

Incendiile forestiere: elemente caracteristice, factori determinanți și măsuri de gestionare

I. Burlui, M. C. Burlui

Burlui I., Burlui M.C. 2018. The forest fires: characteristics, ignition factors and fire management. Bucov. For. 18(2): 165-175.

Abstract. The fire risk is determined by three factors: fuel, air and ignition temperature. All these elements are predominantly encountered in the forest ecosystem. The reaction under temperature of forest species is different from one to another. In the open environment, such forest ecosystem where the oxygen concentration of the air is higher than in anthropogenic areas, air currents are determinant in the initiation and development of fires. The ambient temperature directly influences the ignition temperature and indirectly the composition of the forest stands. It is known that each combustible material is characterized by a certain flammability and ignition temperature. Or, if the ambient temperature is low, much of the thermal energy released by the ignition source is absorbed by the environment, and vice versa, at a high ambient temperature, the ignition source yields less heat. In its fight against forest fires, the forestry has no power to combat abiotic factors (air temperature and humidity) but has all the organizational measures needed to form a forest that is resistant to the harmful action of fire.

Keywords forest ecosystem, fire risk, stand composition, climatic factors

Authors. Ion Burlui - Ștefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Law, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania; Mihai Cătălin Burlui (burluicatalin@yahoo.com) - Ștefan cel Mare University of Suceava, Faculty of Forestry, 13 Universității, 720229 Suceava, Romania & Forest Directorate Suceava, Bulevardul 1 Mai 6, Suceava 720224, Romania.

Manuscript received November 15, 2018; revised December 5, 2018; accepted December 15, 2018; online first December 30, 2018.

Introducere

Fiecare ecosistem este definit de anumite condiții specifice care l-au generat, în care s-a dezvoltat și se perpetuează, purtând amprenta acestora, iar schimbarea acestor condiții, peste anumite cote, poate duce la schimbarea configurației ecosistemului. Acesta are capacitate proprie de autocontrol, autoprotecție și rege-

rare, în condițiile în care nu este influențat în mod semnificativ de factori perturbatori.

Pornind de la interesul de a-și crea condiții de viață și dezvoltare la standarde tot mai ridicate, omul a influențat și modelat natura în mod ireversibil prin acțiunea sa, cu consecințe inclusiv asupra factorilor climatici, modificări ce au condus la creșterea și diversificarea riscurilor care se manifestă asupra pădurii, inclu-

siv asupra riscului la incendiu.

Existența focului se confundă cu existența civilizației umane, pentru a-și extinde habitatul, omul în decursul istoriei sale „a îndepărtat pădurea făcând loc terenului destinat agriculturii. Una din metodele folosite în acest scop a fost și incendierea copacilor” (Ichim 1988). Dar acesta a fost un prim pas. În prezent, urmare a acțiunii antropice, prin activitatea socio-economică în care este parte, pădurea este expusă în mod vădit riscurilor de depreciere. Dat fiind faptul că întregul ecosistem forestier, cu excepția surselor de apă și a solului stâncos, este combustibil, rezultă necesitatea protejării pădurii față de riscul de incendiu.

Pe plan mondial, dar și în România, riscul la incendiu în păduri a arătat o manifestare și în alte areale decât cele „clasice” și cunoscute pentru acest tip de risc. Astfel, pentru Europa erau cunoscute ca zone cu risc maxim de incendiu la fondul forestier pădurile din țările mediteraneene, unde există o climă cu temperaturi medii și maxime anuale mai ridicate decât cele din zonele central-est și nord europene. La nivelul Statelor Unite ale Americii suprafața afectată de incendii de pădure a crescut continuu începând cu anul 1983 și până în anul 2014. Maximul a fost atins în anul 2010 când suprafața afectată a fost de 4 milioane de hectare, în 85 % din cazuri cauza producerii incendiului fiind reprezentată de factorul antropic. În Canada, suprafața afectată în anul 2014 a fost de 4,6 milioane de hectare, iar în Rusia de 3,7 milioane de hectare (WWF, 2017). Potrivit lui Rego et al (2018) între anii 2010 și 2016 în Grecia, Spania, Franța Italia și Portugalia s-au produs un număr de 40000 de incendii, 85 % din întreaga suprafață afectată de foc din Europa fiind localizată în aceste țări. Dacă în România incendiile de pădure nu au cuprins mereu suprafețe comparabile cu cele din Grecia sau Peninsula Iberică, aceasta nu permite minimalizarea riscului de producere a acestora. Din datele statistice ale I.N.C.D.S. București, în perioada 1968-2003 (33 ani) în România s-au înregistrat 3.453 incendii de pădure, în medie 105 incendii/an (Ciobanu et

al. 2007).

Pe fondul amplitudinii și a intensității incendiilor înregistrate în păduri din zone cu temperaturi medii anuale mai scăzute decât cele din zona mediteraneană, putem spune că riscul de incendiu este prezent, într-o formă activă sau potențială, la nivelul întregului fondul forestier, datorită în principal condițiilor de combustibilitate ale arboretelor, coroborate cu variațiile imprevizibile ale unor factori favorizanți, antropici sau naturali. Din aceste considerente, cunoașterea factorilor care determină și influențează inițierea și dezvoltarea incendiilor din fondul forestier poate constitui un element esențial în adoptarea unor decizii de prevenție și operative pentru managementul riscului de incendiu. Scopul prezentului articolului este de a prezenta o sinteză a elementelor caracteristice și ale factorilor determinanți ai incendiilor de pădure în vederea unei mai bune gestionări a riscului.

