

# MODELIRANJE POŽAROV V NARAVNEM OKOLJU

Bojan Grm\*, Boris Stevanović\*\*

UDK 614.84

V Sloveniji imamo vsako leto večje število požarov v naravi, ki povzročijo precejšnjo materialno škodo. Da bi zmanjšali nevarnost in posledice požarov v naravi, je treba uporabljati načine in metode, ki so v svetu že dali dobre rezultate. Požarni modeli in na njihovi osnovi izdelani računalniški programi za simulacijo požarov v naravnem okolju predstavljajo osnovno orodje za:

- izdelavo ocen požarne nevarnosti in ogroženosti naravnega okolja;
- načrtovanje potrebnih preventivnih ukrepov;
- načrtovanje ter racionalno vodenje gašenja ter reševanja v primeru požarov v naravi (npr. pri izbiri taktike gašenja, izdelavi požarnih posekov, uporabi letal in helikopterjev pri gašenju, uporabi retardanov, odločanju o evakuaciji prebivalstva in objektov itd.).

## Osnovne značilnosti požarov v naravnem okolju Slovenije

Med požare v naravnem okolju (wildland fires) spadajo vsi nenadzorovani in nezaheljeni požari, pri katerih se kot gorivo pojavlja vegetacija oz. gorljiva biomasa v gozdovih ali drugih ekosistemih. Glede na vrsto vegetacije ali vrsto ekosistema jih delimo na:

- gozdne požare,
- travniške požare,
- požare grmičevja,
- požare na poljih.

Na nastanek in širjenje požarov v naravnem okolju vplivajo številni dejavniki. Razdelimo jih lahko na dejavnike:

- na katere človek ne more bistveno vplivati, npr. sestava in relief tal, vrsta gorljive biomase, meteorološke razmere;
- na katere človek lahko bolj ali manj vpliva, npr. preventivni ukrepi, ukrepi gašenja.

Tudi v Sloveniji je nastanek in potek požarov v naravnem okolju močno odvisen od topografskih in meteoroloških dejavnikov (1, 2). Sliki 1 in 2 prikazujeta skupno število in skupno površino požarov v naravnem okolju Slovenije po mesecih za leti 1990 in 1991, slika 3 pa povprečno število požarov na 1000 prebivalcev za obdobje 1980–1990 za 15 požarno najbolj ogroženih občin.

Za požare v naravnem okolju v Sloveniji veljajo naslednje značilnosti:

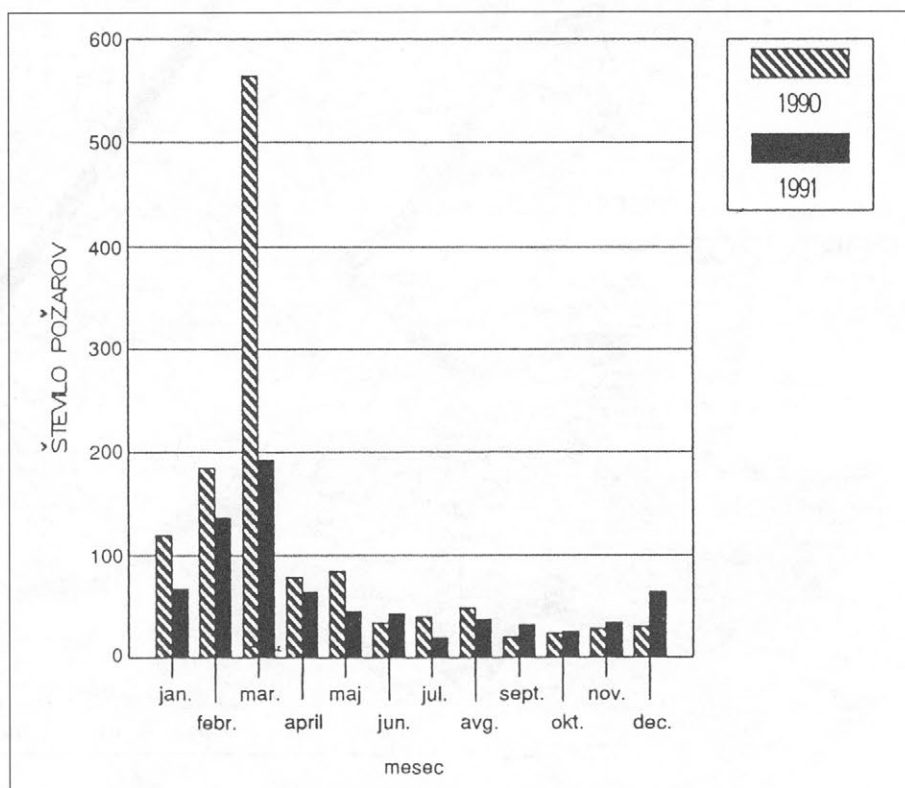
- Akutna nevarnost požarov v naravnem okolju obstaja predvsem v obdobju od marca do septembra. Oktobra se običajno začne jesensko deževje, do februarja pa je naravno okolje pod snegom.
- 50 do 60 % požarov v naravnem

