

ŠUMSKI POŽARI I FIZIKALNI MODELI

FOREST FIRES AND PHYSICAL MODELS

Željko ŠPANJOL*, **Katica BILJAKOVIĆ****, **Roman ROSAVEC***,
Damir DOMINKO**, **Damir BARČIĆ***, **Damir STAREŠINIĆ****

SAŽETAK: Hrvatska je zemlja relativno bogata šumama; 36 % od ukupne površine države pokrivaju šumske površine. Međutim, poseban problem na jadranskom području Hrvatske predstavljaju šumski požari, koji uništavaju prirodna bogatstva smanjujući biološku raznolikost, a negativan utjecaj imaju i na krajobraznu raznolikost. Sam problem je višeslojan, kompleksan i zahtijeva uključivanje brojnih grana znanosti, kao što su šumarstvo, geologija, biologija, meteorologija, a u zadnje vrijeme i fizika.

Poznato je da fizika uspješno prepoznaje osnovna načela pojavnosti i djelovanja u materijalnom svijetu, a to ima vrlo široku primjenu i izvan njenih vlastitih okvira. Načini manifestacije kompleksnosti i posebno zakonitosti koje fizičari sve više u suradnji s drugim disciplinama nalaze i proučavaju otvaraju vrlo široke horizonte mogućih primjena. "Korelacije u kompleksnim sustavima: od fizike do biotehnologije" je naziv interdisciplinarnog programa kojega financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, koji je među inim povezo znanstvene pristupe fizike i šumarstva na proučavanju šumskih požara.

Ovaj rad daje neke osnove o šumskim požarima specifične za svaku znanstvenu disciplinu i pokazuje mogućnosti njihove interakcije kao i važnost takvog interdisciplinarnog pristupa u rješavanju gorućih problema vezanih uz šumske požare i njihovu prevenciju.

Ključne riječi: požar, kompleksnost, jadransko područje, fizika, šumarstvo.

UVOD – Introduction

Šume su stanište brojnim predstavnicima biljnog i životinjskog svijeta i jedan od glavnih izvora kisika na Zemlji. Stabilnost šumskih ekoloških sustava ugrožena je požarima, jer vatrena stihija može u vrlo kratkom vremenu progutati cijela šumska područja. Osobito važno je proučavanje požara da bi se izbjegle tragedije kao što je bila ona na Kornatu 30. kolovoza 2007. godine.

Proučavanje posljedica požara važno je i zbog ekoloških razloga. U šumskom požaru može izgoriti sva šumska prostirka. Koliki je to gubitak plodnosti tla ka-

zuje podatak da je njezina količina od 12.4 do 59.5 t/ha (Martinović i dr., 1978). Još jedna velika opasnost nakon požara je pojava erozije, čime nepovratno nestaje stoljećima i tisućljećima stvarano šumsko tlo. Tako je na požarištu šume alepskog bora na Pelješcu na rendzini povrh dolomita erozija od rujna do siječnja 1980. godine odnijela 5–11 mm tla, što u prosjeku iznosi 100 t/ha (Martinović, 1987). Međutim u proučavanju šumskih požara bitno je ukazati na količinu i sastav šumskog goriva. Prema Bilandžiji (1992) šumskim gorivom smatra se cjelokupna količina biljnog materijala, mrtvog i živog koja se nalazi iznad mineralnog dijela tla.

Istovremeno vatra je ekološki čimbenik koji ima veliku ulogu s obzirom na vegetaciju u sredozemnim ekološkim sustavima (Traubaud, 1980; Attiwill, 1994; Lavorel et al., 1998). Ona se može smatrati i sastav-

* Izv. prof. dr. sc. Željko Španjol, dr. sc. Damir Barčić, Roman Rosavec, dipl. ing. šum. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za ekologiju i uzgajanje šuma, Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb

** Dr. sc. Katica Biljaković, dr. sc. Damir Starešinić, Damir Dominko, dipl. ing. Institut za fiziku, Bijenička 46, 10 000 Zagreb

nim dijelom sredozemnih ekoloških sustava, što se posebno odnosi na njen intenzitet i dva osnovna čimbenika intenziteta vatre: vrijeme trajanja i postignuta temperatura (Malanson 1984; Sousa 1984). Oba čimbenika imaju važan utjecaj na vegetaciju i mogućnost njezine obnove (Nunez i Calvo, 2000).

Do boljeg razumijevanje nastanka i širenja šumskih požara može se doći primjenom različitih fizikalnih modela, te proučavanjem njihovih zakonitosti. U tom smislu u radu je prikazan i niz čimbenika koje izučava fizika kompleksnih sustava, a koji su povezani sa šumskim požarima. Kompleksni sustavi su oni čije ponašanje bitno ovisi o detaljima. Cilj njihovog proučavanja je razumijevanje na koji način dijelovi sustava doprinose kolektivnom ponašanju i na koji način okolina djeluje na sustav. Iako se ta pitanja mogu izučavati općenito,

ona su itekako relevantna za sva tradicionalna područja vezana uz konkretne slučajeve. Društveni sustavi koje (dijelom) čine ljudi, mozak prožet mrežom neurona, slivovi rijeka, atomi koji sačinjavaju molekule, tornada, zemljotresi, burze, sve su to primjeri kompleksnih sustava. Proučavati kompleksne sustave je zahtjevno, jer se nastoje razumjeti pojave koje nisu neposredne posljedice vanjskih djelovanja. "Pogurati" na jednom mjestu najčešće znači imati učinak na drugom mjestu, jer su dijelovi međuzavisni. Područje kompleksnih sustava nudi sofisticirane alate, konceptualne, koji pomažu kod osmišljavanja, analitičke za dublje izučavanje i sve više računalnih koji služe za opisivanje, modeliranje i simulacije. U ovom radu prikazujemo osnove nekih modela i mogućnosti njihove primjene.

