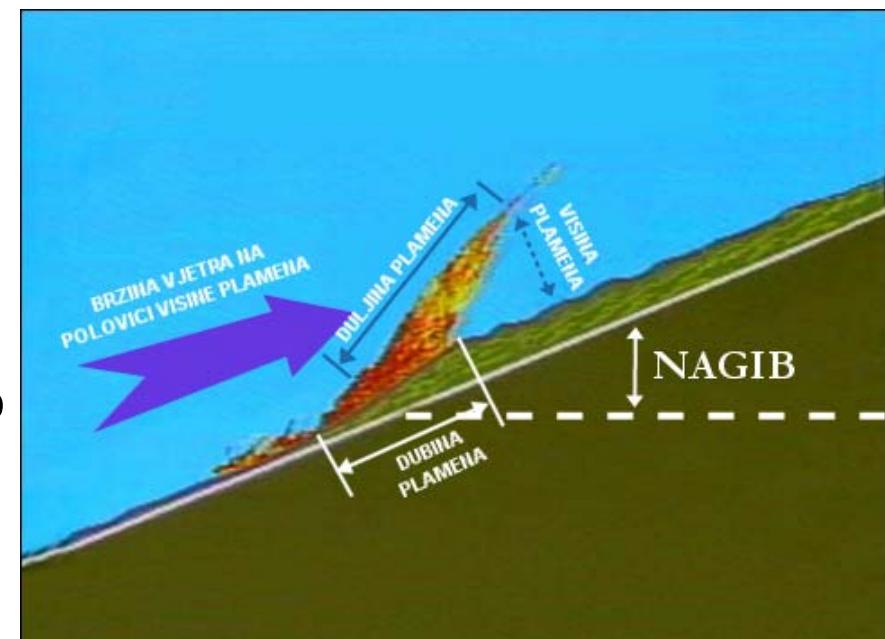
Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Vjetar

- **Vjetar** je faktor koji možda najviše utječe na ponašanje šumskog požara, a posebno na brzinu njegovog širenja.
- Uzeti vjetar u obzir i nije jednostavan zadatak. Lako je modelirati strujanje vjetra na visini od 100 metara, ali prizemni vjetar je ovisan o lokalnoj konfiguraciji terena, toplinskim razlikama iznad izgorjelog i neizgorenog terena što stvara turbulentna i nepredvidiva lokalna kretanja vjetra.

Topografija

- I na kraju zadnji utjecajni faktor.
- Dobro je poznato i to da se požar brže širi uzbrdo, nego nizbrdo.
- Drugačija je sunčeva radijacija na strmim i manje strmim terenima, drugačija je na terenima okrenutim prema sjeveru, a drugačija na terenima okrenutim prema jugu.
- Količina sunčeve radijacije direktno utječe na količinu vlage u gorivu, a to opet direktno utječe na način širenja požara.



Kako sve to povezati u model širenja ?

- Sve to skupa povezuje se kroz model širenja požara raslinja, a modele dijelimo na:
- **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 sa na požarištu događaju. Modeli opisuju procese prijenosa i ravnoteže topline.

Kako sve to povezati u model širenja ?

- **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 goriva, terena i brzine vjetra. Mana im je što ne ne objašnjavaju fenomen, ali su s praktičke točke gledanja posebno značajni.

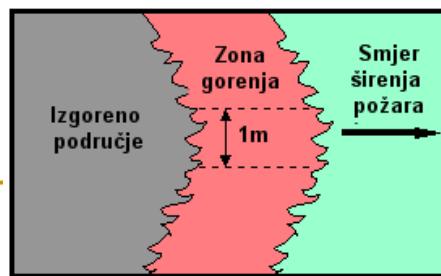
Kako sve to povezati u model širenja ?

- **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 **Frandsen – Rothermelov model** je jedan od popularnijih. On procjenjuje brzinu širenja požara kroz homogeno područje koje sadrži gorive čestice različite veličine.



Kako sve to povezati u model širenja ?

- Sve su ovo osnovni modeli koji kao izlaz daju parametre širenja požara a to su prije svega:
 - **Brzina širenja** požarne fronte m/s
 - **Toplinska energija po jedinici površine** u kJ/m^2
 - **Intenzitet požarne fronte** – toplinska energija koja se oslobodi u jedinici vremena (toplinska snage) po 1 m gorive materije na početku požarne fronte u kW/m
 - **Duljina plamena** u m
 - **Intenzitet reakcije** – toplinska energija koja se oslobodi u jedinici vremena (toplinska snaga) po jedinici horizontalne površine požarne fronte u kW/m^2 - ne ovisi o brzini i smjeru vjetra i nagibu terena.

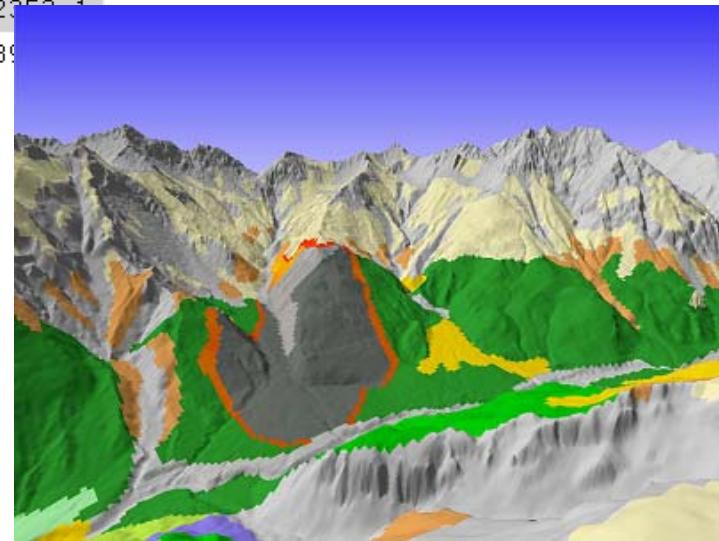


Kako sve to povezati u model širenja ?

- Kod dvodimenzionalnih (2-D) i trodimenzionalnih (3-D) modela na temelju ovih parametara računa se širenje požara u svim dimenzijama.

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	2352.1
14.4	65.3	7963	8670	5.0	518	3923.1



IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Što se u svijetu najviše koristi ?

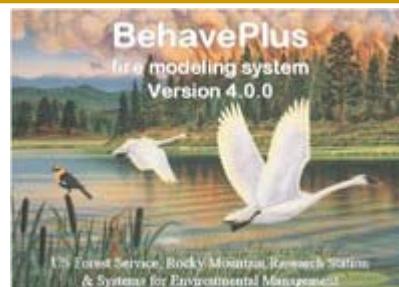
- U svijetu se najviše koristi semi-empirijski **Frandsen – Rothermelov model** je programski realiziran i obliku programa BehavePlus koji se besplatno može skinuti sa stranica američkog The Missoula Fire Sciences Lab -
<http://www.firemodels.org/content/view/12/26/>



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

BehavePlus



BehavePlus 3.0.2 Page 1

Modules: SURFACE, SIZE

Description: compare fire behavior for several fuel models

Fuel/Vegetation, Surface/Understory

Fuel Model: 2 5 GR2 SH2

Fuel Moisture

Dead Fuel Moisture	%	5
Live Fuel Moisture	%	75

Weather

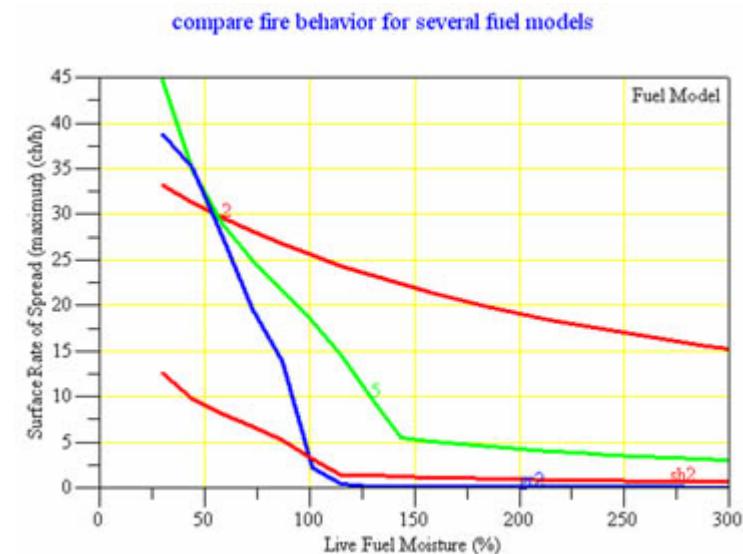
Midflame Wind Speed (upslope) m/s: 4

Terrain

Slope Steepness %: 0

Fire

Elapsed Time	Fuel	ROS	Flame	Fire	Fire
	Model	(max)	Length	Area	Perimeter
	ch/h	ft	ac	ch	
2	27.9	5.7	35.1	72	
5	24.4	6.4	26.8	63	
gr2	18.4	3.3	15.3	48	
sh2	6.5	4.6	1.9	17	



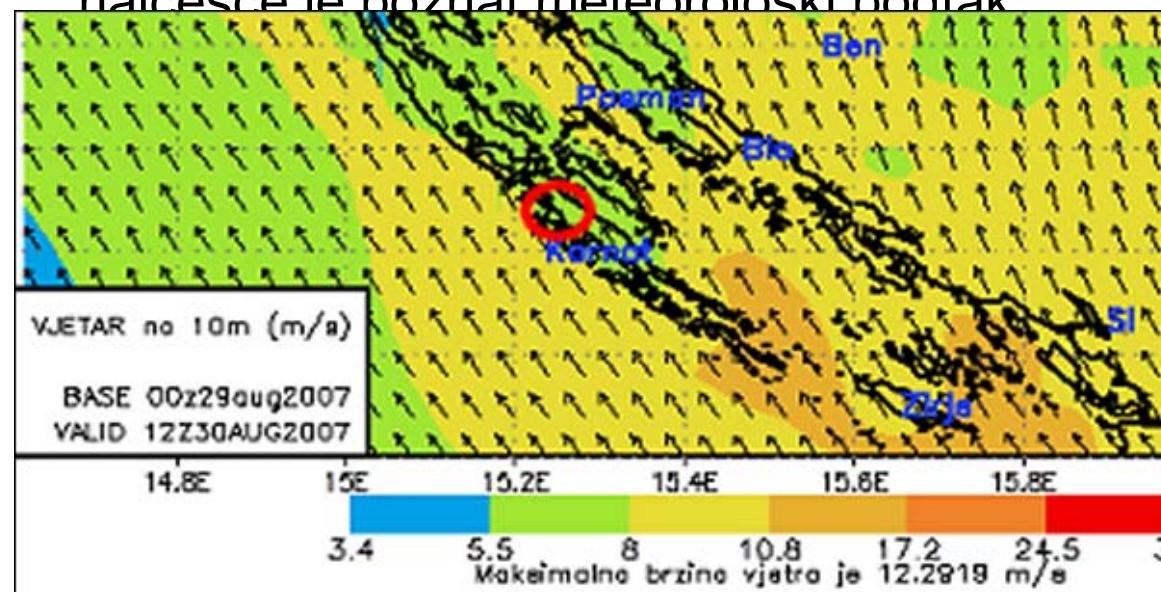
IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

BehavePlus – Primjer Kornati

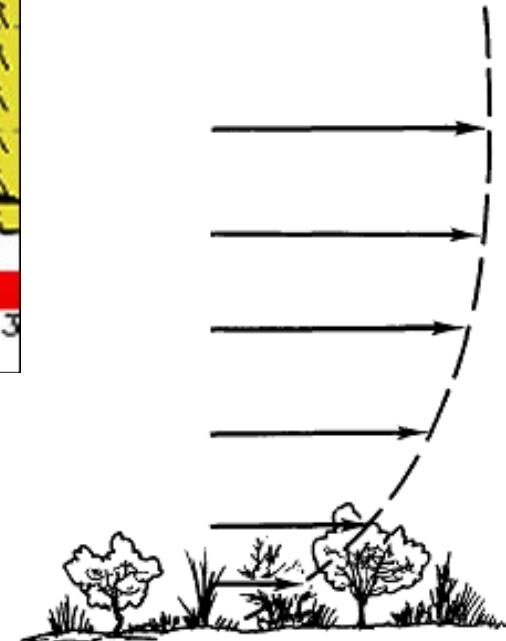
- Najprije treba odrediti ulazne parametre:
 - brzina vjetra
 - tip vegetacije i njeni parametri u odnosu na gorivost
 - vlaga u mrtvom gorivu
 - vlaga u živom gorivu
 - nagib terena
 - smjer vjetra u odnosu na rast nagiba terena

BehavePlus – Kornati – brzina vjetra

- Za modele širenja treba brzina vjetra na polovici visine plamena na ravnoj plohi, a najčešće je poznat meteorološki podatak



- Preračunate vrijednosti na polovici visine plamena su:
 - 4 ml/h = **1.8 m/s**,
 - 6 ml/h = **2.7 m/s** i
 - 9 ml/h = **4 m/s**



BehavePlus – Kornati - vegetacija

- Za simulaciju trebaju parametri vegetacije u odnosu na karakteristike gorivosti i to prije svega:
 - Prosječna količina gorive materije po m^2
 - Prosječna brzina širenja požara na ravnoj podlozi bez vjetra u m/s
 - Prosječna visina plamena u m
 - Vrijeme odgode zapaljenja
 - Trajanje gorenja
 - Količina vlage u gorivu kod koje prestaje gorenje
 - Gornja i donja kalorična moć goriva

BehavePlus – Kornati - vegetacija

- Temeljita istraživanja vegetacije Hrvatske u odnosu na ove značajke **NIKADA NISU RAĐENA**
- Ne ostaje ništa drugo nego pronaći sličnosti sa već napravljenim istraživanjima.
- Najdalje su otišli u SAD-u gdje su vrlo precizno kategorizirali gorivo u tzv. gorive kategorije.
- Na snazi su trenutno dva modela –
- stariji Albini-Anderson (13 kategorija)
- noviji Scott-Burgan (40 kategorija)

BehavePlus – Kornati - vegetacija

- Sve kategorije se dijele u 4 grupe:

- a) Trave
- b) Grmlje
- c) Stabla
- d) Posjećeni materijal



a)



b)



c)



d)

BehavePlus – Kornati - vegetacija

- Albini – Anderson-ovih 13 kategorija
 - **Trave (Grass)** - 3 modela:
 1. Kratka trava (Short Grass) - ispod 0.3 m.
 2. Stabljkasta trava (Timber grass and undestory).
 3. Visoka trava (Tall Grass) – ispod 0.75 m.
 - **Grmlje i nisko drvlje (Shrub)** - 4 modela:
 4. Nisko drveće drvenaste strukture (Chaparral) – ispod 1.8 m.
 5. Grmovi (Brush) – ispod 0.6 m.
 6. Dominantni grmovi sa posjećenim mat. (Dominant Bush, Hardwood Slash).
 7. Južnjački grmoviti teren (Southern rough).
 - **Stabla i otpaci od stabla (Timber Litter)** - 3 modela:
 1. Miješani otpad (Closed Timber Litter).
 2. Drvenasti otpad (Hardwood Litter).
 3. Stabla (Timber).
 - **Posjećeni materijal (Slash)** - 3 modela.
 1. Rijetko nabacani materijal (Light Logging Slash).
 2. Srednje nabacani materijal (Medium Logging Slash).
 3. Gusto nabacani materijal (Heavy Logging Slash).



IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

Albini - Anderson M1 and M3 models

FUEL MODELS DESCRIPTIONS Grass Group

Fire Behavior Fuel Model 1

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.

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.



Photo 1. Western annual grasses such as cheatgrass, medusahead ryegrass, and fescues.

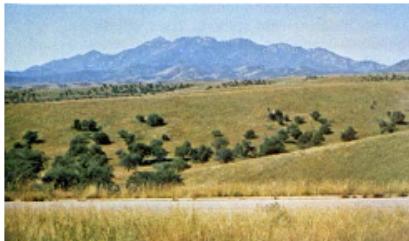


Photo 2. Live oak savanna of the Southwest on the Coronado National Forest.



Photo 3. Open pine—grasslands on the Lewis and Clark National Forest.

This fuel model correlates to 1978 NFDRS fuel models A, L, and S.