Elementele determinante ale unui incendiu

Pentru declanșarea unui incendiu, trebuie să se întâlnească simultan, în același spațiu, trei elemente: carburantul - materialul combustibil care are proprietatea de a arde, comburantul - gazul care favorizează și întreține arderea, respectiv sursa de aprindere - cea care trebuie să dezvolte energia necesară aprinderii carburantului, în funcție de timpul cât se află în contact. Aceste trei elemente sunt cunoscute ca formând ”triunghiul de foc” (Lieberman 2008, Omi 2005, Whelan 1995). În același timp, pentru întreținerea unei reacții de oxidare, este nevoie de prezența simultană a materialului carburant, a comburantului, ca întreținător al arderii și temperatura de întreținere a arderii, de continuare a reacției de oxidare. Lipsa unei ”laturi” a acestui triunghi face imposibilă producerea unui incendiu. Ca un exemplu, prin aruncarea apei și a pământului pe flacără se elimină căldura și oxigenul, iar prin doborârea și evacuarea arborilor de pe direcția de înaintare a focului se elimină materialul combustibil.

Combustia începe ca un reacție endotermă, respectiv de absorbție a căldurii de la o sursă de aprindere, transformându-se ulterior într-o reacție exotermă. De la aprindere și până la extincție, focul parcurge mai multe etape, cunoscute sub numele de "stadiile combustiei" fiecare având caracteristici proprii: (i) preîncălzirea combustibilului - când are loc eliminarea umezelii și procesul de piroliză, (ii) arderea cu flacără - când se descompun substanțele volatile, (iii) arderea mocnită când se produce combustia carbonului solid, ce se încheie cu (iv) etapa de răcire și extincție (Omi 2005).

Factorii de risc la incendii

În analiza factorilor de risc, declanșatori de incendii de pădure, se are în vedere influența acestora în facilitarea prezenței simultane, în același loc, a carburantului, comburantului (aerul care întreține arderea) și a sursei de aprindere, în cantitatea și la parametrii necesari declanșării și întreținerii arderii. Aceștia, clasificați și tratați, atât separat, cât și în legătură unii cu alții, clarifică rolul jucat în declanșarea și dezvoltarea incendiilor de pădure. După cauza producerii factorii de risc pot fi clasificați în naturali și antropici, iar după importanță în factori de risc determinanți și conjuncturali (favorizanți).

Factorii de risc la incendii influențează, sub o formă sau alta, atât iminența aprinderii, cât și viteza de ardere, care sunt caracteristici ale substanțelor și materialelor combustibile și depind, în cazul incendiilor de pădure, de mai mulți factori: (i) temperatura mediului ambiant la care are loc prima reacție de oxidare a substanțelor volatile emenate din masa combustibilă, (ii) compoziția chimică a materialului combustibil, care determină tipul și cantitatea de substanțe volatile emenate, (iii) umiditatea materialului combustibil, (iv) curenții de aer, (v) presiunea atmosferică, (vi) raportul dintre suprafața liberă și volumul materialului combustibil, fără a lua în considerare influența antropică. La acestea, Omi (2005) mai adaugă și alți indicatori, respectiv: distribuția pe verticală și orizontală a

materialului combustibil, cantitatea de material combustibil, umiditatea atmosferică, precipitațiile, stabilitatea atmosferică, panta, expoziția, altitudinea, orografia terenului.

Principalii factorii naturali de risc la incendii de pădure sunt reprezentați de vegetația forestieră (arboretul), factorii climatici, relieful, solul și rețeaua hidrografică, după cum raportează studii efectuate în diverse zone, de la pădurile din zona mediteraneană (Ganteaume et al. 2013) la cele din centrul Europei (Adamek et al. 2014).

Factori de risc determinați de vegetație

Arboretul este componenta principală a vegetației forestiere, iar din punct de vedere al riscului de incendii, și principala cantitate de material combustibil. Dintre speciile de arbori, molidul întrunește toate condițiile pentru a fi apreciat ca fiind arborele care favorizează cel mai mult inițierea și dezvoltarea incendiului din fondul silvic. Astfel, datorită compoziției chimice a materialului lemnos (celuloză, rășini, uleiuri eterice, gume) și a frunzelor, cu un raport favorabil între suprafață și volum datorită dispunerii acestora, molidul are cea mai mare viteză de ardere și a doua putere calorică după pin (Adam 2007, Singh și Kostecy 1986).

Structura și consistența materialului lemnos își pun amprenta în mod direct asupra procesului de inițiere a incendiului. Cu cât densitatea lemnului este mai mare, cu atât inițierea arderii se face mai greoi, fiind necesară o temperatură mai ridicată pentru ca acesta să se poată aprinde, sau un timp mai îndelungat de contact cu sursa de căldură. În condiții identice de umiditate și de timp, densitatea materialului lemnos impune nivelul temperaturii de aprindere. Raportul dintre suprafața liberă a materialului combustibil și volumul lui, în special la solide, are o mare influență asupra procesului de aprindere și dezvoltare a arderii. Cu cât acest raport este mai mare, cu atât aprinderea se produce mai repede, iar incendiul se dezvoltă mai rapid. În cazul celor forestiere, aceasta se concretizează prin suprafața mare a materialului

foliar raportată la volum, unde este înglobată și o mare cantitate de aer, ce favorizează inițierea și întreținerea incendiului, pe lângă aportul de material combustibil (Ciobanu et al. 2007).

