

PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U ZAŠTITI ŠUMA OD POŽARA

Peričić, Robert

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:486301>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-19**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Robert Peričić

**PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U
ZAŠTITI ŠUMA OD POŽARA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2024.

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Robert Peričić

**APPLICATION OF UNMANNED
AIRCRAFT IN FOREST FIRE
PROTECTION**

FINAL PAPER

Karlovac, 2024.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Robert Peričić

**PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U
ZAŠTITI ŠUMA OD POŽARA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Marko Ožura, dipl.ing.

Karlovac, 2024.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 – 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Odjel sigurnosti i zaštite

Karlovac, 27.06.2024.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Robert Peričić

Matični broj: 0248081150

Naslov: Primjena bespilotnih letjelica u zaštiti šuma od požara

Opis zadatka:

Uvodno opisati problematiku iz naslova rada, opisati mogućnosti i rizike, središnjem dijelu rada kroz raspravu razraditi postojeća rješenja i kroz zaključak dati svoje mišljenje. Prilikom pisanja rada koristiti recenziranu literaturu i potpuno pravilno citirati sve izvore.

Zadatak zadan:
ožujak, 2024.

Rok predaje rada:
lipanj, 2024.

Predviđeni datum obrane:
11.07.2024.

Mentor:
Marko Ožura, dipl.ing.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
Lidija Jakšić, mag.ing.cheming.

SAŽETAK

U ovom radu dan je pregled upotrebe bespilotnih letjelica u funkciji zaštite šuma od požara. Objašnjene su različite strategije upotrebe bespilotnih letjelica, koordinacije i ključni instrumenti detekcije u području zaštite šuma od požara. Suzbijanje šumskih požara velikih razmjera može imati velike koristi od upotrebe bespilotnih letjelica. Autonomija, pouzdanost i otpornost na pogreške neka su od preostalih ograničenja u Hrvatskoj i svijetu. Bespilotne letjelice koja prevoze vodu i sredstva za usporavanje požara izložene su opasnosti od izgaranja, pada i pogrešaka što izaziva zabrinutost u pogledu sigurnosti. Unatoč tome, postoji mnogo prednosti korištenja bespilotnih letjelica i moglo bi potaknuti nove ideje za rješavanje ovih problema.

Ključne riječi: bespilotna letjelica, požar, sigurnost, šuma, zaštita

ABSTRACT

This paper provides an overview of the use of unmanned aerial vehicles in the function of forest fire protection. Various strategies for the use of unmanned aerial vehicles, coordination and key detection instruments in the field of forest fire protection are explained. Suppression of large-scale forest fires can greatly benefit from the use of drones. Autonomy, reliability and resistance to errors are some of the remaining limitations in Croatia and the world. Unmanned aerial vehicles carrying water and fire retardants are exposed to the risk of burning, crashing and malfunctioning, raising safety concerns. Nevertheless, there are many advantages to using drones and it could spark new ideas to solve these problems.

Key words: fire, forest, protection, security, unmanned aerial vehicle

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
SAŽETAK	II
ABSTRACT	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD	1
2. O BESPILOTNIM LETJELICAMA – TEMELJNE ZNAČAJKE, NASTANAK, VRSTE I PODRUČJA PRIMJENE	3
2.1. Što su bespilotne letjelice i kako su nastale?	3
2.2. Vrste bespilotnih letjelica.....	5
2.3. Tehničke specifikacije bespilotnih letjelica	8
2.3.1. Fizičke komponentne	9
2.3.2. Programska podrška	11
2.4. Područja primjene bespilotnih letjelica	12
2.4.1. Sigurnost, praćenje i nadzor.....	12
2.4.2. Upravljanje katastrofama.....	12
2.4.3. Daljinsko očitavanje.....	13
2.4.4. Potraga i spašavanje	13
2.4.5. Inspekcija za građenje i infrastrukturu	14
2.4.6. Precizna poljoprivreda.....	14
2.4.7. Praćenje cestovnog prometa u stvarnom vremenu	15
2.4.8. UAV za automatiziranu obnovu šuma	16
2.4.9. UAV za pregled nadzemnih vodova	17
3. INSTITUCIONALNA I PRAVNA REGULATIVA U PODRUČJU UPOTREBE BESPILOTNIH LETJELICA U HRVATSKOJ.....	19

4. PREGLED ISTRAŽIVANJA O PRIMJENI BESPILOTNIH LETJELICA U DOMENI ŠUMARSTVA I ZAŠTITI ŠUMA OD POŽARA.....	23
4.1. Primjena bespilotnih letjelica u Hrvatskoj.....	23
4.2. Primjena bespilotnih letjelica u svijetu.....	28
4.3. Pregled zaključaka dosadašnjih studija o funkcioniranju bespilotne letjelice u zaštiti od požara.....	30
4.3.1. Opažaj vatre - segmentacija požara, boja i kretanja.....	31
4.3.2. Izvlačenje značajki o požaru	33
4.3.3. Razmatranje u aplikacijama bespilotne letjelice.....	34
4.4. Rasprava na temelju provedenih istraživanja - prednosti i nedostaci primjene bespilotnih letjelica u zaštiti šuma od požara	35
5. ZAKLJUČAK.....	37
LITERATURA	38
POPIS SLIKA.....	45
POPIS TABLICA.....	46

