

**PREGLED UPOTREBE PASIVNIH SENZORSKIH SUSTAVA U  
DETEKCIJI I BORBI PROTIV ŠUMSKIH POŽARA**

**OVERVIEW OF PASSIVE SENSOR SYSTEMS IN THE DETECTION  
AND SUPPRESSION OF WILDFIRES**

*Pregledni naučni članak*

*Amer Smailbegović\**

*Sažetak*

*Pregledni rad ukazuje na pojedina tehnička dostignuća na poljima detekcije i praćenja požara uz upotrebu novih multi-senzorskih pasivnih sistema za nadzor koji se daju primjenjivati sa zemlje ali i iz zraka. Koristeći osnovne elemente požara (svjetlost, dim, toplina), moderni senzori koji rade na principu foto-čelija ili detektora-topline mogu raspoznati požare sa velike udaljenosti i omogućiti njihovu ranu detekciju, smjer i rasprostranjenost kao i efikasnost primijenjenih metoda suzbijanja.*

*Većina požara u BiH je često u nepristupačnim brdsko-planinskim terenima, u nesigurnim zonama koja su minirana ili preopasna za pristup kao i za same procedure gašenja požara, stoga djelovanje iz zraka ostaje kao preferirana opcija. Navedeni senzorski sistemi se daju prilagoditi prema potrebama i mogućnostima raznih organizacija i mogu imati značajne prednosti u suzbijanju požara, pogotovo unutar kompleksnog operativnog prostora kao što je to BiH. Upotreba navedenih senzorskih rješenja posebno treba biti u razmatranje prilikom planiranja i nabavke sredstava za nadzor i gašenje iz zraka kao što je to navedeno unutar ranijih studija. Uz relativno mala ulaganja u nabavku opreme i obučavanje stručnog kadra, procedure i pristupi u borbi sa požarima mogu biti značajno poboljšani i na različitim razinama borbe protiv požara.*

*Ključne riječi: osmatranje, pasivni senzori, detekcija požara, infracrveno, šumski požari.*

---

\* NVO DTCare Sarajevo, e-mail: amer@dtcare.org,

*Abstract*

*The report presents an overview of certain technical advances in the realm of wildland fire detection and monitoring with the use of new multi-sensor passive surveillance systems that can be land-based or airborne. Using the basic observable signatures of fire (light, smoke, heat), modern photocell or heat-sensing infrared detectors can spot fires from a considerable distance and allow for their early detection, sense of direction and spread as well as the effectiveness of applied suppression methods.*

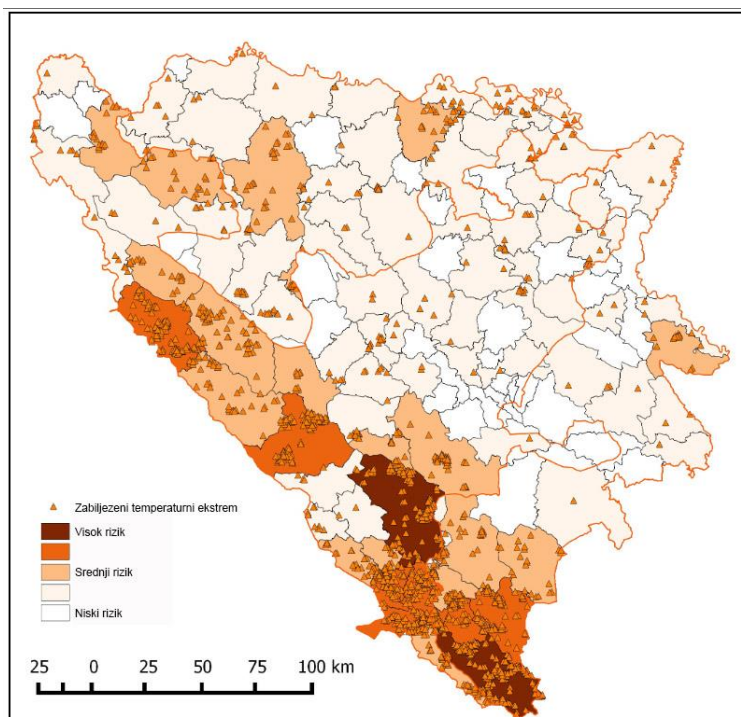
*Most fires in Bosnia-Herzegovina are often in an inaccessible and rugged, mountainous terrains, frequently in unsafe areas that are mined, littered with unexploded ordnance or are otherwise too dangerous for access and any firefighting procedures, hence the aerial action remains the preferred option. Described sensor systems can be adapted to the requirements and capabilities of various organizations and can offer significant advantages in firefighting, especially within a complex operating environment such as BiH. The use of infrared sensors should be particularly considered when planning for and procuring aerial surveillance and suppression equipment as described in the previous studies. With relatively little investment in equipment procurement and training, firefighting procedures and approaches can be significantly improved at various levels of the organizational command chain.*