Klasifikacija šumskih požara – *Forest Fire Classification*

Postoji nekoliko klasifikacija, tj. podjela šumskih požara. Kod nas se najčešće koristi klasifikacija koja se odnosi na način postanka požara (Dimitrov, 1987; Španjol, 1996):

- a) prirodni (nekontrolirani, divlji, stihijski)
- b) umjetni (kontrolirani, planirani)

Prirodni požari su oni koji nisu pod kontrolom stručnjaka ili neke druge osobe za razliku od umjetnih koji su pod stalnom kontrolom stručnjaka. Njima se obavljaju određeni poslovi u gospodarenju šumama, kao što su; raščišćivanje mjesta prijašnjih sječa, paljenje različitog drvnog otpada kao što su suha, izvaljena stabla, borba protiv patogenih mikroorganizama i štetnih kukaca, olakšavanje regeneracije pomlatka drveća – poticanje izbojne snage iz panja i poboljšavanje stanišnih uvjeta divljih životinja.

Prema tipu gorivog materijala razlikujemo (Španjol, 1996):

- a) podzemni požar ili požar tla (korijenja humusa i treseta)
- b) prizemni ili niski požar
- c) požar u krošnjama ili visoki požar (ovršni požar)
- d) požar osamljenog drveća i grmlja

a) Podzemni požar ili požar tla (korijenja humusa i treseta) zahvaća humus i tresetne slojeve koji su ispod šumske organske prostirke ili nerazgrađenog dijela površinskog sloja šumskog tla. Napreduje vrlo polagano, ali stalno. Podzemni požar treseta može trajati ("tihnjeti") nekoliko mjeseci, te stalno prijeteći opasnost da izbije na površinu i da se pretvori u opasni prizemni požar. Štete su velike zbog stradanja korijenja drveća koje se potom suši. Takav požar se vrlo teško otkriva i teško gasi.

b) Prizemni požar nastaje kada se zapali gornji sloj šumske organske prostirke, podstojno grmlje i pomladak šumskog drveća. To je najčešći tip požara koji se pojavljuje u svim tipovima šuma. Jači prizemni po-



Slika 1. Prizemni požar u sastojini crnoga bora na području Paklenice, šumski predjel Veliko Rujno

Figure 1 Ground fire in a black pine stand in Paklenica, forest area of Veliko Rujno

(Foto: Dujo Bušljeta)



Slika 2. Šumski požar u na Velikom Rujnu in srpnju 2007. godine

Figure 2 Forest fire in Veliko Rujno in July 2007

(Foto: Dujo Bušljeta)

žar u šumama u kojima je drveće s tankom korom oštećuje žilište stabla i tada ugiba kambij, pa dolazi do sušenja stabla, a mjestimično i cijele sastojine. Za uništavanje kambija dovoljna je temperatura od 54 °C.

c) Požar u krošnjama ili visoki požar (ovršni požar) je ona vrsta požara koja zasigurno uništava čitav šumski ekosustav. On je ograničen pretežno na šume

četinjača. Kod tzv. letećih požara vatra se širi s jedne krošnje na drugu. Potpomognut vjetrom ovaj požar može uništiti velike komplekse šuma.

d) Požar osamljenog drveća i grmlja nastaje obično od udara groma i stabla tada čitava izgore. Najčešći je u prašumama. Često ga uzrokuju i pastiri, šumski radnici ili izletnici ložeći vatru uz drveće.

Klimatske prilike i šumski požari – *Climatic Conditions and Forest Fires*

Najvažniji klimatski pokazatelji koji se uzimaju u razmatranje su vlaga i voda (oborine), budući da su oni uz toplinu najznačajniji za rast i razvoj biljaka, te povezani sa zapaljivošću gorive tvari. Osim toga, sušna i prevlažna razdoblja u godini od posebnog su značenja za vatrogasnu preventivu i sanaciju izgorjele površine. Pri nastajanju, a posebice širenju šumskog požara važnu ulogu ima i vjetar.

Ako je gorivi materijal dovoljno vlažan, tada čak ni jak vjetar ne može uvjetovati brzo širenje požara. U uvjetima kad se već stvorio razbuktali požar, vjetar pomaže da se gorivi materijal uz požarnu površinu temeljito isuši, što ubrzava dalje širenje vatre. Vjetar djeluje na razvoj požara mehanički jer prenosi iskre i plamen. Isto tako stalnim donošenjem kisika podržava i rasplamsava vatru. Najveće promjene u vjetrovnom režimu duž obale, obalnom zaleđu i na otocima uočavaju se tijekom kolovoza (Vučetić, 2002). Kako u tom mjesecu najčešće nastaju šumski požari, a po spaljenoj površini ujedno su i najveći, može se zaključiti da je jedan od bitnih vremenskih čimbenika za nastajanje požara upravo promjena u vjetrovnom režimu.



Slika 3. Pojava gustog dima jasno ukazuje na nastajanje šumskog požara. Nepristupačnost terena i nepovoljni uvjeti podneblja, osobito jak vjetar otežavaju gašenje požara na kršu Hrvatske.

