

LIDARSKE METODE U RANOM OTKRIVANJU I PRAĆENJU POŽARNIH PROCESA I NJIHOVOJ SIMULACIJI

Sanja Jevtić*

Železnička tehnička škola, Beograd

Milesa Srećković**

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

Radovan Radovanović***

Kriminalističko-policijska akademija, Beograd

Sažetak: Metode za rano otkrivanje, praćenje dinamike i nadgledanje požarnih procesa su problematika, koja pripada klasi metoda, gde se podrazumeva visoka pouzdanost, brzina detekcije i odziva. Iako postoje različiti procesi transformacije glavnih parametara požarnih procesa u cilju merenja i kvantifikacije, ipak su optičke metode (uključujući ultraljubičasti, vidljivi i infracrveni opseg) sve više u upotrebi. Laseri – kvantni generatori, u sva tri dela optičkog područja, kroz različite metode merenja parametara atmosfere ili požarne okoline, su odavno uključeni u problematiku. Metode rada su vezane za linearne i nelinearne procese, koji omogućuju različite opsege mernih nesigurnosti. Rad je posvećen, sa jedne strane, analizi savremenih optičkih metoda baziranih na lidarskim rešenjima, a sa druge, metodama simulacije i mogućnostima savremenih softverskih alata.

Ključne reči: lidar, laser, požar, simulacija.

Uvod

Predviđanje, merenje i automatsko praćenje prethavarijskih stanja sistema, kontrole okoline u atmosferi, hidrosferi, itd., rad energetskih postrojenja sa raznovrsnom prirodom transformacija energije, predstavljaju problem istraživanja

* Magistar, jevtic.sanja@gmail.com

** Redovni profesor, esreckov@etf.rs

*** Redovni profesor, radovan.radovanovic@kpa.edu.rs

mного timova. Veliki broj različitih pretvarača–detektora je uključen u senzorske sisteme, koji po potrebi prate danonoćno (24/7) rad industrijskih, energetskih i drugih sistema, okolne atmosfere (oko fabrika, postrojenja, aerodroma), itd. Prema izabranom parametru, koji se kontroliše i odabranom sistemu kontrole i ozbiljnosti situacije (brzini dejstava datog sistema za sprečavanja vanrednih situacija), postoji niz tehnika na bazi akustičkih, optičkih, mikrotalasnih ili drugih karakteristika kontrolisanih mikro i makro objekata, koji se razlikuju po dejstvu, ceni, gabaritu i dr. U poslednjih pola veka, optičke metode sa metodama koherentne optike, čini se, preuzimaju primat vezano za beskontaktnost rada, daljine delovanja i relativno jednostavnih procedura opsega delovanja (ako se radi o tipu lidarskih tehnika). U izboru sistema zaštite, važna su, celovita sagledavanja principa zaštite i optimalan izbor pri analizi mogućih rešenja za rano otkrivanje i praćenje dinamike razvoja požara. Izbor lidarske tehnike, traži dalju selekciju sondiranja, baziranih na procesima apsorpcije, rasejanja i refleksije raznih opsega elektromagnetnog zračenja. U odnosu na lidar, tematika požarnih procesa je među najvažnijim zadacima, koje danas ovi sistemi mogu i treba da ispune.

U odnosu na požar i njegove uzroke, ovakav način merenja parametara sistema (situacije u okviru požara) može da da mnogo podataka, koji se mogu iskoristiti za teoretske pristupe datoj problematici.^{4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13}

Savremena istraživanja, uključujući kosmos, hidrosferu i atmosferu imaju svoju istoriju, koja je morala da obezbedi odgovarajuće metrologije sa daljinskim tehnikama. Elektromagnetski talasi (optički i mikrotalasi) su pored akustičkih, već odavno „konkurenti“ u profilisanju atmosfere. I termovizijska posmatranja su u velikoj meri danas zastupljena.^{14, 15, 16} Od šezdesetih godina prošlog veka

4 M. Srečković, et al, Laser techniques applications in ecology, In: *Proceedings of Urbaneco*, Zrenjanin, 2012, pp. 346–367.

5 M. Srečković, et al, *Lidari, ladari, kolidari, diali*, Beograd: Foto futura, 2010.

6 U. Wandinger, Introduction to Lidar. Weitkamp C. (Ed.) *Lidar – range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, In: New York 2005, Springer, pp. 1–18.

7 A. M. Charland, *Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume*, Master's Theses, Paper 4190. Retrieved October 11th 2012, from http://scholarworks.sjsu.edu/etd_thesis.

8 R. K. Noon, *Forensic Engineering Investigation*, Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.

9 L. Petrović; R. Radovanović, Komparativni prikaz nekih biometrijskih sistema za identifikaciju i autentifikaciju u informacionim sistemima, objavljeno u: *Zbornik radova 11. savetovanja sa međunarodnim učešćem „Rizik požara, eksplozije, havarije i provale u osiguranju i organizacija sistema zaštite“*, Beograd, 2003, str. 288–293.

10 M. Srečković, et al, Eksplozivni procesi, materijali i laseri, *Zbornik Yuko Cigre*, 2005, RD1-12.

11 Lj. Mašković Lj; R. Radovanović R; I. Uroš, Modeli minimizacije gustine oblaka eksplozivno-zapaljive smeše u zatvorenom prostoru, objavljeno u: *Zbornik radova sa Međunarodnog naučno-stručnog savetovanja kriminalista „Kriminalistika u teoriji i praksi“*, Banja Luka, 2005, str. 129–141.

12 B. Đokić, et al, Simulacije u polju eksplozivnih procesa, u: *Proceedings of Infoteh*, 2008, pp. 658–662.

13 M. Zorić, R. Radovanović, Analitičke metode za identifikaciju eksploziva u forenzičkoj laboratoriji, objavljeno u: *Zbornik radova sa Drugog naučnog skupa sa međunarodnim učešćem „Pravo i forenzika u kriminalistici“*, Beograd, 2010, str. 259–269.