1. UVOD

Zemlja je bogata šumskim resursima. Samo Europa pokriva čak 159 milijuna hektara šuma, što čini 43,5% kopnene površine [1]. Biljni i životinjski svijet na zemlji su često ugroženi požarima. Zbog toga je zaštita šuma od požara u fokusu rasprava i mnogih istraživanja kojima se nastoji odgovoriti na problem požara kroz prijedloge o uvođenju određenih mjera zaštite. Među tim prijedlozima našli su se različiti inovativni alati i tehnologije za zaštitu šuma od požara. Tako je došlo do pojave rasprave o primjeni bespilotnih letjelica u šumarstvu [2]. Dosadašnja istraživanja pokazuju kako tehničke značajke sustava za praćenje bespilotnih letjelica na srednjim i niskim visinama uključuju brzo manevriranje, niske operativne troškove, jednostavno održavanje i rukovanje te mogućnosti inspekcije i praćenja na zemlji u stvarnom vremenu. To je nova vrsta infracrvenog snimanja na srednjoj i niskoj nadmorskoj visini. Praćenje resursa i okoliša, praćenje šumskih požara i davanje zapovijedi za operacije spašavanja na mjestima nedostupnim automobilima i ljudima, samo su neke od prednosti bespilotnih letjelica [2]. Takve letjelice predstavljaju učinkovito sredstvo za promicanje razvoja precizne poljoprivrede. Njihova upotreba je svestrana jer se mogu nadograditi različitim uređajima kao što su multispektralne i RGB kamere, GPS uređaji i drugo. Najčešće se koriste dronovi s fiksnim i pokretnim krilima, a glavna razlika je u brzini i trajanju leta. U Hrvatskoj je korištenje bespilotnih letjelica regulirano Uredbom o sustavima bespilotnih letjelica koja propisuje uvjete za sigurnu uporabu dronova čija radna težina ne prelazi 150 kilograma. Studije predviđaju da će se korištenjem bespilotnih letjelica u modernoj poljoprivredi i šumarstvu smanjiti potreba za fizičkim radom, što će također pomoći u modernizaciji šumarske i poljoprivredne proizvodnje u skladu s rastućim potrebama tržišta [2, 3]. Međutim, praćenje šumskih požara i zaštita šuma bespilotnim letjelicama relativno je ograničeno i to uglavnom na svrhu lakšeg snalaženja na terenu [4].

Cilj ovog rada je istražiti mogućnosti primjene, kao i prednosti i nedostatke primjene bespilotnih letjelica u zaštiti šuma od požara. U radu će se istražiti vrste

bespilotnih letjelica za primjenu u navedenom području, kao i one koje se najčešće primjenjuju u Hrvatskoj i svijetu. Također, u radu će se prikazati temeljna zakonska regulativa u Hrvatskoj koja uređuje područje primjene bespilotnih letjelica. Osim navedenog, cilj je da se ovim radom obuhvati pregled domaćih i stranih istraživanja na ovu temu kako bi se dobila slika o tome koliko je svrsishodna primjena bespilotnih letjelica u području šumarstva, a posredno i šire kao na primjer u području poljoprivrede i drugih grana.

Ovaj rad je podijeljen u pet glavnih poglavlja. Nakon ovog prvog, uvodnog poglavlja, u drugom poglavlju rada prikazat će se nastanak i temeljne vrste bespilotnih letjelica kao i njihova dosadašnja praktična primjena u praksi. U trećem poglavlju rada će se definirati temeljni pravni propisi koji u Hrvatskoj reguliraju primjenu bespilotnih letjelica. U četvrtom poglavlju rada će se iznijeti detaljan pregled izabranih dosadašnjih starijih i recentnijih istraživanja koja su se bavila primjenom bespilotnih letjelica u praksi šumarstva. Također, na temelju rezultata navedenih istraživanja izdvojit će glavne prednosti i nedostaci primjene bespilotnih letjelica u zaštiti šuma od požara. Na kraju rada, u posljednjem poglavlju, iznose se zaključna razmatranja autora rada.