Figure 3 Dense smoke is a clear indication of the occurrence of a forest fire. The inaccessibility of the terrain and unfavorable climatic conditions, combined with strong winds, add to the difficulty of suppressing fires in the Croatian karst region.

(Foto: Dujo Bušljeta)

Vegetacija i šumski požari – *Vegetation and Forest Fires*

Osim autohtonih fitocenoza u Republici Hrvatskoj, a posebno na području krša imamo i umjetno podignute sastojine (kulture) alohtonih vrsta kojima se vršilo pošumljivanje i melioracija degradiranih površina. Općenito je poznato da su primorske šumske fitocenoze s obzirom na suše klimatske uvjete, te kseromorfnu građu flornog pokrova, u pravilu lakše zapaljive od kontinentalnih šuma. Kako mediteranske vrste imaju obilje smole (četinjače) ili eterična ulja, tako su i s tog gledišta primorske šume ugroženije od požara. Istovremeno četinjače su mnogo podložnije požarima od listopadnih šuma koje su teže upaljive i slabije podržavaju vatru. Šumski ekosustavi četinjača i vazdazelenih listaća u Mediteranu koji su u stalnom kontaktu s vatrom, nazivaju se “pirofilnim ekosustavima”. Njega čine vrste iz rodova *Pinus*, *Quercus*, *Cistus*, *Calicotome* i porodice *Ericaceae*. U mediteranskom području (borove sastojine) zbog velike frekvencije ljudi (turizam) iznimnu opasnost predstavljaju neuređene, nečišćene i nenjegovane borove sastojine (alohtone i autohtone)



Slika 4. Požarom zahvaćena sastojina crnoga bora na predjelu Vratnik, šumarija Senj

Figure 4 Fire-affected stand of black pine in the area of Vratnik, Senj Forest Office

(Foto: Damir Barčić)

posebice uz turističke destinacije gdje je velika vjerojatnost izbijanja požara zbog nemara i nepažnje. Isto tako, ako se izgrađene protupožarne ceste ne održavaju, brzo obrastu vrstama koje su sklone lakom zapaljenju. Ponovljeni šumski požari na već izgorjeloj površini povećavaju zapaljivost obnovljene vegetacije, budući da je ona u pravilu jednoličnog sastava i siromašnija vrstama. Prema dosadašnjim ekološko-fitocenološkim spoznajama, iskustvu prema stupnju zapaljivosti i brzini širenja požara, može se napraviti podjela šumske vegetacije prema Bertoviću i Lovriću (1987):

I – prirodno nezapaljiva vegetacija, prirodni uvjeti za nastanak šumskog požara vrlo su mali (močvarni tipovi vegetacije, poplavne šume gdje prevladavaju hidrofilne vrste)

II – teško zapaljiva vegetacija, vjerojatnost nastanka šumskog požara mala (većina listopadnih šuma brdskog i nižeg gorskog pojasa)

III – umjereno zapaljiva vegetacija, vjerojatnost nastanka šumskog požara umjerena (crnogorične šume visokogorskog, te nižeg i višeg pretplaninskog pojasa)

IV – lako zapaljiva vegetacija, vjerojatnost nastanka šumskog požara velika (kserofitne listopadne submediteranske šume)



Slika 5. Sastojina alepskog bora na otoku Hvaru nakon požara
Figure 5 A stand of Aleppo pine on the island of Hvar after a fire
(Foto: Damir Barčić)

V – vrlo i krajnje zapaljiva vegetacija – vjerojatnost nastanka šumskog požara vrlo velika (sredozemne vazdazelene šume s makijama i garizima, šumske borove kulture).

Geološka građa, tlo i šumski požari – *Geological Structure, Soil and Forest Fires*

Osim klimatskih uvjeta i vegetacije, posebnu važnost ima geološka građa, petrografski sastav i pedološki uvjeti. To se odnosi na njihov utjecaj na nastanak i širenje požara. Pedološki čimbenici u ponajprije se odnose na organski horizont (sloj šumske prostirke) koji predstavlja glavni dio gorivog materijala u šumi. Na količinu šumske prostirke i brže razlaganje može se utjecati pravilnim i redovitim šumsko-uzgojnim radovima. Osobito se to odnosi na šume mediteranskog (krškog) pojasa. U pravilu nastanku požara dijelom pogoduje stjenovitost i kamenitost na terenu tj., veća akumulacija šumske prostirke na reduciranoj površini tla. S obzirom na opasnost od nastanka i širenja požara, tipovi tla mogu se razvrstati u dvije skupine prema Martinoviću (1987):

- veća opasnost od požara: rendzine, rankeri, crnice, smeđe tlo na vapnencu i dolomitu,
- manja opasnost od požara: lesivirana, eutrična i koluvijalna tla, crvenice i rigolana terasirana tla.

Prema pedološkim istraživanjima i odnosu prema kemijskim svojstvima tla, te sadržaju gline utvrđene su sljedeće zakonitosti prema Martinoviću i dr. (1978):

- nakon požara na vegetaciji neznatno se mijenja reakcija tla, sadržaj topljivog fosfora općenito je nizak i pokazuje različite promjene, a veću varijabilnost pokazuje sadržaj topljivog kalija,
- na zgarištima se tijekom 10–13 godina smanji sadr-

žaj humusa od 11–30 %, a ukupnog dušika od 7 do 25 %,

- požar utječe na režim dušika u tlu, istraživanja pokazuju da je na zgarištu u prosjeku ukupni dušik pao za oko 10 %, a hidrolizirajući porastao za 13 %,
- ovisno o tipu tla i nagibu terena na zgarištima se mijenja sadržaj gline u tlu, uzima li se u obzir pad količine i kvalitete humusa proizlazi da šumski požar nepovoljno utječe na prirodni izgled i građu tla.