După cum se știe, pericolul cel mai mare de incendiu îl prezintă substanțele combustibile, în care există ca elemente de bază carbonul și hidrogenul. În cazul rășinoaselor, aceste două elemente chimice, coroborate cu densitatea scăzută a lemnului și cu cantitatea mai ridicată de rășini și uleiuri naturale, ce au capacitatea de a se volatiliza mai ușor, măresc semnificativ riscul de incendiu la aceste specii, comparativ cu cele de foioase (Dimitrakopoulos și Papaioannou 2001).

Acest fapt este confirmat și de alte studii; astfel Gonzalez et al. (2006) arată că probabilitatea izbucnirii unui incendiu într-un arboret pur de conifere este de aproximativ trei ori mai mare decât într-un arboret constituit în proporții egale din specii de rășinoase și foioase. Inflamabilitatea ridicată a speciilor de rășinoase din zona mediteraneană comparativ cu foioasele a fost evidențiată atât prin metode statistice (Dimitrakopoulos 2001), cât și prin teste de laborator (Valette 1990, Velez 1990). Hely et al. (2000) a arătat importanța compoziției pădurii în manifestarea incendiului cu un studiu de caz în pădurile boreale din Quebec: focul a avut o intensitate și o viteză de propagare mai reduse în arboretele de foioase, comparativ cu cele mixte sau pure de rășinoase (Hely et al. 2000).

Acțiunea distructivă a focului se manifestă asupra tuturor părților arborilor. În cazul coroanei, ramurile cu un diametru mai redus vor prezenta o rezistență internă scăzută la încălzirea de la flăcările incendiului de litieră și coronament. Prin conducție, convecție sau radiație, acestea intră în piroliză cu ușurință și pot fi cuprinse de flăcări și arse în mod facil. Trunchiul arborelui însă, în funcție de specie, are o rezistență considerabilă la încălzirea prin flacără în ansamblul său, chiar dacă poate fi de asemenea deteriorat de foc, din cauza circuitului său vascular, care este aproape de exteriorul tulpinii.

În cazul incendiilor de suprafață, rădăcinile sunt izolate de căldura flăcării, dar în același timp încălzite prin arderea litierei, în timpul trecerii frontului de incendiu. Rădăcinile sunt vulnerabile în cazul incendiilor subterane și al celor de litieră consistentă, deoarece încălzirea solului este, adesea, de lungă durată, iar circuitul vascular este, de asemenea, aproape de exterior (Dickinson și Johnson, 2001). Incendiile generează efecte negative și asupra solului, provocând diminuări de materie organică, deteriorarea structurii și a porozității, pierderi considerabile de nutrienți prin volatilizare, eroziune și prin modificări semnificative, atât ale cantității, cât și ale compoziției specifice a comunităților microbiene și a nevertebratelor ce populează solul (Certini 2005).

În ceea ce privește reziliența speciilor forestiere la acțiunea distrugătoare a focului, studii efectuate în Portugalia au arătat că, în cea mai mare parte, coniferele afectate de foc nu au supraviețuit, spre deosebire de speciile de foioase, a căror capacitate de regenerare vegetativă le-a menținut vii (Catry et al. 2010). O sinteză la riscul de incendiu al pădurii, pe bază de indicatori ce arată sensibilitatea la incendiu a unor specii care o compun, este prezentată în tabelul 1.

Dacă indicele de combustibilitate este un indicator al sensibilității materialului combustibil la aprindere, ce determină temperatura de inițiere a reacției de oxidare, a arderii și influențează în mod direct unul din factorii triunghiului de foc (materialul combustibil - aerul - sursa de aprindere), puterea calorică, ce exprimă energia degajată pe timpul arderii, determină modul de continuare a reacției de ardere.

În cazul unor materiale combustibile cu o putere calorică mică, o continuare a reacției de oxidare se face mai lent, în special în cazul dezvoltării arderii la vecinătăți, prin intrarea materialului combustibil în proces de piroliză (transformare fizico-chimică ireversibilă, prin volatilizarea substanțelor inflamabile sub influența temperaturii). Viteza de ardere este determinată atât de temperatura dezvoltată în reacția de oxidare, care este motorul continu-

Tabelul 1 Sensibilitatea unor specii forestiere la foc (Adam 2007)*Forest species sensitivity to fires*

Indicatorul	Specia					
	pin	molid	brad	soruș	fag	carpen
Viteza de ardere (grame lemn ars /min)	80,10	68,30	65,00	51,50	44,90	40,00
Putere calorică	16,96	15,60	15,45	14,70	14,84	13,31
Indicele de combustibilitate	8	6	6	2	2	2

ării acesteia, cât și de aportul de oxigen din aer. Acest aport este diferit, în cazul rășinoaselor și foioase, în funcție de particularitățile învelișului foliar. O exemplificare a vitezelor de propagare a flăcării în raport cu diferite materiale combustibile aprinse este prezentată în tabelul 2.