okolju se zgodi v obdobju marec–maj. Sušna poletja to nevarnost še podaljšujejo.

- Zlasti ogroženo je obalno-kraško območje, ki se tako po sestavi tal in vegetaciji kot tudi po klimi močno razlikuje od ostalih predelov Slovenije.
- Veliko večino požarov v naravnem okolju povzroči človek s svojim nepravilnim ali nepremišljenim početjem. S problematiko požarov v naravnem okolju se vsako leto srečujejo organi pregona in nadzora, gasilci, gozdarji in ostali.
- Požari v naravnem okolju vsako leto povzročijo veliko škodo. Običajno se podaja samo neposredno škodo, ki je nastala zaradi izgube biomase in

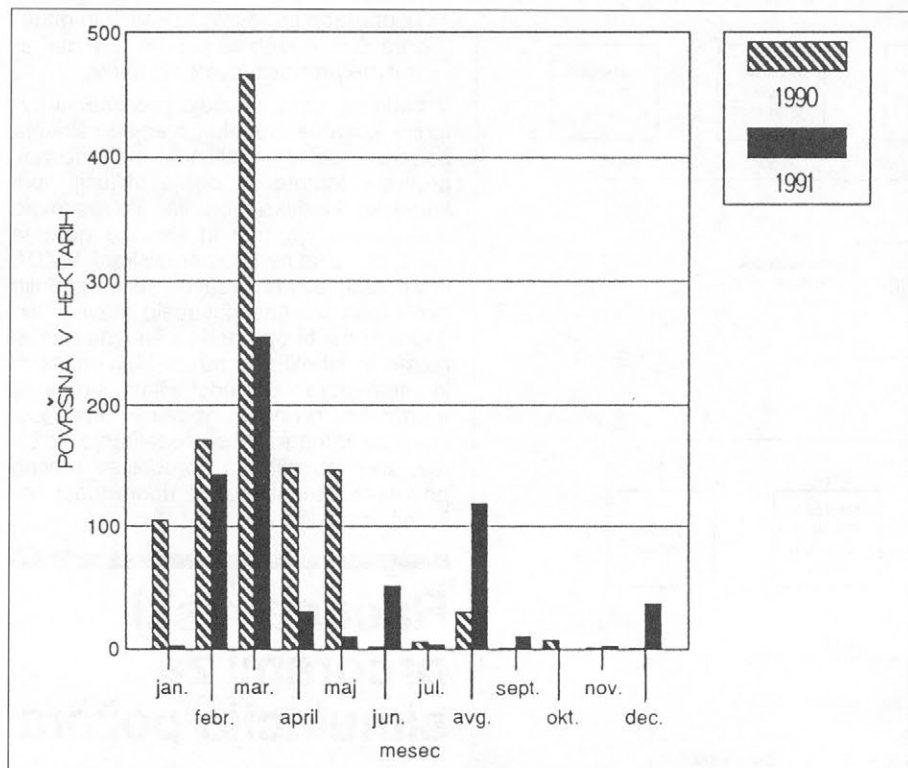
stroškov gašenja, ne prikaže pa se posredne škode, kot so npr. stroški popožarnih sanacij, izostanek gasilcev z delovnega mesta, stroški zdravljenja poškodovanih sodelujočih pri gašenju itd. Nekaterih vidikov škode se finančno sploh ne da izraziti, npr. nastajenje strupenih snovi ob požaru, neestetski izgled okolja po požaru in možne spremembe okolja po požaru (erozija tal).