14 B. Simić, et. al, Savremeni problemi termovizije, *Tehnika, Elektrotehnika* 2013, 62(2), Beograd, str. 272–284.

15 J. Steffens, et. al, Remote sensing detection of atmospheric pollutants using lidar, sodar and correlation with air quality data in an industrial area, In: *SPIE Proc.*, 2011, V.8182.

16 L. Petrović; R. Radovanović, Elektromagnetno zračenje kao uzrok zagađenja životne sredine, objavljeno u: *Knjiga apstrakata konferencije sa međunarodnim učešćem „Životna sredina i ljudsko*

(1960–1970) nastupaju godine u kojima se visoka prostorna i vremenska rezolucija merenja, mogućnost praćenja atmosfere pod ambijentalnim uslovima, pokrivanje visokih opsega do preko 100km visine realizuju i postaju mogući razvojem lidarskih sistema (*lidar* – *Light Detection and Ranging*, zavisno od literature može da podrazumeva *Laser Detection and Ranging*, što se može naći i sa nazivom *ladar*; termin *ladar* se često sreće u istom kontekstu, ali za vojne primene). Interakcija elektromagnetskih talasa sa konstituentima atmosfere na bazi linearnih i nelinearnih efekata (mnogo tipova rasejanja i apsorpcije), iskorišćena je u brojnim komercijalnim lidarskim sistemima za merenje glavnih parametara atmosfere (temperatura, pritisak, vlažnost i vetar; kao i merenje tragova gasova, koncentracije uopšte, i vrste aerosola; visine, dimenzija i sastava oblaka).^{17, 18} Ove problematike su često prevazilazile nacionalne granice i postajale razvojni projekti, koji su pokrivali zajednički rad nekoliko zemalja uključujući i interkontinentalnu saradnju.

U poređenju radarskih i lidarskih mogućnosti, treba problem postavljati komplementarno, jer su različite rezolucije uređaja i brzine dejstava; a oba uređaja imaju svoje potvrđene delatnosti. Turbulentni procesi, dnevni ciklusi planetarnih graničnih slojeva, dinamika kretanja faza vode (isparavanje, kiša, sneg, padavine uopšte, raspodela ozona, vulkanske aktivnosti) su zadaci u kojima je sistem sa laserima različitih tipova u izabranoj geometriji i obradi signala preuzeo primat. Tu su uključeni i drugi meteorološki fenomeni: frontalni prolazi, uragani, planinski stojeći talasi. Uloga polarnih stratosferskih oblaka, razlikovanje vodenih i kristalnih čestica leda, dejstvo aerosola na klimu i dr. se proučava putem podataka dobijenih lidarskim tehnikama. Stratosferske perturbacije prouzrokovane vulkanskim erupcijama su paralelno praćene sa transportom interkontinentalnog zagađenja vazduha, pustinjskog peska, vulkanskog pepela, ali i požara naftnih derivata ili postrojenja na okeanu. Pored kontrole i praćenja raznih procesa, postoje laserske metode, kojima se utiče na atmosferska pražnjenja (lokalno).^{19, 20} U mezosferi je dokazano postojanje slojeva atoma i jona metala i gravitacionih talasa. U ovom radu će se posebno razmotriti uloga lidarskih sistema u ranom otkrivanju i monitoringu požara u raznim oblastima na Zemlji (u urbanim područjima, šumama, na otvorenom prostoru, objekata na vodi, itd.).

1. Lidarski sistemi (i modelovanje)

Kao monostatični ili bistatični, lidari rade sa tla, često na visokim tačkama, gde su i astronomske laboratorije, sa letelica (montirani na spejs šatlu ili samostalno), sa satelita ili vozila. Princip lidarskog sistema se zasniva na izvoru

zdravlje“, Beograd, 2005, str. 64–67.

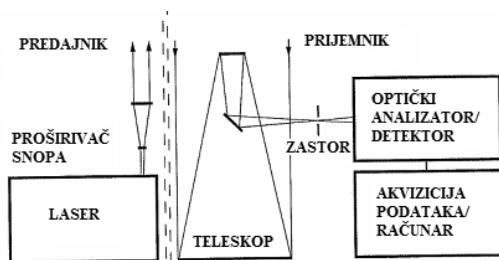
17 K. E. Bozier; G. N. Pearson, C. G. Collier, Doppler Lidar Observations of Russian Forest Fire Plumes over Helsinki. In: *Weather*, 62(8), 2007, pp. 203–208.

18 V. A. Banakh; A. V. Falits, Ground to space laser beam propagation and communication. In: *Proceedings of Laser's 2001*, 2002, pp. 172–177.

19 U. Wandinger, Introduction to Lidar, In: C. Weitkamp (Ed.) *Lidar – range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, New York: Springer, 2005, pp. 1–18.

20 M. Srećković, et al. Energetika, kvantna elektronika, nelinearna optika i laserska tehnika, u: *Energija, ekonomija, ekologija*, 5, 2009, pp. 5–17.

– laseru, detektoru i sistemu za obradu signala. Svaki od ta tri glavna dela prema izabranom zadatku ima složenije ili jednostavnije podsisteme za formiranje snopa pri emitovanju i prijemu, s tim da su neke funkcije zajedničke. U obradi podataka je nezaobilazan računar sa softverom.