2. O BESPILOTNIM LETJELICAMA – TEMELJNE ZNAČAJKE, NASTANAK, VRSTE I PODRUČJA PRIMJENE

Prije deset godina bespilotne letjelice bile su prvenstveno namijenjene vojsci, znanstvenoj zajednici i manjim grupama entuzijasta modelara i hobista. Tehnologija koja podržava te sustave kao što su pametni telefoni, senzori, kamere, grafički i procesorski čipovi, baterije, softver i drugi različiti sustavi za prikupljanje i analizu podataka brzo se razvija. Istovremeno, komercijalizira se kvalitetnija oprema koja je prije bila nedostupna široj javnosti što je omogućilo sustavima bespilotnih letjelica da se bolje razviju i uđu u komercijalni civilni sektor. U ovom poglavlju definira se što su bespilotne letjelice, kako su nastale, koje vrste su se do sada razvile, koje su im specifikacije i područja primjene.

2.1. Što su bespilotne letjelice i kako su nastale?

Bespilotne letjelice su zrakoplovi dizajnirani za let bez pilota u avionu, kao što i sam naziv govori. Primjer jedne takve suvremene letjelice prikazan je na Slici 1. (*Global Hawk*). *U-Space* je sustav upravljanja prometom koji bespilotnim letjelicama šalje informacije o tome kada, gdje i kako letjeti. Bespilotne letjelice i *U-Space* važni su za ozelenjavanje i digitalizaciju europskog gospodarstva. Europska i nacionalna pravila održavaju rad bespilotnih letjelica čineći ga sigurnim, zaštićenim, zelenim, te tako promiču društvenu prihvatljivost tehnologije [5]. Joseph Nicéphore Niépce autor je prve fotografije iz 1826. godine koja je evoluirala od jednostavne „*camera obscura*“ do modernih sofisticiranih kamera koje mogu snimati fotografije visoke rezolucije. Ovakve kamere koriste se i na bespilotnim letjelicama za dobivanje fotografija, točnije fotografija iz zraka koje su danas u velikoj uporabi [6]. Korištenje aerosnimki u šumarstvu postoji već dugi niz godina, a u Republici Hrvatskoj su se počele koristiti zahvaljujući profesoru dr. Zdenku Tomašegoviću i njegovom pionirskom radu pedesetih godina prošlog stoljeća. Tijekom posljednjih 30-ak godina u Hrvatskoj su provedena različita istraživanja o mogućnostima primjene daljinskih istraživanja u šumarskoj praksi. Ipak, u stvarnom gospodarenju šumama primjena

istraživanja ograničena je na korištenje aerosnimki uglavnom radi lakše navigacije na terenu. Jedan od glavnih razloga ograničene upotrebe metoda daljinskog istraživanja je taj što su fotografije i oprema iz zraka skupi i često zahtijevaju uredski rad. S druge strane, rezultati dobiveni daljinskim mjerenjem ponekad ne mogu zadovoljiti sve potrebe stvarnog gospodarenja šumama [7].



Slika 1. Беспилотна летјелца „Global Hawk” [6]

Pojava беспилотних летјелца послједica je velikog interesa vojних агенција за њихову употребу у војне сврхе. У почетку су служиле за надзор, точније шпијунажу. Како се технологија развијала, беспилотне летјелце су се počеле користити и у цивилне сврхе. Неки вјерују да подријетло дрoнова лежи у појави крстарећег пројектила V-1, док други наводе појаву балона на врући зрак 1849. године. Беспилотне летјелце коришћене су током опсаде Венеције 22. колoвоза 1849. Аустријанци су изнад неба пустили двјестотинјак авиона с бомбaма. Те су бомбе електромaгнетски активиране помоћу дугих бакарних жица с гaлванским ћелијама и експлодирале су при удару у тло. Током Првог свјетског рата, америчка морнарица ангажирала је изумитеља Елмера Амброзеа Сперрија да развије торпедa која би се монтирала на дрoнове уз управљање жироскопом [8, 9]. Наведено је такођер ушло у повјест развоја беспилотних летјелца.

Стварно подријетло беспилотних летјелца приписује се стварању радио-активираног зракоплова 1930-их. Покренула га је Британска краљевска морнарица, а проишао је из дизајна авиона *De Havilland Tiger Moth*, назван је „*Queen Bee*“. Направљено

je oko 400 takvih aviona koje je Kraljevska mornarica koristila za vježbe ciljanja tijekom 1930-ih i 1940-ih. Tijekom Drugog svjetskog rata neuspješno se pokušalo daljinski upravljati zrakoplovom. Američka mornarica pokrenula je operaciju *Anvil* kako bi razotkrila nacistička skrovišta koristeći izmijenjene zrakoplove B-24, na primjer bombardere. Bili su napunjeni dinamitom te su imali daljinsku kontrolu za navođenje gađanja ciljeva u Njemačkoj i Francuskoj. Međutim, i dalje je nedostajalo daljinsko upravljanje pa su piloti bili prisiljeni letjeti avionima u Englesku, a tamo bi izašli iz vozila s padobranom i bili vođeni do cilja. Od tog postupka se ubrzo odustalo zbog pogibije pilota i obaranja zrakoplova [8, 9].