Z ustreznimi preventivnimi ukrepi lahko precej vplivamo tako na možnost nastanka požara kot tudi na njegovo širjenje in s tem na škodo. Ravno tako velja, da lahko z učinkovito vodenjo akcije gašenja zausstavimo širjenje požara in s tem zmanjšamo škodo zaradi požara.

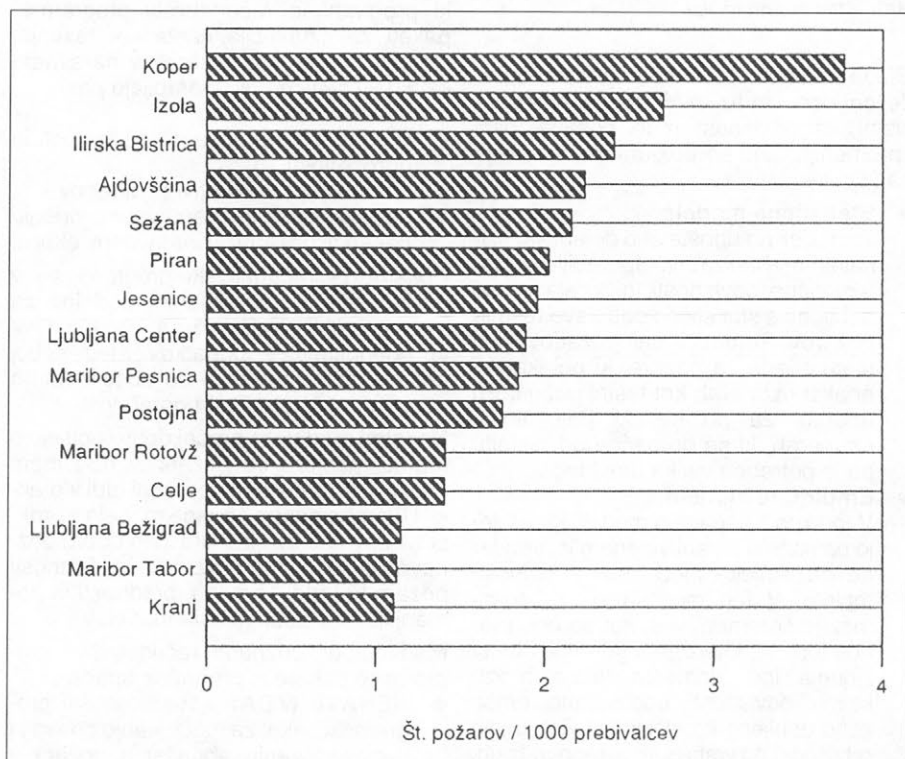


Slika 1. Število požarov v naravnem okolju v Sloveniji po mesecih za leti 1990 in 1991.

\*, \*\* Mag., Center za prenos znanja in tehnologij Ljubljana, DE Požarni inženiring, Triglavska 38, Radovljica.



Slika 2. Skupna površina požarov v naravnem okolju v Sloveniji po mesecih za leti 1990 in 1991.



Slika 3. Povprečno število požarov na 1000 prebivalcev za obdobje 1980–1990 za 15 najbolj ogroženih občin v Sloveniji.