*Key words: reconnaissance, passive sensors, fire detection, infrared, wildfires*

## 1. UVOD

Kao i većina zemalja u svijetu, i Bosna i Hercegovina (BiH) se suočava s posljedicama klimatskih promjena; jedna od tih promjena je sve veći broj požara, posebice u pojasu srednjih Dinarida (Gigović, et al. 2018). Vrijeme, klima, stanje, zdravlje i sastav vegetacije kao i razni ljudski faktori imaju bitnu ulogu u režimima pojave i upravljanja požarima. Iznad-prosječne proljetne i ljetne temperature kao i manje sezonskih oborina umnogome povećavaju opasnost od požara (Draskovic, et al. 2020). Uzimajući u obzir i izazovne političke, društvene i organizacione elemente karakteristične za upravljanje krizama u BiH kao i sve izraženije manifestacije klimatskih promjena, vrlo je vjerojatno da će šteta i obim koju uzrokuju požari biti još veća (Smailbegovic

and Korajlic 2021). Ovaj rad ukazuje na specijalizirana tehnička dostignuća na poljima detekcije požara uz upotrebu novih multispektralnih i hiperspektralnih senzorskih sistema koji se daju primjenjivati sa zemlje ali i iz zraka.



*Slika 1 – Mapa rizika od požara za BIH (UNDP 2016)*

### *Tehnologija*

Tehnologija opisana u ovom radu aktivno se primjenjuje zadnjih tridesetak godina (Barmpoutis, et al. 2020) koristeći pojedine dijelove elektromagnetnog spektra osjetljivim na pojave koje su karakteristične za požare (vatra, dim, toplina, vegetacijski stres, zgarište) putim kojih se da uočiti, pratiti, suzbijati i eventualno oporaviti regiju od posljedica požara (Bright, et al. 2019). Pasivni senzorski sistemi se najbolje mogu opisati kao vid uznapredovanih digitalnih kamera koje omogućavaju simultano snimanje više talasnih dužina elektromagnetnog spektra i kroz posebnu digitalnu obradu podataka daju uočiti posebne parametre koji su karakteristični za cilj koji se osmatra (Ma 2021). Prvobitna upotreba ovih senzora je bila snimanjem sa satelita (Allison, et al. 2016) i koristila se prvenstveno za prognoziranje