Za suvremenije bespilotne letjelice zaslužan je Edward M. Sorensen. Omogućio je kontrolu aviona na udaljenosti većoj od vidnog polja pilota. To je olakšalo daljnju evoluciju radio upravljanih zrakoplova do modernih autonomnih letjelica poput današnjih dronova koji su dovoljno mali da putuju stotinama kilometara do svog odredišta. Kasnije je došlo do zastoja u napredovanju tehnologije dronova jer za njima nije bilo stvarne potrebe. Svijet je bio usredotočen na potragu za raketnom znanošću. Početkom 1950-ih tvrtka Ryan Aeronautika stvorila je dron male snage nazvan „*Firebee*“. Radi se o bespilotnoj letjelici koja traži ciljeve i koristi se u zračnoj obuci. Otkad je prvi put osmišljen dizajn drona, bespilotna letjelica – dron, dosljedno je bio najpopularnija vrsta letjelice koja se počela koristiti. Model drona je 1960-ih djelomično preinačen u dronove koji prepoznaju krijesnice pod nazivom „*Firefly*“, a kasnije u dronove „*Lightning Bug*“ koji prepoznaju krijesnice [10].

2.2. Vrste bespilotnih letjelica

Postoje različite vrste bespilotnih letjelica. U literaturi njihova podjela ovisi o autoru i kontekstu o kojem se raspravlja. U ovom poglavlju će se izdvojiti neke najvažnije vrste koje će biti popraćene slikama. Prvenstveno treba napomenuti da neki autori smatraju osnovnu podjelu bespilotnih letjelica na: dronove (Slika 2.) i letjelice na daljinsko upravljanje poput Zeppelina (Slika 3.) [11]. U današnje vrijeme često se dron i bespilotne letjelice koriste kao sinonimi, odnosno češće

se u redovnoj komunikaciji koristi riječ dron, nego bespilotna letjelica premda između njih postoji razlika u stupnju automatizacije.



Slika 2. Dron [12]



Slika 3. Zeppelin [13]

Bespilotne letjelice nadalje se mogu podijeliti prema konstrukciji, upotrebi, doletu i pogonskoj skupini [14]. U Tablici 1. prikazane su vrste bespilotnih letjelica klasificirane po svakoj od navedenih skupina.

Tablica 1. Podjela bespilotnih letjelica s obzirom na konstrukciju, upotrebu, dolet i pogonsku skupinu [14]

BESPILOTNE LETJELICE			
PODJELA PREMA KONSTRUKCIJI	PODJELA PREMA UPOTREBI	PODJELA PREMA DOLETU	PODJELA PREMA POGONSKOJ SKUPINI
<ul style="list-style-type: none"> - bespilotne letjelice s fiksnim krilom (avion, avionska jedrilica, zmaj) - bespilotne letjelice s rotacijskim krilom (helikopter, dron) - bespilotne letjelice teže od zraka (avion, avionska jedrilica, zmaj, helikopter, dron) - bespilotne letjelice lakše od zraka (balon, zeppelin) 	<ul style="list-style-type: none"> - vojne - civilne - istraživačke 	<ul style="list-style-type: none"> - letjelice kratkog dometa - letjelice srednjeg dometa - letjelice dugog dometa 	<ul style="list-style-type: none"> - letjelice koje imaju motor s unutrašnjim izgaranjem - letjelice s turbo-prop pogonom - letjelice s mlaznim pogonom - letjelice s alternativnim pogonom

Jedna od mnogih, možda i složenijih podjela bespilotnih letjelica je i ona koju je dao *UAV Systems International* prema kojemu se one dijele na [14]:

1. Taktičke bespilotne letjelice
 - micro
 - mini
 - nani
 - bliskog doleta
 - kratkog doleta
 - srednjeg doleta i istrajnosti
 - nisko leteće dubokog prodiranja
 - nisko leteće s dugom istrajnosti
 - srednje leteće s dugom istrajnosti
2. Strategijske bespilotne letjelice
 - visoko leteće s dugom istrajnosti
3. Bepilotne letjelice specijalne namjene
 - stratosferske
 - borbene letjelice
 - smrtonosne

- mamci
- zračne mete
- svemirske.

Također, u literaturi se razlikuje i klasifikacija bespilotnih zrakoplova koji imaju mogućnost izvođenja letačkih operacija. Dije se prema operativnoj masi na [15]:

1. Klasa 5: do 5 kg
2. Klasa 25: od 5kg do 25 kg
3. Klasa 150: od 25 kg, uključujući i 150 kg

2.3. Tehničke specifikacije bespilotnih letjelica

Prema izgledu i funkcionalnosti, elementi i ostale fizičke komponente bespilotne letjelice razlikuju se ovisno o pojedinom modelu i proizvođaču, a prvenstveno o preferencijama krajnjeg korisnika, odnosno načinu na koji daljinski pilot radi. Pretežno se karakteristike određuju na temelju namjene, te se s obzirom na navedeno bespilotne letjelice mogu podijeliti u sljedeće kategorije [16]:

1. **Rekreacijske bespilotne letjelice** – karakterizira ih njihova niska cijena, upotreba od strane djece kao da su igračke, upotreba od strane amatera i entuzijasta, te njihovo opće ograničenje na let zatvorene petlje s jednostavnim hardverom i softverom.
2. **Komercijalne bespilotne letjelice** - od osnovnog letačkog pogona do dodatnih senzora poput kamera za snimanje i fotografiranje iz zraka, proizvođači ih opremaju osnovnom i dodatnom opremom ovisno o namjeni. Njihova namjena u ovom slučaju može biti i komercijalna zbog dodatne opreme i to je ono što razlikuje ove vrste bespilotnih letjelica od onih za rekreaciju i objašnjava njihovu veću cijenu.
3. **Bespilotne letjelice „Uradi sam“** - riječ je o bespilotnim letjelicama koje se izrađuju samostalno ili uz pomoć certificiranih proizvođača na temelju preferencija i zahtjeva korisnika. Razlikuju se od rekreacijskih i komercijalnih bespilotnih letjelica po tome što koriste jedinstvene dijelove i komponente, od

kjih neke mogu, ali i ne moraju biti posebno dizajnirane za korištenje u sustavu bespilotnih letjelica. Cijena i karakteristike ovih proizvoda variraju, prvenstveno ovisno o preferencijama i zahtjevima krajnjeg potrošača. Dodatno, proizvodni proces i dostupnost određenih komponenti na tržištu također mogu imati utjecaj. Kao rezultat toga, mogu se proizvoditi s jednostavnim dizajnom poput rekreacijskih dronova ili sa složenijim dizajnom poput komercijalnih dronova.

Naprijed navedene kategorije imaju elemente koji su opisani u nastavku ovog poglavlja. Letni sustav i njegova mehanika predstavlja glavnu poveznicu koja dijeli navedene kategorije, a dodatna oprema ili letne karakteristike predstavljaju glavnu razliku.

2.3.1. Fizičke komponentne

U nastavku se navode temeljne fizičke, odnosno hardverske komponente bespilotnih letjelica [16, 17, 18]:

1. **Okvir** – predstavlja kućište sačinjeno od plastičnih polimera ili materijala izrađenog od karbonskih vlakana. Okvir štiti hardverske elemente od neposrednih vanjskih utjecaja.
2. **Kontroler leta** – koristi se za upravljanje drugim povezanim elementima. U računalnoj analogiji u suštini predstavlja matičnu ploču koja ima svoju upravljačku jedinicu za obradu podataka. Svrha mu je obraditi navigacijske naredbe od strane pilota i kontrolera te ih prevoditi u letačke aktivnosti bespilotne letjelice.
3. **Letni pogon** – njega čine motori, regulatori brzine i propeleri. Takvi uređaji zajedno predstavljaju sistem za polijetanje, let i slijetanje bespilotne letjelice, odnosno zaslužni su za mogućnost leta. Motori su iznimno važni za osnovne operacije leta i manevriranje. Zbog toga je neophodno provjeriti ispravnost prijanjanja propelera na okvir prije svakog polijetanja.
4. **Zaštita propelera i motora** – kako bi se spriječilo djelomično ili potpuno oštećenje i eventualno kolaps bespilotne letjelice, dizajnirana su plastična

kućišta u obliku kaveza koja čuvaju strukturni integritet propelera i motora u slučaju sudara bespilotne letjelice s vanjskim izvorom. Ova se komponenta smatra dodatnom opremom i ovisi o modelu i proizvođaču. Često ga nema u standardnom paketu komercijalnih dronova. Bespilotne letjelice mogu komunicirati sa satelitskim navigacijskim sustavima zahvaljujući modulima svojih prijemnika. Oni olakšavaju satelitsko pozicioniranje, mjerenje visine, mapiranje putanje leta, mogućnost autonomnog leta i sigurnosne značajke poput značajke „povratka kući“ koja uključuje povratak na poziciju za polijetanje.