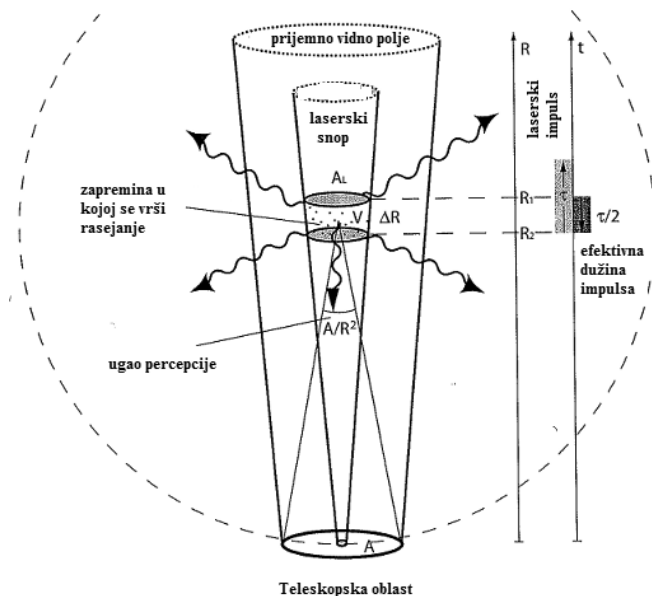


Slika 1. Principijelna postavka lidarskog sistema

Ima više podela lidara – jedna od njih podrazumeva četiri osnovne lidarske tehnike, koje koriste specifične interakcione procese emitovanog zračenja i konstituenata atmosfere:

- lidar sa elastičnim rasejanjem „unazad“,
- lidar sa diferencijalnom apsorpcijom (*DIAL – Difference absorption lidar*),
- lidar sa fluorescentnim (rezonantnim) procesima i
- Dopler-lidar (zasnovan na Doplerovom efektu).

U osnovi rada lidara su procesi rasejanja, apsorpcije i fluorescencije, ali je u nekoliko savremenih tipova uključeno mnogo nelinearnih efekata.



Slika 2. Prikaz lidarske geometrije

2. Praćenje šumskih požara Doplerovim lidarom

Opis fizičkih parametara koji definišu požar može se razmatrati sa gledišta teoretskog prilaza, sa ulaženjem u uzročnost požara, sa hemijske strane, sa administrativne strane (regulativa) i iz drugih uglova posmatranja.^{21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28} Posebno su razrađene senzorske uloge detektora dima različite prirode, kao i transfer funkcije²⁹.

Frontom šumskog požara smatra se oblast u kojoj je sagorevanje kontinualno i u kojoj se neutralan, još nezapaljen materijal susreće sa požarom. Sa kretanjem fronta zagreva se okolni vazduh, ali i potencijalna goriva materija. Ako se radi o šumama, okolno drvo se suši, ispušta zapaljive gasove i pali se. Kretanje fronta požara predzagrevanjem okolne materije, ubrzava njeno paljenje. Kada je u pitanju gusta materija (šuma), šumski požari imaju veliku brzinu širenja. Mogu se kretati i brzinama do 10,8 km/h. Kako vertikalni konvekcioni stubovi prenose zapaljene čestice (npr. od drveća sa smolama), kao i drugi zapaljeni materijal, moguć je prenos požara i preko prirodnih prepreka – putevi, potoci, reke i drugih prepreka, koje se pod drugim uslovima ponašaju kao prirodni ograničavači požara. Jedan od važnijih tipova požara se definiše kao požar u kome dinamika kretanja u požarnom stubu prevazilazi jačinu vetra, što dovodi do visokog konvekcijskog stuba i netipičnih prostiranja³⁰. Ovaj požar je u mnogo čemu suprotan požaru koji je vođen vetrom. Prema tipu požara i materijala koji gori, definišu se posebne formacije, koje se posebno proučavaju u dinamici fluida. Karakteristična je i formacija u kojoj je masa toplog gasa okružena hladnijim gasom. Tu se razvijaju procesi kretanja struje toplijeg gasa (manje gustine) vertikalno naviše. Ove se situacije dešavaju iznad izvora goriva, u plamenu.

Praćenje šumskih požara raznim tehnikama pokazalo je razvoj zone konvergencije u smeru niz vetar od konvekcionog stuba.

Tereni kompleksne strukture se prate često sa više sistema. Dinamika vetra se analizira dobijanjem podataka, putem Doplerovog procesa u raznim tačkama oko mesta žarišta na području od interesa za opis požara. Kontrolišu se koordinate tačaka u kojima se meri brzina vetra i parametri turbulencije, u smeru niz vetar.

21 M. Srećković, et al, Gasodinamički model i neki aspekti interakcije lasera sa materijalom od interesa u elektrotehnici, u: *Proc. of conference Yuko Cigre* 2001, pp. 15–02.

22 M. Srećković, et al, Methods Of Coherent And Noncoherent Optics In Powder Description In Ecology, Metallurgy And Pharmacy, In: *Proceedings of Laser's 2000*, 2001, pp. 644–651.

23 M. Srećković, et al, Eksplozivni procesi, materijali i laseri, objavljeno u: *Zbornik Yuko Cigre*, 2005, RD1-12.

24 B. Đokić et al., Simulacije u polju eksplozivnih procesa, u: *Proceedings of Infoteh*, 2008, pp. 658–662.

25 *Službeni glasnik RS*, br. 111/09.

26 *Službeni glasnik RS*, br. 44/77, 45/85, 18/89, *Službeni glasnik RS*, br. 53/93, 67/93, 48/94, 101/2005.

27 *Službeni glasnik RS*, br. 88/2010.

28 *Službeni list SFRJ*, br. 30/85, 6/89, 53/91, *Službeni list SRJ*, br. 24/94, 28/96, 68/2002.

29 Ž. Aleksić, *Analiza optičkih detektora dima transmisivnog tipa i poboljšanje pouzdanosti njihovog funkcionisanja*, Doktorska teza, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2001.

30 J. H. Scott; E. D. Reinhardt, Assessing crown fire potential models of surface and crown fire behavior. *Res. Pap. RMRS-RP-29*, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture 2001 Forest Service, Rock Research Station, 59 .

Merenja komparativno sadrže i sodarska praćenja (tabela 1)³¹.

