

autori: **Prof.dr.sc. Darko Stipaničev, dr.sc. Ljiljana Šerić, Marin Bugarić, dipl.ing.** - Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu

I na kraju par riječi o **simulacijskim modelima**. Simulacijski modeli nisu novi način modeliranja širenja šumskog požara. Simulacijski modeli su pokušaj da se teorijsko i empirijsko znanje o ponašanju požara raslinja dovede u oblik pogodan za praktičnu primjenu. Simulacijski modeli koriste bilo koju grupu prethodnih modela, štoviše najčešće povezuju više modela i postupaka, sa ciljem izgradnje upotrebljivog simulacije širenja šumskog požara. I naš program

MOPP – MOdeliranja Propagacije Požara

je simulacijski model koji koristi

kombinaciju Rothermelovog modela i celularne automate

Modeli koji spadaju u grupu fizikalnih i empirijskih modela računaju fizikalne parametre u liniji širenja požara. Na primjer Rothermelov model računa brzinu širenja i količinu oslobođene energije u jednodimenzionalnoj liniji širenja požara preko terena homogene vegetacije. Slika 2.3.11. prikazuje rezultate Rothermelovog modela s osnovnim parametrima širenja požara za različite brzine vjetra i travnatu podlogu prosječne količine gorive materije po jedinici površine travnatih kategorija od 0.744 kg/m².

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

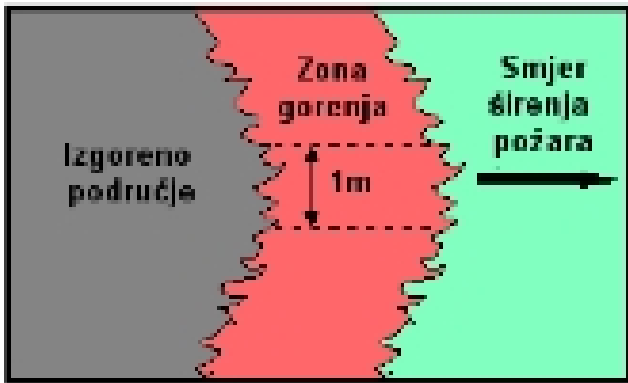
Slika2.3.11. Brzina širenja požarne fronte za travnatu vegetaciju

Parametri u tablicama su slijedeći:

- Midflame Wind Speed - ulazna brzina vjetra na polovici visine plamena u smjeru najvećeg nagiba terena prije korekcije za nagnutost terena u km/h
- Rate of Spead – 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.

d) 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



e) Flame Leghth – Duljina plamena u m (vidi Sl.6.38)

f) 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.

g) Spread Distance - Udaljenost koju bi vatra prešla za 1 sat u m.

Za neku drugu vegetaciju i neku drugu brzinu puhanja vjetra Rothermelov model daje naravno drugačije vrijednosti. Međutim požar se neširi pravocrtno preko terena homogene vegetacije. Požar je vremensko – prostorna pojava koja se šire preko tro-dimenzionalnog terena. Pitanje je sada na koji način povezati ove rezultate dobivene simuliranjem i na kraju konstruirati grafički prikaz širenja požarne fronte preko cijelog terena.

U praktično korištenim simulatorima prisutna su dva osnovna načina:

- geometrijsko modeliranje, uglavnom temeljeno na Huygensovom valnom principu, i
- rasterska simulacija, temeljena na različitim rasterskim tehnikama.

Kod geometrijskog modeliranja temeljenog na Huygensovom principu valne fronte svaka točka na požarnoj fronti postaje izvor novog požarnog vala. Konačan val je rezultat superpozicije svih pojedinačnih valova. Kod rasterskih metoda prostor po kojem se požar širi je diskretiziran, podijeljen na mala pojedinačna područja. Požar se s nekog elementa koji se upalio širi na elementarne površine u njegovom susjedstvu, naravno ako su ispunjeni uvjeti širenja. Tipična rasterska metoda su celularni automati.

Hygensov princip valne fronte

Huygensov princip valne fronte originalno je bio predložen za opis propagacije valova svijetlosti, ali su ga Anderson, Catchpole, deMestre i Parkes 1982. [Anderson, D., Catchpole, E., deMestre, N., and Parkes, T. *Modelling the spread of grass fires*, *Journal of Australian Mathematics Society, Series B*, 23: 451–466. 1982.