În afara celor menționați, mai pot fi luați în considerare și alți factori de influență în producerea incendiilor de pădure. Astfel, structura tulpinii, ce poate fi ierboasă (de exemplu startul ierbos) sau lemnoasă influențează în mod diferit riscul la incendiu. O tulpină ierboasă prezintă un risc maxim la incendiu, iar asupra ei influența factorilor naturali - temperatură, umiditate, vânt - este mai pronunțată decât asupra unei tulpini lemnoase (de ex. referitor la timpul și energia necesare inițierii unui incendiu).

Un alt element de influență îl constituie și caracteristicile cojii (structură, grosime); o coajă sănătoasă, mai groasă și mai compactă, protejează mai bine vasele conducătoare în fața unui incendiu, comparativ cu o coajă subțire și cu discontinuități. Astfel, un arbore sănătos, cu coajă groasă și compactă, se reface mai ușor după un incendiu de litieră, comparativ cu unul cu o coajă afectată de boli sau de declin fiziologic, ce nu-și mai poate proteja siste-

mul de alimentare cu nutrienți, care în urma incendiului se distruge, cu consecințe directe asupra stării de sănătate a organismului (Wuerthner 2006). Existența mai multor etaje de vegetație (integrarea pe verticală a vegetației) - arboret, subarboret, vegetație ierboasă - poate, de asemenea, să favorizeze riscul de incendiu din pădure (Garcia-Gonzalo et al. 2012).

Consistența arboretului, determinată în mod natural de vârstă, influențează - printre altele - și nivelul microclimatului din pădure. În mod natural, stadiile de dezvoltare inițiale, pădurea poate avea o consistență apropiată de 1, aceasta scăzând în timp, odată cu creșterea în vârstă. La vârsta maturității, o pădure mai deasă determină, de obicei, un microclimat mai umed și răcoros, în comparație cu o pădure mai rară. De asemenea, o pădure cu un indice de desime mai mare este mai rezistentă la unii dintre factorii perturbatori, comparativ cu cazul arborilor izolați, cu consecințe și asupra inițierii și dezvoltării arderii (Ciobanu 2007).

Luând ca exemplu pădurile județului Suceava, în acestea predomină în mod covârșitor rășinoasele (74,84%), cu molidul în proporție de 62,27% din total, respectiv 83,2 % din cel al rășinoaselor (Garda Forestieră

Tabelul 2 Viteza de propagare a flăcării pe materiale combustibile aprinse (Băluțescu 1981)*Speed of flame propagation on combustible materials*

Materiale combustibile aprinse	Valoarea medie a vitezei de propagare ($m \cdot min^{-1}$)
Păduri de brad-molid și brad	până la 4,20
Păduri de pin, brad, tufișuri	până la 14,20
Păduri de molid	până la 18,00
Depozit de lemn rotund în stive	0,35 – 0,7

Suceava). În perioada 1990-2010, în pădurile județului Suceava au avut loc 132 de incendii (Burlui 2014), numărul cel mai ridicat înregistrându-se în arboretele de molid (33,33%), urmat de cele de amestec de rășinoase (25,76%), amestecurile de rășinoase cu foioase (16,67%), respectiv cu cele de foioase (12,88%). Prin comparație, incendiile din fondul forestier, ale construcțiilor și ale altor amenajări au reprezentat doar 11,36%. Ponderea ridicată a incendiilor înregistrată în pădurile de rășinoase s-a datorat nu doar procentului mai ridicat ocupat de acestea, cât și modului diferit de comportare la foc a diferitelor specii de rășinoase și foioase.

Factorii de risc climatici

Căldura contribuie la riscul de incendiu în mai multe feluri: (i) existența căldurii determină tipul, varietatea și vigurozitatea vegetației forestiere, (ii) regimul de temperatură poate influența regimul apei din sol sau de la suprafața acestuia, (iii) starea solului este influențată în mod direct de regimul de temperatură din mediu, (iv) căldura influențează și este influențată de prezența și mărimea celorlalți factori naturali, lăsându-și astfel amprenta diferit de la o stațiune forestieră la alta, (v) temperatura mediului determină în mod direct cantitatea de căldură necesară inițierii unui incendiu, (vi) căldura influențează în mod direct prezența factorului antropic în pădure.

Acest fapt este în legătură directă și cu valoarea presiunii atmosferice, deoarece scăderea presiunii atmosferice micșorează viteza de ardere și reciproc. Aceasta se datorează încălzirii aerului de la nivelul solului spre straturile superioare; iar la o presiune scăzută aerul este mai rarefiat, iar transmiterea intermoleculară a energiei se face mai greu.

Temperaturile ridicate influențează în mod direct manifestarea sursei de aprindere și a amplitudinii incendiilor, acestea din urmă fiind mai ridicate la valori ale temperaturilor peste normalul termic, coroborate cu intensități ridicate ale vântului (Wuerthner 2006, Koutsias et al.

2013).

Umiditatea excesivă reduce viteza de ardere, respectiv mărește timpul de aprindere, în schimb uscăciunea ridicată contrabalansează substanțial cele două mărimi. (Wu et al. 2018) Aceasta contribuie și la riscul de incendiu din păduri și, implicit, asupra elementelor “triunghiului de foc”, din mai multe perspective: (i) umiditatea ridicată din aer determină scăderea radicalilor liberi de oxigen care să participe la declanșarea și continuarea unei reacții de oxidare, (ii) moleculele de apă din aer înmagazinează mai multă energie termică decât aerul uscat, scăzând temperatura mediului ambiant, determinând necesitatea unui surplus de căldură pentru inițierea și continuarea arderii, (iii) umiditatea ridicată a vegetației determină un plus de energie termică până la declanșarea reacției de piroliză, în scopul eliminării surplusului de apă.