Fuel model values for estimating fire behavior

Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	0.74
Dead fuel load, ½-inch, tons/acre	.74
Live fuel load, foliage, tons/acre	0
Fuel bed depth, feet	1.0

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.



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

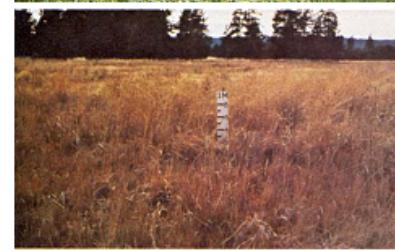


Photo 7. Meadow foxtail in Oregon prairie and meadowland.



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

Fuel model values for estimating fire behavior

Total fuel load, < 3-inch dead and live, tons/acre	3.0
Dead fuel load, ½-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.

Scott - Burgan GR2 and GR4 models

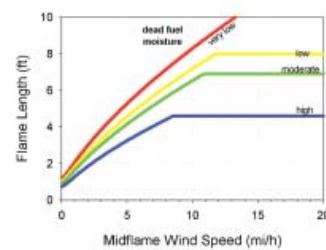
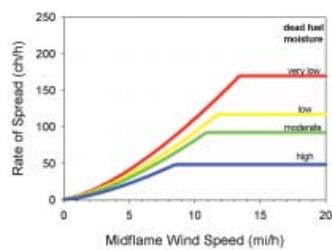
GR2 (102)

Low Load, Dry Climate Grass (Dynamic)



Description: The primary carrier of fire in GR2 is grass, though small amounts of fine dead fuel may be present. Load is greater than GR1, and fuelbed may be more continuous. Shrubs, if present, do not affect fire behavior.

Fine fuel load (t/ac)	1.10
Characteristic SAV (ft ⁻¹)	1820
Packing ratio (dimensionless)	0.00158
Extinction moisture content (percent)	15



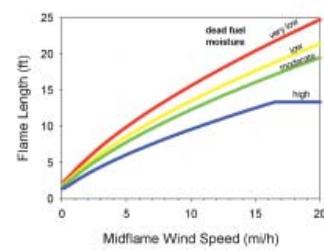
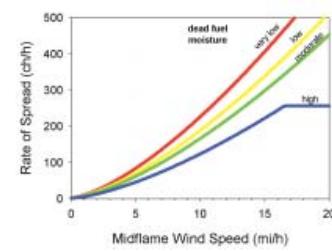
GR4 (104)

Moderate Load, Dry Climate Grass (Dynamic)



Description: The primary carrier of fire in GR4 is continuous, dry-climate grass. Load and depth are greater than GR2; fuelbed depth is about 2 feet.

Fine fuel load (t/ac)	2.15
Characteristic SAV (ft ⁻¹)	1826
Packing ratio (dimensionless)	0.00154
Extinction moisture content (percent)	15



Tipična vegetacija otoka Kornata od Vrulja do Šipnate



Ispitivanje vegetacije uzorkovanjem



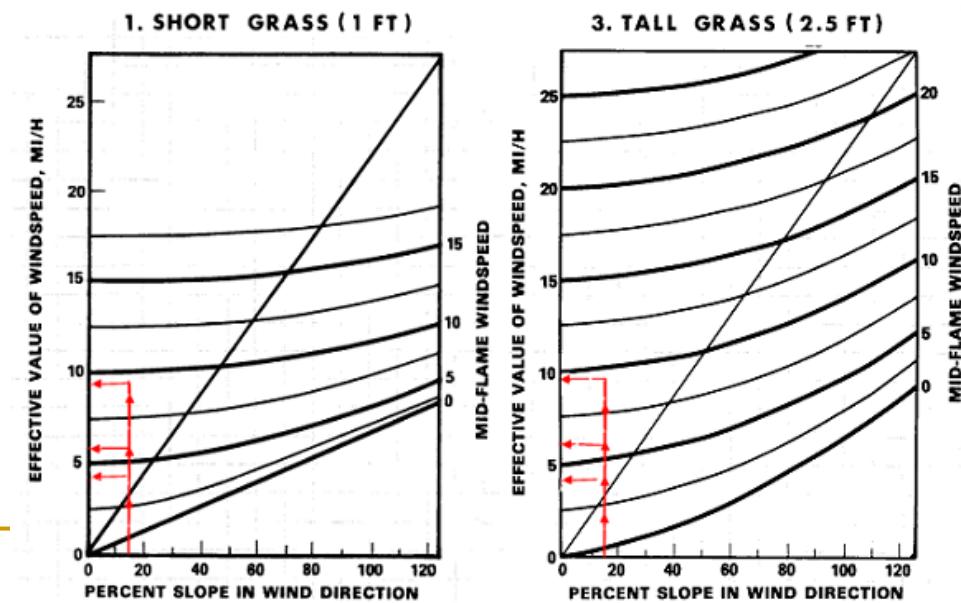
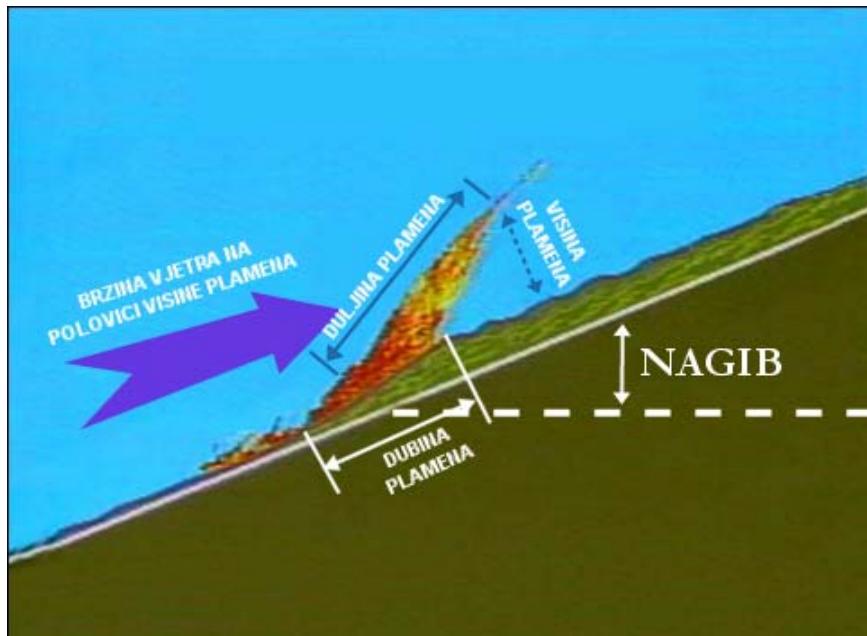
- Analizirane su travnate vegetacije i tri drvenaste vegetacije (kadulje, tetivke, kupine). **Prosječni udio travnate vegetacije u ukupnoj masi vegetacije** procijenjen je od **55 – 65%**.
- **Prosječna pokrovnost vegetacije na terenu** procijenjena je od **45 – 55% .**
- Na temelju toga **prosječna količina goriva** na mjestu nesreće **6228 – 7612 kg/ha (0.6228 – 0.7612 kg/m²)**.
- 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**.
- **Izmjerena količina vlage mrtvog goriva** je **12 - 14%**, a **živog goriva** **30%-60%**

Ispitivanje vegetacije uzorkovanjem

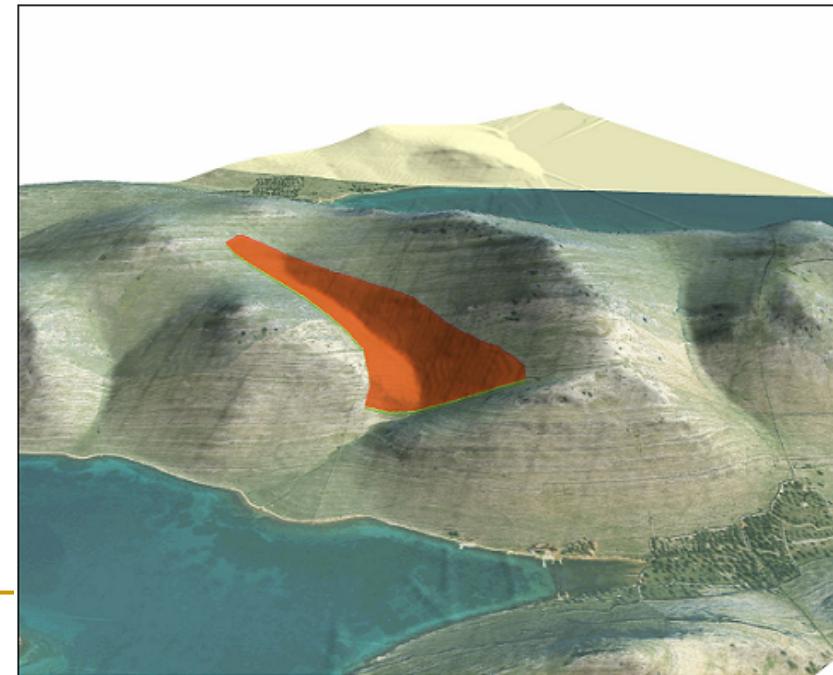
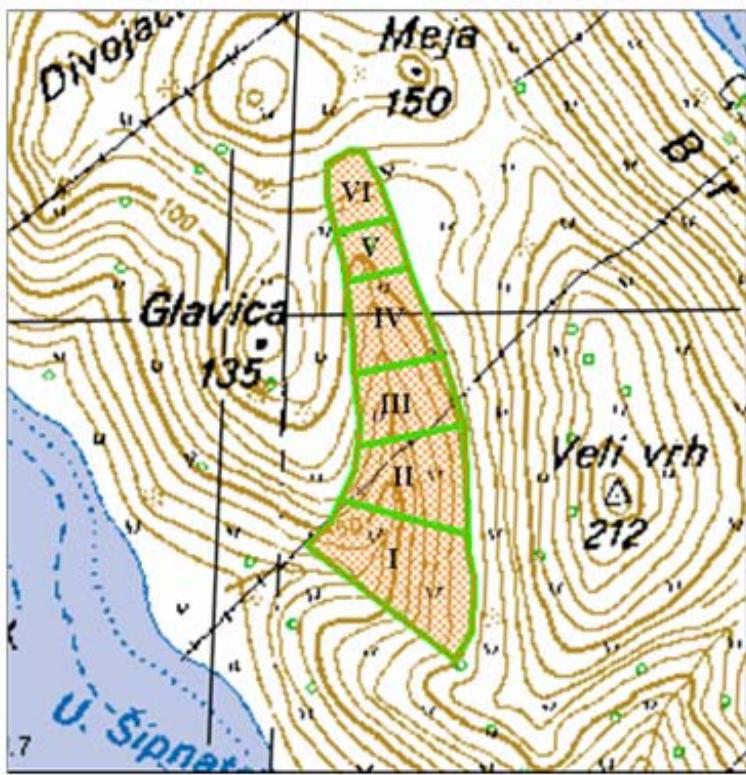
- Kornati izmjereno **6228 – 7612 kg/ha (0.6228 – 0.7612 kg/m²)**.
- Albini – Anderson travnati modeli:
 - Fuel model 1 (A-A M1) - 1.83 t/ha = 0.183 kg/m²
 - Fuel model 3 (A-A M3) – 7.44 t/ha = 0.744 kg/m² ←
- Scott-Burganovi travnati modeli:
 - GR1 - 0.988 t/ha = 0.0988 kg/m²
 - GR2 - 2.72 t/ha = 0.272 kg/m²
 - GR4 - 5.31 t/ha = 0.531 kg/m² ←

BehavePlus – Kornati – nagib terena

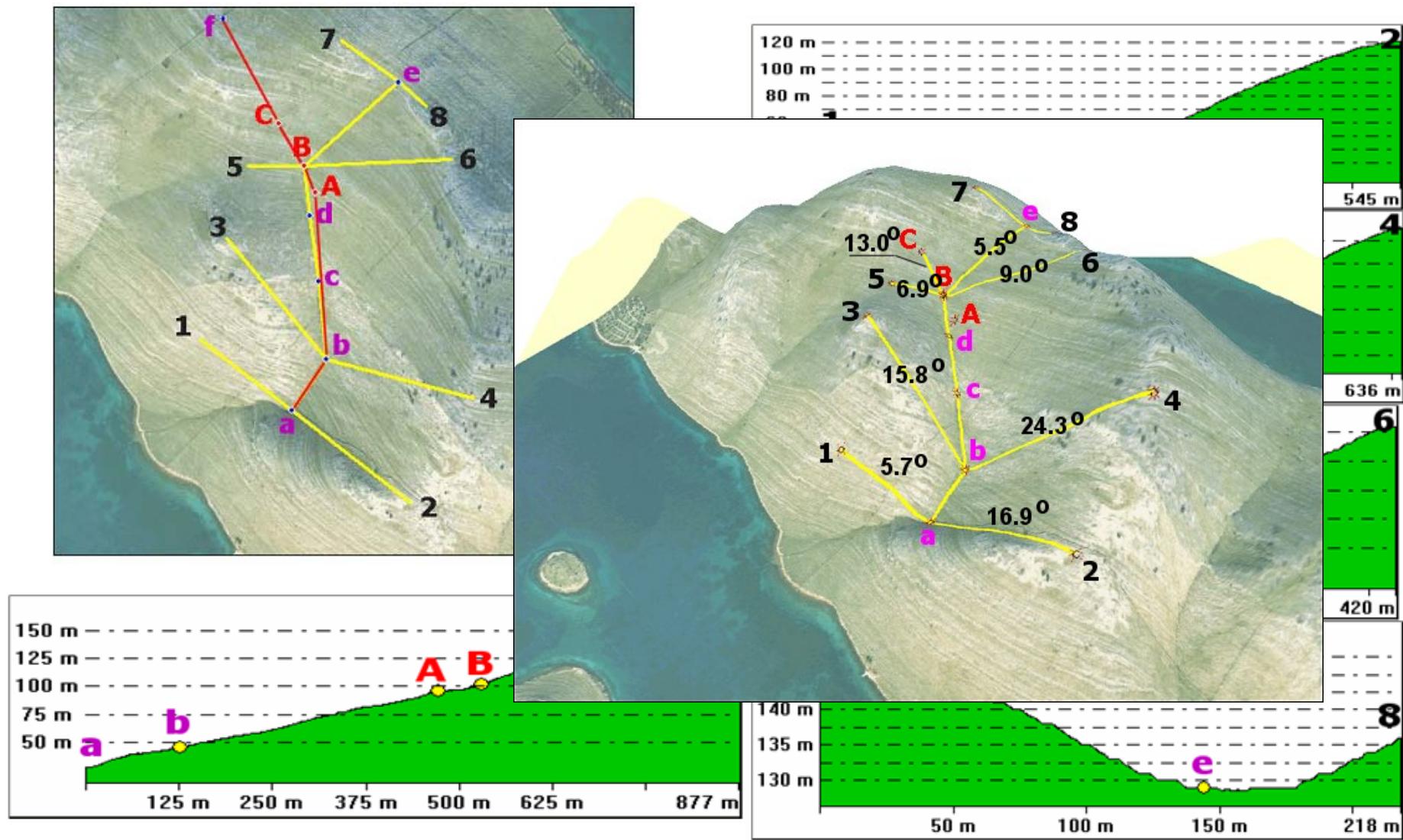
- Zadnji potreban podatak je nagib terena, ali ne bilo kakav, već nagib terena u smjeru puhanja vjetra.
- Nagib terena prividno djeluje kao povećanje brzine vjetra na polovici visine plamena → **KOREKCIJA (ovisi o vegetaciji)**



Nagib terena se određuje iz GIS podataka



BehavePlus – Kornati – nagib terena



BehavePlus – Primjer Kornati

- Konačni ulazni parametri za Kornate na dan 30.8.2007.
 - 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)
 - vlaga u mrtvom gorivu od 12 – 14%
 - vlaga u živom gorivu od 30%
 - nagib terena 14% (prosječni nagib terena koji je bio u klancu iznad uvale Šipnate)