Tabela 1. Raspored, položaj i tip uređaja za praćenje šumskog požara

Identifikacija	Geografska dužina / geografska širina (°, min, sec)	Visina [m]	Tip instrumenta / model
SODAR	37°20'41,88"S 121°41'06,78"Z	823	ASC-4000 miniSODAR
LIDAR	37°20'26,58"S 121°43'10,86"Z	492	Halo Photonics, Ltd. Stream line 75
Ridge RAWS	37°20'01,28"S 121°42'50,29"Z	836	WS/WD: RM Young 5103, T/RH: Campbell Sci.,Inc., CS-215
Valley RAWS	37°20'26,37"S 121°43'10,76"Z	491	WS/WD: RM Young 5103, T/RH Campbell Sci.,Inc., CS-215, p: Campbell Sci., Inc., CS-106
<i>In situ</i> toraњ	37°20'28,32"S 121°41'03,24"Z	783	T/RH Campbell Sci.,Inc., CS-215, WS/WD: RM Young 81000 Sonic Anemometar

RAWS – *Remote automated weather station (daljinska automatizovana vremenska stanica)*

Posmatranja treba da obezbede adekvatno praćenje kinematičke strukture i evoluciju požara u prostoru.

Razvoj zone konvergencije se prati promenama radijalne brzine, 3–5 m/s niz vetar od požara u poređenju sa brzinama u blizini požarnog fronta. Podaci se slažu sa sodarskim merenjima. Lokalne promene temperature se mogu povezati sa koncentracijama gasnih sadržaja, kao i turbulentnim mešanjima. *In situ* merenja deskripcije procesa požara prate: temperaturu, toplotni fluks, vodeni fluks i CO₂ fluks.

Komparativna studija sa više tehnika se teško postiže, jer je neophodno da se instrumenti postave u neposrednoj blizini tokom merenja. Tehnike termovizije odavno su proširile mogućnosti za makroskopsko posmatranje scene, za razliku od lidarskih tehnika skeniranja. Prikaz požarnih scena termovizijom³² i drugim tehnikama dat je na slikama 3–6.

3. Softverski modeli i lidarska praćenja

U prvom delu rada smo imali za cilj prvenstveno merne metode koje se na lidarskim osnovama bave distancionim deskripcijama raznih procesa, koji se odvijaju u atmosferi, oko nekog objekta, za praćenje prostiranja vulkanske prašine, sastav atmosfere oko velikih industrijskih kompleksa. Bazirane na aktivnim

31 A. M. Charland, *Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume*, Master's Theses, Paper 4190. Retrieved October 11th 2012, from http://scholarworks.sjsu.edu/etd_thesis.

32 J. Niederleitner, Detecting holdover fires with AGA Thermovision 750 infrared scanner, In: *Information Report NOR-X-151*, 1976.

i pasivnim principima podrazumevaju se merni procesi praćenjem vazdušne sredine (na raznim visinama zemljine atmosfere), vodenih površina (i dubinskog profila sastava vode), agrarnih površina. Posebno su interesantne primene, gde se daljinski definišu deskripcije površine zemlje (pesak, sneg,...), vrste zemlje (crvenica, crnica, ilovača...), sastav stena, itd. Stanje useva predstavlja oblast, koja već duže godina može daljinski da se prati prema parametrima kojima se opisuje biljni pokrivač, itd.

Taj deo aktivnosti je godinama praćen razvijanjem posebnih softvera kojima se predviđaju ili se putem interpretacije mernih rezultata dolazi do tačnog opisa praćene scene, dinamike procesa, polazeći od teorije rasejanja o male i velike čestice, refleksije, aerosola,...

Jedan od takvih programa je i ADDA³³, gde se predviđa širenje snopa na velikim rastojanjima, intenzitet rasejanja za višeslojne sfere, cilindre itd., ili angularna raspodela koja opet opisuje floru ili faunu (npr. larve i veći rojevi insekata).

Teorija razvoja požara i praćenje stanja požara je po važnosti nediskutabilna. Zbog toga smo drugu celinu rada posvetili, bez ulaženja u osnove teorija koji pripadaju profesionalnom prilazu požarnim procesima, samo izabranom delu softverskih alata. Predviđanja razvoja požarnih procesa primenom postojećih programskih paketa za simulaciju ima više prilaza. Jedna grupa modela za predviđanje se odlikuje nehomogenim raspodelama i vrstama gorivog materijala. Među njima se najviše koriste *BehavePlus* and *Farsite*. *BehavePlus* je deo programskog paketa koji uključuje *FlamMap*, *FARSITE* i *FSPro*. Ponašanje požara u prostoru uključuje vremenske i prostorne varijacije uslova uključene u proračune na različite načine. *FlamMap* sistem analize i mapiranja požara vrši kalkulacije za svaku tačku terena sa količinom goriva (vlage) i brzine vetra konstantnim u vremenu. Za osnovne *FlamMap* operacije svaki proračun je nezavistan od svojih *suseda*. *FlamMap* takođe uključuje mogućnost proračuna minimalnog vremena širenja požara, što je korisno kod određivanja efektivnih lokacija za preradu goriva. *FARSITE* simulator požara modeluje razvoj (*rast*) požara pod uslovima koji variraju u vremenu i prostoru. Razvoj požara u tački (piksel – tačka u vremenu i prostoru u okviru područja obuhvaćenog požarom može se posmatrati) zavisi od sistema širenja požara od susednih piksela kao i od uslova u trenutku posmatranja požarnog procesa. Korisnici moraju imati podršku GISa kako bi koristili *FARSITE* jer zahteva prostornu koincidenciju rastera terena za svoj rad. *FSPro* sistem verovatnoće širenja požara sprovodi više hiljada različitih simulacija širenja požara od vremenskih sekvenci zasnovanih na klimatskim uslovima. Dok *FARSITE* predviđa požarni perimetar na lokaciji, *FSPro* računa verovatnoću da požar dostigne svaku tačku od poznatog perimetra požara tokom specificiranog vremena simulacije.