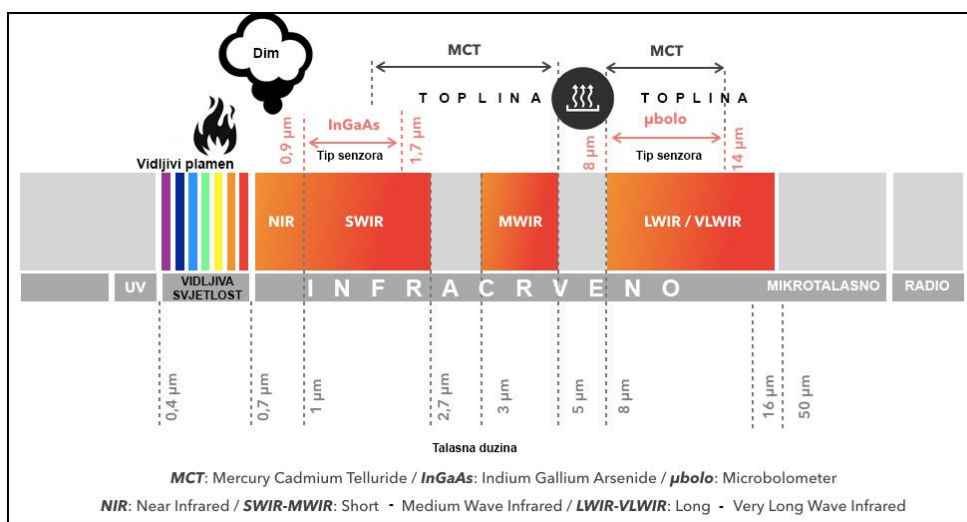
opasnosti od požara koristeći mogućnost detekcije područja koja su podložna gorenju, a prvenstveno kroz kartiranje vegetacijskog stresa ili suhe vegetacije (Maffei, Lindenbergh and Menenti 2021). Glavni nedostatak je bila nemogućnost pristupa, obrade i korištenja podataka u stvarnom vremenu zbog raznih tehnoloških ograničenja u prikupljanju, obradi, analizi i upotrebi podataka (Barmpoutis, et al. 2020). Iz tih razloga, fokus je stavljen na upotrebu senzora na letjelicama ali i sa zemlje gdje je mogućnost pristupa podacima i njihovoj operacionalizaciji bila daleko lakša (Ambrosia, et al. 2011). Napredovanjem algoritama za automatsku obradu podataka, ekstrapolaciju ključnih informacija iz snimaka i njihovu horizontalnu integraciju sa drugim podacima, pogotovo u zadnjih par godina omogućilo je pravu revoluciju na poljima upotrebe senzora u detekciji požara (Szapkowski and Jensen 2019).

Većina pasivnih senzorskih sistema koji se koriste danas na satelitima, iz zraka ili sa zemlje za osmatranje i daljinsku detekciju su bazirani na sistemima foto-ćelija ili fotonskih detektora energije ali se sve više koriste i toplinski detektori koji registriraju promjene temperature. U biti oba ova tipa detektora pretvaraju infracrvenu energiju i zračenje u električni signal unutar senzora, a razlike u djelovanju su rezultat njihovih različitih fizičkih senzorskih mehanizama koji primaju ulaznu energiju u senzor. Fotonski detektori stvaraju električne signale kao izravan rezultat apsorpcije fotona na određenim talasnim dužinama, dok termalni detektori snimaju električna svojstva materijala vezanih za fizičke promjene i manifestacije emitirane energije ovisnih o temperaturi. Odabir primjene, načina i prednosti jedne metode detekcije (ili senzora) u odnosu na druge vidove detekcije imaju za krajnji rezultat i uspjehe u mogućnostima detekcije pojedinih požara. Treba povesti računa da je raspoloživost date tehnologije, neophodna infrastruktura ali i cijena izabranog modaliteta osmatranja ujedno uzrokovana i cijenom jer su termalni senzori obično 3X skuplji od fotonskih infracrvenih detektora (Allison, et al. 2016).

## 2. SPEKTRALNE KARAKTERISTIKE POŽARA

Postoji širok raspon senzorskih sistema za detekciju infracrvenog zračenja, gdje se ujedno i manifestiraju glavne karakteristike vatre. Bliski infracrveni (NIR) i kratko-talasni infracrveni (SWIR) senzori prvenstveno detektiraju odbijenu svjetlost te su njihove sposobnosti uglavnom bazirane ka detekciji dima ili se koriste u zračnim operacijama noću kad svjetlost igra presudnu ulogu. Većina detekcijskih tehnika namijenjenih otkrivanju

toplotnog signala požara temelji se na srednjem dijelu infracrvenog spektra (MWIR) i termalnom dijelu (TIR) spektra. Iako dim može biti znak za detekciju, on također može prikriti vidljivost kao i rasprostranjenost plamena (u vidljivom dijelu spektra), što daje mogućnosti upotrebe drugih dijelova spektra, jer su SWIR/MIR/TIR dijelovi spektra prozirni za dim, što omogućuje snimanje samog žarišta. Ovo može biti korisno svojstvo u praćenju aktivnih požara i traženju tačnih lokacija ili propagaciji požara. Posebna prednost termalnih senzorskih sistema, u usporedbi sa drugim infracrvenim sensorima kraće talasne dužine je da je dinamički raspon digitalnog signala ograničen (odbljesak od vatre nije dovoljno jak da prezasi fotonaponske detektore termalnog senzora), što olakšava snimanje i požara i pozadine bez navedenog zasićenja senzora (Allison, et al. 2016).