5. **Radio prijemnik** – ovaj elektronički modul i antenski sustav zadužen je za prijem upravljačkih radio signala, bilo fiksnih ili u obliku daljinskog upravljača, sa zemaljske kontrolne stanice.
6. **Radio odašiljač** - antenski sustav i elektronički modul koji je obično u obliku daljinskog upravljača koji korisnik, tj. ručne naredbe, pilot ga izdaje daljinski, a bespilotna letjelica prima podatke iz odašiljača i obrađuje.
7. **Pogonski izvor** – dolazi u obliku prijenosnih baterija koje se mogu puniti. Malih su dimenzija i obično traju samo 20 do 30 minuta.
8. **Senzori i dodatna oprema** – predstavljaju elektroničke sklopove ili specijalizirane uređaje poput akcelerometara, magnetskih i strujnih senzora. Bitni elementi bespilotnih letjelica jesu i akcijske, termovizijske kamere i kamere s visokom rezolucijom. One su iznimno važne kako bi se izbjegli sudari s drugim objektima koji se nađu u dometu letjelice. Ovdje dodatno treba pojasniti i svrhu akcelerometra. Riječ je o uređaju koji omogućuje određivanje pozicije bespilotne letjelice tako što mjeri ubrzanja kod manevriranja. Akcelerometri su prilično osjetljivi uređaji koji mogu izmjeriti čak i najmanju promjenu sile za ubrzavanje koja se nakon toga uspoređuje s pozicijom naspram utjecaja gravitacijskog polja. U mjerenju se koristi inercijska mjerna jedinica čija je svrha utvrditi smjer kretanja, te položaj u letu, odnosno nagib bespilotne letjelice. Sastoji se od spomenutog akcelerometra, žiroskopa i kompasa. S druge strane senzor nagiba ima funkciju održavati letjelicu u ravnini kako ne bi došlo do prevrtanja ili pada. Također koristi žiroskop i akcelerometar. Magnetski senzor pak služi za izvedbu

elektroničkog kompasa i vrlo je bitan za navigiranje. S druge strane, strujni senzor služi kontroli optimizacije potrošnje baterije. Također pravovremeno upozorava pilota na daljinu putem manualnog daljinskog upravljača ili na primjer mobitela [18].

2.3.2. Programska podrška

Bespilotne letjelice ne mogu funkcionirati bez softverske podrške. Na tržištu se mogu pronaći različite vrste bespilotnih letjelica koje dolaze s tvornički ugrađenim softverom. Kakav će biti softverski sustav ovisi o proizvođaču. Međutim, sveobuhvatno sagledavajući tržište, softverska podrška kod bespilotnih letjelica dijeli su u dvije ključne kategorije [13, 14, 15 i 16]:

1. **Softver za upravljanje letom** - koristi se za temeljno upravljanje letjelicom prilikom uzlijetanja, letnih operacija i slijetanja. U pravilu se uvijek prethodno instalira u kontroler leta i daljinski upravljač. Ovaj softver omogućuje komunikaciju kontrolera leta s drugim komponentama bespilotne letjelice.
Primjeri poznatijih su: Parrot AR Drone FC, Wookong (DJI), Dualsky (FC450).
2. **Softver upravljačke zemaljske stanice** - koristi se za upravljanje unaprijed definiranim navigacijskim planovima leta. Može sadržavati baze podataka ograničenih zona letenja i mehanizme za analizu i obradu podataka telemetrije i drugih senzora. Neke od funkcionalnosti uključuju mjerenje parametara iz zrakoplova u stvarnom vremenu, što može biti vidljivo i drugim sudionicima uključenim u letačke operacije, a ne samo operateru, odnosno daljinskom pilotu. Osim njihovog prikaza, izmjerene vrijednosti mogu se koristiti prilikom prebacivanja u način rada autopilota. S komercijalnim bespilotnim letjelicama to je izvedeno kao primjena iz zraka.

2.4. Područja primjene bespilotnih letjelica

Unatoč mnogim pravnim, moralnim i tehnološkim preprekama, bespilotne letjelice se koriste u sve većem broju područja, što uključuje poljoprivredu, praćenje usjeva, velike energetske tvrtke, građevinsku, naftnu i znanstveno-istraživačku zajednicu, kao i profesionalce u filmskoj, foto i spasilačkoj industriji, državnu upravu i službe spašavanja i sigurnosti, praćenje šume i šumskih požara. S obzirom na to da se njihova primjena proširila u mnoga područja, ukazalo se neophodnim provesti istraživanja i općenito ispitivanja takve tehnologije koja, čini se barem za sada, postaje neizostavni dio mnogih različitih grana djelatnosti.

2.4.1. Sigurnost, praćenje i nadzor

Značajna je uporaba bespilotnih letjelica u operacijama vojnog nadzora. Dronovi su sada dio strateških obrambenih planova mnogih država. Ove bespilotne letjelice koriste države za kontrolu granica, borbu protiv krivolova, otkrivanje neprijatelja i pomorski nadzor vitalnih pomorskih puteva. Bespilotne letjelice koje su pristupačne, pouzdane i prilagodljive postaju sve važnije u zračnom nadzoru, praćenju i istraživanju bilo kojeg područja kako bi se zaustavile bilo kakve nezakonite aktivnosti. Dronovi se, primjerice, mogu koristiti za praćenje aktivnosti kretanja u bilo kojem ograničenom području i mogu se koristiti za otkrivanje prijetnji. Automatskim otkrivanjem upozorenja i zahtijevanjem malo ručnog rada, dron može obavljati ove funkcije [17].

