

autor: **Prof.dr.sc. Darko Stipaničev** - Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu

Na pojavu i širenje požara otvorenog prostora utječe mnogo različitih faktora, ali najvažniji su

- goriva materija,
- meteorološki parametri,
- vjetar i
- topografija.

## Goriva materija

Prema prije spomenutom jednostavnom modelu širenja požara otvorenog prostora gorivu materiju kod požara raslinja u najvećem dijelu čini živo i mrtvo raslinje. Ono je i izvor topline i prijammnik topline, a u nekim slučajevima i sredstvo prijenosa topline sa izvora na prijammnike. Ovo prirodno gorivo odgovorno je i za zapaljenje, širenje i konsolidaciju vatre u obliku krunske vatre u krošnjama. Gorivo se 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) 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 gorive materije kod požara raslinja 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 se kod modeliranja širenja požara uzimaju u obzir su:

- **Količina goriva** – iskazuje se u  $\text{kg/m}^2$  ili  $\text{t/ha}$  i u direktnoj je vezi sa biomasom. Dio goriva koji sudjeluje u procesu gorenja naziva se aktivno požarno gorivo. Za šumsku bio-masu iznosi otprilike 600 – 800  $\text{kg/m}^3$ .

- **Velicina gorivih čestica** – direktno ovisi o ponašanju vatre. Finije čestice daju veću površinu gorivog područja za isti volumen goriva na način da olakšavaju prijenos topline. Mjeri se u mm po manjoj dimenziji (na primjer kod iglica njihova širina, a kod lišća debljina). Manje čestice se i brže suše, pa predstavljaju veću požarnu opasnost.

- **Energetska vrijednost goriva** – izražava količinu topline koju jedinična masa goriva oslobađa. Mjeri se u  $\text{kJ/kg}$ , a tipične vrijednosti za šumski gorivi materijal su od 18.000 do 22.000  $\text{kJ/kg}$ . Ovisi o konkretnoj biljnoj vrsti. Označava se  $H_f$ .

- **Specifična toplina goriva** – definira se kao količina energije koja je potrebna da bi se jedinična masa goriva zagrijala za 1  $^{\circ}\text{C}$ . Oznaka joj je  $C_p$ , a jedinica  $\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

- **Temperatura zapaljenja** koja ovisi o vrsti goriva i za šumsko gorivo je obično od  $320^{\circ}\text{C}$  do  $340^{\circ}\text{C}$ .

- **Omjer površine i volumena gorive čestice** – mjera je proporcionalnosti površine izložene prijenosu topline u odnosu na masu čestice. Najčešće se iskazuje u  $\text{cm}^{-1}$ .

. Gorivo koje ima veću vrijednost omjera površine / volumena brže se pali i lakše prenosi vatru, pa je ova veličina direktna mjera vjerojatnosti zapaljenja i brzine širenja vatre.

- **Količina goriva u jediničnom volumenu prostora** – ova veličina iskazuje odnos količine goriva i ukupnog volumena područja na kojem je gorivo. Što je omjer veći to je slabiji prijenos toplih plinova, ali zato bolji prijatelj topline.

- **Količina minerala, voskova i ulja** – voskovi i ulja utječu na način prijenosa topline i djeluju kao dobri prijatelji topline. Prisustvo lako halapljivih komponenata pospješuju gorivost (na primjer kod borova i kaduljastog bilja) i povećavaju brzinu gorenja. Inače osnovni prirodni kemijski sastav vegetacije je celuloza i semi-celuloza.

## 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 mjerenje 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. Gorivo sa većim postotkom vlage teže se pali, a požar se po njemu teže širi. Požar se teže širi i ukoliko u zraku ima veliki postotak relativne vlage.

Količina vlage u mrtvom gorivu direktno je ovisna o atmosferskim parametrima: relativnoj

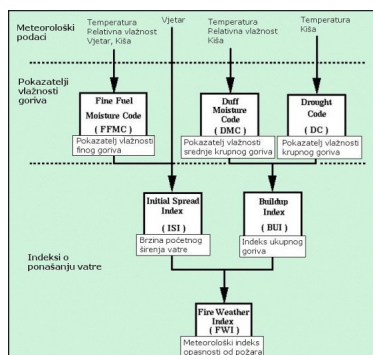
vlažnosti, temperaturi, brzini vjetra i količini sunčeve radijacije. Topografija i lokalna vegetacijska pokrivenost utječu na količinu vlage u okolnom zraku, pa na taj način i na količinu vlage u mrtvom gorivu. Više je metoda i postupaka određivanja količine vlage u mrtvom gorivu:

- **Uzimanje uzoraka na terenu** – najskuplje i najbolje. Uzimaju se uzorci i mrtvog i živog goriva, te važu prije i poslije sušenja u posebnim pećima na temperaturi od 100

C.