Slika 6. Hvarski suhozid (Trim) je izvanredan primjer harmonične suradnje čovjeka i krša, opstao je kroz vrijeme i vatru
Figure 6 Dry wall of Hvar (Trim) is an outstanding example of harmonious cooperation between man and karst. It has survived the passage of time and fires
(Foto: Katica Biljaković)

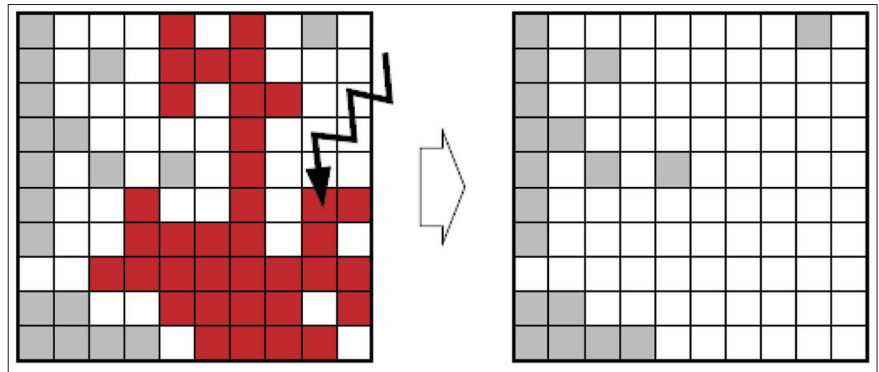
Fizika i modeli šumskih požara – *Physics and Forest Fire Models*

Šumski požari su jedan od primjera fizikalnih problema koji pokazuju samoorganiziranu kritičnost, odnosno vrlo su blizu točke kritičnog ponašanja. U istu kategoriju spadaju na oko vrlo različiti sustavi, kao što su prirodne katastrofe u obliku potresa, tornada, tsunamija, lavina, poplava.. Neki jednostavni modeli koje nudi fizika, mogu u prvoj prilagodbi dosta vjerno opisati ponašanje takvih sustava.

Perkolacija je osnova najjednostavnijeg modela kompleksnih, nuređenih sustava. Perkolacija izvorno označava protjecanje ili prolazne kroz poroznu supstancu, ali se općenito koristi u smislu širenja ili postepenog rasta. Model perkolacije pokazao se uspješnim u rješavanju mnogih pitanja u fizici (Stauffer i Aharony, 1992), ali se može primijeniti i na mnoge probleme u sociologiji, biologiji, medicini, pa i ekonomiji. Mi ćemo ga koristiti za simuliranje šumskih požara. Na mrežnoj stranici interdisciplinarnog kolaborativnog projekta **Obrasci kompleksnosti i njihova primjena** – <http://cp2.ifs.hr>, koji je prethodio našem tekućem znanstvenom programu mogu se naći osnovne ideje okupljanja fizičara s ekonomistima, šumarima i agronomima, kao i neki naši zajednički rezultati.

Zamislimo jednostavnu dvodimenzionalnu rešetku kao na slici 7. Svako polje popunjeno je s vjerojatnošću p , neovisno o popunjenosti susjednih polja. Popunjena polja u grupama gdje susjedi imaju jednu zajedničku stranicu nazivaju se grozdovima. Kako povećavamo vjerojatnosti p , može se u sustavu pojaviti grozd koji se prostire s jednog kraja na drugi – *perkolirajući grozd*. Granična vjerojatnost na kojoj dolazi do pojave ovakvog grozda naziva se vjerojatnost praga i označava s p_c . To je vjerojatnost na kojoj se prvi put formira perkolirajući grozd. Za 2D kvadratičnu rešetku se dobiva $p_c = 0.59$.

Gornja matrica i popunjena polja mogu predstavljati različite sustave. Njima možemo simulirati pore u nekom poroznom mediju, nečistoće u nekom materijalu, vodljive otoke u izolatorskoj matrici ili pak nešto vrlo prozaično kao što je načelo pripreme kave u automatu ili tonera u stroju za kopiranje. Pri tomu nas može zanimati kako će neka tekućina prolaziti kroz porozni medij (npr. protok nafte kroz različite slojeve zemljine kore) ili koliko primjesa moramo dodati nekom materijalu da bi dobili vodič ili pak koliko kave moramo staviti u automat. Koliko god izgledalo prozaično, može imati vrlo velike financijske posljedice. Ako u aparat stavimo premalo kave, neće biti dobrog okusa, a ako stavimo pre-