Frandsel-Rothermel model

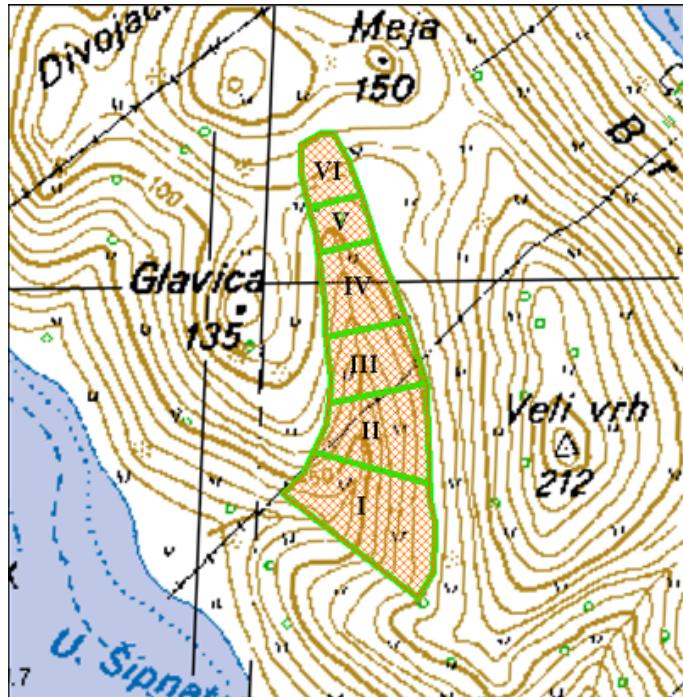
Tablica 6.9. Brzina širenja požarne fronte za Scott-Burgenovu travnatu kategoriju GR2

S-B GR2							
Midflame Wind Speed km/h	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	6.4	11.0	2641	483	1.3	209	657.8
9.6	9.6	19.0	2641	835	1.7	209	1138.3
14.4	14.4	33.4	2641	1471	2.2	209	2005.1

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

S-B GR4							
Midflame Wind Speed km/h	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	6.4	22.0	5123	1877	2.5	406	1319.2
9.6	9.6	38.1	5123	3252	3.2	406	2285.4
14.4	14.4	67.2	5123	5735	4.1	406	4030.1

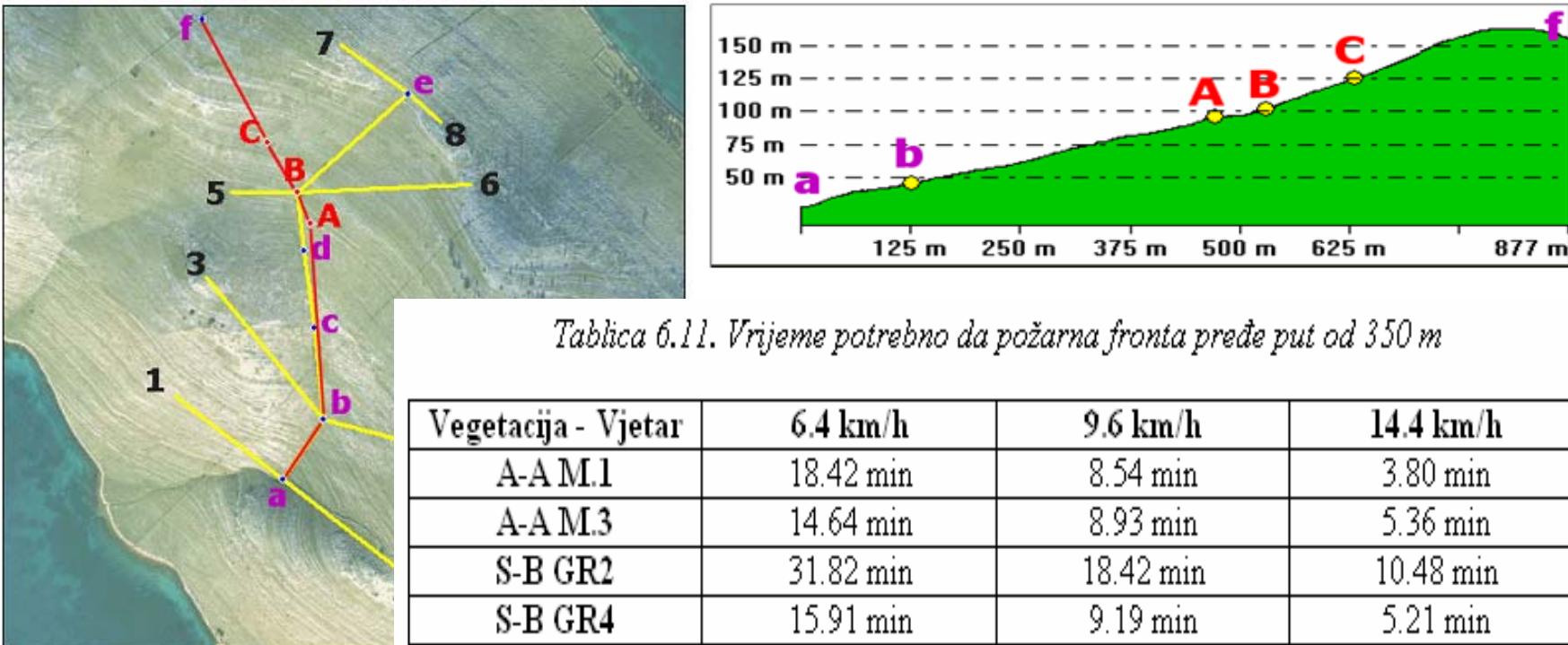
Frandsel-Rothermel model – oslobođena toplina



PODRUČJE	PO VRŠINA	OSLOBOĐENA TOPLINSKA ENERGIJA
I	31 964 m ²	175 802 – 239 730 MJ
II	20 976 m ²	115 368 – 157 320 MJ
III	15 982 m ²	87 901 – 119 865 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 m ²	549 378.5 – 749 152.5 MJ

- Toplinska energija od **550 000 – 750 000 MJ** odgovara 153 – 208 MWh, a 153 MWh je dovoljno da žarulja od 100 W bude stalno uključena 175 godina.

Frandsel-Rothermel model – vrijeme dolaska



- Proračunato vrijeme dolaska prema Frendsel – Rothemelovom modelu od točke b ulaza u drugi dio kanjona do mesta nesreće A je bilo između 5.21 - 14.64 minuta za vegetacijske kategorije A-A M3 and S-B GR4 koje najbolje odgovaraju eksperimentalnom ispitivanju vegetacije otoka Kornata u području Šipnate.

2-D modeli

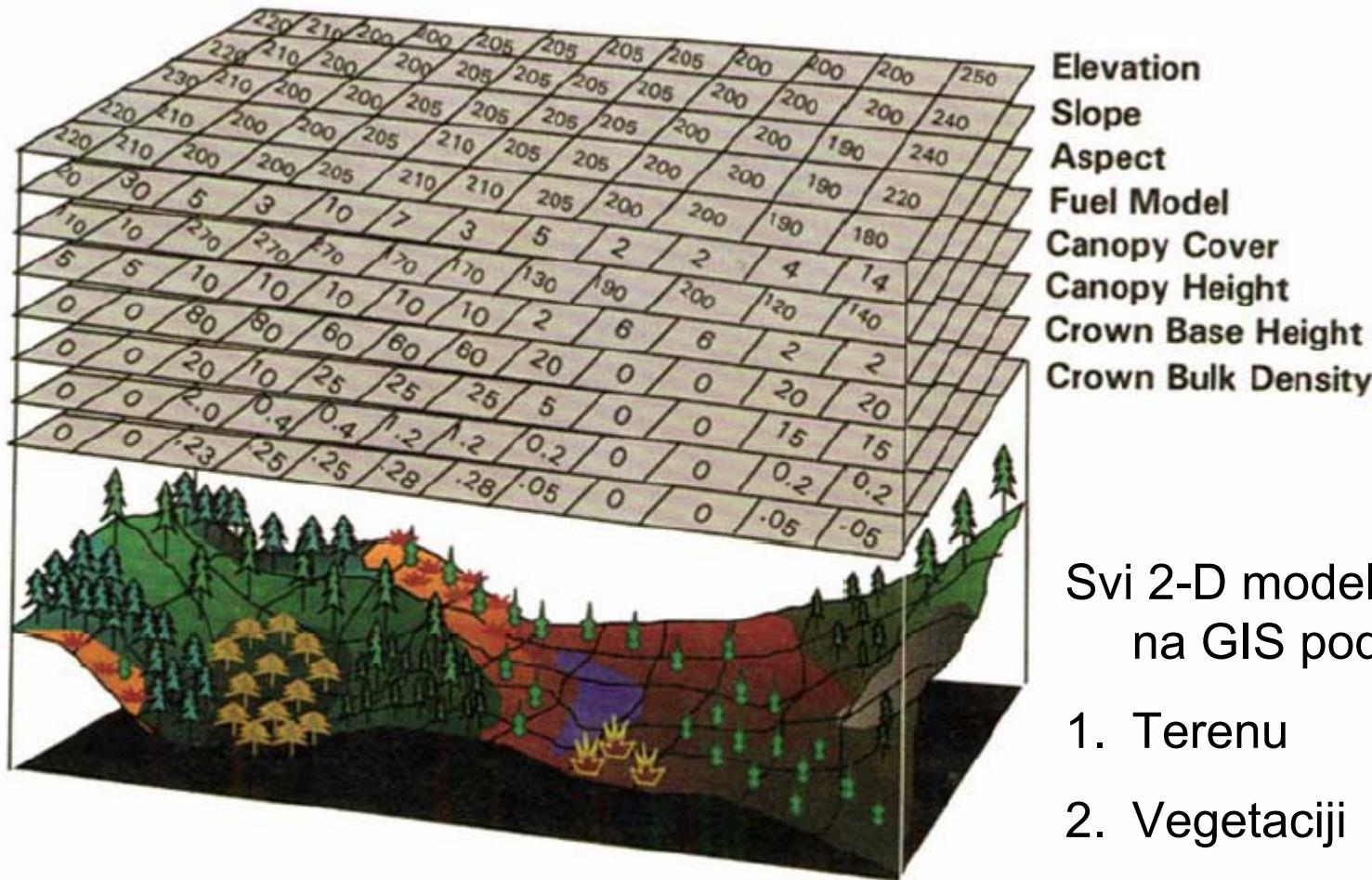
- Na temeljuneckih od modela - najčešće **Frandsen – Rothermelov modela** grade se 2-D simulatori koji računaju širenja u 2-D .
- Najpoznatiji od svih su programi **FARSITE** i **FlameMap** koji se također mogu besplatno skinuti na adresi:
 - <http://www.firemodels.org/content/view/112/143/>
(FARSITE)
 - <http://www.firemodels.org/content/view/14/28/>
(FlameMap)



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

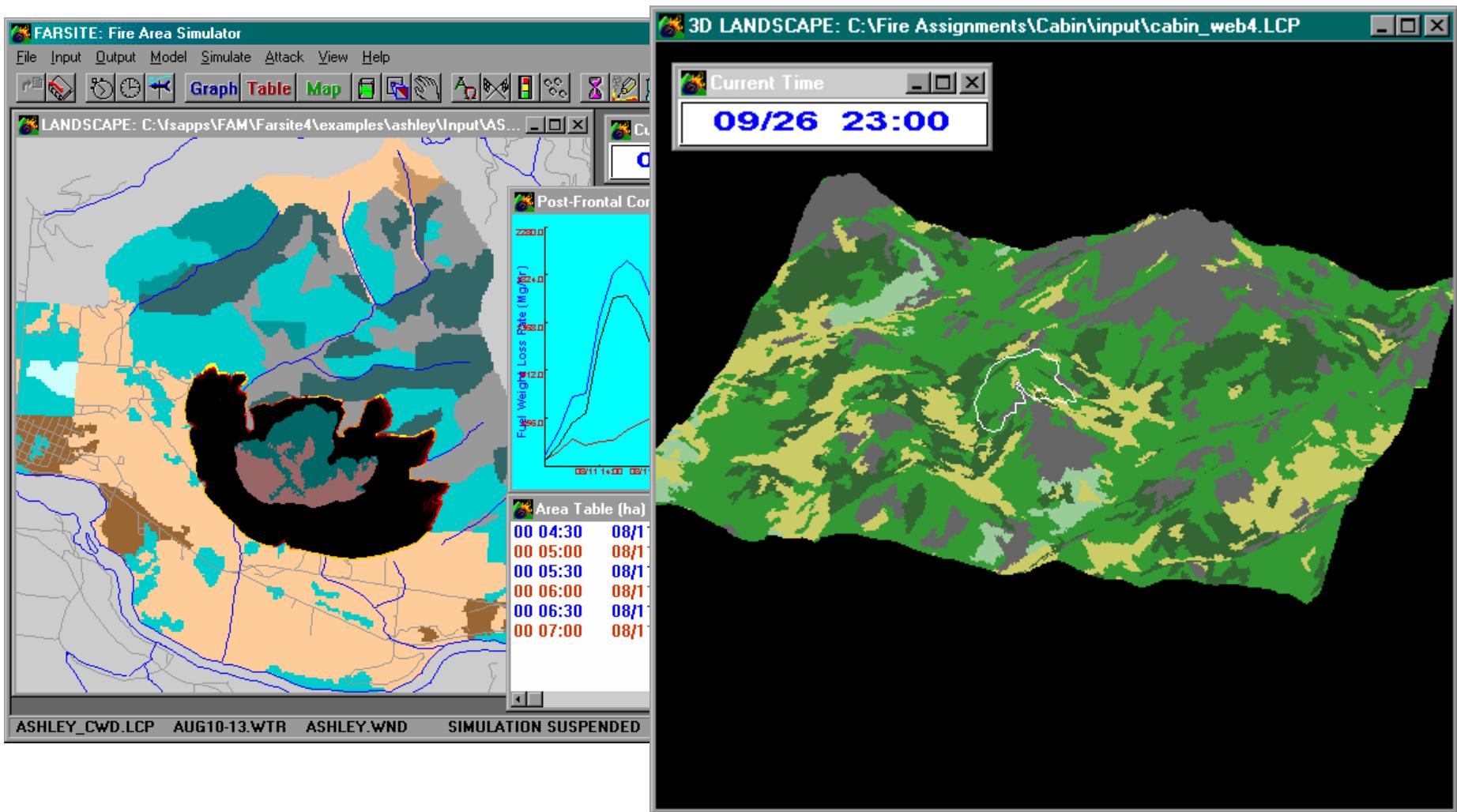
2-D modeli



Svi 2-D modeli se temelje na GIS podacima o

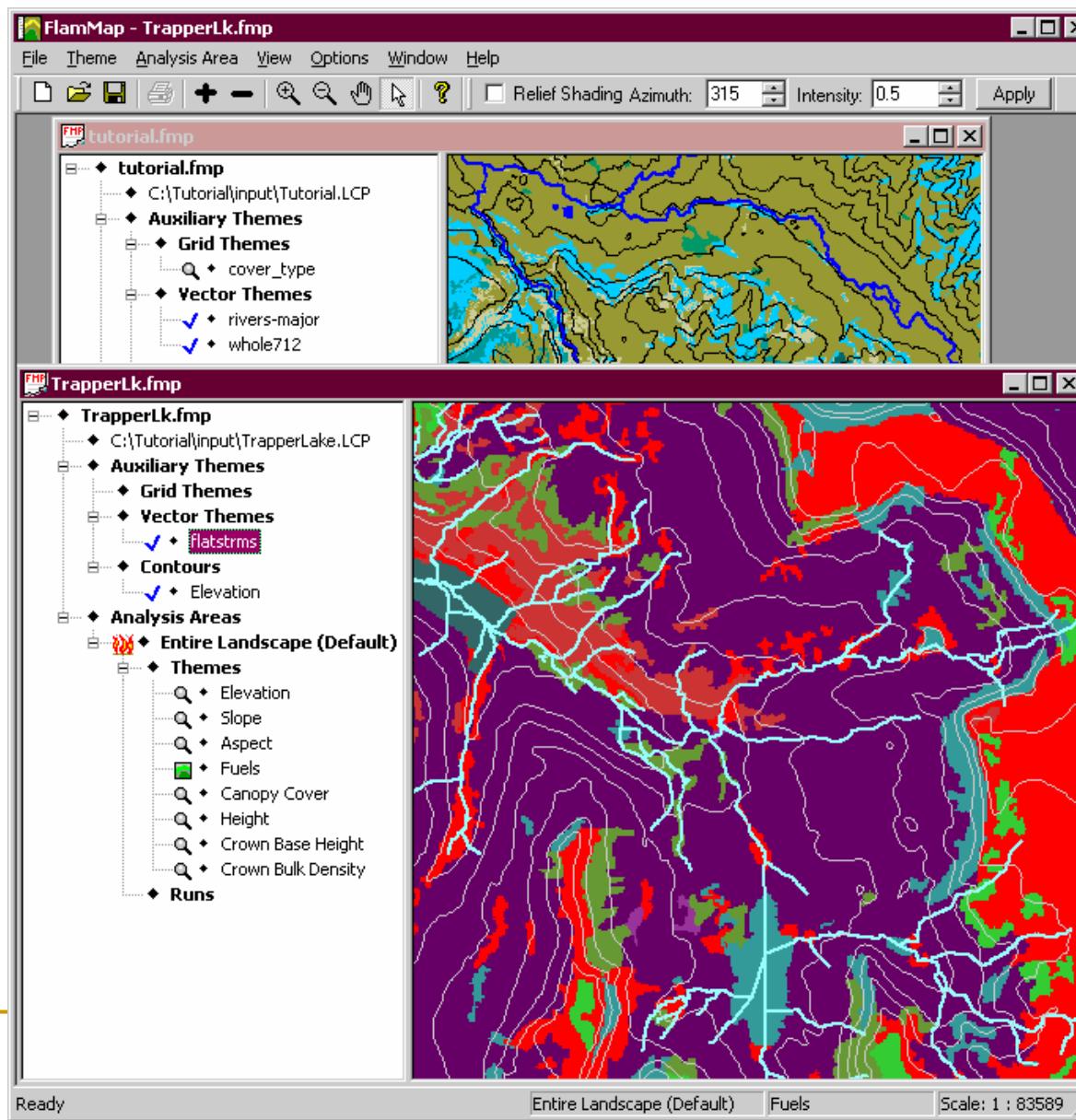
1. Terenu
2. Vegetaciji
3. Meteorologiji