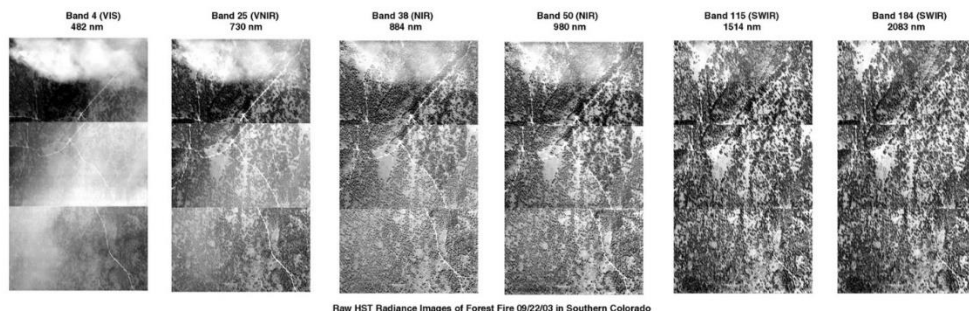
Slika 2 – Elektromagnetni spektar i elementi požara – NIR (bliski), SWIR (kratki), MWIR (srednji), V-LWIR (dugi/vrlo-dugi) prostor infracrvenog područja elektromagnetnog spektra

Prema raspoloživoj tehnici i rezoluciji senzora, elementi raspoznavanja požara putem senzorskih sistema se mogu klasificirati u četiri osnovne kategorije i načine raspoznavanja:

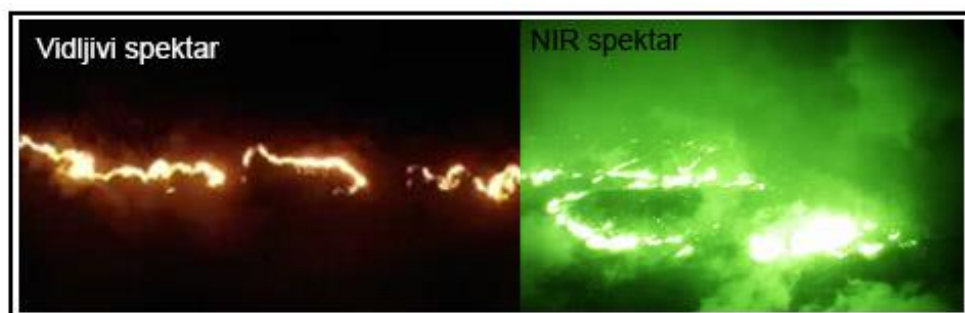
1. Svjetlost (vatra, svjetlucaje) – Ove karakteristike se uglavnom promatraju u vidljivom dijelu spektra uz pomoć kamera visoke rezolucije koje su kalibrirane da uoče pojave plamena u crvenom i žutom dijelu spektra. Također, koriste se i sistemi za pasivno noćno

osmatranje sa pojačivačem svjetlosti (sistemi za noćno osmatranje) koje uglavnom funkcioniraju u bliskom infracrvenom području (NIR). Zbog dima, koji nije transparentan u ovom dijelu spektra, ovi senzori (samostalno ili kao dio integriranog senzora) se koriste uglavnom kao podrška i verifikacija detekcije požara putem drugih sistema. Noćno osmatranje putem NIR senzora također ima određene prednosti jer omogućava bolje sagledavanje površine zahvaćene požarom jer pojačava emitovanu svjetlost koja dopire do osmatrača.