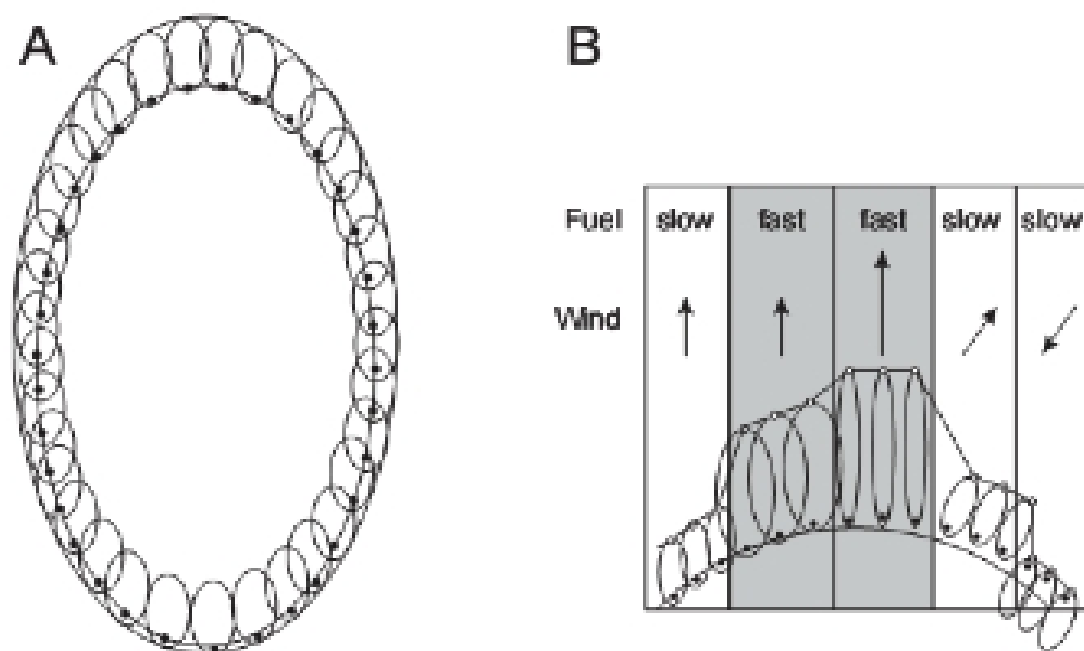
] predložio za modeliranje širenja požarne fronte. Najjednostavnije kazano, svaka točka na požarnoj fronti postaje izvor novog požara koji se širi pod utjecajem vjetra, konfiguracije terena i vegetacije. Teorija pretpostavlja da se nove vatre na požarnoj fronti pale bez međusobnih interakcija, a da je novi oblik požarne fronte nakon vremena Δt rezultat superpozicije svih novo nastalih požarnih elemenata.

Ovaj model (koji se danas najviše koristi) pretpostavio je eliptički model širenja vatre, a duža os elipse je postavljena u smjeru puhanja vjetra. Geometrijski parametri svake elipse određuju su iz proračunatih vrijednosti brzine širenja požarne fronte (ROS – Rate of Spread).