Curenții de aer - vântul - constituie un factor de risc deosebit de important, cu o mare influență asupra vitezei de ardere a materialelor combustibile. Prezența vântului este un factor favorizant în inițierea și expansiunea incendiilor forestiere, permițând dezvoltarea la distanță, „prin salturi”, a incendiului, pe direcții imprevizibile (Ene 2009). În perioadele cu mișcări intense ale maselor de aer, arderea este alimentată cu oxigen, iar gazele arse sunt îndepărtate rapid din zona incendiată, cu repercusiuni directe asupra intrării în proces de piroliză a materialului combustibil riveran și a accelerării vitezei de ardere.

Viteza de dezvoltare a incendiului este determinată de mai mulți factori: climatici - temperatura, curenții de aer, umiditate, dar și de tipul și de cantitatea de material combustibil existent, considerate de altfel ca fiind cele mai dinamice (Holsinger et al. 2016). Astfel, ca un cadru favorizant, aprinderea și extinderea incendiului sunt favorizate de vremea caldă, cu o umiditate atmosferică scăzută și mișcări ale maselor de aer (Chang et al. 2013).

Seceta, factor determinant în producerea incendiilor de pădure

Seceta fiind o consecință a manifestării temperaturilor ridicate pe o perioadă mai mare de timp, asociată și cu o lipsă a precipitațiilor, determină atât arealul potențial de declanșare a incendiilor, cât și frecvența de manifestare a acestora, astfel că acestea din urmă sunt mai ridicate în anii secetoși față de anii ploioși (Wuerthner 2006). Dintre consecințele secetei care influențează în mod direct riscul de incendiu asupra vegetației forestiere se pot aminti: (i) uscarea solului și a rădăcinilor, (ii) uscarea vegetației ierboase, (iii) uscarea prematură a învelișului foliar al arborilor, (iv) favorizarea apariției bolilor și dăunătorilor, (v) secarea cursurilor mici de apă, a torenților, cu consecințe în ducerea acțiunilor de intervenție, (vi) creșterea afluxului de oameni în pădure.

Legătura existentă între secetă și incendiile de pădure a fost subliniată în numeroase studii (Dimitrakopoulos et al. 2011, Moreira et al. 2011, Turco et al. 2017), cuantificarea ei fiind posibilă pe baza analizei datelor meteorologice, respectiv a diferiților indicatori ai secetei. Dintre indicatorii climatici, pot fi amintiți indicii Gaussen, Gaussen-Walter, Koncek, Thornthwaite, indicele de variație anotimpuală a umidității efective, indicele eficienței termice globale (Thornthwaite), indicele de concentrație estivală a eficacității termice, umiditatea relativă, indicele de nesaturație Meyer, indicele Palmer, indicele de aprovizionare al apelor de suprafață, indicele de combatere a secetei, indicele de ariditate (De Martonne), indicele Lang, indicele standardizat al precipitațiilor, frecvența decilelor precipitațiilor (Barbu și Popa 2003).

Incendiile de proporții

Studiile statistice efectuate în Grecia de Dimitrakopoulos et al. (2011), au relevat faptul că incendiile de proporții, respectiv cele de peste 1000 de ha, s-au manifestat în perioade de timp în care umiditatea aerului era una mo-

derată spre scăzută, iar vânturile înregistrau o intensitate ridicată. Atunci când aceste condiții se suprapun și cu temperaturile ridicate ce conduc o secetă prelungită, incendiile se produc pe suprafețe mari și la intensități ridicate, exemple edificatoare în acest sens constituindu-le două evenimente de acest gen ce au avut loc în Rusia, respectiv S.U.A.

Incendiul de pădure din Rusia, din vara anului 2010, s-a manifestat în pădurea boreală, fiind caracterizat printr-o amploare fără precedent a rapidității dezvoltării și a consecințelor produse. Suprapunerea teritoriilor afectate de temperaturi ridicate extreme și secetă extremă cu cele afectate de incendii de pădure a fost evidentă. De altfel, din analiza variației temperaturilor pe o perioadă mai mare de timp s-a putut observa vârful realizat în anul 2010, și în mod special în luna iulie, ca valori ale temperaturilor diurne și nocturne, cea mai mare temperatură medie înregistrată fiind de 26°C în luna iulie 2010 la Moscova (Barriopedro et al. 2011), lună ce coincide cu perioada incendiului. Aceste condiții, împreună cu compoziția pădurii boreale din zona Moscovei, au condus la dezvoltarea impresionantă a incendiului, cu consecințe importante. Bilanțul acestuia a aratat că, în urma incendiului de pădure din Rusia anului 2010, aproximativ 60 de persoane au murit, iar peste 3.000 de locuințe, aproape 200 de localități și milioane de hectare de pădure și stepă au fost devastate de flăcări.