## Novi pristopi in razvojne težnje v svetu

V razvitejših državah, ki imajo več požarov v naravnem okolju (ZDA,

Kanada, Avstralija, Japonska, Francija, Italija, Spanija, bivša Sovjetska zveza), namenjajo posebno pozornost in precejšnja finančna sredstva raziskovalnim in razvojnim projektom in nalogam s področja požarov v naravnem okolju. Rezultati teh nalog v obliki novih spoznanj, metod, modelov, metodologij, izdelkov in tehnik zagotavljajo učinkovitejše načrtovanje in izvajanje preventivnih in

aktivnih (gašenje in reševanje) ukrepov za primer požarov v naravnem okolju.

V okviru EGS-a so razvojne naloge s področja varstva pred požari v naravnem okolju vključili v skupno raziskovalno-razvojni program na področju varstva okolja za obdobje 1991–1994.

V državah članicah EGS-a področje varstva gozdov pred požari ureja posebna smernica (3, 4, 5), ki je namenjena spodbujanju in usklajevanju dela EGS-a na naslednjih področjih in dejavnostih:

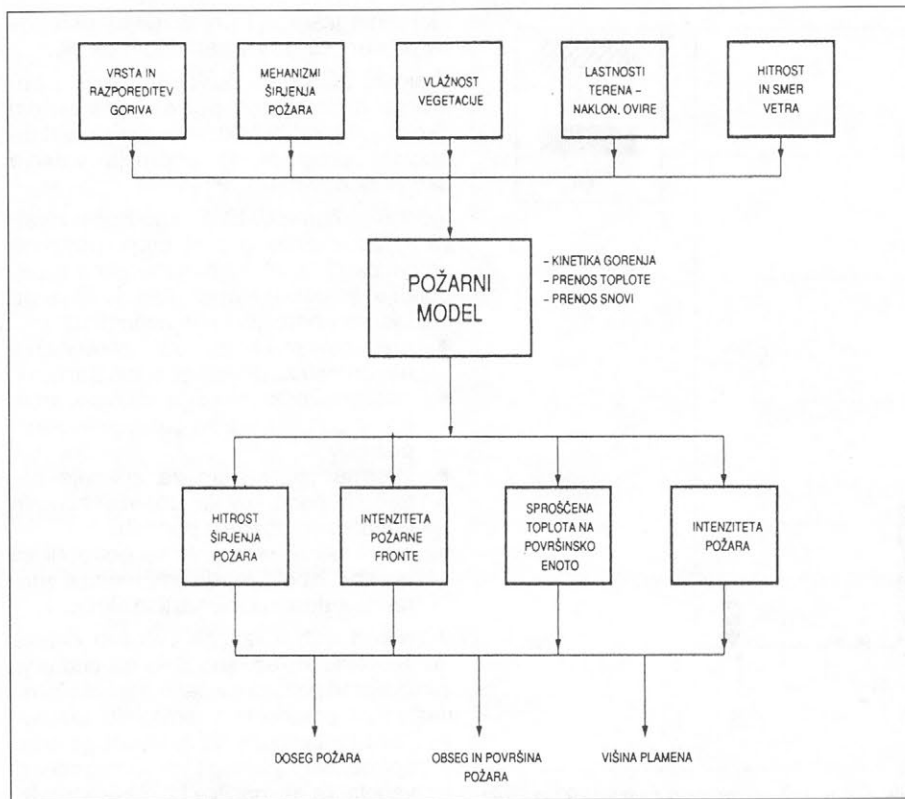
- preventivni ukrepi za zmanjšanje nevarnosti za primer gozdnih požarov;
- sistem za odkrivanje gozdnih požarov;
- oprema in tehnike za gašenje gozdnih požarov;
- informacijski sistem za zbiranje potrebnih podatkov in analizo zbranih podatkov o gozdnih požarih;
- raziskave in razvoj, ki so potrebni za uvedbo, izboljšanje in spremembo zgoraj navedenih dejavnosti in ukrepov.