2-D modeli - FARSITE



IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli - FlameMap



2-D modeli

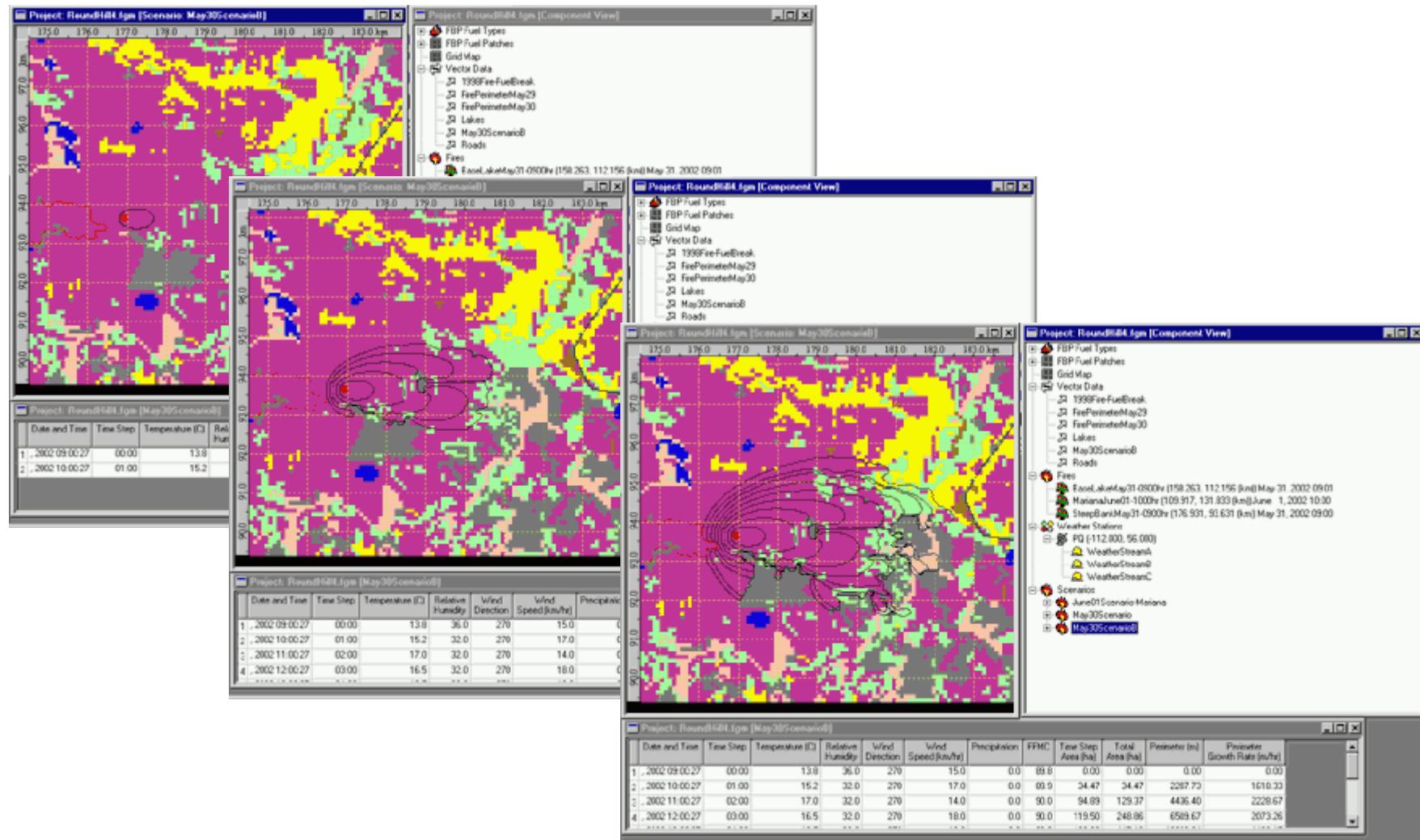
- Ovo nisu jedini simulacijski modeli.
- Više-manje svaka zemlja je razvila najmanje jedan **SVOJ MODEL** prilagođen njenim karakteristikama i njenoj vegetaciji.



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

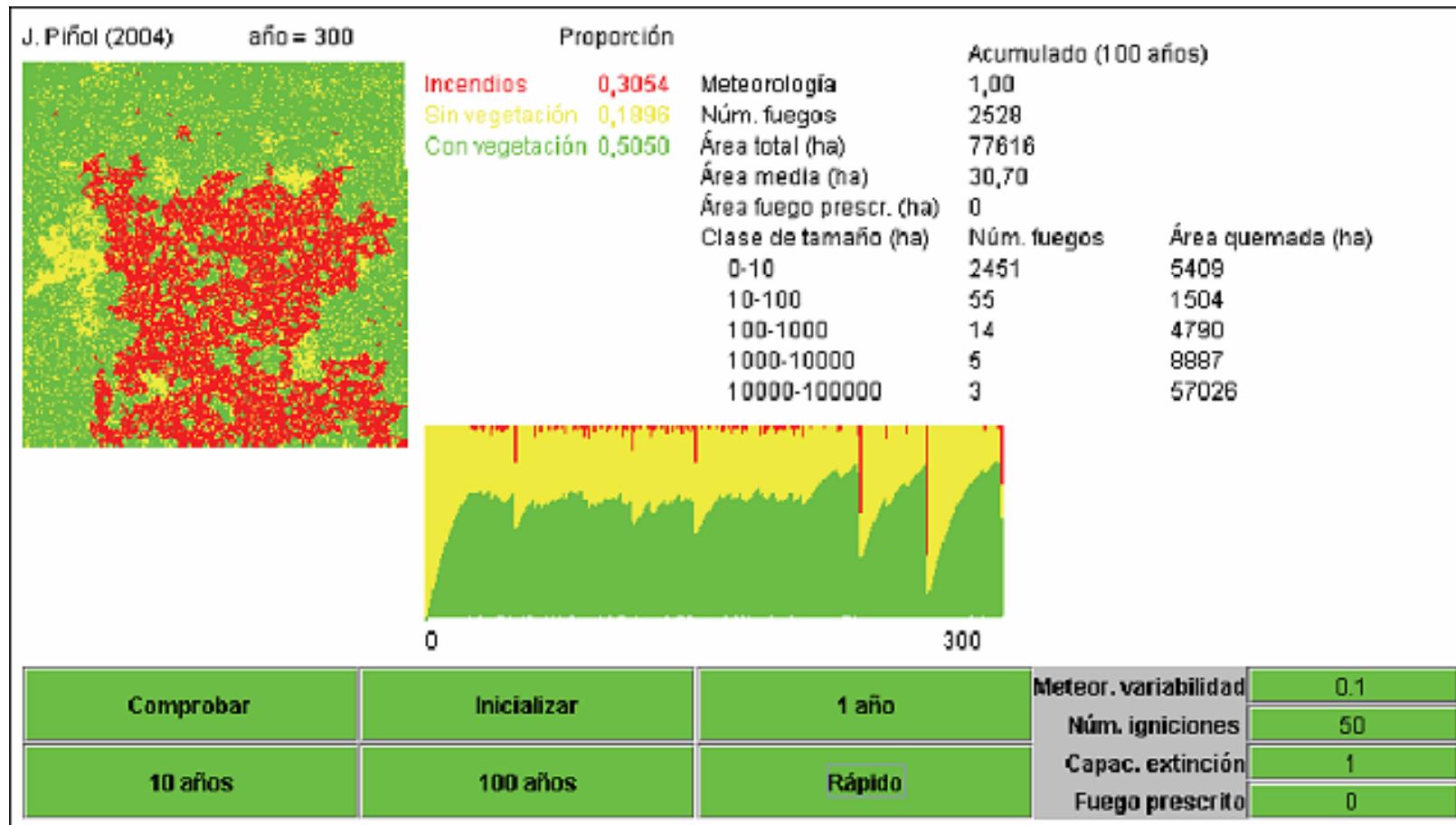
2-D modeli – Canada - Prometheus



IPNAS

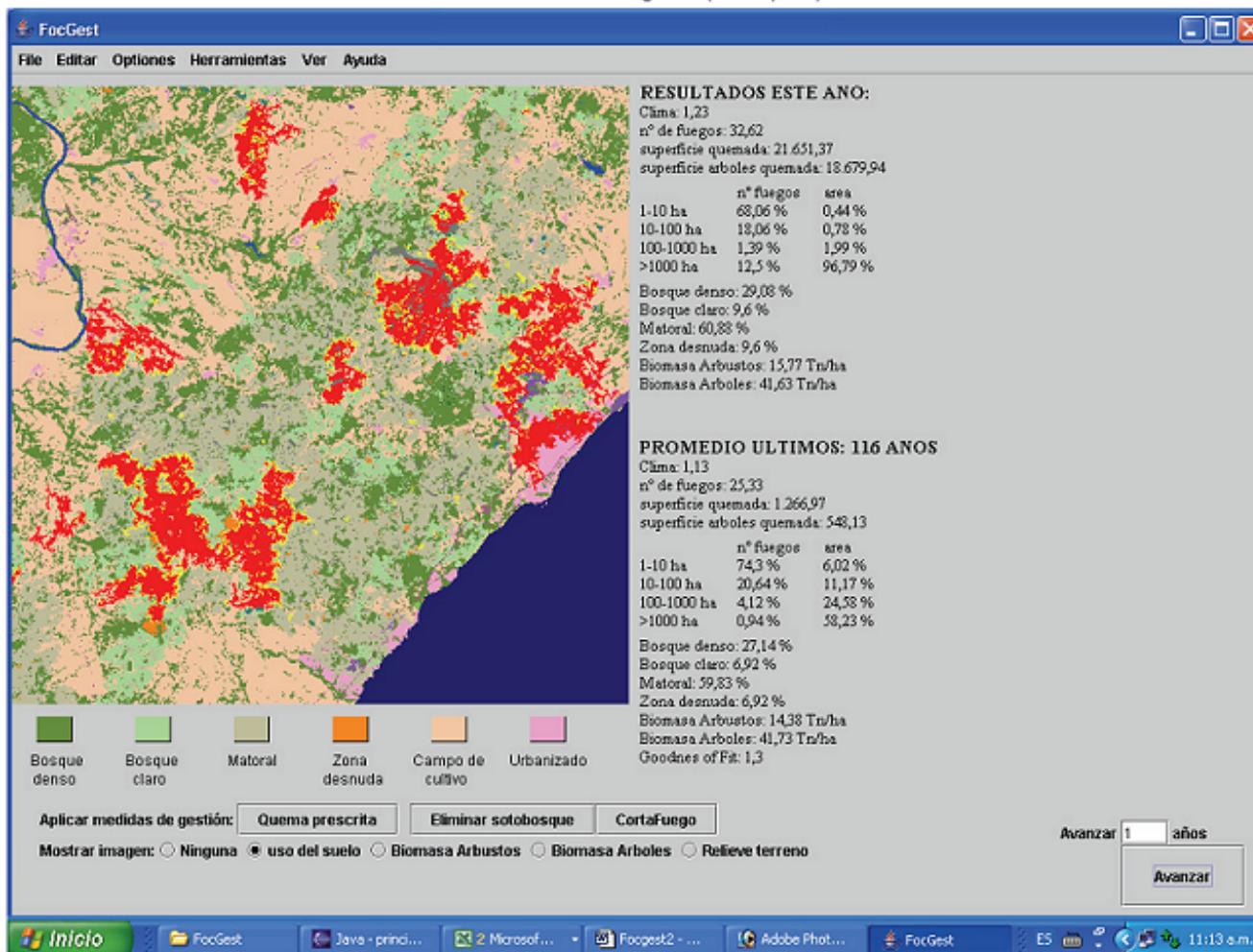
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli – Španjolska - SimpleFire



IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

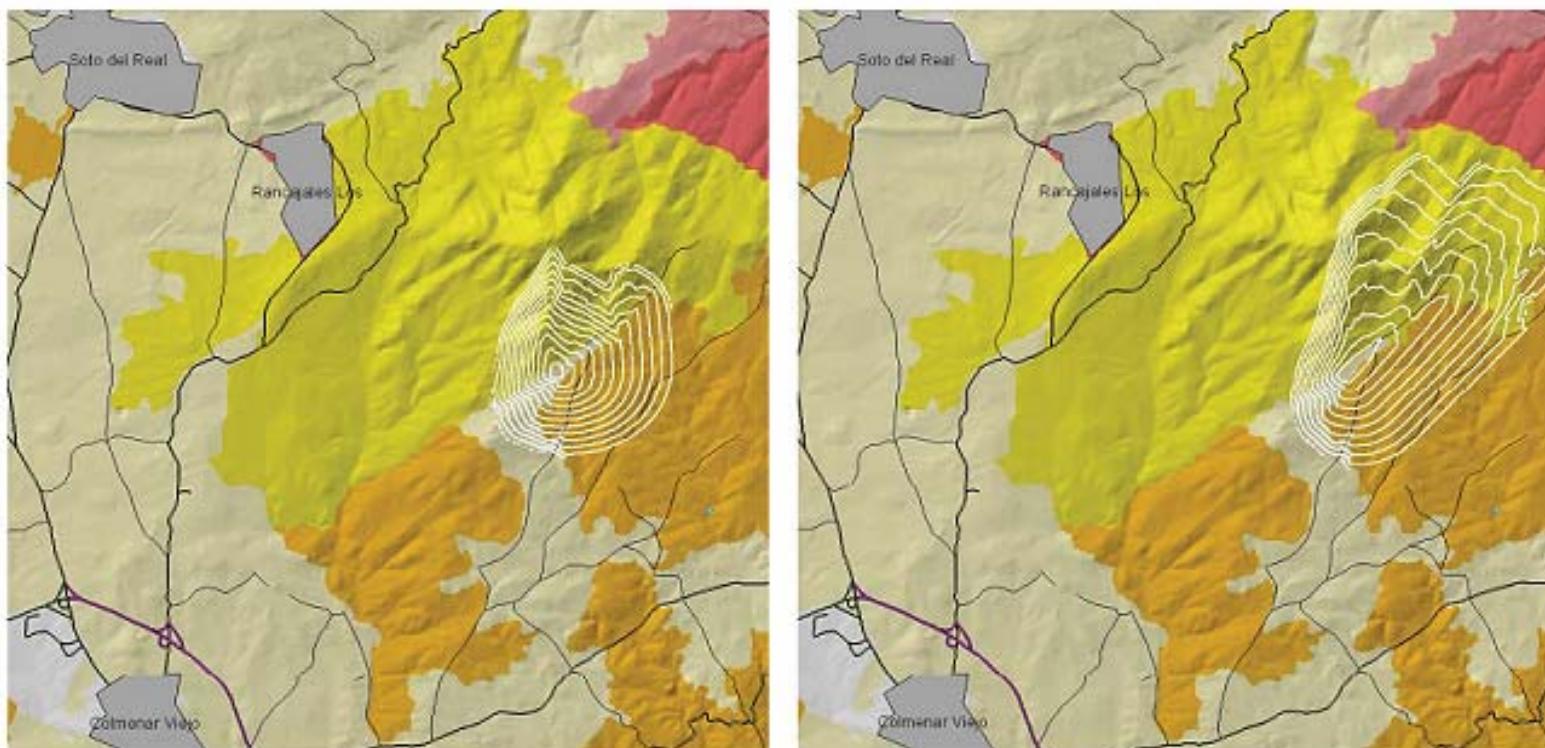
2-D modeli – Španjolska - FocGest



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli – Španjolska – Tecnomate FireSpreadEngine