Un alt exemplu este cel al incendiului petrecut și în California în toamna anului 2018. Potrivit Barbara Malmel@B52Malmel, California s-a confruntat cu cel mai mare incendiu din istoria statului, favorizat de vegetația uscată, caniculă și vântul puternic. Numărul persoanelor decedate a ajuns la 83, iar al celor dispărute la 563. Pentru a stinge incendiul, peste 14.000 de pompieri au acționat în diverse zone ale statului California, potrivit Departamentului Forestier și de Pază împotriva Incendiilor din California. Pentru a realiza amploarea fenomenului și a efortului realizat pentru stingerea acestui incendiu, dacă luăm ca exemplu România, potrivit datelor IGSU, incluzând și structurile de suport

logistic, sunt încadrate 26.428 cadre de pompieri, deci mai puțin decât dublul pompierilor care au intervenit la incendiul din California.

Influența configurației terenului

Influența reliefului asupra riscului de incendiu se manifestă prin implicațiile pe care le are asupra curenților de aer, asupra microclimatului forestier, al accesibilității tehnicii și personalului de intervenție. Configurația terenului este un factor contributor la riscul de incendiu, deoarece: (i) concavitatea sau convexitatea sa determină condițiile staționale și, implicit, tipul, diversitatea și vigoarea vegetației forestiere, iar (ii) coamele și crestele sunt petrecute de soare și de vânturi mai puternice, uscând solul și vegetația forestieră, favorizând procesul de rupere sau doborâre a arborilor sau a dezvoltării necontrolate a incendiului.

Dintre factorii staționali, altitudinea îi influențează și pe ceilalți, care împreună acționează asupra pădurii, determinând direct sau indirect riscul de incendiu (Verma et al. 2013). Expoziția terenului influențează cantitatea de radiație solară ajunsă la suprafața solului cu efecte asupra nivelului umidității și al temperaturii. Spre exemplu, Pyne et al. (1996) arată că

expoziția sud-vestică este cea mai predispusă la apariția incendiilor. Și panta influențează în mod semnificativ viteza de ardere, întrucât determină nivelul de preîncălzire al materialului combustibil aflat în imediata apropiere a frontului de foc (Verma et al. 2013), prin modificarea gradului de preîncălzire a combustibilului neîncărcat imediat în fața flăcărilor.

Gestionarea riscului la incendii

Pentru punerea în practică a unui management adecvat din punct de vedere al riscului de incendiu din păduri sunt necesare modelele de prognoză. În acest sens, se impune o evaluare și determinare a riscului de incendiu pentru toate arboretele, întrucât fiecare prezintă elemente individuale specifice. O sinteză a variabilelor utilizate în modelarea riscului la incendiu este prezentată în tabelul 3.

Cu toate acestea, chiar în prezența unor modele elaborate pentru o anumită zonă forestieră, silvicultorul nu are puterea să intervină în modificarea factorilor abiotici (de ex. temperatura și umiditatea aerului), însă dispune de metodele de gestionare necesare dezvoltării unei păduri rezistente la acțiunea vătămătoare a focului.

Tabelul 3 Factori de risc utilizați în modelarea apariției incendiilor de pădure

Risk factors used in forest fires ignition

Factori utilizați în modelare	Sursa
Temperatura, umiditatea, precipitațiile	Alonso et al (2002)
Vârsta arboretului, distanța până la sursa de apă, panta maximă a terenului, expoziția parcelei, temperatura medie în perioada de vegetație, indicele de ariditate, altitudinea, distanța până la așezările umane.	Burlui (2014)
Tipul de vegetație, panta, expoziția terenului distanța până la așezările umane, distanța până la drumuri	Erten et al (2004)
Tipul de vegetație, panta, distanța până la așezările umane, distanța până la drumuri	Jaiswall et al (2002)
Materialul combustibil, radiația solară, topografia terenului, densitatea populației	Lein și Stump 2009
Compoziția și consinența arboretului, stadiul de dezvoltare, radiația solară, panta, distanța dintre pădure și terenurile agricole, distanța până la așezările umane	Saglam et al. (2008)
Umiditatea vegetației, panta, expoziția, și distanța până la așezările umane, distanța până la drumuri	Siachalou et al (2009)

Direcțiile de acțiune pentru creșterea rezistenței la foc și a reducerii riscului de incendiu a pădurii pot fi reprezentate și de ”ameliorarea” carburantului (materialului combustibil) prin măsuri silvotehnice, chiar dacă efectul de prevenire și reducere la minimum a daunelor este atins după o perioadă lungă de timp. Acest lucru se poate realiza prin: (i) crearea de structuri verticale corespunzătoare, (ii) realizarea unei compoziții optime din punct de vedere al speciilor rezistente la acțiunea focului, raportat la măsurile întreprinse pentru prevenirea riscului de incendiu la păduri, (iii) exploatarea arborilor uscați și a resturilor de exploatare, ce prezintă un risc mai ridicat de incendiu, (iv) păstrarea unei densități/consistențe optime a pădurii, (v) organizarea activității de exploatare a parcelelor prin izolarea, încă din fază inițială, a acestor activități economice, de restul fondului forestier.

Silviculorul poate acționa și în direcția asigurării unei bune accesibilități în fondul forestier, prin crearea unei rețele optime de căi de acces, lucru ce va scurta în mod cert timpul de intervenție a personalului operativ de specialitate. O măsură importantă o constituie și regularizarea torenților și realizarea unor praguri de liniștire a apei, în scopul rezolvării deficitului de apă în caz de incendiu. Nu în ultimul rând, se impune asigurarea de către silviculor a unei atente, suficiente și continue monitorizări a activității din fondul forestier.