V zadnjih letih v razvitih državah poteka raziskovalno in razvojno delo na področju varstva pred požarom v naravnem okolju na naslednjih prednostnih tematskih sklopih:

- požarne lastnosti (vžig, hitrost gorenja, sproščanje toplote ipd.) posameznih vrst vegetacije oz. gorljive biomase v odvisnosti od za vžig in gorenje pomembnih lastnosti, kot so npr.: notranja vlaga, razmerje površina-teža, starost ipd;
- matematično modeliranje poteka požara v naravnem okolju v odvisnosti od vrste vegetacije, topografskih in orografskih lastnosti zemljišča, meteoroloških razmer in ostalih zunanjih dejavnikov;
- metode za oceno požarne nevarnosti;
- metode za požarno klasifikacijo gozdov in ostalih ekosistemov;
- geografski informacijski sistemi za spremljanje, modeliranje in ukrepanje ob požarih;
- računalniški programi za simulacijo poteka požarov v naravnem okolju za potrebe načrtovanja in izvajanja preventivnih in aktivnih operativnih ukrepov za primer požarov v naravnem okolju;
- novi izdelki in tehnike za detekcijo, požarno zaščito in gašenje (optoelektronski senzorji, satelitsko zaznavanje požarov, gašenje z letali in helikopterji, umeten dež, vodne raztopine retardantov, laserska tehnologija itd.);
- informacijski sistemi in statistika za požare v naravnem okolju;
- posledice požarov in gašenja, škodljive za floro, favno in ekologijo.

## Matematični modeli za širjenje požara v naravnem okolju

Več kot 50 let že potekajo poizkusi in raziskave, ki naj bi omogočili razumevanje poteka požarov, ki nastanejo in se pros-



Slika 4. Shematski prikaz poteka modeliranja požarov v naravnem okolju.

to širijo v naravnem okolju. V ta namen je več avtorjev in skupin razvilo različne matematične modele. Osnovni namen teh požarnih modelov je:

- z matematičnimi enačbami opisati fizikalne in kemijske procese in mehanizme, ki potekajo pri požaru v naravnem okolju (vžig, gorenje, širjenje);
- opredeliti potek požara v odvisnosti od vhodnih parametrov, kot so: vrsta, količina in lastnosti goriva (gorljiva vegetacija), topografija zemljišča, klimatski, meteorološki in ostali dejavniki;
- izračunati izhodne parametre, kot so: hitrost in smer širjenja, intenziteta gorenja, oddaljenost od mesta nastanka, obseg in površina.

Potek požarnega modeliranja je shematsko prikazan na sliki 4.

Osnovni problem pri modeliranju požarov v naravnem okolju je opredelitev širjenja požara. Mehanizem širjenja gorenja trdnih snovi lahko opišemo z naslednjimi koraki:

1. Vir vžiga povzroči lokalno segrevanje in sproščanje (razpad, izhlapevanje) gorljivih plinov, ki se v stiku z zrakom vžgejo. Nastanejo plameni.
2. Toplota, ki se pri tem sprosti, se prek posameznih mehanizmov prenosa toplote (kondukcija, konvekcija, sevanje) prenaša v okolico.
3. Še negoreči gorljivi materiali absorbirajo energijo, se segrejejo in začnejo razpadati. Pri tem nastanejo gorljivi plini, ki se vžgejo.

Pri modeliranju izhajamo iz neskončno majhnih elementov. Dogajanje v teh elementih opišemo s sistemom diferencialnih enačb. Sistem diferencialnih enačb nato integriramo po celotnem prostoru in času.

Glede na način, kako so v modelih opredeljeni osnovni fizikalni procesi in mehanizmi, in odvisnost med posameznimi spremenljivkami se požarni modeli delijo na (6):

#### • Statistične modele

Ti modeli ne upoštevajo dejanskih fizikalnih mehanizmov. Uporabljene matematične odvisnosti in korelacije so dobljene s statistično obdelavo testnih požarov. Ti modeli dajejo zadovoljivo ujemanje le za požare, ki potekajo v enakih razmerah kot testni požari. Pri uporabi za požare, ki potekajo v razmerah, ki so drugačne od testnih, pa je potrebna velika previdnost.