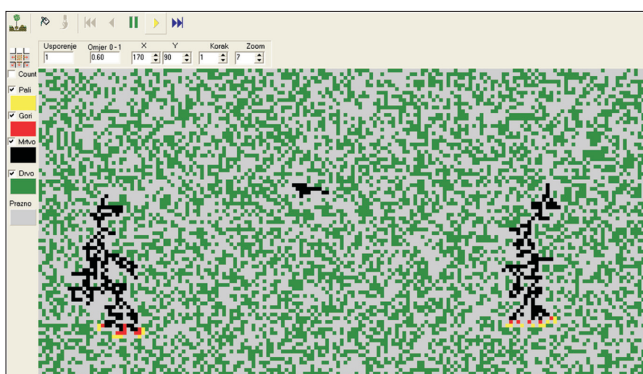
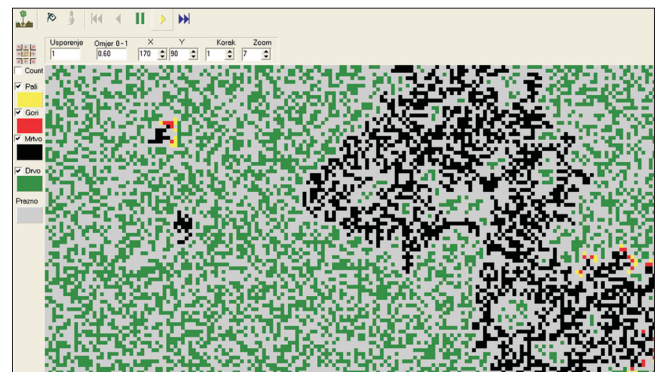
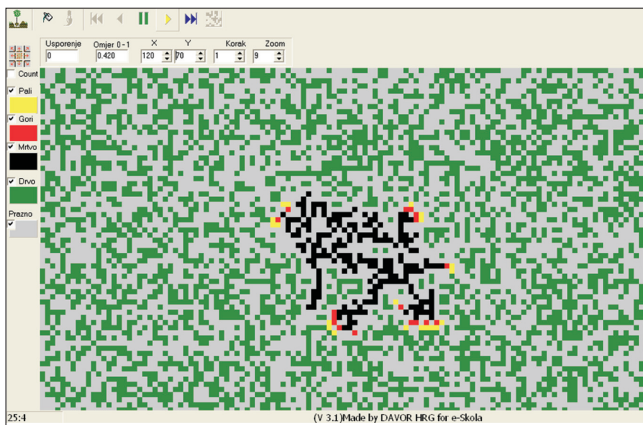


Slika 7. Munja zapali drvo na označenom mjestu i vatra se proširi po cijelom perkolirajućem grozdu označenom crveno. Za iduću stepenicu ostaje samo šuma desno, gdje se požar može proširiti samo unutar manjih domena lijevo.

Figure 7 A flash of lightning ignites wood in the marked place and the fire spreads across the entire percolating cluster marked red. For the next step, only the forest on the right remains where the fire can spread solely within the smaller domains on the left.

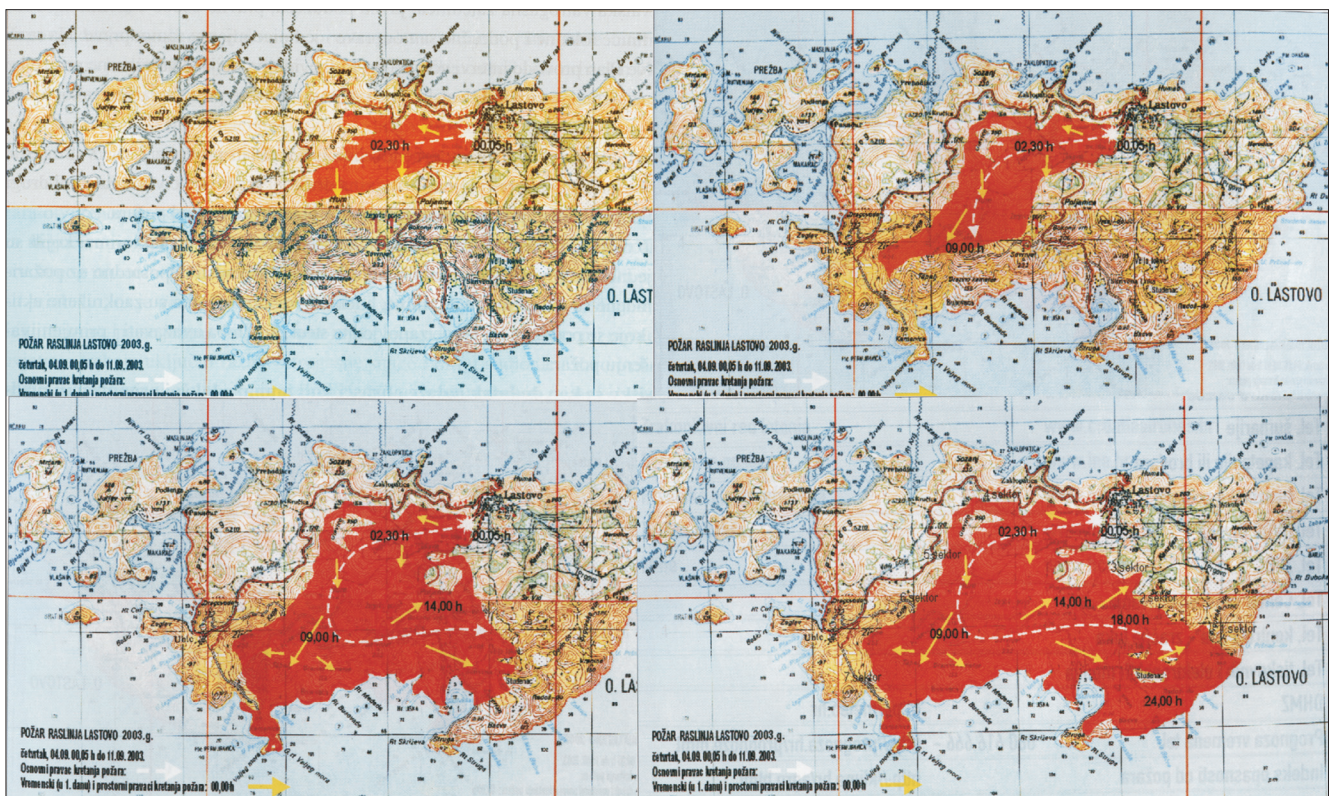
više, automat će se začepiti. Primijeni li se optimalizacija u nekom velikom uslužnom lancu, uštede mogu biti milijunske. Međutim, postoji još jedna primjena perkolativnog modela za šumske požare koja se zove *mehanizam visoko optimalizirane tolerancije* (Carlson i Doyle, 1999), u kojoj se određuje najbolja raspodjela stabala koja će optimalizirati proizvodnju trupaca u šumi koja je podložna šumskom požaru. Prostor između pošumljenih područja, odnosno veličine šumskih blokova mijenjaju se s vjerojatnošću pojave požara na pojedinim mjestima. Neki najosnovniji pojmovi o fizici požara mogu se naći u edukativnom mini-projektu na stranicama škole za mlade fizičare (http://eskola.hfd.hr/mini_projekt/mp3/mp3.htm). Na slici 8. pokazana je edukativna simulacija širenja požara na dvodimenzionalnoj rešetki kojoj se može mijenjati veličina. Može se mijenjati gustoća šume, kao i “smjer vjetra” te koraci u širenju požara. Na slikama zelena polja u dvodimenzionalnoj matrici predstavljaju drveće u šumi. Na gornjoj slici vatra je bila zapaljena u sredini izgorene površine i širila se u svim smjerovima. Na rubu površine na valnoj fronti crveno polje označava drvo koje gori, a žuto polje upravo zapaljeno drvo. Srednja slika prikazuje tri moguća razvoja; požar koji se sam ugasio, manji požar koji se još širi i požar koji se proširio po cijelom području u uvjetima bez vjetra, te kad se požar širi jednako u svim smjerovima (crvene strelice u lijevom gornjem kutu izbornika). Donja slika prikazuje širenje tri požara kada vjetar puše odozgo. Požar u sredini se sam od sebe ugasio.