- **Upotreba kalibracijskog goriva** – na probnim se mjestima automatski mjeri njegova težina poznatog goriva koje je izmjereno u suhom stanju. Signal se telemetrijski prenosi do centra za prikupljanje podataka. Razlika u težini je količina između trenutnog i suhog stanja je vlaga u gorivu. Postupak nije od velike koristi u praksi. Više je namijenjen istraživanjima.

- **Procjena vlažnosti na temelju empirijskih meteoroloških jednadžbi** koju smo već spominjali kod određivanja indeksa rizika požara otvorenog prostora (na primjer kod kanadske FWI metode prikazane na Slici 5. faktori FFMC, DMC i DC iskazuju količinu vlage finog, srednjeg i krupnog goriva).



Slika 5. Postupak proračuna kanadskog FWI – Fire Weather Indeks-a

- Procjena vlažnosti analizom satelitskih snimaka – i o tome smo već govorili u prethodnom poglavlju. Radi se o određivanju indeksa vegetacijskog stresa na požare koji posredno iskazuje količinu vlage u gorivu. Nedostatak mu je što se pri analizi promatraju relativno velika područja. Upotreba satelita s velikom rezolucijom je previše skupa.

Iz ove diskusije zaključak je jednostavan. Skoro u svim prisutnim modelima širenja požara otvorenog prostora količina vlage u gorivu se proračunava na temelju meteoroloških parametara, pa je modul za procjenu rizika požara otvorenog prostora često sastavni dio programa za modeliranje širenja šumskog požara.

## Vjetar

Vjetar je faktor koji možda najviše utječe na ponašanje šumskog požara, a posebno na brzinu njegovog širenja. Vatrogasci dobro znaju da jaki i suhi vjetrovi (kao što je bura) u nestabilnoj atmosferi čine gašenje požara skoro nemogućim. Požarne statistike pokazuju da su se veliki požari zbili za vrijeme jakih vjetrova. Zbog toga je vjetar kao ulazni parametar posebno važan

kod modeliranja širenja šumskog požara.

To međutim 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 neizgorjelog terena što stvara turbulentna i nepredvidiva lokalna kretanja vjetra. Često vatra i vjetar imaju jedan na drugoga povratni utjecaj, pa najsloženiji modeli modeliranja šumskih požara uzimaju u obzir i atmosfersku dinamiku uzrokovanu ponašanjem vatre te računaju gibanje toplih zračnih masa paralelno uzrokovanih vjetrom i širenjem vatre. Utjecaj vjetra na širenje požara raste naglo porastom brzine vjetra, posebno u područjima male gustoće vegetacije (mala količina goriva u jediničnom volumenu prostora). Objašnjenje je da vjetar gura plamen prema naprijed omogućavajući direktni kontakt plamena i novog neizgorjelog raslinja, a da isto tako povećava zračenje sa izvora na prijarnike topline.

Utjecaj vjetra na širenje požara ovisi o:

- veličini gorivih čestica,
- količini goriva u jediničnom volumenu prostora,
- brzini i smjeru vjetra.

Najbolje je poznavati brzinu vjetra u blizini mjesta požara. Jedno je mjeriti brzinu vjetra na meteorološkoj postaji koja se nalazi 30 km od mjesta požara, i k tome još na primjer iza brda, a drugo mjeriti brzinu vjetra 3 km prije fronte požara u smjeru puhanja vjetra. Mreža mini meteoroloških stanica koja bi trebala pokriti posebno osjetljiva područja to bi trebala i omogućiti, pa je ona važan element sustava za modeliranje širenja šumskog požara.

## Topografija

I na kraju zadnji utjecajni faktor. 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.

Dobro je poznato i to da se požar brže širi uzbrdo, nego nizbrdo. Brzina širenja požara je 10 do 20 puta veća od osnovne brzine širenja požara ukoliko nagib terena naraste sa 0 na 30° – 40°. S druge strane brzina širenja požara nizbrdo je neovisna o nagibu i više manje jednaka osnovnoj brzini širenja. Zbog toga je orijentacija i nagib terena vrlo važna ulazna varijabla sustava za modeliranje širenja šumskog požara.

Situacija se posebno komplicira kada gradijent vjetra nije paralelan gradijentu terena. Vjetar i nagib se promatraju i sumiraju kao vektorske veličine, pa nagib može smanjiti utjecaj vjetra, ali ga isto tako može i povećati.