2-D modeli – Portugal – AirFire

Figure 7-3: Horizontal ground pattern of wind and PM₁₀ concentrations

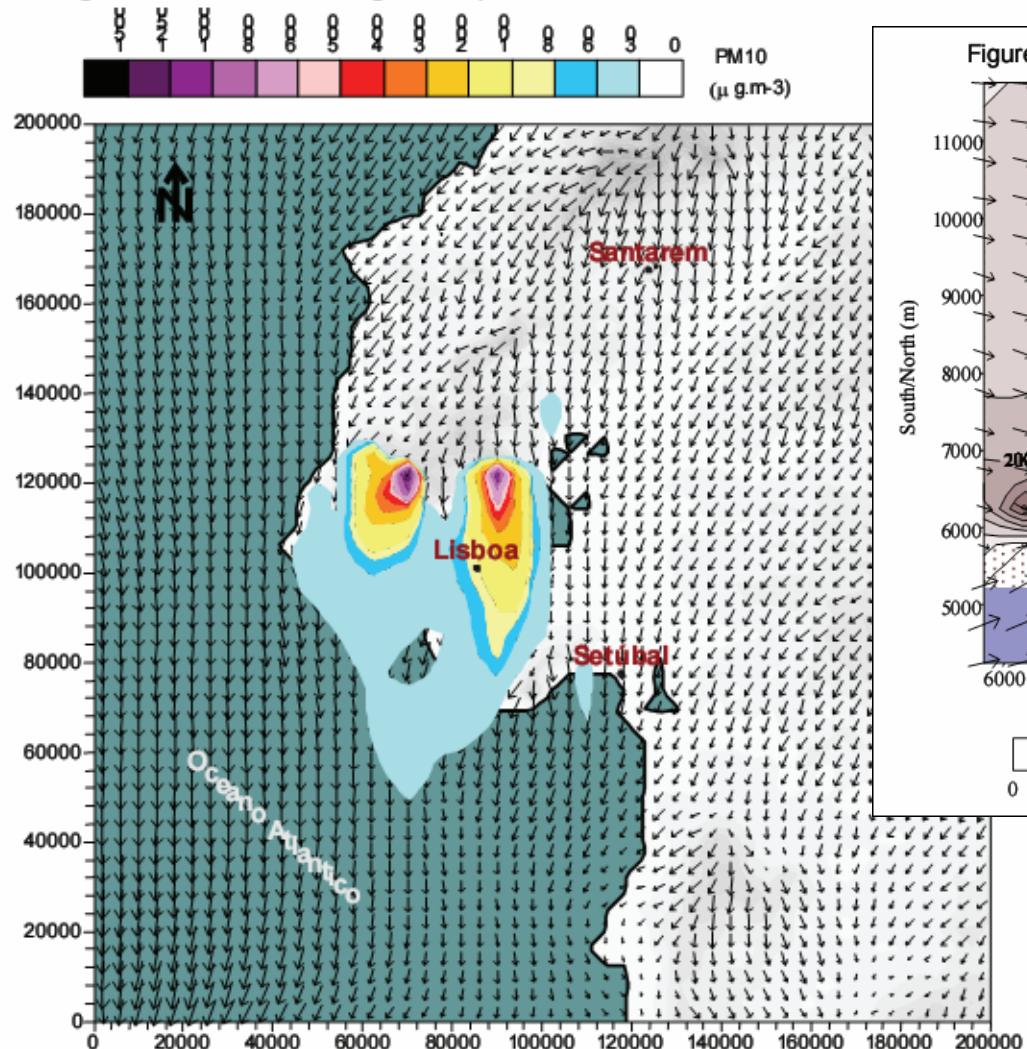
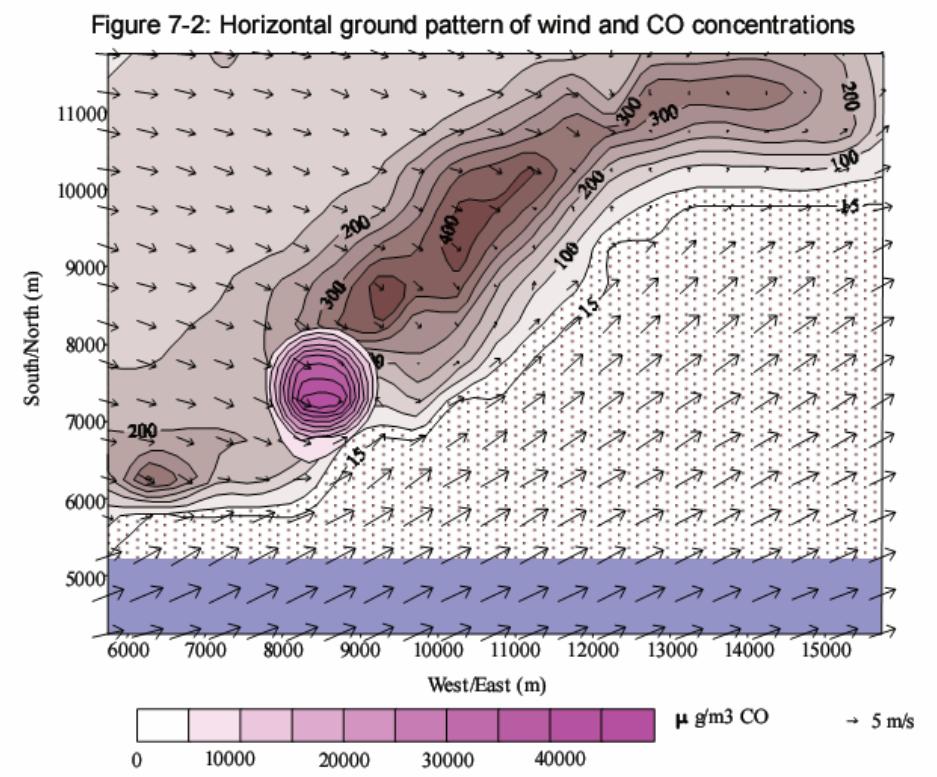
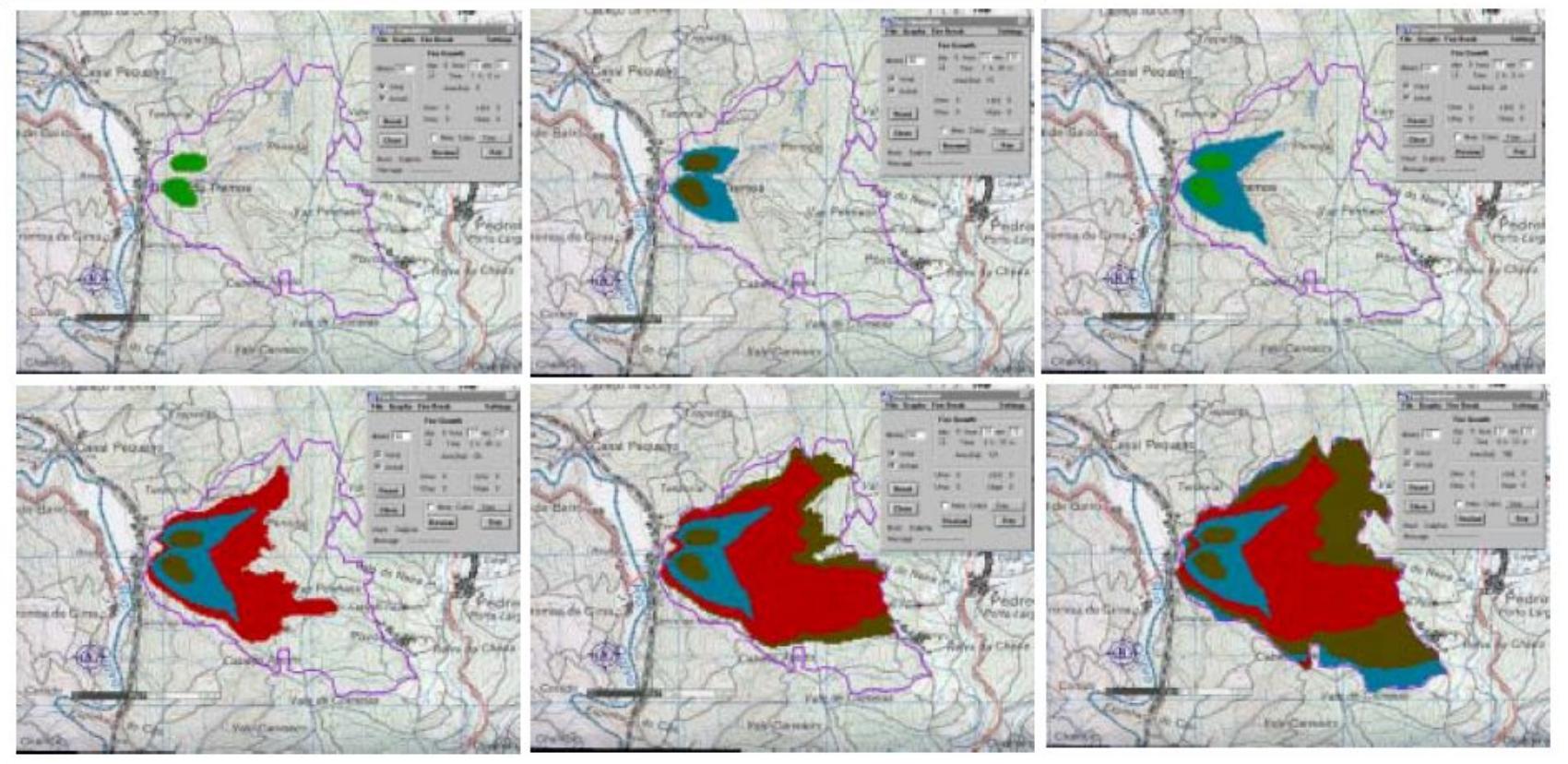


Figure 7-2: Horizontal ground pattern of wind and CO concentrations

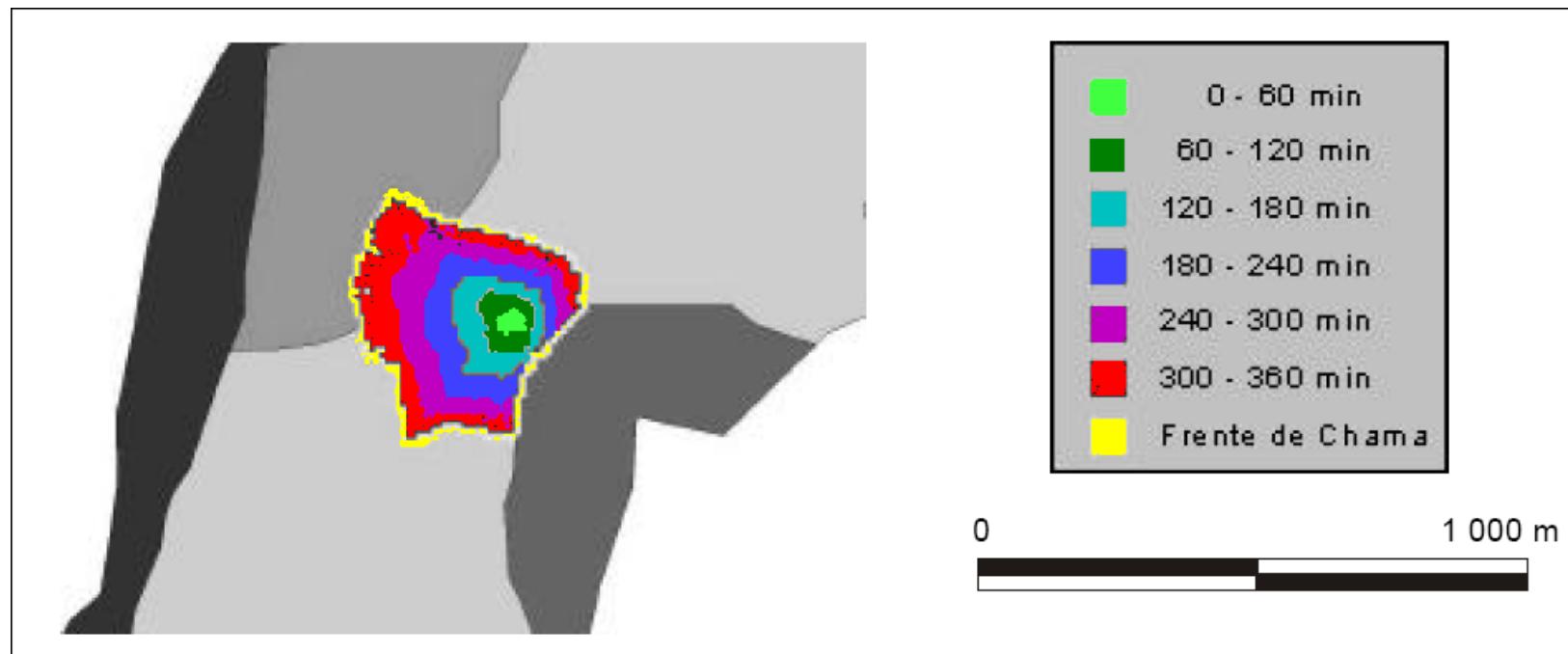


2-D modeli – Portugal – FireStation



IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli – Portugal – Spread



2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- **MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara** je prototip simulatora širenja požara razvijen na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu razvijen kao sastavni dio sustava **IPNAS – Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav**



IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- Na problematiči širenja požara otvorenog prostora intenzivnije se radilo tijekom 2003. i 2004. godine i to prije svega istraživački i eksperimentalno, te od 2007. godine kada su istraživanja ponovo intenzivirana vezano uz problematiku događanja na Kornatima.

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- Još u 2003. i 2004. godini napravljena je vrlo detaljna analiza i usporedba svih postojećih modela. Za područje istraživanja ("case study") uzet je otok Brač te su svi postojeći modeli testirani na njemu.
- Posebno je detaljno analiziran američki model **FARSITE**.

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- Vrlo brzo smo zaključili da je FARSITE izvrstan simulacijski program vrlo korisnom za detaljna istraživanja događanja vezana sa širenjem požara otvorenog prostora, međutim **program previše kompleksan za praktičnu primjenu u hrvatskom vatrogastvu**, te smo krenuli na razvoj vlastitog modela.