S ciljem pronalaženja najpogodnijeg modela za predviđanje razvoja požara koji bi se mogao koristiti kao dobra podrška u odlučivanju kod protupožarnih intervencija, uključili smo se u tehnologijski projekt Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa TP-06/0007-01 u okviru radne cjeline pod naslovom “Pilotski modul za operativnu predikciju požara”. Vjerodostojnost pred-



Slika 8. Školski program za simulaciju širenja šumskog požara. Zelena polja predstavljaju drveće, žuta polja zapaljeno drvo, a crvena polja stabla koja upravo gore. Srednja slika prikazuje perkolativni grozd koji se proširio po cijeloj matrici. Donja slika pokazuje širenje požara kada vjetar puše odozgo.

Figure 8 School program for the simulation of forest fire expansion. The green areas represent trees, the yellow ones represent burnt wood, and the red ones denote the currently burning trees. The central picture shows a percolative cluster which has spread across the matrix. The bottom picture shows fire expansion when the wind blows from the above.

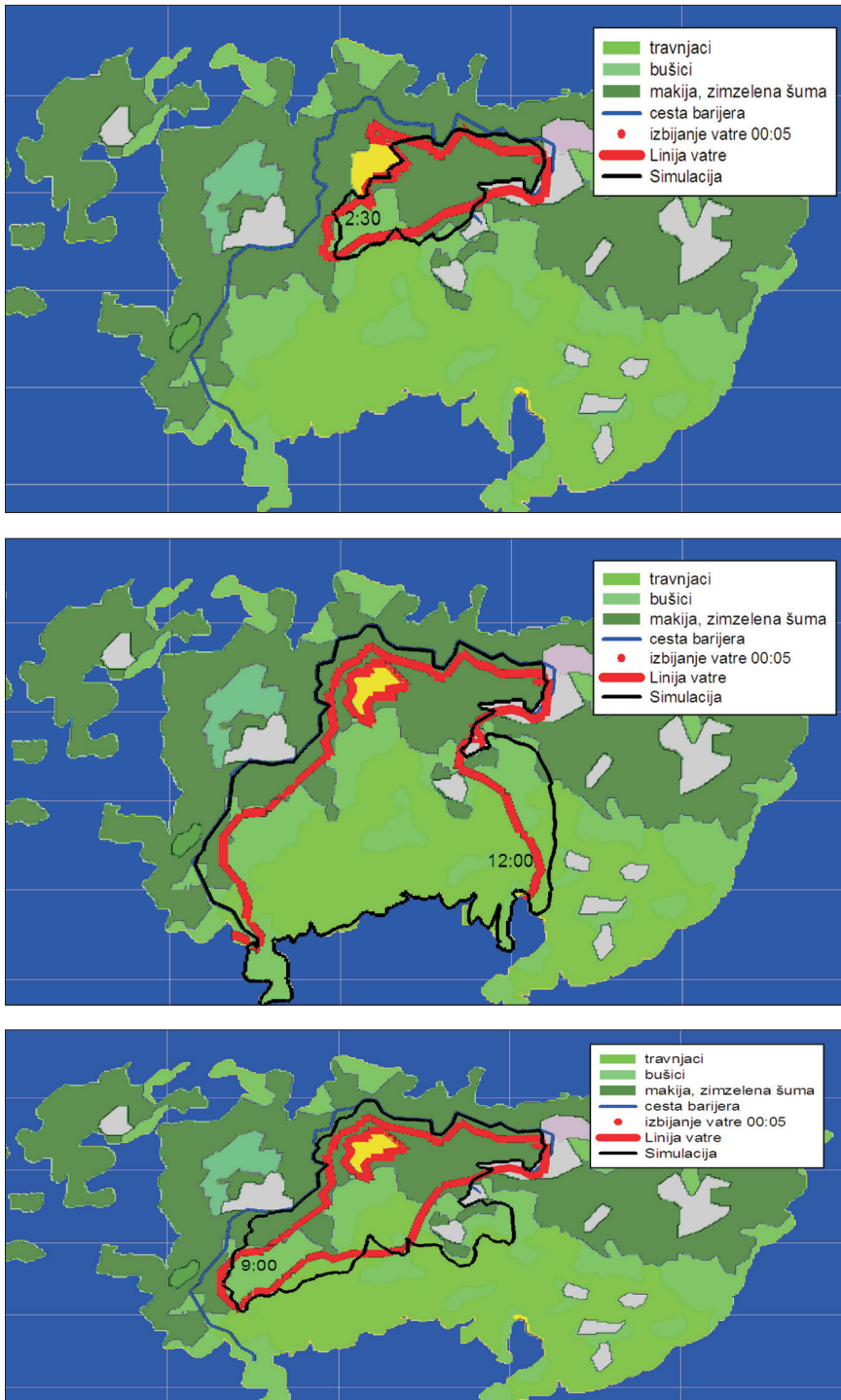


Slika 9. Kartografski zapis širenja požara, izgorene površine i valne fronte tijekom dana za požar na otoku Lastovu 4. rujna 2003. godine prema zapisu županijskog vatrogasnog zapovjednika Miše Miloslavića.

Figure 9 Cartographic records of daily fire spread, burnt area and wave front for the island of Lastovo on 4th September 2003 based on the note made by the County Firefighter Commander Mišo Miloslavić.

viđanja širenja požara provjeravali smo na dokumentiranim primjerima iz naše bliže prošlosti, kao što je bio slučaj požara u rujnu 2003. godine na otoku Lastovu.

Požar je prikazan u različitim vremenima nakon samog izbijanja (slika 9.).



Komparativnom usporedbom desetak poznatih programa za simulaciju širenja požara, odabran je program Farsite koji je razvijen i korišten u SAD. Korištenjem rezultata vlastitih istraživanja gorivosti različitih vrsta vegetacije te iskustava vatrogasaca, prilagodili smo ga uvjetima našeg podneblja i provjerili na rekonstrukciji požarnih fronti za požar na Lastovu. Slika 10. pokazuje izvrsno slaganje simulacije sa stvarnim valnim frontama zabilježenim na slici 9.