2. Dim – Dim predstavlja prepreku u vidljivom i blisko-infracrvenom području spektra tako da se koriste veće talasne dužine kako bi se uspješno prodrlo kroz dimnu barijeru. Požari koji emituju gust dim (pogotovo crni dim) zahtijevaju evaluaciju uz pomoć kratkotalasnih ili termalnih senzorskih sistema. Dim, sam po sebi, je obično prva pojava koja se vidi sa udaljenosti i do 30 km te je ujedno i jedan od prvih indikatora koji se da uočiti ili vizualno ili putem automatizirane platforme za rano upozoravanje sa zemlje.
3. Toplina – Toplina je glavna manifestacija požara i ona se uspješno detektuje u termalnom dijelu infracrvenog spektra, međutim javlja se određena problematika u razaznavanju ciljane regije (i pozadine) koja je zagrijana od sunca, što je poseban problem u ljetnim mjesecima tako da može doći do lažnih pozitivnih rezultata.
4. Paljevina (pozadina) – Spaljeni dio se obično manifestira kao tamna površina na vidljivim sensorima sa vrlo malo reflektiranog signala (zbog spektralnih karakteristika paljevine), dok unutar termalnih dijelova spektra, tamna boja će upijati sunčevu energiju i manifestirati se kao toplija površina od nespaljene površine. Obje karakteristike se daju iskoristiti u snimanju stanja kako bi se okarakterizirala i sanirala površina koja je bila zahvaćena požarom, procijenilo oštećenje zone (npr. koliko je vegetacije ili struktura uništeno požarom i u kojoj mjeri) te ukoliko dolazi do erozije tla.



Slika 3 – Dim promatran iz vidljivog dijela spektra (450 nm) do infracrvenog (2083 nm) putem zračnog senzora HyperSpecTIR; već u bliskom infracrvenom području (od 980 nm), dim postaje transparentan.



Slika 4 – Usporedba osmatranja požara u vidljivom i NIR dijelu spektra za vrijeme noćnog osmatranja terena – pojačivač svjetlosti ukazuje na rasprostranjenost žarišta.

### 3. OSMATRAČKE PLATFORME

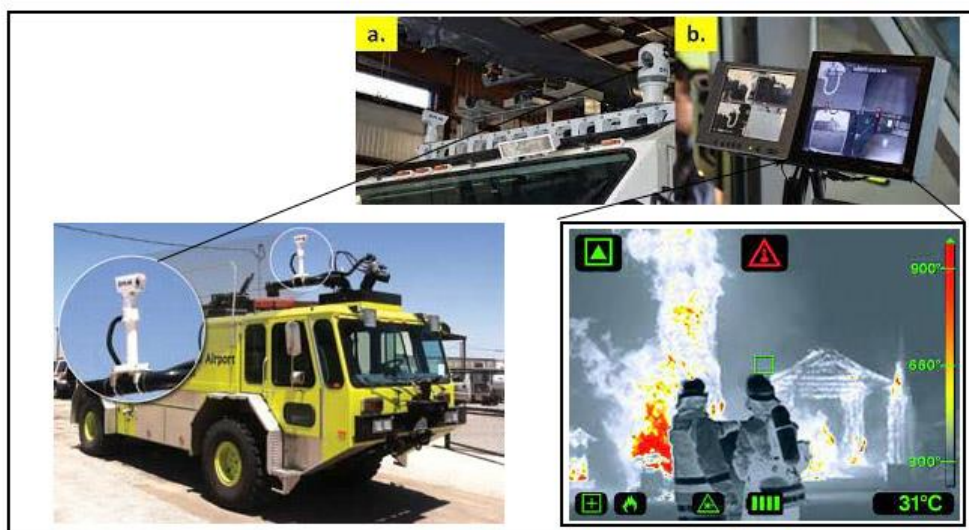
U zavisnosti od terena, veličine požara kao i drugih materijalno-tehničkih resursa, pasivni senzori mogu biti montirani na različite platforme, od kojih su neke stacionarne i automatski prate stanje neke regije (služe kao automatizovana zamjena za osmatrača u tornju za osmatranje) a druge se koriste prema potrebi i mobiliziraju za djelovanje na terenu.

*Platforme za rano upozoravanje.* Platforme za rano upozoravanje su obično ustanovljene kao automatizovani, integrirani sistem osmatranja i dojava kojim se obavlja stalni monitoring određene regije koja je u stalnom riziku od požara. Ovi sistemi trebaju da imaju relativno razvijenu infrastrukturu koja bi omogućila mjesto za osmatranje, automatizovani ili polu-automatizovani senzor koji stalno nadgleda zadatu regiju i traži uočljivi



signal koji bi dao indikaciju da se radi o požaru (npr. dim, toplina) te komunikacijski sistem i proceduru dojave kada i ako se potvrdi pozitivan signal na senzoru (Sousa, Moutinho and Almeida 2020).