Ovi modeli su zasnovani na empirijskim jednačinama Rotermala (klasifikacija materijala u 13 osnovnih grupa), dok neki od njih koriste i Van Vagnerove i Nelsonove modele. Zbog interakcije građevinskog materijala, vegetacijskog gorivog materijala u ruralno-urbanim sredinama precizno modelovanje nastajanje i širenje požara je bazirano na numeričkoj dinamici fluida. Programski paket

33 M. Srećković; S. Jevtić; Ž. Tomić, *Rasejanje laserskih snopova, formalizmi i računarske i inženjerske podrške za interpretacije karakteristika materijala i procesa*, Infotech, 2014.

WFDS (*Wildland-Urban Fire Dynamic Simulator*) je ekstenzija strukturnog FDS simulatora, koja pokriva goriva koja uključuju vegetaciju. Radi se o simulaciji vrtloga LES *Large Eddy Simulation*. Za razliku od *BehavePlus* i *Farsite* (empirijskog i poluempirijskog tipa) model zahteva više računarskog vremena i resursa. U tom kontekstu ALOFT-FT je samo preteča i ogranak LES simulacije.

Razvijen je veliki broj modela (free software) za dinamički opis nastajanja i evolucije požara u raznim okruženjima i različitim preduslovima, kao i za praćenje različitih procesa vezanih za uslove požara, uzroke požara i prevenciju.^{34, 35, 36} Poznati su Aloft, Fpetool, Aft, Ascoss, Asetb, Asmet, Break, Ccfm, Detact, Elvac, First, Lavent...

ALOFT-FTTM (*A Large Outdoor Fire plume Trajectory model – Flat Terrain*). U osnovi ove aplikacije je simulaciona tehnika, koja se koristi za simulaciju dinamike požarnog stuba, gonjenog vetrom u slučaju velikih požara na otvorenom. Stubovi mogu da se vežu i do visine 1 i 2 km u atmosferi i da opstanu kao kohezivne strukture desetina kilometara. Na slici 3 i slici 4 su fotografije konkretnog požara za koji je kasnije izvršena simulacija (slika 5)³⁷.

Interesantni su i požarni opisi u polarnim predelima predstavljeni na slikama 7a i 7b. Na slici 7b su predviđanja ALOFT modela.

ALOFT model je dalje usavršen i za kompleksne planinske terene. Glavni problem je postizanje visoke rezolucije i pri nepovoljnim uslovima, koji su vezani za male meteorološke vidljivosti ili druge prirodne nepogode. Veliki požari sa naftnih terena i oblasti sa dimom su karakteristični ambijenti, koji treba da se prepoznaju po svojstvenim parametrima i pretoče u korisne delove specifičnih interfejs programa, koji se dodaju osnovnim modelima, tj. algoritmima.

Validacija ALOFT-a je vršena eksperimentalno gde su posebno važna lidarska merenja preseka požarnog stuba, kao i merenje nivoa CO₂ u realnom vremenu. Ovo ALOFT čini posebno zanimljivim. Sama merenja nisu korišćena za kalibraciju modela već samo za ocenu njegove tačnosti. Nesigurnost ALOFT modela je uglavnom posledica nesigurnosti u meteorološkim uslovima i brzine požarne emisije. Jednostavnije korelacije rezultata ALOFT modela ne mogu se dobiti za slučajeve komplikovanog terena jer je u tom sistemu preveliki broj stepeni slobode (što otežava i njegovu spregu sa GIS-om).

34 S. Živanović, Modelovanje pravca širenja šumskog požara, objavljeno u: *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, Beograd: Kriminalističko-policijska akademija, 17(2), 2012, str. 163–171.

35 M. Blagojević; R. Radovanović; S. Roganović, Forenzička istraživanja kratkog spoja kao uzroka požara, objavljeno u: *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, 1, Beograd, 2012, str. 79–96.

36 Lj. Mašković; R. Radovanović; I. Bjelovuk, Prevencija eksplozija i požara u objektima mogućih terorističkih napada, objavljeno u: *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, 1. Beograd, 2009, str. 1–21.

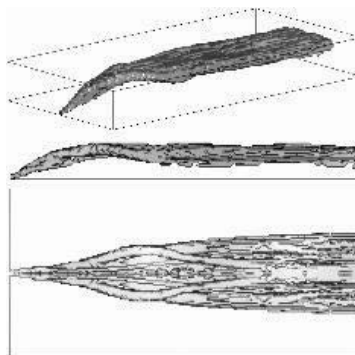
37 National Institute of Standards and Technology, 1997, Software retrieved on October 11th 2012 from <http://www.fire.nist.gov/fire/aloft/>.



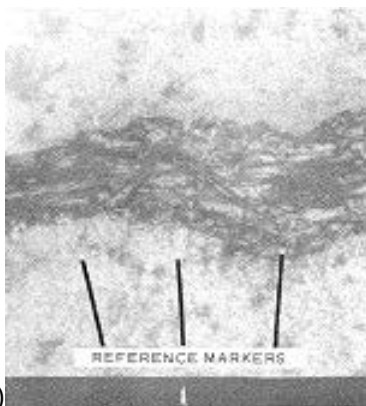
Slika 3. NOBE eksperimenti požarnog procesa (*Newfoundland Offshore Burn Experiment*).



Slika 4. Pojava vrtloga kao ključna karakteristika strukture i dinamike požara¹.



Slika 5. Simulacija ALOFT modelom u oblasti od 1 km x 4 km x 8 km (HxWxL).



a)



b)



c)



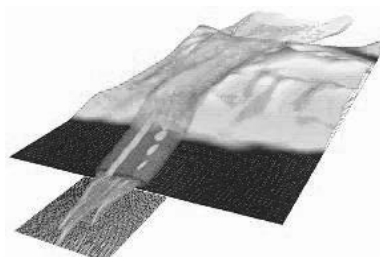
d)

Slika 6. Termovizijski testovi (Niederleitner, 1976): a) crno-bela fotografija (infracrvenog zapisa na filmu), b) termogram iste površine sa altitude 33m, c) termogram iste scene nakon 0,5h, d) termogram sa 50 m altitude iste oblasti sa redukovanom osetljivošću skeniranja (radi uočavanja žarišta – rezervoari sa užarenim ugljenim briketima).