Slika 10. Simulacija širenja požara na Lastovu u rujnu 2003. u programu Farsite u okviru tehnologijskog projekta Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa TP-06/0007-01 (Radna cijelina 710 - Pilotski modul za operativnu predikciju požara) pokazuje mogućnost vjerodostojnog predviđanja širenja požara, što može biti dobra podrška u odlučivanju kod protupožarnih intervencija.

Figure 10 Simulation of fire spread on Lastovo in September 2003 in the Farsite Program within the technological project of the Ministry of Science, Education and Sport TP-06/000701 (Work unit 710 – Pilot Module for Operative Fire Prediction) shows the possibilities of reliable predictions of fire spread, which could support decision making processes in fire suppression activities.

ZAKLJUČNA RASPRAVA – Conclusive discussion

Proučavanjem modela koji opisuju šumske požare mogu se dobiti odgovori na pitanja o njihovom ponašanju, što sve utječe na njihovo širenje i kako ih predvidjeti. Cilj njihove primjene je bolja zaštita šuma i organizacija protupožarne zaštite. U svjetlu nedavne trage-

dije na Kornatima, nova saznanja i primjena novih tehnologija može usavršiti postojeće sustave upravljanja i napraviti određene pomake u smislu preventivnih mjera. Značajan pomak u tom smislu može se napraviti izradom modela procjena ugroženosti šuma od požara.

Uporabom fizikalnih modela uz stvaranje baza podataka (vegetacija, klima, tlo, orografija i dr.) moguće je povezati i iskoristiti različita znanja o požarima radi primjene u praksi. Osnovni razlog je smanjiti štete koje nastaju šumskim požarima. Prema Glavašu (2003), te Margaletić i Margaletić (2003) štete imaju gospodarske i ekološke posljedice: troškovi gašenja požara, štete radi gubitka drvene mase, štete radi ponovljenog pošumljivanja, štete vezane uz promjene fizikalnih i kemijskih svojstava tla, negativan utjecaj na općekorisne uloge šuma. Stoga je radi smanjivanja broja požara na otvorenom prostoru i veličine spaljene

površine potrebno sustavno i temeljito pristupiti novim tehnologijama (Vučetić i dr., 2002). Smatramo da bi to pridonijelo razvoju strategije upravljanja šumskim požarima u Hrvatskoj. Iskustva drugih zemalja, posebno mediteranskih, s ciljem prilagodbe i poboljšanja već postojećih sustava, zasigurno bi imala pozitivan utjecaj. Opravdanim smatramo i inicijative za osnivanje središta za šumske požare, tj. edukacijskog centra, što je ranije predlagano (Dimitrov, 2007). U svakom slučaju potreban je novi i moderniji pristup šumskim požarima u našoj zemlji.