*Vozila.* Pasivni senzori na vozilima su postali gotovo uobičajena oprema unutar službi za zaštitu i spašavanje. Obično se radi o kombiniranom kućištu koji sadrži kombinaciju kamere visoke rezolucije u vidljivom dijelu spektra, infracrvenom kamerom u bliskom-dijelu infracrvenog spektra (za noćno osmatranje) te termalnom kamerom za detekciju toplinskih izvora zračenja (ljudstva, požara itd). Vozila i posade u zadnje vrijeme imaju i mogućnost korištenja pokretnih termalnih kamera za svrhe lociranja žarišta požara ili ljudstva unutar pojedine regije (Szajewska 2017). Pokretni senzori daju mogućnosti posadama na terenu da usmjere svoje napore u taktičkom suzbijanju požara, pogotovo u inicijalnim fazama i samom dolasku na mjesto događaja (Federal Aviation Administration 2017).

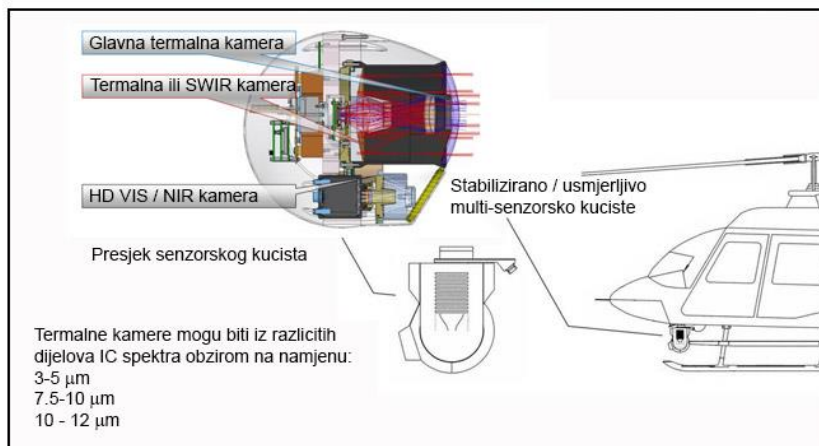


*Slika 5 – Integrirani senzori na vozilima za borbu protiv požara, kompozitna skica od dijelova iz javnog domena.*

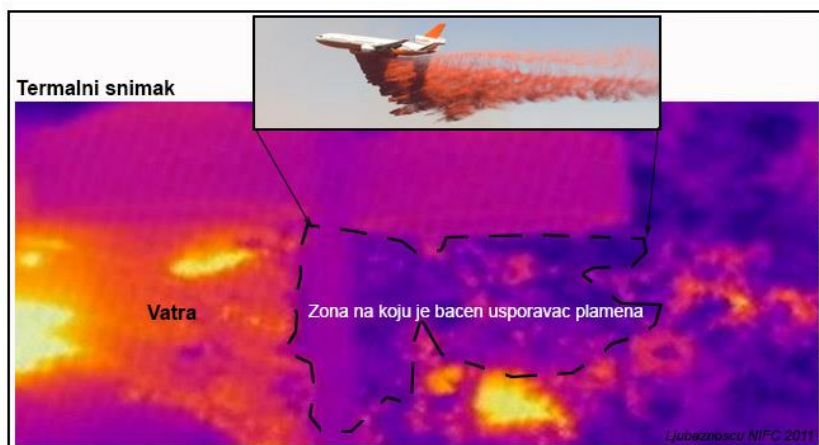
*Avioni i helikopteri.* U suzbijanju požara siri razmjera, obično se koriste i letjelice u osmatranju kao i u suzbijanju požara. Ukoliko je više zračnih resursa na raspolaganju, neki se koriste isključivo za osmatranje i usmjeravanje drugih kojih se bave isključivo gašenjem požara. Međutim, u nedostatku resursa, često se koristi jedna letjelica koja i za podršku i za gašenje, i moguće



je osposobiti sa nekim senzorskim sistemom kako bi na pravom mjestu pružila zračnu podršku koja je potrebna (gašenje, ubacivanje ljudstva itd.) i eventualno služila kao osmatračka platforma. Pasivni senzori su obično i glavni način osmatranja terena za sve vrste zračnih platformi i koriste se efikasno u raznim kriznim situacijama (Smailbegović, Korajlić and Ahić 2018) a u požarima imaju posebnu korist davajući na uvid širu sliku i lateralni obim požara u realnom vremenu (Pastor, et al. 2009).