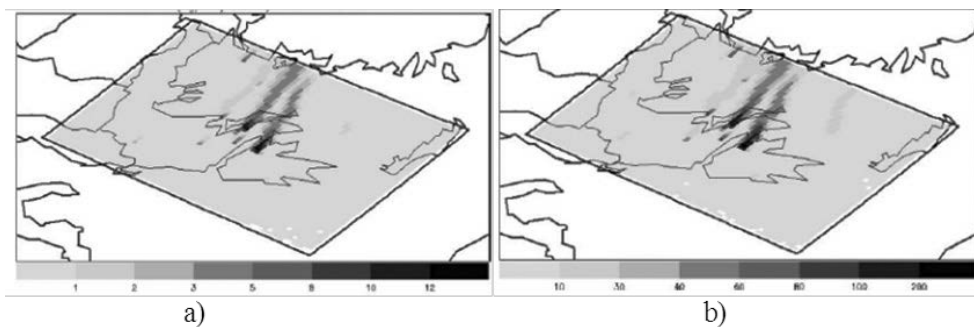
Podaci sa evropskog kontinenta u oblastima poznatim po šumskim požarima su dati na slikama 8 i 9 i pokazuju proračune koncentracije PM i CO za specifično izabrane uslove šumskog požara ³⁸. Tabela 2 prikazuje statistiku šumskih požara u Grčkoj u periodu od skoro 50 godina.



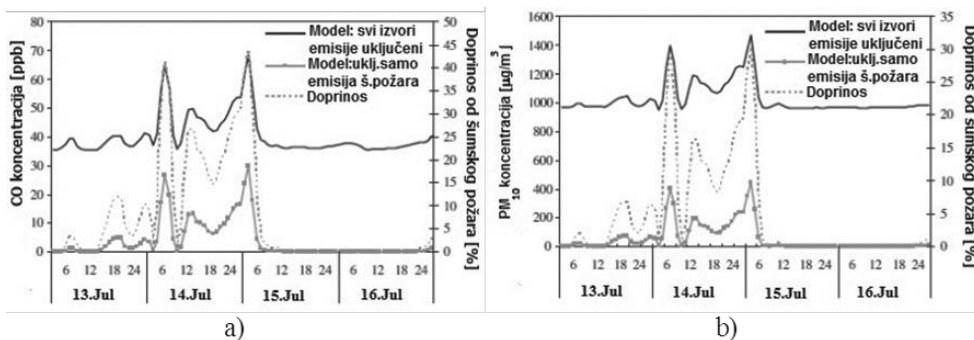
Slika 7a. Požarni proces na sloju ulja blizu naftne mrlje (Valdez, Aljaska).



Slika 7b. Uticaj kompleksnog terena kombinovan u ALOFT model pri predikciji požarnog stuba.



Slika 8. Proračun koncentracije a) PM2.5 i b) CO 13. jula 2000 (15h UTC) u najnižem sloju modela za scenario br. 2 (u slučaju da postoji samo emisija koja je posledica šumskog požara) .



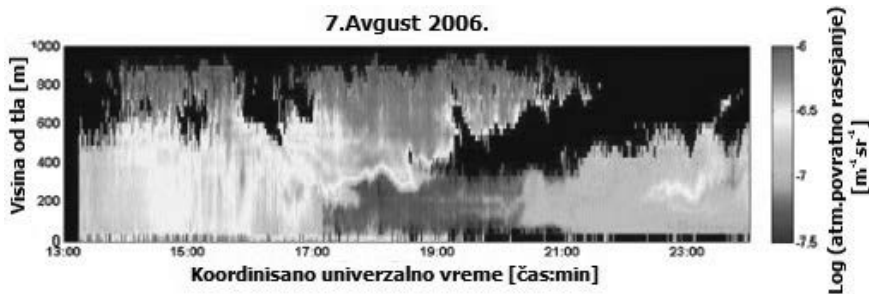
Slika 9. Izračunate koncentracije u najnižem nivou modela za period 13-16 jul 2000. u oba scenarija 1) Uključujući sve izvore emisije i 2) samo emisiju usled šumskog požara) za a) CO i b) PM10.

38 M. Lazaridis, et al, Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece, In: *Air Qual. Atmos. Health*, 1, Springer, 2008, pp. 143–158.

Slika 10 prikazuje seriju lidarskih merenja za specifičan slučaj. Šumski požari na severozapadu Rusije su usloveli povećanje koncentracije čestica u vazduhu, čime je značajno ugrožen smanjen kvalitet vazduha na severu Finske tokom niza nedelja. Kao posledica istočnih i jugoistočnih vetrova, stubovi dima su se protezali preko Finskog zaliva i dosegali istočnu i južnu Finsku.^{39, 40}

Tabela 2. Šumski požari u Grčkoj u periodu od 1960 – 2003⁴¹.

Godina	Broj požara na otvorenom	Izgorela površina [km ²]	Sr. vr. izgorele površine po požaru [km ²]
1960–1969	7 240	1 238	0,17
1970–1979	7 534	2 038	0,20
1980–1989	12 653	5 242	0,39
1990	1 091	338,8	0,31
1991	1 118	212,3	0,19
1992	1 815	420,0	0,23
1993	2 417	470,0	0,19
1994	2 074	540	0,26
1995	1 572	251,9	0,16
1996	1 757	229,0	0,13
1997	2 271	496,2	0,22
1998	605	583,8	0,97
1999	513	42,9	0,09
2000	1 469	991,7	0,68
2001	1 313	167,7	0,13
2002	572	34,3	0,06
2003	622	0,5	0,05
Sr. vr. (period)	1 291	333	0,22



Slika 10. Vremenska serija lidarskog merenja atmosferskog rasejanja unazad 7. avgust 2006, u vremenskom periodu 13:00 do 23:59. Prikazan je zapis atmosferskog rasejanja unazad. Vertikalna osa prikazuje visinu iznad tla (m), a horizontalna koordinisano univerzalno vreme (UTC). (Područje Helsinkija – posledica požara u Rusiji).