#### • Empirične modele

V to skupino spadajo modeli, ki delujejo na načelu ohranitve energije, vendar ne razlikujejo med načini prenosa toplote. V teh modelih so za posamezne spremenljivke, kot so npr. prenos toplote, intenziteta gorenja, hitrost širjenja, ipd., namesto dejanskih fizikalnih odvisnosti upoštevane empirično dobljene korelacije, ki vključujejo odvisnost od vrste goriva, topografskih, meteoroloških in ostalih dejavnikov. Te korelacije so bile izmerjene v laboratorijskih testih, ki so potekali v širših intervalih vrednosti posameznih vstopnih spremenljivk, kot so gorivo, okolje in meteorološke razmere. Ti modeli so dobra pragmatična rešitev za posamezne primere uporabe (usposabljanje, načrtovanje), z znanstvenega vidika pa so vprašljivi.

#### • Fizikalne modele

Modeli iz te skupine upoštevajo različne načine prenosa toplote in plinov ter skušajo napovedati širjenje požara

z uporabo osnovnih fizikalnih in matematičnih enačb za posamezne mehanizme prenosa toplote in snovi.

V zadnjem času skušajo posamezni avtorji v fizikalne modele gorenja in širjenja požarov poleg različnih mehanizmov prenosa toplote in ognja vključiti tudi kemijsko kinetiko gorenja. Za osnovne mehanizme gorenja in kinetiko gorenja velja, da so še močno neraziskani. V ZDA in v ostalih razvitih državah se je v zadnjih dveh letih izredno povečalo število raziskav, ki naj bi opredelile osnovne mehanizme in kinetiko gorenja. Mehanizmi in kinetika gorenja predstavljajo skupaj z mehanizmi prenosa toplote in ognja osnovo za matematično modeliranje požarov, zato bo njihova opredelitev močno povečala zanesljivost in uporabnost požarnih modelov.

## Računalniški programi za simulacijo požara

Na osnovi opisanih matematičnih požarnih modelov so bili izdelani računalniški programi in računalniški programski paketi za simulacijo nastanka, razvoja, širjenja in gašenja požarov v naravnem okolju, ki se vse bolj uporabljajo pri:

- raziskovalnem delu,
- izdelavi ocene požarne nevarnosti in ogroženosti,
- načrtovanju preventivnih ukrepov,
- usposabljanju in operativnem vodenju gašenja požarov v naravnem okolju.

Posamezni računalniški programi se v odvisnosti od uporabljenih modelov za nastanek in širjenje požara, predpostavk in poenostavitve podatkov med seboj močno razlikujejo tako po obsežnosti in natančnosti kot tudi po uporabnosti.

Nekateri modeli že precej dobro opisujejo realne razmere ob požarih v naravnem okolju in so zato zelo uporabni tudi v praksi. Uporaba posameznega modela v praksi zahteva od uporabnika zelo dobro poznavanje tako mehanizmov in lastnosti požara kot tudi zgradbo, prednosti in pomanjkljivosti posameznih modelov.

Med najbolj poznane računalniške programske pakete in programe spadajo:

- **BEHAVE (ZDA)** – Računalniški programski paket za modeliranje goriva in napovedovanje obnašanja požara v odvisnosti od topografskih in meteoroloških dejavnikov ter vrste in lastnosti gorljive vegetacije. Sestavlja ga več podpaketov, programov in modulov. Namenjen je interventnim silam za usposabljanje, planiranje in operativno vodenje gašenja. Izdelan je bil v US Department of Agriculture, Forest Service, leta 1986 (7, 8).
- **CANADIAN FOREST FIRE WEATHER INDEX SYSTEM (KANADA)** – Računalniški programski paket za napovedovanje nevarnosti nastanka požara in razvoja požara v odvisnosti

od vrste in lastnosti goriva ter meteoroloških in topografskih dejavnikov. Sestavlja ga več programov in modulov. Izdelan je bil v Canadian Forestry Service leta 1984 (9). Del starejše verzije tega paketa se uporablja skupaj z enostavnejšim nemškim modelom za širjenje požara na Hidrometeorološkem zavodu RS za napovedovanje povečane nevarnosti požarov v naravnem okolju Slovenije (2).