Concluzii

Riscul la incendiu este determinat de factorii triunghiului de foc: carburant, comburant, temperatura de aprindere, trei elemente prezente în ecosistemul forestier, diferența fiind dată de aportul fiecărui factor și de simultaneitatea prezenței acestor factori la momentul lor de amplitudine maximă.

Reacția sub acțiunea temperaturii diferă în funcție de specie: cele cu o desitate mai mare sunt mai rezistente la foc, comparativ cu cele mai puțin dense (rășinoasele), ce prezintă o

sensibilitate mai mare la aprindere (cunoscute și ca esențe ”pirofile”).

Compoziția influențează comportarea pădurii la foc sub mai multe aspecte: (i) timpul de intrare în piroliză și de volatilizare a esențelor inflamabile, (ii) cantitatea de esențe inflamabile volatilizate, (iii) temperatura de inflamabilitate și cea de aprindere, (iv) nivelul de participare a părților arboreului la dezvoltarea incendiului (rădăcină, tulpină, coroană, material foliar), (v) rezistența la foc, (vi) capacitatea de regenerare după incendiu.

În rândul pompierilor există o maximă: ”controlează aerul și atunci poți controla incendiul”, însă în ecosistemul forestier acest lucru este imposibil, întrucât concentrația în oxigen a aerului este mai ridicată decât în zonele cu activitate antropică, curenții de aer sunt determinați de mai mulți factori care acționează atât constant (altitudinea), cât și aleatoriu (presiunea atmosferică). Parametrii climatici, respectiv curenții de aer, temperatura și precipitațiile sunt determinanți în viteza și direcțiile de propagare a incendiului.

Temperatura mediului ambiant influențează temperatura de aprindere, ce este caracteristică fiecărui material combustibil în parte. Astfel, dacă temperatura mediului ambiant este scăzută, o mare parte din energia termică degajată de sursa de aprindere este absorbită de acesta, iar acest fapt influențează sursa de aprindere prin trei parametri: (i) valoarea energiei degajate pentru inițierea reacției de oxidare, (ii) timpul de contact cu materialul combustibil pentru declanșarea reacției de piroliză (volatilizarea elementelor inflamabile din materialul combustibil) și implicit a aprinderii gazelor rezultate, și (iii) energia rămasă în urma inițierii arderii pentru continuarea reacției de oxidare, dat fiind faptul că o parte este absorbită de mediul ambiant.

Bibliografie

- Adam I., 2007. Metodă de evaluare a riscului de incendiu în pădurile României. *Analele ICAS* 50: 261-271.
Alonso-Betanzos A., Fontenla-Romero O., Guijarro-Ber-