39 K. E. Bozier; G. N. Pearson; C. G. Collier, Doppler Lidar Observations of Russian Forest Fire Plumes over Helsinki. In: *Weather*, 62(8) 2007, pp. 203–208.

40 V. A. Banakh; A. V. Falits, Ground to space laser beam propagation and communication. In: *Proceedings of Laser's 2001, 2002*, pp. 172–177.

41 M. Lazaridis, Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece. In: *Air Qual. Atmos. Health*, 1, Springer 2008, pp. 143–158.

Zbog svoje jednostavnosti i dobre predikcije procesa požara ALOFT-FT je izabran za analizu u ovom delu rada. Pošto se bavi procesom požara na otvorenom (ravnom) terenu još je jasnija i jednostavnija lidarska podrška u ovim uslovima, što znatno ojačava spregu ove dve metode. U procesu realnog požara koordinacija svih aktivnih timova na terenu može biti znatno olakšana adekvatnom predikcijom (sa promenom parametara u realnom vremenu) i sistemima za praćenje, čiji je osnovni cilj korekcija predikcije. Sprega ove dve metode bi trebala da bude forma softverskog interfejsa koji bi realne podatke sa terena pretvarao u inkrement/dekrement parametra koji služe za predikciju. Ako se ovo posmatra sa analogijom na mreže, sistem bi mogao da se realizuje kao nepretrenirana neuralna mreža.

Za potrebe modelovanja često se bira pravougaona geometrija područja zahvaćenog požarom. Moguća su i paralelna razmatranja nekoliko istovremenih žarišta požara, koja se definišu koordinatama požara. Ovakav pristup je složeniji od prosečnih modela. Softver se razvija za požare na otvorenom i ravnom terenu. Vrš se predikcija procesa u požaru naftnih mrlja ali i bazena na otvorenom. Sa mogućnostima koje pruža (uključivanje u proračun više manjih požara, karakteristike gorive materije,..), šumski požar je moguće razložiti na područja različite nadmorske visine i koordinata, gde se vodi računa o karakterističnoj vrsti drveća za područje za koje se vrši proračun (zimzeleno drveće, smola, ..).

Sistemi prevencije, praćenja i borbe protiv svih, pa i šumskih požara tokom godina se stalno razvijaju; postoje i pravci kontraverznih metoda kontrolisanja požara (širenje požara u pogodnim pravcima, paljenje manjih šumskih površina da bi se onemogućilo širenje požara u drugim smerovima).

Zaključak

U problematici modelovanja požara, kod nas postoji dosta aktivnosti različite prirode. Problematika je multidisciplinarna i pripada klasi aktivnosti, koje zahtevaju višenacionalna razmatranja. Radi se na sistemima senzora, elektronskoj zaštiti itd., ali se čini da je potrebno razviti dalje veliki broj potrebnih programskih interfejsa za potrebe modelovanja u različitim geografskim područjima Srbije (uključujući tipske preduslove kao što su depresije, mikroklima i sl.). Razvijanje tehničke podrške sistema za rano praćenje požara pripada široj klasi problema, kakvo je lidarsko praćenje ciljnih objekata (u atmosferi, hidrosferi i sl.).

Dalji razvoj bi podrazumevao da se kreće od složenijih modela (sistema jednačina), a da se kroz parametre zadate u softveru definiše specifični slučajevi (tj. pojednostavljenje modela). Softveri, u stanju da adekvatno prikažu posledice požara, njihovu dinamiku i procese tokom trajanja, u kombinaciji sa lidarskim tehnikama, koje su u stanju da ih aktivno prate tokom realnih situacija, su višestruko korisni u akcijama kontrole, gašenja i proaktivnog odlučivanja u akcijama.

Literatura

1. Aleksić, Ž; *Analiza optičkih detektora dima transmisivnog tipa i poboljšanje pouzdanosti njihovog funkcionisanja*, Doktorska teza, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2001.
2. Blagojević, M; Radovanović, R; Roganović, S; Forenzička istraživanja kratkog spoja kao uzroka požara, *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, 1, Beograd: Kriminalističko-policijska akademija, 2012.
3. Banakh, V. A; Falits, A. V; Ground to space laser beam propagation and communication. *Proceedings of Laser's 2001*, 2002.
4. Bozier, K. E; Pearson G. N; Collier, C. G; Doppler Lidar Observations of Russian Forest Fire Plumes over Helsinki. *Weather*, 62(8), 2007.
5. Charland, A. M; *Doppler Wind Lidar Observations of a Wildland Fire Plume*, Master's Theses, Paper 4190. Retrieved October 11 2012, from http://scholarworks.sjsu.edu/etd_thesis.
6. Đokić, B; Srećković, M; Dinulović, M; Radovanović, R; Tomić, Ž; Zarubica, V; Đurđević, A; Karastojković, Z; Simulacije u polju eksplozivnih procesa, *Proceedings of Infoteh*, 2008.
7. Lazaridis, M; Latos, M; Aleksandropoulou, V; Hov, Ø; Papayannis A; Tørseth K; Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece, *Air Qual, Atmos. Health*, 1, Springer, 2008.
8. Mašković, Lj; Radovanović, R; Uroš, I. Modeli minimizacije gustine oblaka eksplozivno-zapaljive smeše u zatvorenom prostoru, *Zbornik radova sa Međunarodnog naučno-stručnog savjetovanja kriminalista „Kriminalistika u teoriji i praksi“*, Banja Luka, 17–18. novembar 2005, Banja Luka, 2005.
9. Mašković, Lj; Radovanović R; Bjelovuk, I; Prevencija eksplozija i požara u objektima mogućih terorističkih napada, *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, 1. Beograd: Kriminalističko-policijska akademija, 2009.
10. *National Insitute of Standards and Technology, Software*, 1997, retrieved on October 11th 2012, from <http://www.fire.nist.gov/fire/aloft/>.
11. Niederleitner, J; Detecting holdover fires with AGA Thermovision 750 infrared scanner. *Information Report NOR-X-151*, 1976.
12. Noon, R. K; *Forensic Engineering Investigation*, Boca Raton: CRC Press LLC, 2001.
13. Petrović, L; Radovanović R; Komparativni prikaz nekih biometrijskih sistema za identifikaciju i autentifikaciju u informacionim sistemima, *Zbornik radova 11. savetovanja sa međunarodnim učešćem „Rizik požara, eksplozije, havarije i provale u osiguranju i organizacija sistema zaštite“*, Dunav Preving, Beograd, 2003.
14. Petrović, L; Radovanović, R; Elektromagnetno zračenje kao uzrok zagađenja životne sredine, *Knjiga apstrakata konferencije sa međunarodnim učešćem „Životna sredina i ljudsko zdravlje“*, Društvo za širenje nauke i prakse u zaštiti životne sredine SCG „Ecologica“, Fakultet za fizičku hemiju, Privredna komora Srbije, Privredna komora Beograda, Beograd, 2005.