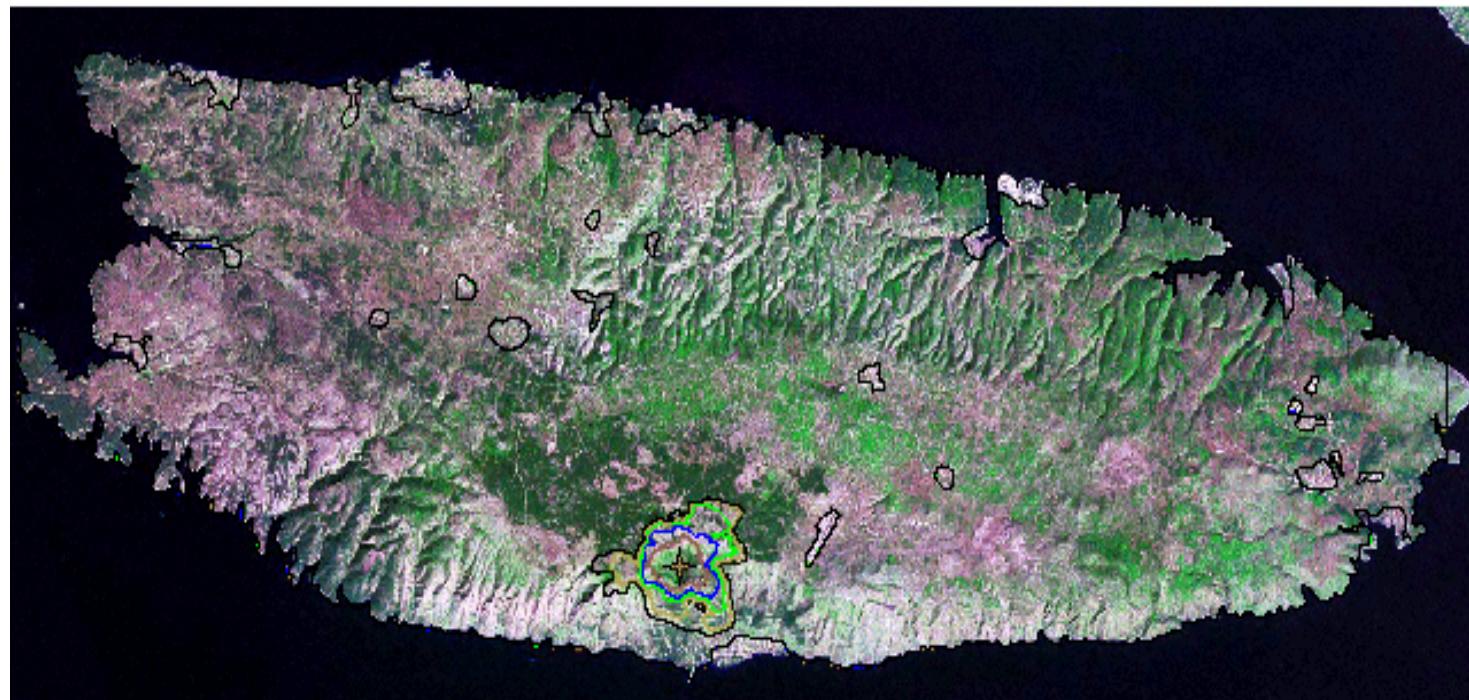
IPNAS

Inteligentni Protupožarni Nadzorni Sustav

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- Pri tome smo se držali slijedećih načala koja se u većoj mjeri poklapa s mišljenjem stručnjaka za standardizaciju modeliranja širenja požara EU-a:
 - Modeliranje širenja šumskog požara treba biti **usko povezano sa standardnim GIS sustavom**.
 - Modeliranje širenja požara je **direktno povezano s kartama vegetacijskog pokrova**. Kako bismo se mogli uklopiti u buduće programe EU-a nužno je pratiti i primijeniti načine standardizacije vegetacijskog pokrova u odnosu na gorivost i što prije izraditi GIS podloge sa karakteristikama vegetacijskog pokrova u odnosu na karakteristike gorivosti.
 - Dobar model simulacije širenja šumskog požara **ne mora nužno u potpunosti pratiti fizikalni i matematički model događanja unutar požara**. Model treba biti konzervativan, što znači da je bolje procijeniti brže širenje nego sporije, ali pogreška treba biti unutar reda veličine.
 - **Grubi, neprecizni, ali realni rezultat je bolji nego precizni, ali nerealni.** Zbog toga je prednost dala empirijskim i semi-empirijskim, modelima.

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara



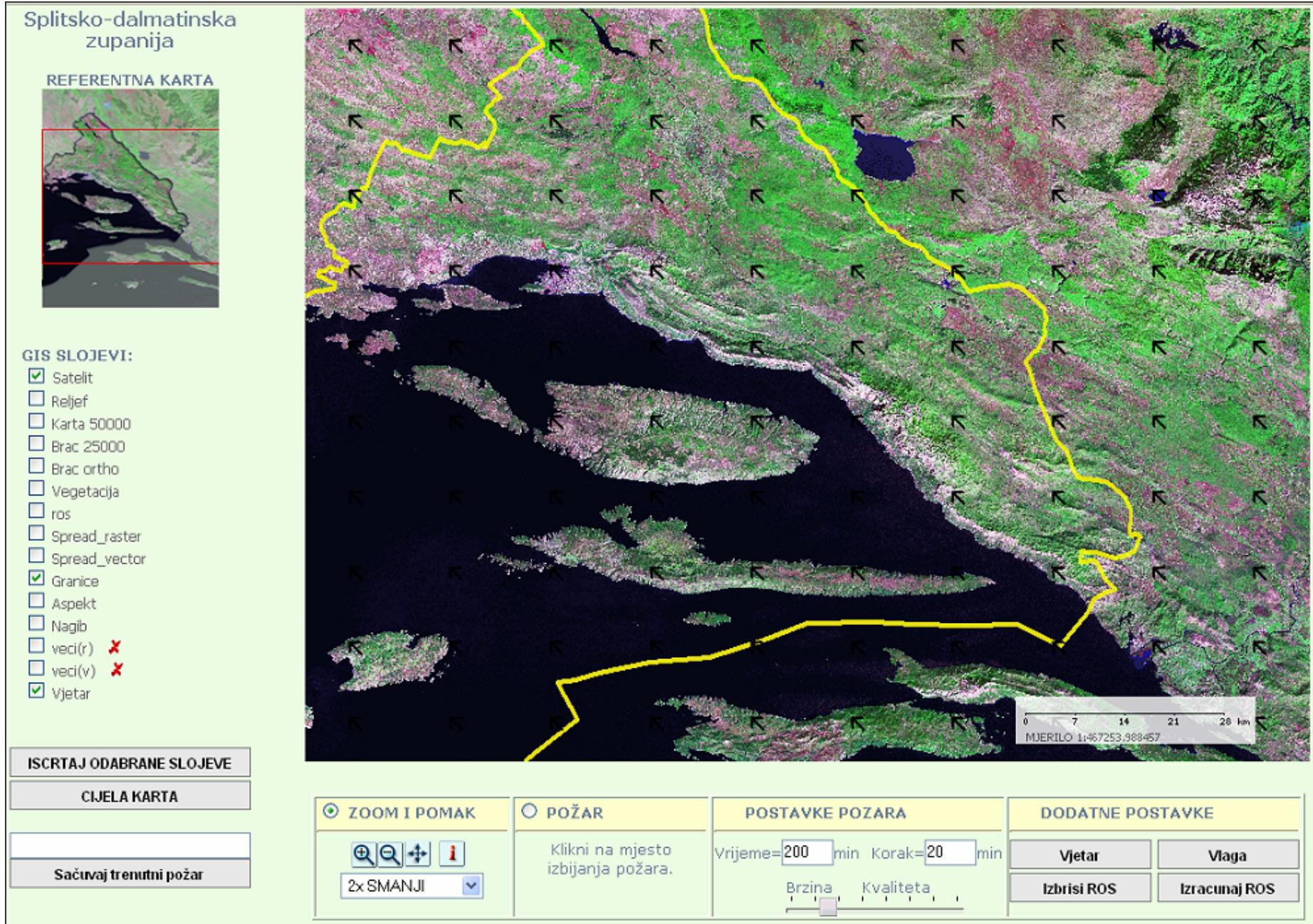
2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

■ Osnovne postavke:

- MOPP je projektiran kao **Web informacijski sustav** tako da je jedino sučelje korisnika standardni Web preglednik.
- MOPP je **poslužiteljski program** kod kojega se svi proračuni odvijaju na poslužitelju, a računalo korisnika služi samo za prikaz podataka. Na taj način MOPP-u mogu pristupiti korisnici sa bilo koje lokacije koja ima širokopojasni priključak na Internet.

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

- Meteorološki podaci se trebaju **podizati automatski sa meteorološkog poslužitelja**, ali treba postojati i mogućnost unošenja lokalnih meteoroloških podataka.
- Korisničko sučelje treba biti jednostavno, funkcionalno i maksimalno prilagođeno korisniku. Krajnji cilj je tzv. "simulacija s jednim klikom" (one-click simulation). U tom slučaju **jedini zadatak krajnjeg korisnika je klikom na karti odrediti mjesto gdje je požar počeo**, a svi parametri se automatski podižu s odgovarajućih poslužitelja i iz odgovarajućih baza.



MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara – sučelje prema korisniku

Splitsko-dalmatinska
zupanija

REFERENTNA KARTA



GIS SLOJEVI:

- Satelit
- Reljef
- Karta 50000
- Brac 25000
- Brac ortho
- Vegetacija
- ros
- Spread_raster
- Spread_vector
- Granice
- Aspekt
- Nagib
- veci(r) ✕
- veci(v) ✕
- Vjetar



ISCRTAJ ODABRANE SLOJEVE

CJELA KARTA

Saćuvaj trenutni požar

ZOOM I POMAK

🔍🔍➕🔍
2x SMANJI

POŽAR

Klikni na mjesto
izbijanja požara.

POSTAVKE POZARA

Vrijeme= 200 min Korak= 30 min
Brzina Kvaliteta

DODATNE POSTAVKE

Vjetar Vlaga
Izbriši ROS Izracunaj ROS

MOPP – Modeliranje Propagacije Požara – sučelje prema korisniku

Splitsko-dalmatinska zupanija

REFERENTNA KARTA



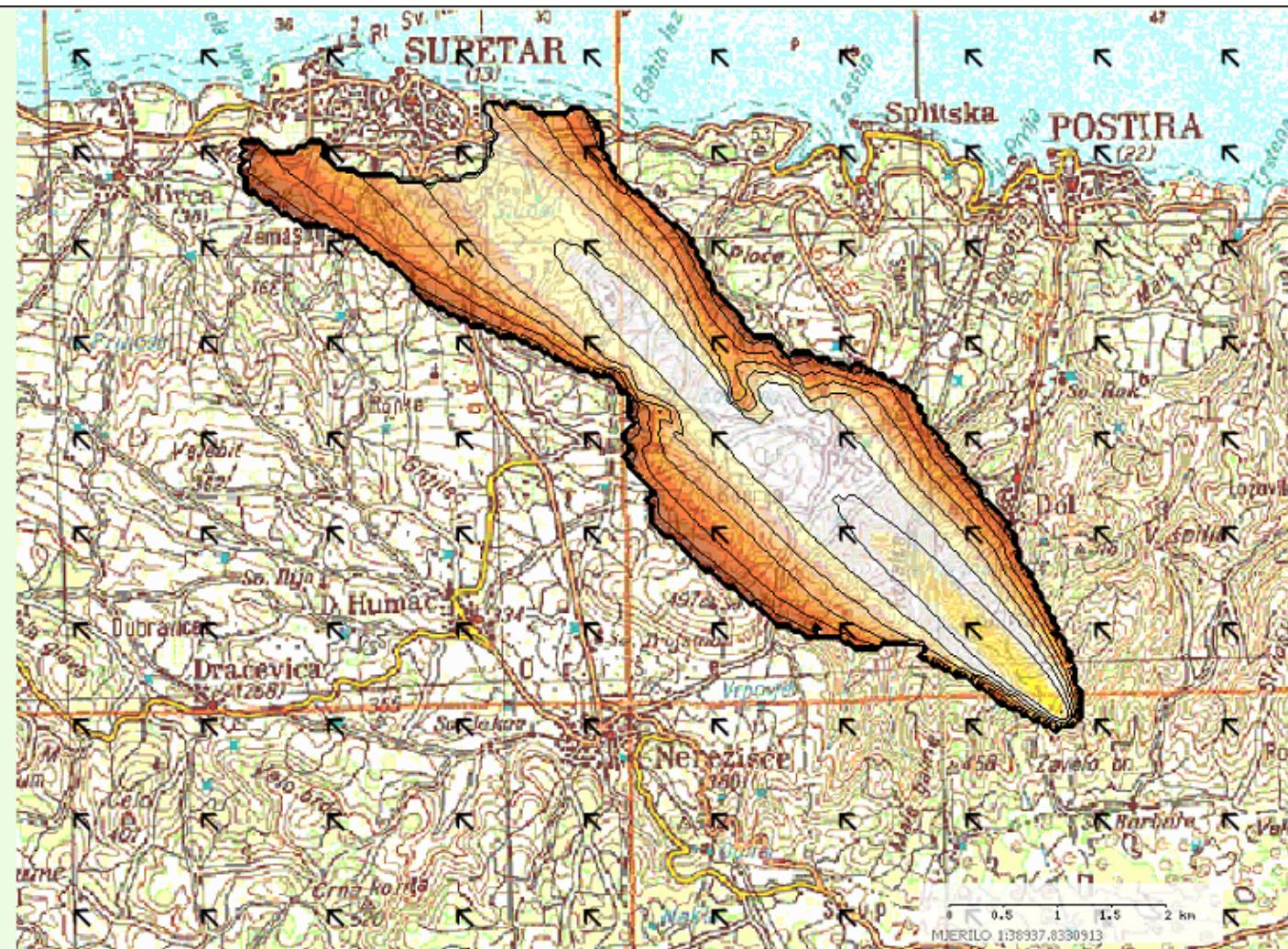
GIS SLOJEVI:

- Satelit
- Reljef
- Karta 50000
- Brac 25000
- Brac ortho
- Vegetacija
- ros
- Spread_raster
- Spread_vector
- Granice
- Aspekt
- Nagib
- veci(r) X
- veci(v) X
- Vjetar

ISCRTAJ ODABRANE SLOJEVE

CIJELA KARTA

Sačuvaj trenutni požar



ZOOM I POMAK

POMAKNI

POŽAR

Klikni na mjesto
izbijanja požara.

POSTAVKE POZARA

Vrijeme = 200 min Korak = 30 min

Brzina Kvaliteta

DODATNE POSTAVKE

Vjetar	Vлага
Izbriši ROS	Izracunaj ROS

MOPP – Modeliranje Propagacije Požara – sučelje prema korisniku

Splitsko-dalmatinska zupanija

REFERENTNA KARTA



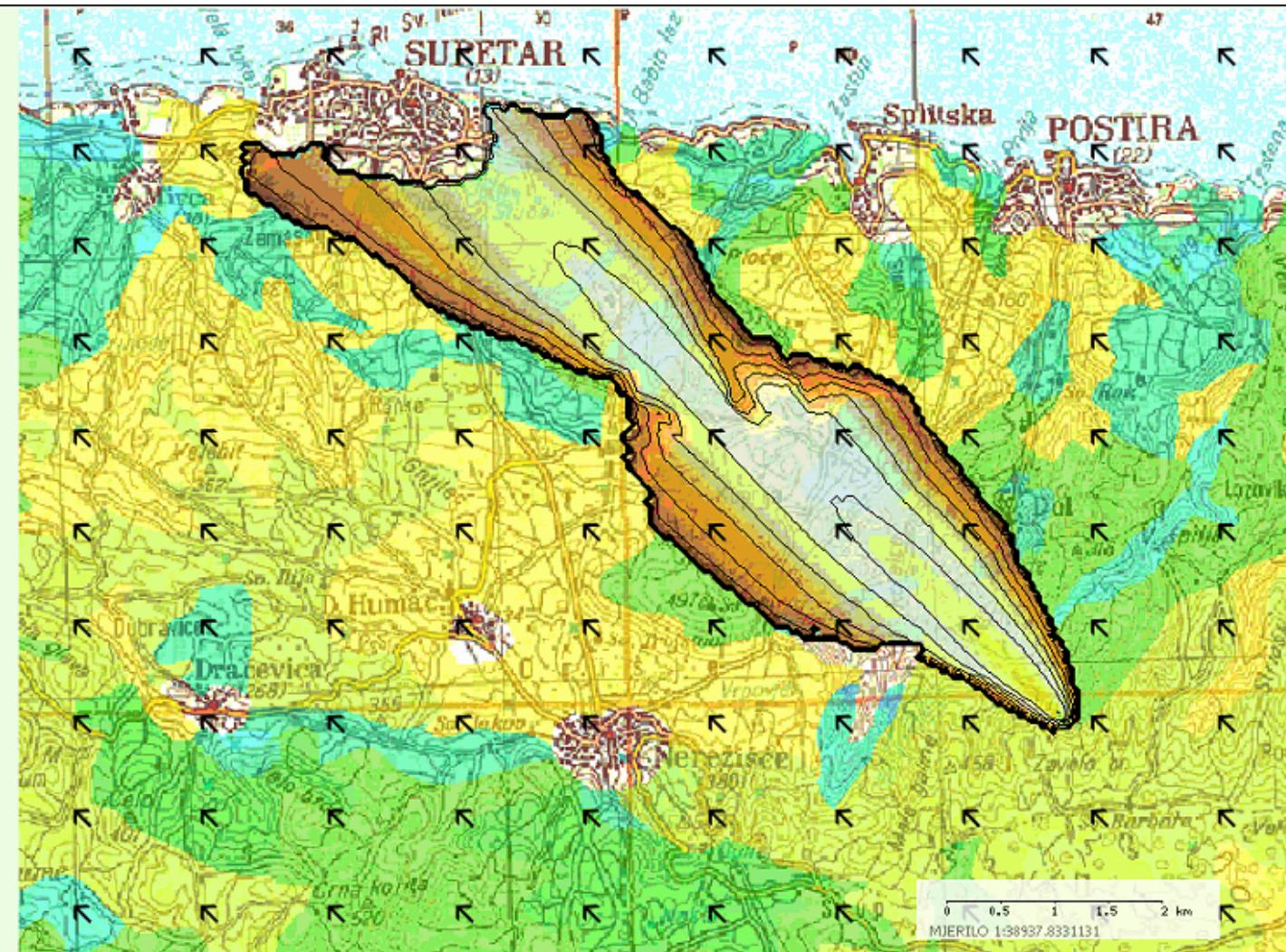
GIS SLOJEVI:

- Satelit
- Reljef
- Karta 50000
- Brac 25000
- Brac ortho
- Vegetacija
- ros
- Spread_raster
- Spread_vector
- Granice
- Aspekt
- Nagib
- veci(r) X
- veci(v) X
- Vjetar

ISCRTAJ ODABRANE SLOJEVE

CIJELA KARTA

Sačuvaj trenutni požar



ZOOM I POMAK

POMAKNI

POŽAR

Klikni na mjesto
izbijanja požara.