*Slika 6 – Primjer instalacije multi-senzorskog kućišta za osmatranje na helikopteru, kompozitna skica od informacija iz javnog domena.*



*Slika 7 – Termalni snimak nakon aplikacije gašenja požara smjesom za usporavanje plamena – kompozitna skica sa snimaka Nacionalnog centra za upravljanje požarima SAD.*

*Bespilotne letjelice.* Zbog velikog troška i potrebne logistike za angažman pilotiranih letjelica kao i neophodne infrastrukture u zadnje vrijeme se eksperimentalno koriste i dronovi za detekciju, lokaciju i nadzor šumskih požara. Minijaturizacijom senzorskih sistema, pogotovo onih iz termalnog dijela spektra, upotreba bespilotnih letjelica se ozbiljno razmatra kao efikasno sredstvo za prevenciju ali i za izravni odgovor (Roldán-Gómez and González-Girona 2021). Bespilotne letjelice, zbog svoje velike manevrivosti, često mogu pomoći komandi incidenta popuniti praznine u informacijama, putem snimanja operacija i adekvatnosti odgovora, odnosno adaptacije situaciji u stvarnom vremenu. Međutim bespilotne letjelice, pogotovo ako nisu prethodno odobrene za let u datom prostoru ili ako nisu pod stalnim nadzorom, lako mogu napraviti pometnju i koliziju sa drugim letjelicama te dovesti do potencijalno opasnih situacija (Benson 2020).

#### 4. MOGUĆNOST PRIMJENE U BIH

Većina požara u BiH je često u nepristupačnim brdsko-planinskim terenima, a često i u nesigurnim zonama koja su minirana ili preopasna za izviđanja kao i za sam proces gašenja požara, stoga djelovanje iz zraka ostaje kao preferirana i izvodljiva opcija (Ministarstvo Sigurnosti BiH 2014). Iz političkih ali i operativnih razloga, vrlo mali broj senzorskih uređaja je raspoloživ za svrhe prevencije, osmatranja ili gašenja požara, odnosno upotrebu u kriznim situacijama, dok se kao glavni razlog uglavnom navodio nedostatak spremnosti operativnog kadra kao i velika cijena opreme (Smailbegovic and Korajlic 2021). U posljednje vrijeme zbog proliferacije i dostupnosti senzorske tehnologije, cijena adekvatnih multi-senzorskih sistema je postala vrlo pristupačna za većinu proračuna (Damianos 2021). Zainteresiranost i stepen tehničke proficijencije u implementaciji senzora za detekciju požara su poseban izazov sa kojim se potrebno pozabaviti unutar same modernizacije tehnika, materijalno-tehničkih sredstava, kadrova i procedura za detekciju i suzbijanje požara. Spomenuti senzorski sistemi se daju prilagoditi prema potrebama i mogućnostima raznih organizacija (pa i onih volonterskih) i mogu imati značajne prednosti u suzbijanju požara, pogotovo unutar kompleksnog prostora kao što je to BiH. Upotreba navedenih senzorskih rješenja posebno treba biti u razmatranje prilikom planiranja i nabavke sredstava za nadzor i gašenje iz zraka kao što je to navedeno unutar ranijih studija (Ministarstvo Sigurnosti BiH 2014).

## 5. ZAKLJUČAK

Detekcija, osmatranje i upravljanje aktivnostima u suzbijanju požara mogu biti značajno poboljšane i modernizirane upotrebom pasivnih senzorskih sistema koji su postali pristupačni i upotrebljivi na raznim platformama i unutar raznih drugih postojećih rješenja. Uspješna detekcija požara kao i određivanje njegovih karakteristika putem opisane tehnologije može pomoći u bržem i adekvatnijem suzbijanju, upravljanju resursima na terenu ali i procesima evaluacije i sanacije nakon požara. Uz relativno mala ulaganja u nabavku opreme i obučavanje stručnog kadra, procedure i pristupi u borbi sa požarima mogu doprinijeti brzom i efikasnijom reakciji na različitim razinama borbe protiv požara.