- dinas B., Hernandez-Pereira E., Canda J., Jimenez E., Legido J., Muniz S., Paz-Andrade C., Paz-Andrade M.I., 2002. A neural network approach for forest fire risk estimation. In: van Harmelen F. (ed.), The 15th European conference on artificial intelligence, ECAI 2002, Lyon, France. IOS Press, pp. 643–647.
- Asner G.P., Alencar A., 2010. Drought impacts on the Amazon forest. The remote sensing perspective: Research review". *New Phytologist* 187 (3): 569-78.
- Barriopedro D., Fischer E.M., Luterbacher J., Trigo R., Garcia-Herrera R., 2011. The hot summer of 2010: re-drawing the temperature record map of Europe. *Science* 332(6026): 220-224.
- Barbu I., Popa I., 2004. Monitorul secetei în pădurile din România. Editura Tehnică Silvică, 128 p.
- Bălulescu P., 1981. Stingerea Incendiilor. Ed. Tehnică, București, pp. 12-32.
- Burlui I., 2014. Incendiile de pădure. Cauze, manifestare, stingere. Ed. Lidana, Suceava, 201 p.
- Catry F.X., Rego F., Moreira F., Fernandes P.M., Pausas J.G., 2010. Post-fire tree mortality in mixed forests of central Portugal. *Forest Ecology and Management* 260: 1184-1192.
- Certini, Giacomo. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143 (1): 1-10. DOI: 10.1007/s00442-004-1788-8.
- Ciobanu V., Bereziuc B., Alexandru V., Dragos N., Ioras Fl., Horvarth B., Fekete G., 2007. Incendii forestiere, Curs universitar pentru studenții de la masterat, editura "Transilvania", Brașov.
- Yu C., Zhu Z., Bu R., Chen H., Feng Y., Li Y., Hu Y., Wang Z., 2013. Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China. *Landscape Ecology* 28 (10): 1989-2004.
- Dickinson M.B., Johnson E.A., 2001. Fire effects on trees. In: Johnson E. A., Miyanishi K. (eds.), *Forest fires behaviour and ecological effects*. Academic Press, pp: 477-521.
- Dimitrakopoulos A. P., 2001. A statistical classification of Mediterranean species based on their flammability components. *International Journal of Wildland Fire* 10: 113–118.
- Dimitrakopoulos A., Goci C., Stamatelos G., Mitsopoulos I., 2010. Statistical Analysis of the Fire Environment of Large Forest Fires (>1000 ha) in Greece. *Polish Journal of Environment Studies* 20(2): 327-332.
- Dimitrakopoulos A. P., Vlahou M., Anagnostopoulou Ch. G., Mitsopoulos I. D., 2011. Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climatic change? *Climatic Change* 109(3-4): 331-47.
- Ene C. 2009. Modelarea și simularea incendiilor de pădure - *Buletinul Pompierilor* 1: 142-156.
- Erten E., Kurgun V., Musaoglu N., 2004. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case-study. In: *Geo-imagery bridging continents*, Istanbul, Turkey, ISPRS.
- Ganteaume A., Camia A., Jappiot M., San-Miguel-Ayanz J., Long-Fournel M., Lampin. C., 2013. A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental Management* 51(3): 651-62.
- Garda Forestieră Suceava Suceava 2018, Date statistice de arhivă.
- Gonzalez J.R., Palahi M., Trasobares A., Pukkala T., 2006. A fire probability model for forest stands in Catalonia (north-east Spain). *Annals of Forest Science* 63: 136-176.
- Garcia-Gonzalo J., Zubizarreta-Gerendiain A., Ricardo A., Marques S., Botequim B., Borges J.G., Oliveira M.M., Tomé M., Pereira J.M.C., 2010. Modelling Wildfire Risk in Pure and Mixed Forest Stands in Portugal, 11.
- Gillett N.P., 2004. Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters* 31(18).
- Hély C., Bergeron Y., Flannigan M.D., 2000. Effects of stand composition on fire hazard in mixed-wood Canadian boreal forest. *Journal of Vegetation Science* 11: 813-824.
- Holsinger L., Parks S. A., Miller C., 2016. Weather, fuels and topography impede wildland fire spread in Western U.S. Landscapes. *Forest Ecology and Management* 380: 59-69. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.08.035.
- IGSU 2017. Bilanțul I.G.S.U. Web: https://www.igsu.ro/documente/informare_publica/evaluari/BILANT_IGSU_2017.pdf. Accesat: 09.2018
- Meteo 2010. Temperaturi record in Rusia 36,7 grade la Moscova. Web: http://www.meteo.ro/stire/1682/Temperaturi-record-in-Rusia_-36,7-grade-la-Moscova.html. Accesat: 09.2018
- Ichim R., 1988. Istoria pădurilor și silviculturii din Bucovina. Ed. Ceres, București, 215 p.
- Jaiswal R.K., Mukherjee S., Raju K.D., Saxena R., 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International Journal of Applied Earth and Obs Geoinformation* 4(1):1–10.
- Lein J.K., Stump N.I., 2009. Assessing wildfire potential within the wildland–urban interface: a southeastern Ohio example. *Applied Geography* 29(1): 21-34.
- Koutsias N., Xanthopoulos G., Founda D., Xystrakis F., Nioti F., Pleniou M., Mallinis G., Arianoutsou M., 2013. On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894–2010). *International Journal of Wildland Fire* 22 (4): 493.
- Lieberman D., 2008. Aspecte privind organizarea, prevenirea și evitarea incendiilor de pădure din Israel. Sesiune științifică, Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava.
- Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Barbati A., 2011. Landscape-wildfire interactions in Southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management* 92(10): 2389-2402.
- Omi P. N., 2005. *Forest fires: a reference handbook*. Contemporary World Issues, Santa Barbara, California. ABC-CLIO.
- Pyne, S. J., Andrews, P. L. and Laven R. D. 1996. *Introduction to wild land fire*. John Wiley & Sons, 808 p.
- Siegert F., Ruecker G., Hinrichs A., Hoffmann A.A., 2001. Increased damage from fires in logged forests during

- droughts caused by El Niño. *Nature* 414(6862): 437-40.
- Singh T., Kostecky M.M., 1986. Calorific value variations in components of 10 Canadian tree species". *Canadian Journal of Forest Research* 16(6): 1378-81.
- Strelcova K., 2009. What Climate Can We Expect in Central/Eastern Europe by 2071–2100. In: Detected and expected trends of extreme climate indices for the Carpathian Basin. *Risk Assessment of the Tatra Mountains Forest, Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer, pp. 3, 22, 152.
- Turco M., von Hardenberg J., AghaKouchak A., Llasat M. A., Provenzale A., Trigo R. M., 2017. On the key role of droughts in the dynamics of summer fires in Mediterranean Europe. *Scientific Reports* 7(1).
- Valette J.C., 1990. Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes: Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. *Revue Forestière Française* 42: 76–92.
- Velez R., 1990. Preventing forest fires through silviculture. *Unasylva* 162: 41.
- Verma A. M., Singh D., Dev Sharma S., Kamlesh K., 2013. Forest fire risk zonation in Raipur Range, Mussoorie Forest Division using: GIS and remote sensing technology. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research* 6: 141-150.
- Whelan R. J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Wotton B.M., Nock C.A., Flannigan M.D., 2010. Forest fire occurrence and climate change in Canada. *International Journal of Wildland Fire* 19(3): 253. DOI: 10.1071/WF09002.
- Wuerthner G., 2006. *The wildfire reader*. Ed. Island Press, by the Foundation for Deep Ecology, 440 p.
- Wu Z., He H. S., Fang L., Liang Y., Parsons R. A., 2018. Wind speed and relative humidity influence spatial patterns of burn severity in boreal forests of Northeastern China. *Annals of Forest Science* 75(3).
- WWF, 2017. *Forests Ablaze*. Causes and effects of global forest fires.
- Xiao, Jingfeng, Zhuang Q., 2007. Drought Effects on Large Fire Activity in Canadian and Alaskan Forests. *Environmental Research Letters* 2(4): 044003.
- Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F. I., 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews* 19: 333–349.