POSTAVKE POŽARA

Vrijeme= min Korak= min
Brzina Kvaliteta

DODATNE POSTAVKE

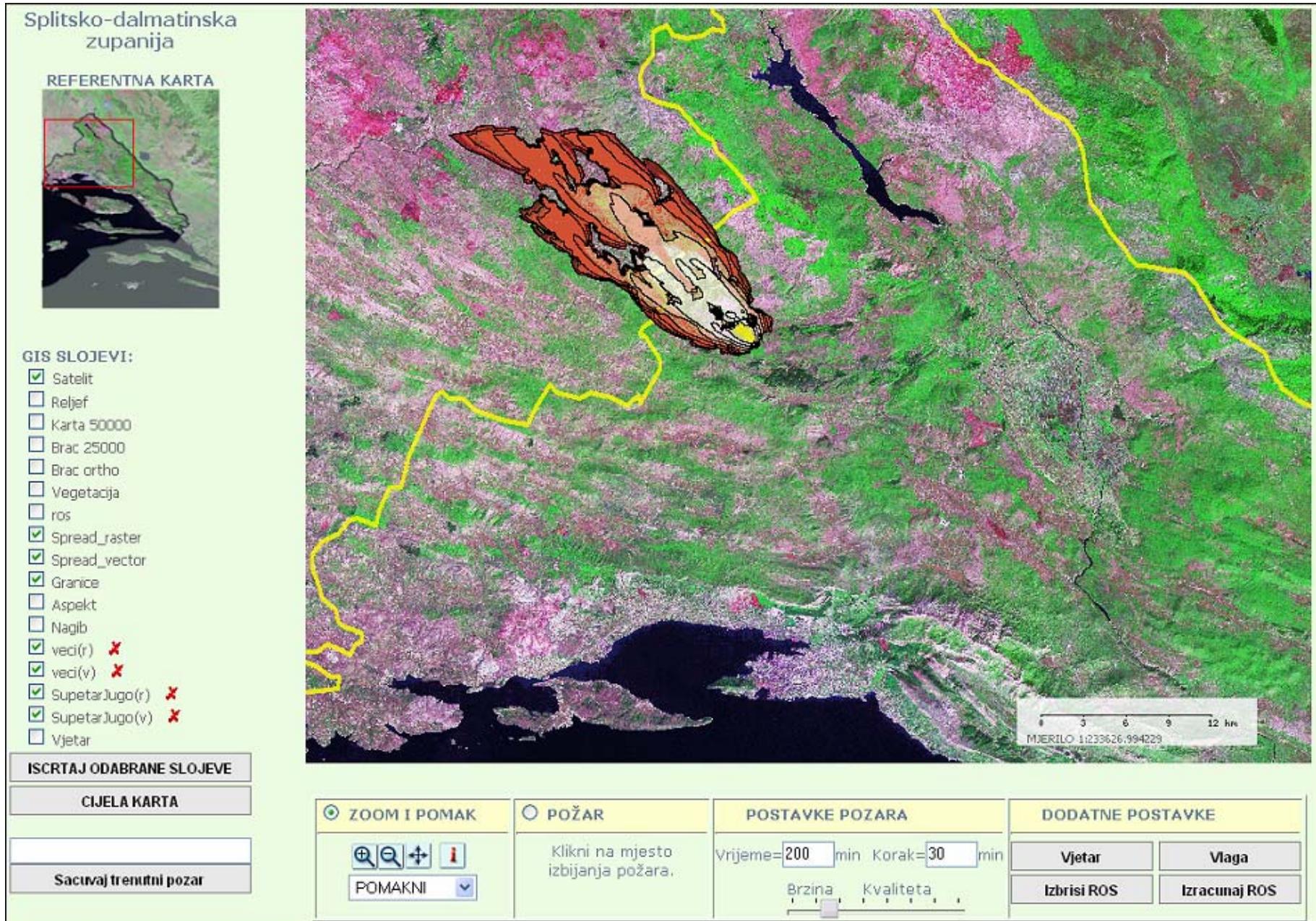
Vjetar

Vлага

Izbriši ROS

Izračunaj ROS

MOPP – Modeliranje Propagacije Požara – sučelje prema korisniku



MOPP – Modeliranje Propagacije Požara – sučelje prema korisniku

MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

POSTAVKE VJETRA

Unos putem:

ASC
Smjer:

Jacina:

Vrijednost
Smjer:
 °
Jacina:
 km/h
Rezolucija:

POSTAVKE VLAGE

mois_live:

mois1h:

mois10h:

mois100h:

MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara
– korisnik može unijeti vlastite vrijednosti vjetra i vlage vegetacije



IPNAS
Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

$$\vec{R} = \frac{I_r \pi (\vec{l} + \vec{\phi}_w + \vec{\phi}_s)}{\rho_b \epsilon Q_i}$$

where:

\vec{R} - rate of spread [m/s].

I_r - reaction intensity, i.e., the flame front [$J/(m^2 s)$].

π - propagating flux ratio that is responsible for fire ignition.

$\vec{\phi}_w$ - wind factor.

$\vec{\phi}_s$ - slope factor.

ρ_b - bulk density, i.e., mass [kg/m^3]

ϵ - effective heating number, bulk density and the mass ignition process.

Q_i - heat of pre-ignition, i.e., heat required to bring a unit weight of fuel to ignition [J/kg].

$$I_r = \Gamma' W_n h \eta_m \eta_s$$

$$\Gamma' = \Gamma'_{\max} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^A \exp \left(\frac{A(1-\beta)}{\beta_{op}} \right)$$

$$\Gamma'_{\max} = \frac{0.168\sigma^{1.5}}{(2941.6 + 0.01\sigma^{1.5})}$$

$$\beta_{op} = 8.858\sigma^{-0.8189}$$

$$A = \frac{1}{4.24\sigma^{0.1} - 7.27}$$

$$\eta_m = 1 - 2.59 \frac{M_f}{M_x} + 5.11 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^2 - 3.52 \left(\frac{M_f}{M_x} \right)^3$$

$$\eta_s = 0.174 S_e^{-0.19}$$

$$\pi = (192 + 0.2595\sigma)^{-1} \exp[(0.79 + 0.68\sigma^{0.5})]$$

[W]

[s]

[s]

[s]

[kg/m²]

[kg/m³]

[J/kg]

$$\phi_w = C U_m^B \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^{-E}$$

$$C = 7.47 \exp(-0.069\sigma^{55})$$

$$B = 0.01336\sigma^{0.54}$$

$$E = 0.715 \exp(-1.09 \times 10^{-4}\sigma)$$

$$\phi_s = 5.275\beta^{-0.0225} (\tan\varphi)^2$$

$$W_n = \frac{W_0}{1 + S_t} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (15)$$

$$\rho_b = \frac{W_0}{\delta} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (16)$$

$$\epsilon = \exp\left(-\frac{453}{\sigma}\right) \quad (17)$$

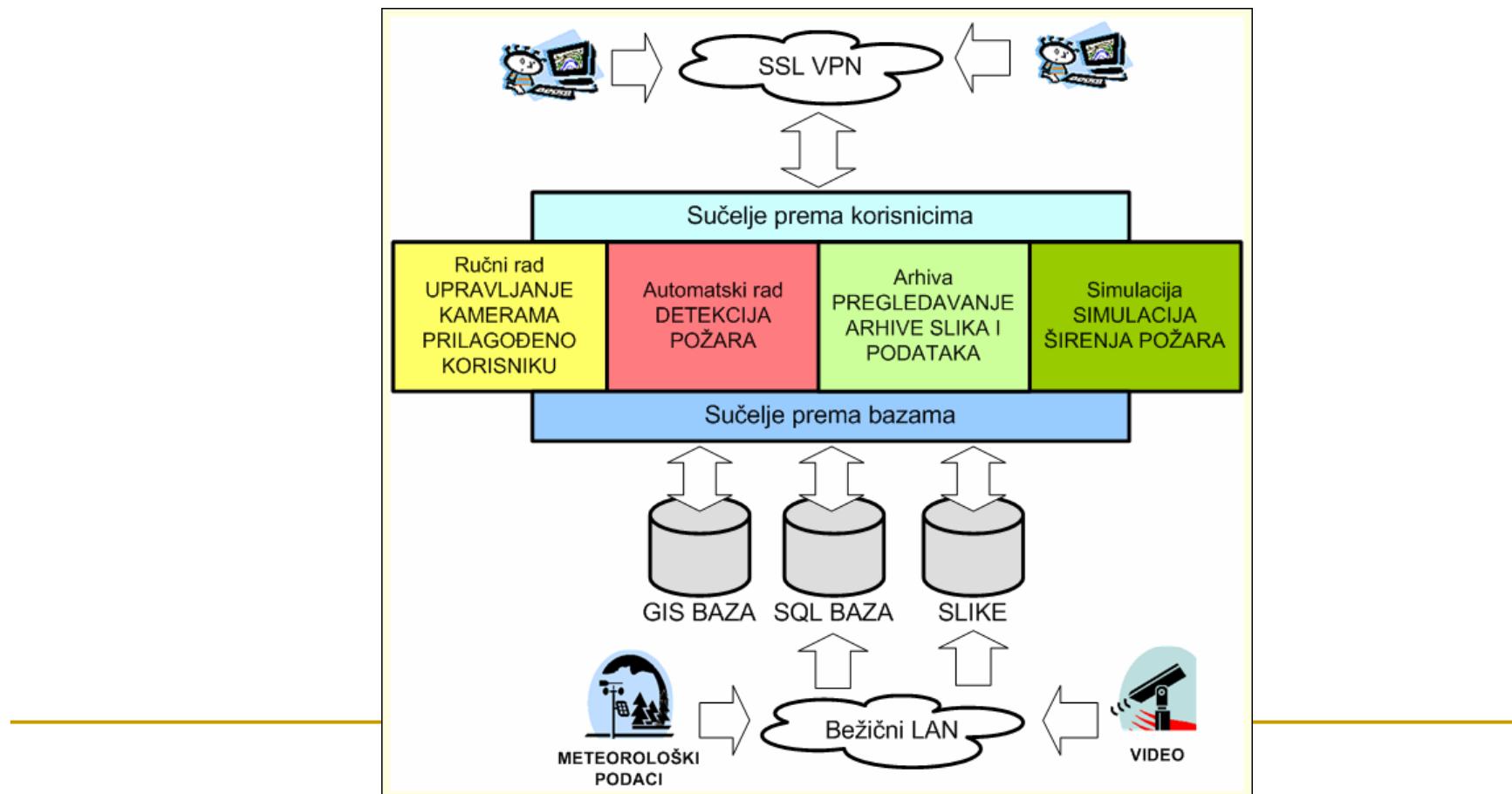
$$\beta = \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (18)$$

$$Q_{ig} = 581092 + 2594 \times 10^3 M_f \quad [\text{J/kg}] \quad (19)$$

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje

Propagacije Požara

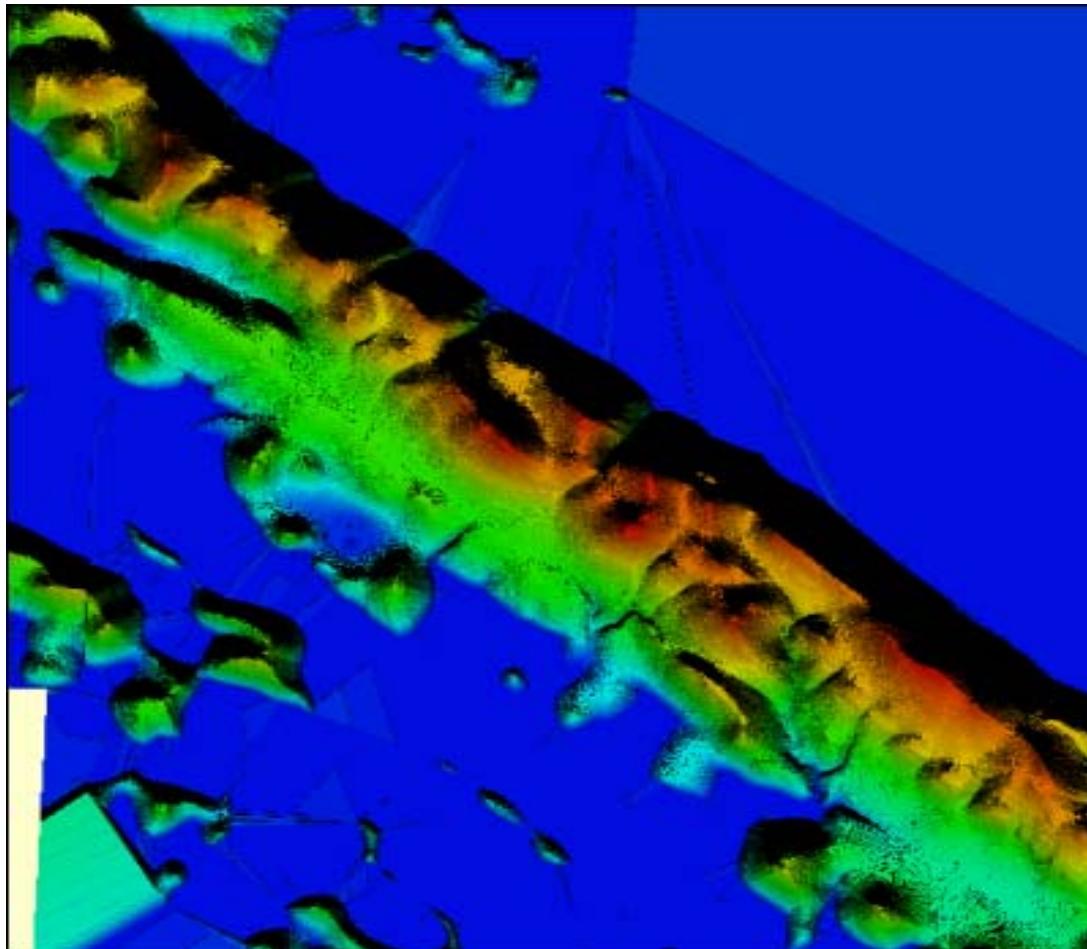
Simulator se može koristiti samostalno ili kao modul sustava