- **MERCATOR (FRANCIJA)** – Računalniški programski paket, ki je zasnovan na geografskem informacijskem sistemu firm PAFEC in Alcatel ISR (10). Namenjen je za evidenco, vodenje in odločanje v primeru gozdnega požara.
- **PATSIM (ZDA)** – Računalniški program za simulacijo gašenja požarov v naravnem okolju s polivanjem vode iz zračnih plovil. Uporabljen model je nastal na osnovi realnih preizkusov. Model in program sta bila izdelana v Forest Service, US Department of Agriculture, leta 1982 (11).
- **ROT1 (SZ)** – Računalniški program za simulacijo širjenja gozdnih požarov. V programu je uporabljen modificiran Rothermelov model iz leta 1972. Pri modifikaciji modela so bili upoštevani vplivi, ki jih imajo na širjenje požara sestava in ostale lastnosti sibirskih ekosistemov. Izdelan je bil v Sibirskem tehnološkem inštitutu v Novosibirsku leta 1976 (12).

Poleg naštetih računalniških programov za simulacijo požarov v naravnem okolju obstaja še precej manj znani, ki so bili razviti samo za posamezne faze grozljivosti požarov ali pa za specifične razmere oziroma namene.

Vsaka uporaba navedenih računalniških programov za simulacijo požara za konkretne primere uporabe zahteva poznavanje vrednosti in korelacij za posamezne lastnosti oz. dejavnike, ki vplivajo na nastanek in potek požara v obravnavanem ekosistemu. Med te lastnosti oz. dejavnike spadajo: sestava vegetacije in tal; vnetljivost, hitrost gorenja, hitrost sproščanja toplote vegetacije v odvisnosti od vrste, sestave in vlažnosti vegetacije, vpliv sestave vegetacije na prenos požara v krošnje; vpliv topografskih, klimatskih in meteoroloških parametrov na nastanek in širjenje požara (npr. vpliv daljših sušnih obdobij na notranjo vlažnost posameznih vrst vegetacije ali vpliv večjih hitrosti vetra na širjenje požara). Te potrebne podatke dobimo s pomočjo požarnih raziskav ter preizkusov požarnih in ostalih za požar pomembnih lastnosti posameznih vrst vegetacij in ekosistemov, požarne statistike ter meteoroloških in ostalih terenskih meritev za daljša obdobja.

V Sloveniji je bila poleg že omenjene uporabe dela paketa BEHAVE za potrebe napovedovanja nevarnosti požarov v naravnem okolju narejena še enostavna aplikacija GIS paketa ARCHINFO za gozdni požar, pri kateri je bil za širjenje požara uporabljen enostavni Fonsov model iz leta 1946 (13).

Da računalniških modelov in paketov za gozdni požar pri nas ne uporabljamo pogosteje, ni krivo samo nepoznavanje požarnih modelov in računalniških programov, ampak tudi nepoznavanje potrebnih eksperimentalno in statistično dobljenih podatkov in korelacij za naše ekosisteme in naše razmere. Osnovne raziskave na področju požarnih lastnosti naših ekosistemov v odvisnosti od vrste, sestave, klimatskih in meteoroloških razmer niso bile narejene, zato tudi nimamo požarne klasifikacije naših ekosistemov. Tudi na področju informacijskega sistema in statistične obdelave podatkov za požare v naravnem okolju je stanje precej slabo, saj imamo samo analizo gozdnih požarov za obdobje 1966–1978 (14). Obstoječi informacijski sistem ne zagotavlja zbiranja vseh podatkov, ki so potrebni za resno analizo načrtovanja in vodenje gašenja.

## Zaključki

V Sloveniji je vsako leto od marca do septembra večje število požarov v naravnem okolju, ki povzročijo veliko neposredno in posredno škodo. Glede na to je treba spremeniti dosedanje načine reševanja te problematike in pogosteje uporabljati novejša orodja oz. metode, ki so rezultat razvojnega in raziskovalnega dela in so v svetu že pokazale dobre rezultate.