LITERATURA

1. Allison, R. S., J. M. Johnston, G. Craig, and S. Jennings, (2016). "Airborne Optical and Thermal Remote Sensing for Wildfire Detection and Monitoring." *Sensors* 16(8), 1310.
2. Ambrosia, V. G., et al. (2011). "The Ikhana unmanned airborne system (UAS) western states fire imaging missions: From concept to reality (2006–2010." *Geocarto Int.* 26, 85-101.
3. Barmpoutis, P., P. Papaioannou, K., (2020). Dimitropoulos, and N. Grammalidis. "Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing." *Sensors*, 6442.
4. Benson, Katie. The Pros and Cons of using Drones in Firefighting Efforts. December 8, (2020). <https://storymaps.arcgis.com/stories/cd8eab29f9584243b7efcdaf239744d1> (accessed November 5, 2021).
5. Bright, B. C., Hudak, A. T., Kennedy, R. E., and et al. (2019). "Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types." *Fire Ecology* 15(8).
6. Damianos, D., (2021). After an eventful 2020, what's coming next for the thermal imaging and sensing market? Market Analysis, Lyon-Villeurbanne: Yole Développement.
7. Draskovic, B., Miletić, B., Gutalj, M., Stjepanović, S., (2020). "Climate Changes in Bosnia and Herzegovina." *Agrosym 2020*. East Sarajevo, Republic of Srpska: Agrosym.
8. Federal Aviation Administration. (2017). Thermal Imaging for Aircraft Rescue and Firefighting Applications. Technical White Paper, Springfield, VA: U.S. Department of Transportation.
9. Gigović, Lj., Jakovljević, G., Sekulović, D., Regodić, M., (2018). "GIS Multi-Criteria Analysis for Identifying and Mapping Forest Fire Hazard: Nevesinje, Bosnia and Herzegovina." *Tehnicki vjesnik* 25(3), 891-897.
10. Ma, T. J. (2021). "Remote sensing detection enhancement." *Journal of Big Data* 8, 127.
11. Maffei, C., Lindenbergh, R., Menenti, M., (2021). "Combining multi-spectral and thermal remote sensing to predict forest fire characteristics." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 181, 400-412.

12. Ministarstvo Sigurnosti BiH (2014). Studija gasenja šumskih požara u Bosni i Hercegovini. Commissioned professional study, Sarajevo: Government of Bosnia and Herzegovina.
13. Pastor, E., et al. (2009). "A Helicopter-based architecture for tactical wildfire monitoring strategies;" Proceedings of the 2009 IEEE Aerospace Conference;. Big Sky, MT: IEEE, 1-11
14. Roldán-Gómez, J.J.E., Barrientos, A. González-Gironda, (2021). "A Survey on Robotic Technologies for Forest Firefighting: Applying Drone Swarms to Improve Firefighters' Efficiency and Safety." Applied Sciences 11(363), 1-18.
15. Smailbegović, A., Korajlić, N., Ahić, J., (2018). "The case for helicopters and integrated communications in Bosnia-Herzegovina: Lessons learned from the floods of 2014." Criminal Justice Issues Journal of Criminal Justice and Security 8(5/6), 329-336.
16. Smailbegović, A., Korajlić, N., (2021). Compendium on Crisis Management in the Western Balkans. Sarajevo: University of Sarajevo.
17. Sousa, M.J., A. Moutinho, and M. Almeida. "Thermal Infrared Sensing for Near Real-Time Data-Driven Fire Detection and Monitoring Systems." Sensors, 2020.
18. Szajewska, A., (2017). "Development of the Thermal Imaging Camera (TIC) Technology." Procedia Engineering. 172, 1067-1072.
19. Szpakowski, D.M., Jensen, J.L.R. (2019). "A Review of the Applications of Remote Sensing in Fire Ecology." Remote Sensing 11(22), 2638.