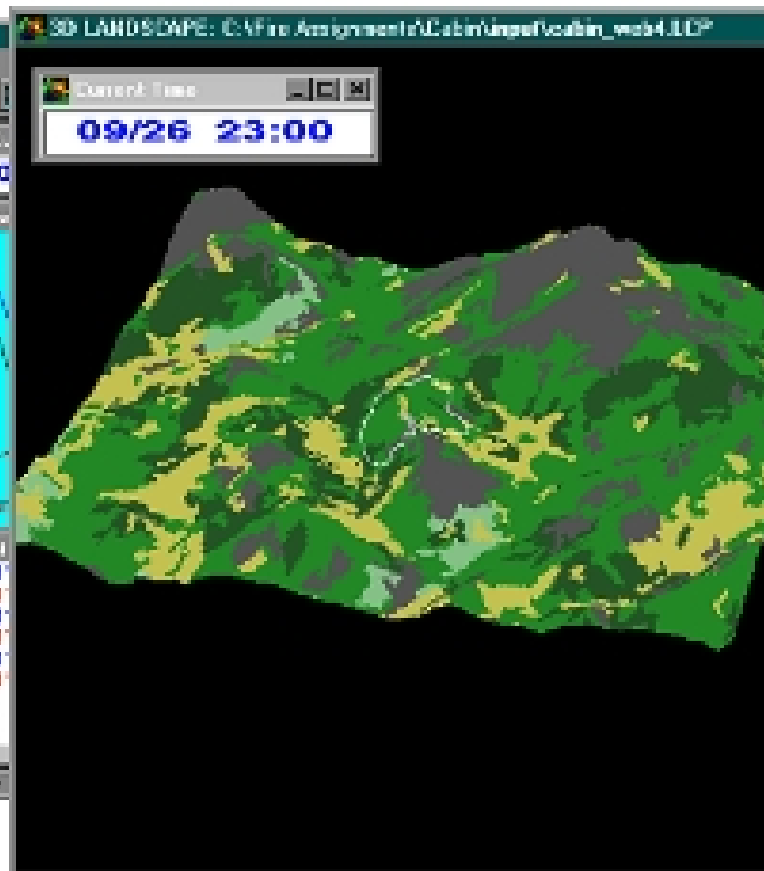
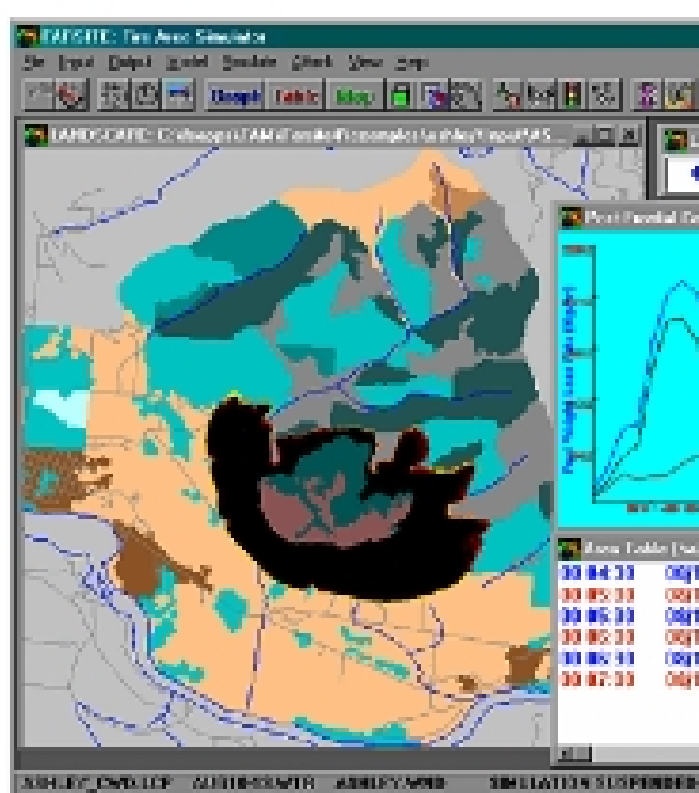


U obzir se uzimaju čelona, bočna i povratna širenja požara.

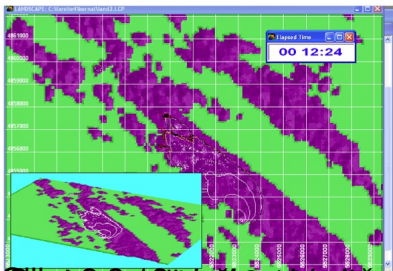




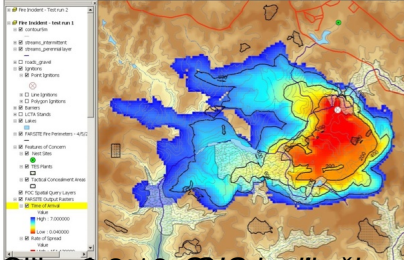
U ovom programu, korisnik može definirati različite vrste goriva i brzine vjetrova koje će biti korištene u simulaciji. Program također omogućuje definiranje početne temperature i brzine vjetrova. Program također omogućuje definiranje početne temperature i brzine vjetrova. Program također omogućuje definiranje početne temperature i brzine vjetrova.