Najpomembnejše novo orodje so računalniški modeli in programi za simulacijo nastanka in poteka požara, ki za požare v naravnem okolju že omogočajo:

- izdelavo ocen požarne ogroženosti,
- načrtovanje preventivnih požarnih ukrepov,
- načrtovanje in operativno vodenje akcij gašenja in reševanja (v povezavi z geografskimi informacijskimi sistemi).

V odvisnosti od vrste in lastnosti goriva (biomase) ter topografskih, meteoroloških in ostalih dejavnikov, ki vplivajo na nastanek in širjenje požara.

Za uporabo teh računalniških programov pri reševanju primerov je poleg samih programov potrebno tudi:

- zbrati obstoječe podatke o gozdnih požarih v Sloveniji za obdobje 1972–1992 in izdelati analizo;
- vzpostaviti informacijski sistem za redno zbiranje in sistematično obdelavo podatkov o požarih v naravnem okolju;
- začeti z osnovnimi raziskavami vnetljivosti in gorljivosti naših gozdov in drugih ekosistemov v odvisnosti od vrste in sestave vegetacije, klimatskih in meteoroloških razmer;
- izdelati požarno klasifikacijo naših gozdov in ostalih ekosistemov;
- začeti z raziskavami na področju matematičnega modeliranja požarov v naravnem okolju;
- vključiti posamezne raziskovalne in razvojne projekte v ustrezne mednarodne programe na področju varstva pred požarom in varstva okolja (OZN/FAO, EGS in OECD R&D Programme).

1. Alexander, M. E., B. D. Lawson, B. J. Stocks, C. E. Van Wagner, 1984. User guide to the Canadian forest fire behavior prediction system: Rate of spread relationships. Interim edition. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Fire Danger Group.
2. Andrews, P. L., C. H. Chase, 1989. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system. General Technical Report INT-260. USDA Forest Service.
3. Commission Regulation (EEC) No. 1698/87 of June 1987 laying down certain detailed rules for the implementation of Council Regulation (EEC) No. 3529/86 (OJ No. L 161, 22. 06. 1987).
4. Council Regulation (EEC) No. 3529/86 of 17 November on Protection of the Community's Forests against Fire (OJ No. L 326, 21. 11. 1986).
5. Council Regulation (EEC) No. 1614/89 of 29 May 1989 amending Regulation (EEC) No. 3529/86 (OJ No. L 161, 22. 06. 1987).
6. Dorrer, G. A., 1980. Matematiški modeli dinamiki lesnih požarov. Lesnaja promišljenost, str. 47–49. Moskva.
7. George, C. W., G. M. Johnson, 1990. Developing air tanker performance guidelines. General Technical Report INT-268. USDA Forest Service.
8. Kastelic, T., M. Žura, 1992. Možnosti uporabe tehnologije geografskih informacijskih sistemov za izboljšanje požarne varnosti. Ujma, 6, str. 182–185.
9. Kovačević, N., 1981. Šumski požari u SR Sloveniji u periodu od 1966 do 1978. Šumarstvo 1981, 5–6.
10. Pečenko, A., B. Stevanović, 1987. Napovedovanje požarne ogroženosti. Ujma, 1, str. 73–77.
11. Prospekt firme Pafec.
12. Rothermel, R. O., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-143. USDA Forest Service.
13. Statistični podatki o požarih in eksplozijah v letu 1990 in v letu 1991. Ministrstvo za notranje zadeve, Uprva za informatiko in telekomunikacije. Ljubljana 1991 in 1992.
14. Weber, R. O., 1991. Modeling fire spread through fuel beds. Prog. Energy Combust. Sci. 17, str. 67–82.

## Bojan Grm, Boris Stevanović Modeling of Wildland Fires

Wildland fires are an annually occurring threat to people and property in Slovenia. The role, advantages and disadvantages of fire modeling as the base tool for:

- prediction of fire spread and intensity;
- fire hazard and risk assessment;
- planning of fire prevention measures;
- planning and management of extinguishment and rescue actions;

in the case of wildland fires are described.

The necessary tasks and actions for fire modeling application in Slovenia are presented also.