2.4.2. Upravljanje katastrofama

Dronovi mogu pristupiti rizičnim lokacijama na kojima su se dogodile katastrofe uzrokovane ljudskim djelovanjem ili prirodne katastrofe, poput terorističkih napada, tsunamija ili poplava. Ove katastrofe mogu ozbiljno naštetiti prometnoj, vodovodnoj, električnoj i telekomunikacijskoj infrastrukturi. Dronovi se mogu koristiti za upravljanje otpadom, prikupljanje informacija i hitno rješavanje problema. Bespilotne letjelice opremljene radarima, senzorima i

visokokvalitetnim kamerama mogu pomoći spasilačkim timovima u lociranju štete, raspoređivanju resursa poput helikoptera s posadom i kompleta prve pomoći. UAV-ovi mogu pomoći u brzom procjeni katastrofe, izdavanju upozorenja i pomoći u razvoju učinkovitih protumjera. Roj bespilotnih letjelica opremljenih aparatima za gašenje požara može pregledavati, nadzirati i držati na oku bilo koje područje tijekom šumskog požara bez dovođenja ljudskih života u opasnost. Stoga, bez ugrožavanja sigurnosti i sigurnosti uključenog osoblja, UAV-ovi mogu pomoći u pokrivanju širokih područja u stvarnom vremenu. Divlje životinje i ljudi u opasnosti mogu se spasiti uz pomoć dronova za rano upozoravanje [17].

2.4.3. Daljinsko očitavanje

Danas se slikovni podaci visoke rezolucije izoliranih lokacija, otoka, planinskih vrhova i obala dobivaju amaterskom tehnologijom dronova. UAV tehnologija povezuje podatke daljinskog istraživanja iz svemira, zraka i zemlje. Bespilotne letjelice su jeftine i lagane, omogućuju kvalitetno promatranje visoke razlučivosti u pogledu vremena i prostora. Otkrivanje bolesti, praćenje kvalitete vode, praćenje suše, nafte i plina, procjene prinosa, hidrološko modeliranje, očuvanje bioraznolikosti, terensko istraživanje, kartiranje šuma i praćenje usjeva mogu biti potpomognuti mogućnostima daljinskog očitavanja UAV-a. Sa svojom sposobnošću stvaranja 3D karata okoliša i izvođenja masovnog mapiranja, ova se tehnologija sada naširoko koristi u kartografiji i arheologiji [17].

2.4.4. Potraga i spašavanje

U situacijama kao što su upravljanje katastrofama, potraga i spašavanje te javna sigurnost, dronovi se smatraju nezamjenjivima. Budući da pružaju slike planiranih lokacija u stvarnom vremenu, dronovi mogu uštedjeti značajnu količinu rada, novca i vremena. Kao rezultat toga, gdje je pomoć najhitnije potrebna, dronovi mogu brzo identificirati i odrediti područje nastale štete. U scenarijima katastrofe kao što su nestale osobe, lavine, šumski požari i infiltracija otrovnih plinova, UAV-ovi mogu ubrzati operacije potrage i spašavanja. Dronovi mogu biti koristi na

primjer za praćenje izgubljenih planinara tijekom misija ili spašavanje ljudi izgubljenih u izoliranim šumama ili pustinjama. Jednako tako, mogu se koristiti i u lociranju nesretnih žrtava, kao i u teškom terenu ili nepovoljnim vremenskim uvjetima. Prije dolaska hitne pomoći ili medicinskog tima, dronovi mogu dostaviti potrebne medicinske potrepštine. Za korištenje u udaljenim područjima i područjima pogođenim katastrofama, dronovi se mogu opremiti hranom, medicinskim potrepštinama i prslucima za spašavanje. Prije nego što pomoć stigne, tako opremljeni dronovi mogu opskrbiti zaglavljene pojedince na nedostupnim mjestima hranom, pićem i drugim potrepštinama [17].

2.4.5. Inspekcija za građenje i infrastrukturu

Uz bespilotne letjelice, kartiranje stanja, nadzor izgradnje i inspekcija gradilišta sada su brzi, jednostavni i učinkoviti procesi. Osiguravanje kvalitetnog odvijanja radova na gradilištu osigurava se nadzorom nad projektima od početka do završetka. Potencijalni dionici mogu od bespilotne letjelice primati izvješća sa slikama i video zapisima, kao i 3D mapiranjem. Infrastrukturne i inspeksijske jedinice mogu imati velike koristi od ove tehnologije. Osim toga, istraživanja pokazuju da je sve veći interes za korištenje dronova u području nadzora gradilišta, plinovoda i dalekovoda [18].