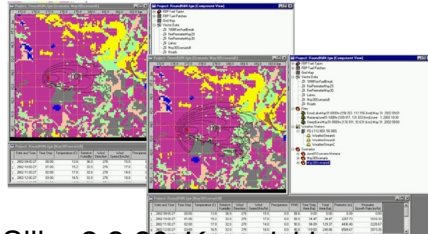
Slika 2.3.17 Izgled ekrana programa FARSITE sa 3D prikazom požarne fronte



Slika 2.3.19 Kanadski program za simulaciju širenja požara PROMETHEUS



Slika 2.3.20 Kanadski program za simulaciju širenja požara PROMETHEUS



Slika 2.3.20 Kanadski program za simulaciju širenja požara PROMETHEUS

Rasterska simulacija

Rasterska simulacija širenje vatre promatra na rasterskoj rešetki sastavljenoj od elementarnih čestica – stanica koje mogu biti u stanjima ne gorenja, gorenja i izgorenosti. Metoda je pogodnija za simulaciju širenja požara na područjima heterogene vegetacije. U osnovi radi se o postupku vrlo sličnom celularnim automatima s tim da se dodaje prvi dio u kojem se za svaku od stanica najprije računa brzina širenja požara (**ROS**), a nakon toga se analizira mogućnost propagacije požara u susjedne stanice. Kod rasterske simulacije obično se uzimaju sljedeće pretpostavke:

- Rothermelov model modelira brzinu propagacije požara (ROS).
- Vegetacija je homogena unutar svake stanice.
- Postoji 8 neovisnih smjerova vjetra i mogućeg gibanja požara (gore, dolje, lijevo, desno, gore lijevo, gore desno, dolje lijevo i dolje desno).
- Nema nagiba unutar stanice. Nagib se javlja samo u prelazu sa stanice na stanicu.
- Samo stanice u kojima je vatra već ugašena ili u kojima nema vegetacije nisu područje kojim se vatra može širiti.
- U svakom vremenskom koraku vatra iz jedne ćelije može se širiti samo u jednu od susjednih 8 ćelija.

Simulacijski program [MOPP](#) razvijen na FESB-u i korišten kao eksperimentalni sustav simulacije požara za Splitsko – dalmatinsku županiju upravo upada u ovu grupu.

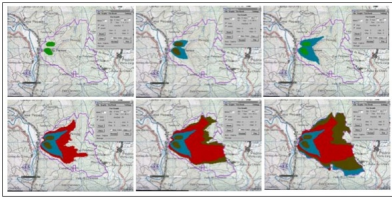
MOPP

je razvjen u suradnji s

Državnim hidrometeorološkim zavodom (DHMZ)

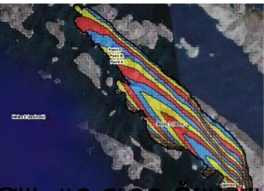
. Meteorološki podaci i rezultati proračuna prognostičkog modela ALADIN koji računa DHMZ automatski se podižu s meteorološkog poslužitelja DHMZ-a, ali postoji i mogućnost unošenja lokalnih meteoroloških podataka.

Spomenimo samo to da je i portugalski nacionalni simulacijski program **FireStation** ima istu koncepciju, a FESB ima dobru suradnju s prof.Viegasom, koji je jedan od autora ovog programa, pa se u budućnosti očekuje i zajednička suradnja na razvoju pojedinih modula. Slika 2.3.21 prikazuje rezultat portugalskog programa za modeliranje širenja požara FireStation kod modeliranja velikog požar iz 2001. u mjestu Trémoa. Rezultati simulacije su se dobro poklapali s događanjima na terenu.

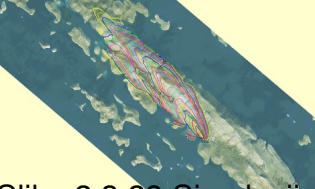


Slika 2.3.21 Simulacija širenja velikog požara otvorenog prostorau Portugalu iz 2001. programom FireStation u 16:00, 16:30, 17:00, 17:45, 18:15 i 22:23

Isto tako slika 2.3.22 prikazuje simulaciju kornatskog požara u simulatoru FireStation. I ova se simulacija poklapa s vremenima dolaska požarne fronte do pojedine točke, ali za razliku od našeg simulatora FireStation nije predvidio brže širenje požarne fronte po sjevernoj strani otoka.



Slika 2.3.23 Simulacija širenja kornatskog požara rezultata simulacije FireStationom MOPP koji



Slika 2.3.23 Simulacija širenja kornatskog požara simulátorom MOPP

Usporedba različitih simulacijskih modela

Tablica na slici 2.3.24. prikazuje odličnu usporedbu različitih simulacijskih modela. Više-manje svi se naslanjaju na BEHAVE, odnosno Rothermelov model.