2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

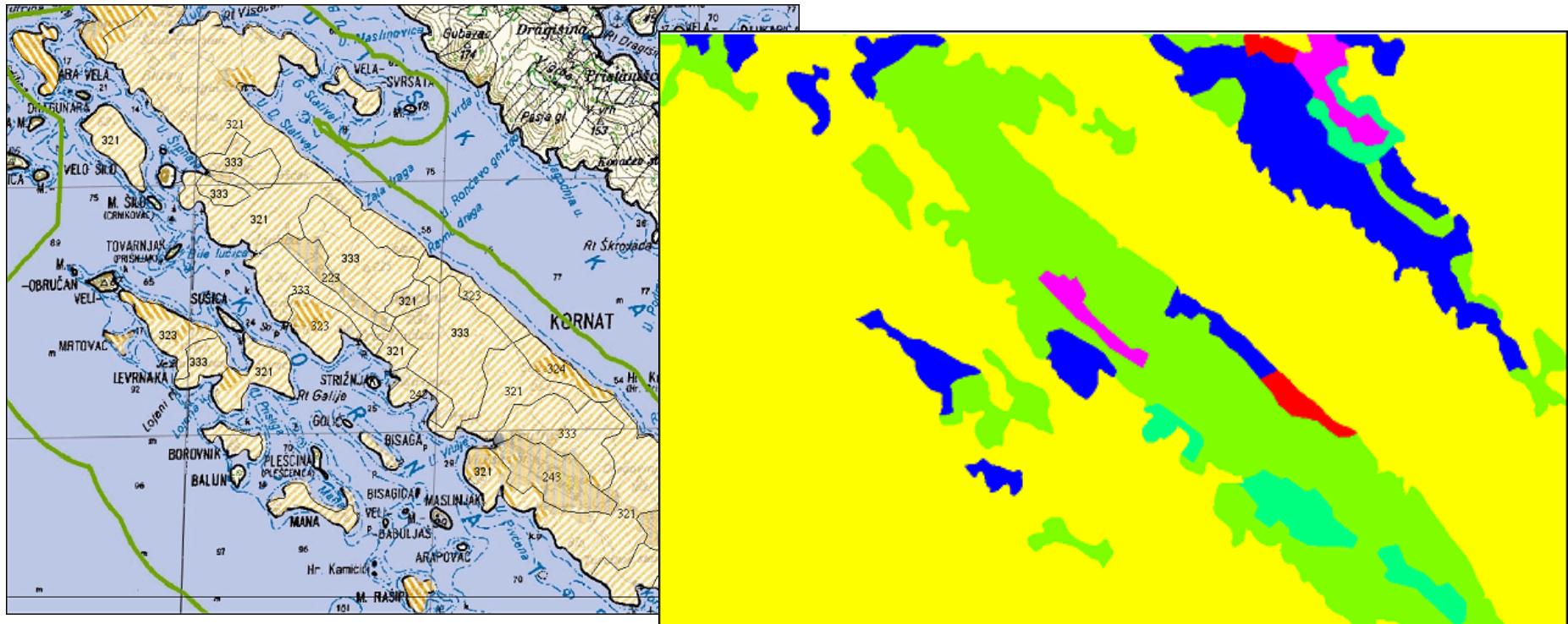
Primjer korištenja – Kornati – širenje požara od mesta izbjivanja (Vrulje) do mesta nesreće (Šipnata)

Kornati - ulazni podaci – konfiguracija terena

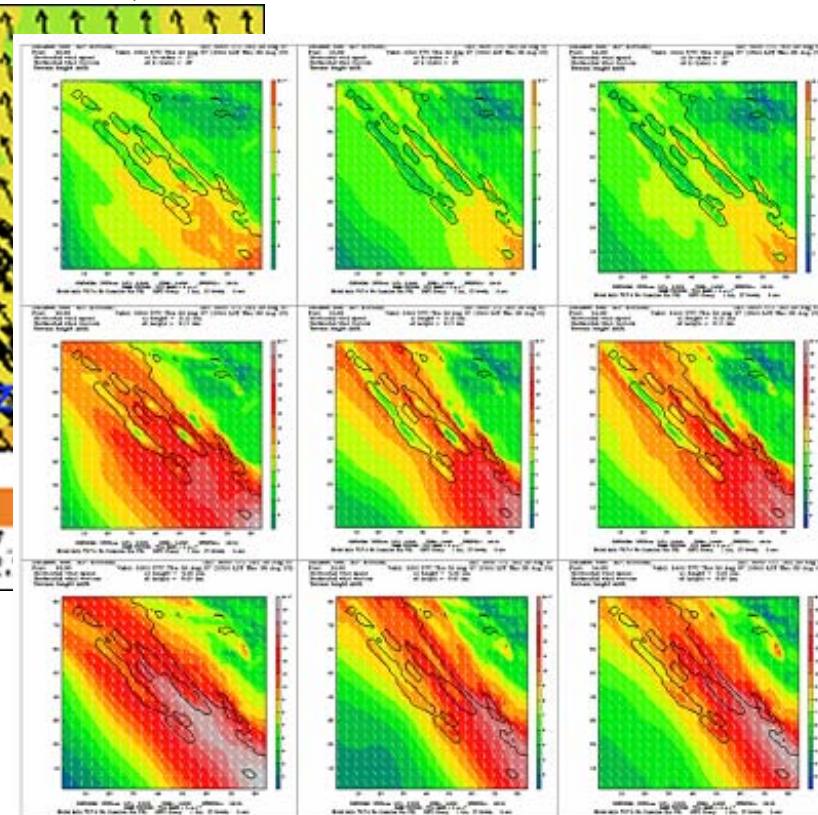
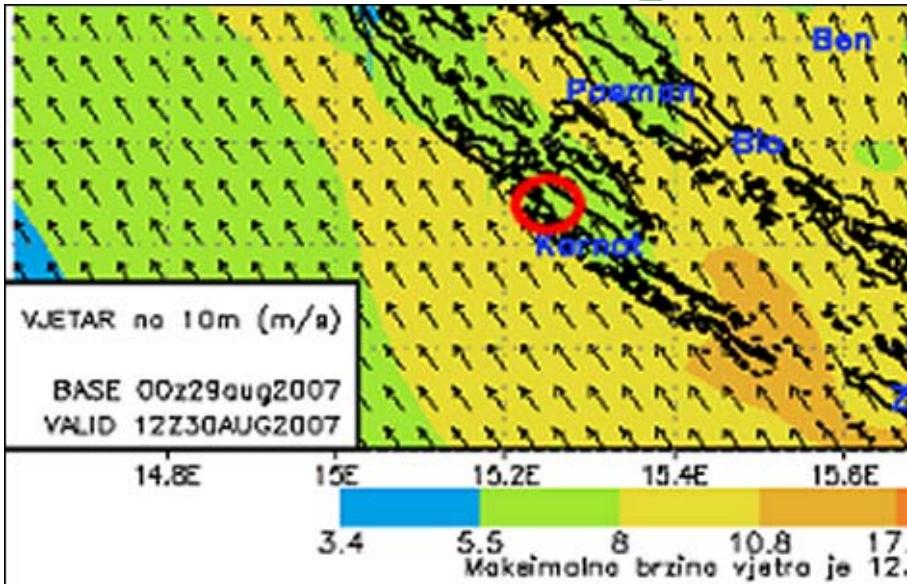


Kornati - ulazni podaci - vegetacija

- Prvi problem je bio odrediti vegetacijske karte otoka Kornata u ODNOSU NA KARAKTERISTIKE GORENJA.
- Korišteni su podaci satelitske klasifikacije pokrova CORINE CLC 2000 land cover – land use koju se na sreću (pod pritiskom EU) 2005. napravila i za Hrvatsku.

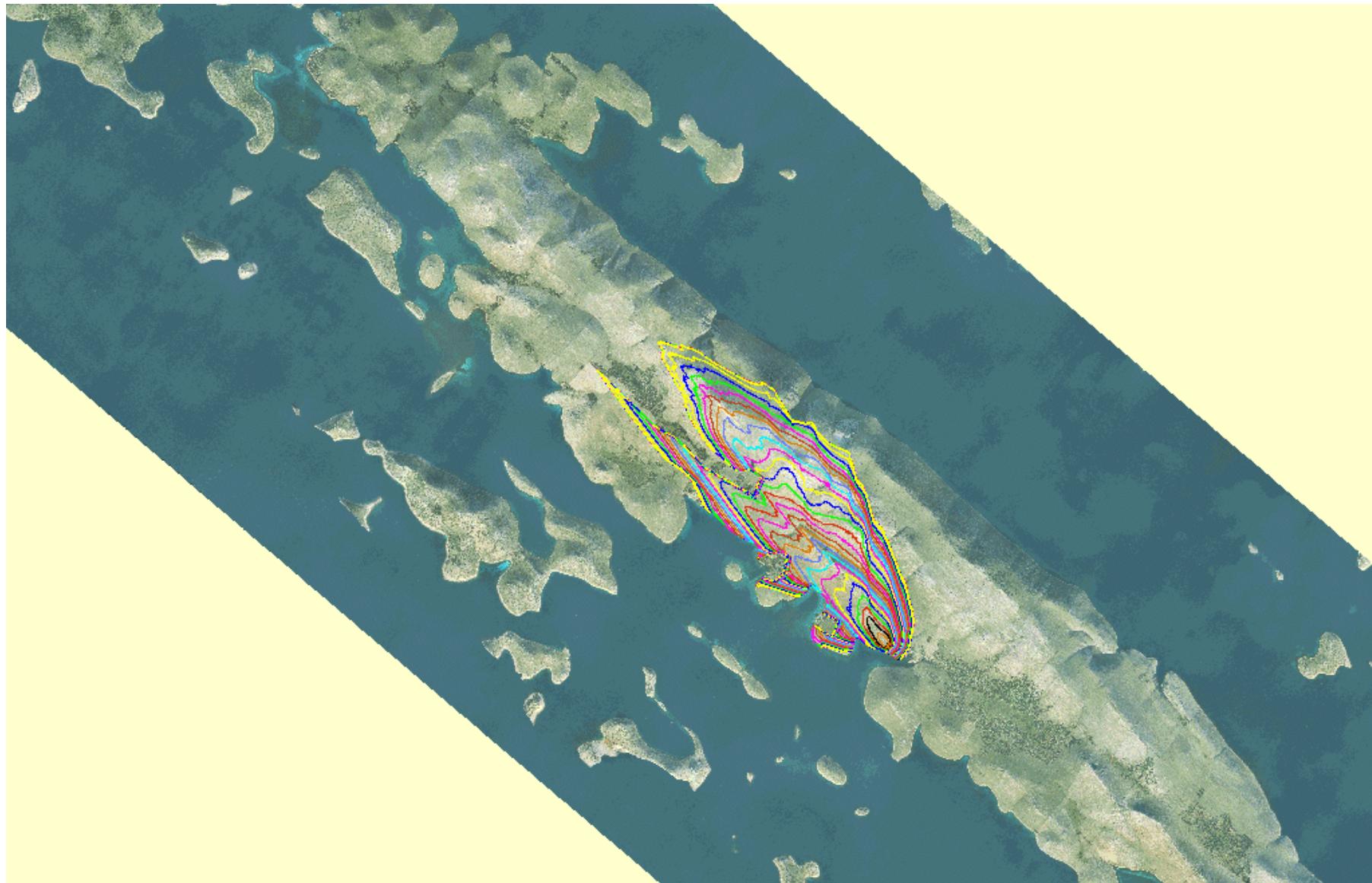


Kornati - ulazni podaci - vjetar



- Na sreću DHMZ koristi brojne programe za simulaciju brzine i smjera vjetra. Mi smo koristili rezultate modela:
 - ALADIN
 - MM5

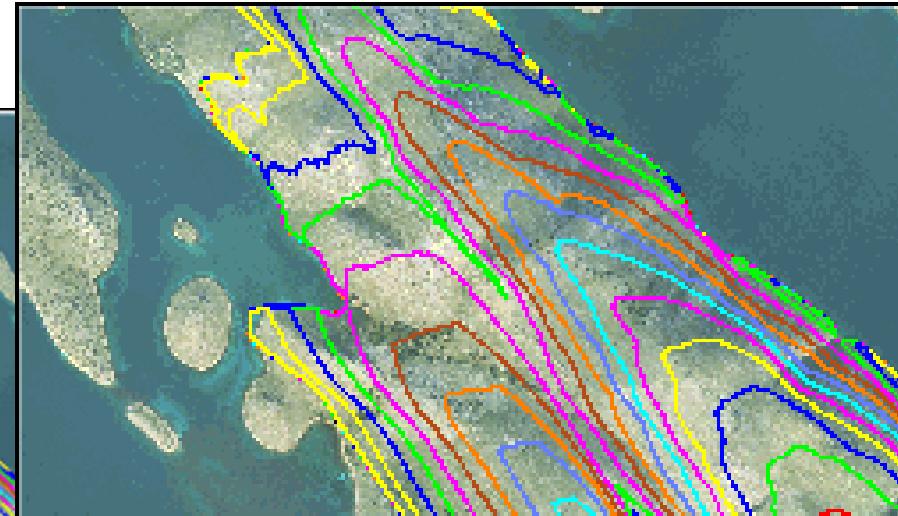
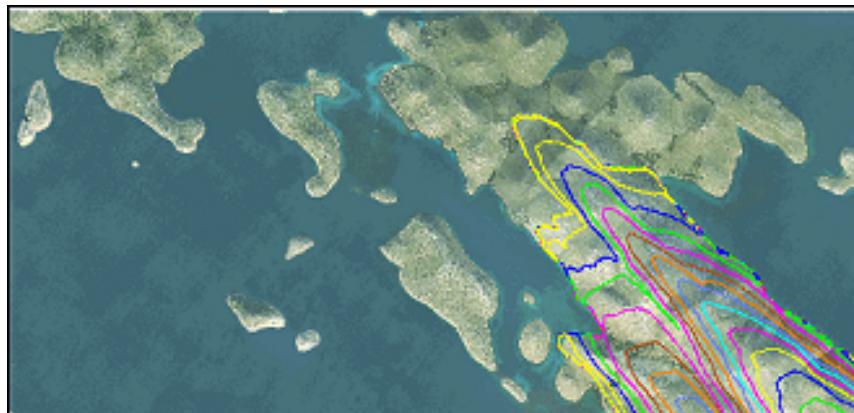




IPNAS

Inteligentni Protupožarni NAdzorni Sustav

Simulacija propagacije vatre modelom MOPP



- Zanimljivo je da je model sugerirao da se vatra brže širila po sjevernoj strani otoka, tako da se prije pojavila iza vatrogasaca što je kasnijim rekonstrukcijama i dokazano.
- Isto tako simulacijski rezultati su sugerirali da je vatra u klanac ušla preko jugoistočnog dijela brda Veli vrh.

2-D modeli – Hrvatska - MOPP – MOdeliranje Propagacije Požara

Gdje smo danas ?

- Ne puno dalje od početka.
- Jedini tko je do danas dao donekle podršku, je Splitsko – dalmatinska županija.
- Za dovođenje sustava u radne uvjete treba jača podrška DUSZ i Vatrogasne zajednice.
- Projekt bi se realizirao u suradnja FESB-a, DHMZ i Šumarskog fakulteta.
- Nadamo se da će se to u budućnosti i ostvariti.

 **SVEUČILIŠTE U SPLITU**
UNIVERSITAS STUDIORUM SPALATENSIS

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
KaMIS - Katedra za modeliranje i inteligentne računalne sustave

Gosp. Đuro Podrugač, ravnatelj
Državna uprava za zaštitu i spašavanje
Nehajnska 5
10000 Zagreb

U Splitu, 10. studeni 2007.

Predmet: Prijedlog aktivnosti na izradi programa za simulaciju razvoja požara otvorenog prostora

Poštovani,

Potaknut događanjima na otoku Kornatu i aktivnostima koje su u proteklom četverogodišnjem razdoblju na problematiči simulacije širenja šumskih požara provodene na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, te dobrog poznavanja situacije u Hrvatskoj i svijetu na ovoj problematiči, u nastavku Vam, uz kratku analizu sadašnjeg stanja predlažem aktivnosti koje bi vezano s ovom problematikom trebalo provesti u što skorijoj budućnosti.

Predstojnik
Prof.dr.sc. Darko Stipaničev

Prilog: Pregled sadašnjeg stanja vezanim uz simulaciju širenja požara otvorenog prostora i prijedlog budućih aktivnosti