15. Scott, J. H; Reinhardt, E. D; Assessing crown fire potential models of surface and crown fire behavior, *Res. Pap. RMRS-RP-29*, Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rock Research Station, 59, 2001.
16. Simić, B; Knežević, D; Srećković, M; Nikolovski, D; Savremeni problemi termovizije, *Tehnika, Elektrotehnika*, 62(2), 272–284, 2013.
17. Srećković, M; Gospavić, R; Babić, S; Milosavljević, A; Bugarinović, A; Nemeš, K; Cvetanović, S; Gasodinamički model i neki aspekti interakcije lasera sa materijalom od interesa u elektrotehnici. *Proc. of conference Yuko Cigre*, 15–02, 2001.
18. Srećković, M; Jevtić, S; Tomić, Ž; *Rasejanje laserskih snopova, formalizmi i računarske i inženjerske podrške za interpretacije karakteristika materijala i procesa*, Infotech, 2014.
19. Srećković, M; Kovačević, A; Milosavljević, A; Ostojić, S; Jevtić, S; Knežević, D; Energetika, kvantna elektronika, nelinearna optika i laserska tehnika, *Energija, ekonomija, ekologija*, 5, 2009.
20. Srećković, M; Latinović, Z; Knežević, D; Milanović, Đ; Stević, Z; Jevtić, S; Tomić, Ž; Družijanić, D; Laser techniques applications in ecology, *Proceedings of Urbaneco*, Zrenjanin, 2012.
21. Srećković, M; Ostojić S; Milutinović-Nikolić A; Dukić M; Kajkut S; Babić S; Sekulić R; Methods Of Coherent And Noncoherent Optics In Powder Description In Ecology, Metallurgy And Pharmacy, *Proceedings of Laser's 2000*, 2001.
22. Srećković, M; Pavlović M; Vejnović Z; Ostojić S; *Lidari, ladari, kolidari, diali*. Beograd: Foto futura, 2010.
23. Srećković, M; Ristić, S; Družijanić, D; Milić, S; Gospavić, R; Radovanović, R; Đokić, B; Eksplozivni procesi, materijali i laseri, *Zbornik Yuko Cigre*, RD1-12, 2005.
24. Steffens, J; Da Costa, R. F; Landulfo, E; Guardani, R; Moreira Jr. P. F; Held, G; Remote sensing detection of atmospheric pollutants using lidar, sodar and correlation with air quality data in an industrial area. *SPIE Proc.*, v. 8182, 2011.
25. Wandinger, U; Introduction to Lidar. In: Weitkamp C (Ed.); *Lidar – range-resolved optical remote sensing of the atmosphere*, New York: Springer, 1–18, 2005.
26. *Zakon o eksplozivnim materijama, zapaljivim tečnostima i gasovima*, „Službeni glasnik RS“, br. 44/77, 45/85, 18/89, „Službeni glasnik RS“, br. 53/93, 67/93, 48/94, 101/2005.
27. *Zakon o prometu eksplozivnim materijama*, „Službeni list SFRJ“, br. 30/85, 6/89, 53/91, „Službeni list SRJ“, br. 24/94, 28/96, 68/2002.
28. *Zakon o transportu opasnog tereta*, „Službeni glasnik RS“, br. 88/2010.
29. *Zakon o zaštiti od požara*, „Službeni glasnik RS“, br. 111/09.
30. Zorić, M; Radovanović, R; Analitičke metode za identifikaciju eksploziva u forenzičkoj laboratoriji, *Zbornik radova sa Drugog naučnog skupa sa međunarodnim učešćem „Pravo i forenzika u kriminalistici“*, Kriminalističko-policijska akademija, Beograd, 259–269, 2010.
31. Živanović, S; Modelovanje pravca širenja šumskog požara, *NBP Žurnal za kriminalistiku i pravo*, Beograd: Kriminalističko-policijska akademija, 17(2), 163–171, 2012.

LIDAR METHODS IN EARLY DETECTION AND MONITORING OF FIRES AND COMPUTER BASED SIMULATION

Sanja Jevtic

Railway Technical School, Belgrade

Milesa Sreckovic

Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade

Radovan Radovanovic

The Academy of Criminalistics and Police Studies, Belgrade

Summary: Methods for early detection, dynamics monitoring and surveillance of fire processes are topics which belong to the method class where high reliability, detection rate and response imply. Although various transformation processes exist for measuring and quantification of the principal parameters of fire processes, the use of optical methods (including ultraviolet, visible and infrared ranges) is increasing. Laser – quantum generator in all three parts of optical range through various measurement methods of real atmospheric parameters or fire environment are for a long time included in this area. Operation methods are related to linear and nonlinear processes enabling different ranges of measurement uncertainty. This paper is on one hand, dedicated to the analysis of up-to-date optical methods based on lidar solutions and on the other to simulation methods and possibilities of modern software tools.

Keywords: lidar, laser, fire, simulation.