Fire simulation system	Components		Intended use	Input		Output	Platform and software
	Prediction model	Simulation technique		GIS	Additional		
DTNATURE (Kahlelde et al., 1991)	Physical-mathematical (BEHAVE)	Cellular automata	To simulate the spread of low-to-moderate intensity surface fires	-Standard fuel type -Elevation -Slope -Aspect -Stream Network	-Temperature -Relative humidity -Fuel moisture -Wind speed -Wind direction	Maps of: -Fire perimeter -Fireline intensity -Average spread rate	PC with MS-DOS and pHMAP
EMHYR (Hargrove et al., 1995)	Probabilistic	Block percolation	To simulate landscape-scale burn patterns	-Vegetation classified by species and age	-Fuel moisture -Wind speed -Wind direction	Map of final burn pattern (15m resolution)	UNIX workstation (FORTAN)
FARSITE (FARSITE, 1998)	Physical-mathematical (BEHAVE)	Hilltop propagation	To simulate the spread and behavior of wildland fire	-Standard/custom fuel type -Elevation -Slope -Aspect -Canopy cover	-Temperature -Relative humidity -Wind speed -Wind direction -Canopy characteristics	Maps of: -Fire behavior -Fire perimeter -Fuel moisture -Fuel load	PC with Windows Operating System
FIREMAP (Hall and Guerin, 1992)	Physical-mathematical (BEHAVE)	Cellular automata	To simulate the spread of low-to-moderate intensity surface fires	-Standard/custom fuel type -Elevation -Slope -Aspect	-Temperature -Relative humidity -Fuel Moisture (optional) -Wind speed -Wind direction	Maps of: -Spread rate -Fireline intensity -Flame length -Heat unit area -Reaction intensity	UNIX workstation with PHOMAP
WILDFIRE (WILDFIRE, 1993)	Physical-mathematical (FHP system)	Hilltop propagation	To simulate the spread of low-to-moderate intensity surface fires	-Standard fuel type -Elevation	-Wind Speed -Wind direction	Maps of: -Fire perimeter -Fire intensity (1m resolution)	PC with MS-DOS
FireStation	Physical-mathematical (BEHAVE)	Cellular automata	To simulate the spread of low-to-moderate intensity surface fires	-Standard/custom fuel type -Elevation	-Temperature -Relative humidity -Fuel moisture -Wind readings by sensors	Maps of: -Wind speed -Wind direction -Spread rate -Flame length -Heat unit area -Reaction intensity -Fire perimeter -FWSI indices	PC with Windows Operating System Allocation software

Slika 2.3.24 Usporedba različitih simulacijskih programa koji se danas koriste

Od ovih simulacijskih modela u mediteranskim uvjetima testiran je samo FARSITE i FireStation.

Usporedba FESB-ovog simulacijskog modela **MOPP** u odnosu na ostale svjetske simulacijske modele:

Naziv: MOPP – MOdeliranje Propagacije **P**ožara (engleski naziv iForestFire Spread)

Komponente

Predikcijski model: Fizikalno – statistički (kvazi-empirijski) (BEHAVE)

Simulacijska tehnika: Celularni automati

Namjena: Simulirati širenje požara malog i srednjeg intenziteta na hrvatskoj obali i otocima

Ulaz:

GIS:

- standarne/vlastite vegetacijske kategorije (tipovi goriva)
- elevacija (visine),
- nagib,
- smjer nagiba (aspekt),

Meteorologija:

- smjer vjetra,
- brzina vjetra,
- relativna vlažnost,
- vlažnost goriva (ako postoji),
- temperatura,
- padaline,
- kanadski indeks vlažnosti goriva.

Izlaz:

- karta smjera i brzine vjetra,
- linije požarne fronte u različitim vremenskim trenucima
- intenzitet požarne fronte (u planu),
- visina plamena (u planu).

Platforma i program:

- Cloude Combuting aplikacija (WIS - Web Information System) što znači da se svi proračuni odvijaju na poslužitelju (Linux poslužitelj), a korisnik sustavu pristupa sa bilo koje lokacije koja ima širokopojasni pristup Internetu koristeći standardni Web preglednik.
- Sustav je integriran sa dostupnim Web kartografskim 2-D i 3-D prikazima (2- D: Google Maps, Bing Maps, 3-D: Google Earth)

Više o MOPP-u u posebnom dijelu.

>>> [MOPP simulator](#)