ZAHVALA – Acknowledgements

Ovaj rad je napravljen u okviru znanstvenog Programa 0352827 *Korelacije u kompleksnim sustavima: od fizike do biotehnologije* Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa u kojeg su uključeni projekti 068-0352827-0527 *Biotehničke mjere u zaštiti i obnovi*

šuma od požara sa Šumarskog fakulteta i 035-0352827-2842 *Kompleksni modulirani sustavi: nova osnovna stanja, defekti i magnetski efekti* s Instituta za fiziku. Zahvaljujemo gospodinu Duji Bušljeti na us-tupljenim fotografijama gašenja šumskih požara.

LITERATURA - References

- Attiwill, P. M. 1994: The Disturbance of Forest Ecosystems - the Ecological Basis for Conservative Management, *Forest Ecology and Management* 63, 2–3: 247–300.
- Bertović, S., A. Ž. Lovrić 1987: Vegetacija i kategorije njezine prirodne ugroženosti od požara. *Osnove zaštite šuma od požara*, 121–144, CIP, Zagreb.
- Bilandžija, J. 1992: Prirodno opterećenje sastojina alepskog, primorskog i crnog bora šumskim gorivima, *Radovi*, Vol. 27, br. 2: 105–113, Jastrebarsko.
- Carlson, J.M., J. Doyle 1999: Highly optimized tolerance: A mechanism for power laws in designed systems. *Phys. Rev. E* 60, 1412.
- Dimitrov, T. 1987: Šumski požari i sustavi procjene opasnosti od požara. *Osnove zaštite šuma od požara*, 181–256, CIP, Zagreb.
- Dimitrov, T. 2007: Šumski požari i požarna znanost, *Šumarski list* 131, (3–4): 159–163, Zagreb.
- Glavaš, M. 2003: Šumski požari i protupožarna zaštita na području uprave šuma podružnice Senj od 1994–2003, *Šumarski list – SUPPLEMENT*, 79–91, Zagreb.
- Lavorel, S, J. Canadell, S. Rambal, J. Terradas 1998: Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Glob. Ecol. Biogeogr. Lett.* 7: 157–166.
- Malanson, G. P. 1984: Intensity as a 3rd factor of disturbance regime and its effects on species diversity. *Oikos* 43, 411–413.
- Margaletić, J., M. Margaletić 2003: Požari u šumi i na šumskom zemljištu kao čimbenici degradacije staništa, *Šumarski list* 127, (9–10): 475–482, Zagreb.
- Martinović, J., N. Komlenović, D. Jedlowski 1978: Utjecaj požara vegetacije na tlo i ishranu šumskog drveća. *Šumarski list* (3–4): 139–148, Zagreb.
- Martinović, J. 1987: Odnos tla i šumskih požara, 97–112, CIP, Zagreb.
- Núñez, R., L. Calvo 2000: Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus halepensis* and *Pinus sylvestris*, *Forest Ecology and Management* 131, 183–190.
- Sousa, W. P. 1984: The role of disturbance in natural communities. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 353–391.
- Stauffer, D., A. Aharony 1992: Introduction to percolation theory. Taylor and Francis, London.
- Španjol, Ž. 1996: Biološko-ekološke i vegetacijske posljedice požara u borovim sastojinama i njihova obnova. Disertacija, Šumarski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- Trabaud, L. 1980: Impact biologique et ecologique des feux de végétation sur l'organisation, le structures et l'évolution de la vegetation des zones de garrigues du Bas-Languedoc. Ph. D. Thesis, Université de Montpellier.
- Vučetić, M. 2002: Vremenske prilike i usporedba sezone zaštite šuma od požara 2001. u odnosu na višegodišnji prosjek. *Šumarski list* 126, (11–12): 563-574. Zagreb.

Vučetić, M., Ž. Španjol, D. Barčić 2002: Prirodna obilježja i potencijalna opasnost od šumskih požara. Zbornik radova s međunarodnog,

znanstvenog i stručnog savjetovanja "Sigurnost u okolišu i graditeljstvu", Šibenik.

http://eskola.hfd.hr/mini_projekt/mp3/mp3.htm

SUMMARY: Croatia is relatively rich in forests; forested areas account for 36 % of the total territory of the country. However, forest fires occurring in the Adriatic region of Croatia are a serious threat to natural resources, since they decrease biological diversity and exert a negative impact on landscape variety. The complexity of the problem requires the involvement of a number of scientific fields, such as forestry, geology, biology, meteorology and physics.

Physics is known to successfully detect some basic principles of occurrence and activity in the material world, which has a broad scope of uses beyond the boundaries of physics alone. Physics, in cooperation with other scientific disciplines, discovers and investigates ways and patterns in which complexities are manifested, thus opening the door to an array of applications. "Correlations in Complex Systems: from Physics to Biotechnology" is the title of an interdisciplinary program financed by the Ministry of Science, Education and Sport, which, among others, integrates scientific approaches of physics and forestry to the study of forest fires.

This paper provides some concepts of forest fires that are specific for each scientific discipline. It also explores the possibilities of their interaction and the importance of an interdisciplinary approach to the solution of vital issues concerning forest fires and their prevention.

Key words: fire, complexity, the Adriatic region, physics, forestry