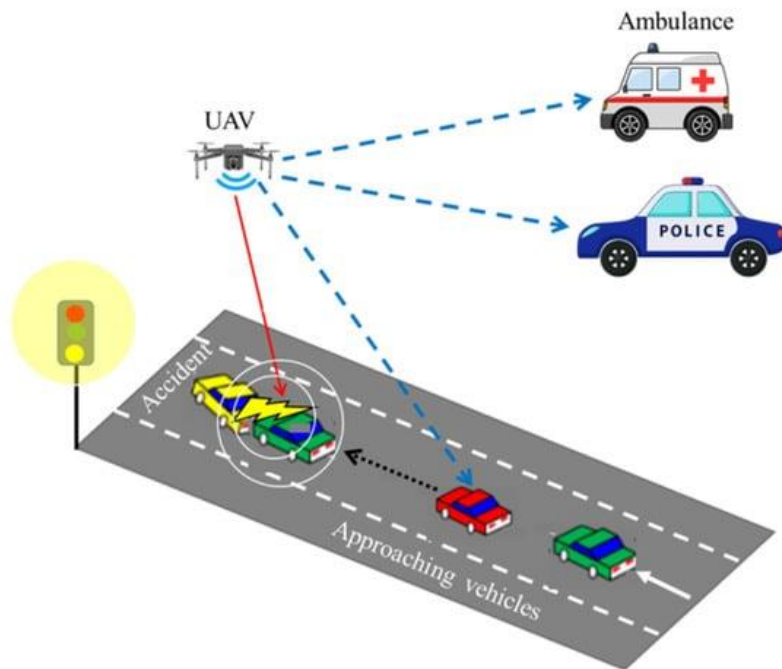
2.4.6. Precizna poljoprivreda

Precizna poljoprivreda može koristiti UAV za prikupljanje podataka sa senzora na zemlji (svojstva tla, sadržaj vlage, kvaliteta vode itd.), primjena pesticida, dijagnosticanje bolesti, planiranje navodnjavanja, uočavanje korova te upravljanje i praćenje usjeva. Integracija dronova s preciznom poljoprivredom tehnika je koja štedi vrijeme i novac i može povećati profitabilnost poljoprivrednih sustava, produktivnost i prinose. Dronovi dodatno pomažu u upravljanju poljoprivredom, oštećenjima od štetočina, praćenju korova, prskanju kemikalijama i upravljanju poljoprivredom, što sve poboljšava prinose usjeva kako bi se zadovoljili određeni proizvodni ciljevi. Za preciznu poljoprivredu,

bespilotne letjelice i daljinska detekcija imaju potencijal revolucionirati ovo područje. Osim što pruža vremensku, prostornu i spektralnu rezoluciju, također može pružiti detaljne podatke o visini vegetacije i promatranje iz više kutova. Putem inteligentnog mapiranja iz zraka, bespilotne letjelice (UAV) mogu imati veliki utjecaj na poljoprivredu. Bespilotne letjelice (UAV) mogu pratiti zdravlje usjeva u smislu temperature, razine klorofila, stranih kontaminanata i debljine lišća ako su opremljene odgovarajućim sensorima i kamerama [19]. U jednom istraživanju raspravljalo se o napretku u upravljanju bespilotnim letjelicama u svrhu procjene snage rasta, otkrivanja hranjivih i nehranjivih tvari, odnosno patogena u situacijama suše. Došlo se do zaključka da bespilotne letjelice mogu biti od izuzetne koristi u budućnosti, posebno jer se tehnike obrade slike mogu koristiti upravo za istraživanje biljnih bolesti i nekih drugih svojstava iz slika visoke rezolucije koje su snimljene upravo UAV-om [20].

2.4.7. Praćenje cestovnog prometa u stvarnom vremenu

Domena u kojoj je integracija bespilotnih letjelica izazvala veliki interes su sustavi za praćenje cestovnog prometa. Bespilotne letjelice mogu se koristiti u takvim sustavima za potpunu automatizaciju transportnog sektora [21]. One bi trebale automatizirati timove za podršku na terenu, prometnu policiju, nadzornike cesta i spasilačke timove. Bespilotne letjelice pojavljuju se kao obećavajući novi alat za prikupljanje podataka o prometnim uvjetima na autocestama. Dronovi na primjer mogu pratiti velike segmente ceste po niskoj cijeni, za razliku od tradicionalnih uređaja za praćenje kao što su detektori petlje i nadzorne kamere [17]. Prilikom provođenja masovnih sigurnosnih operacija protiv kriminalnih aktivnosti na autocestama poput krađe automobila, lokalna policija može koristiti dronove za dobivanje jasne slike prometnih nesreća. Dodatna upotreba uključuje identificiranje vozila, napad na automobile sumnjivog izgleda, praćenje naoružanih pljačkaša i otmičara i hvatanje svakoga tko krši prometne zakone. Osim toga, dron može identificirati prebrzu vožnju i sudare, kao i pomoći u sprječavanju zastoja i gustog prometa [22]. Slika 4. prikazuje sažetak upotrebe dronova na autocestama.



Slika 4. Pomoć drona na autocesti [17]

Bespilotne letjelice se mogu koristiti i za praćenje stanja na cesti, identificiranje pukotina i davanje ranog upozorenja kako bi se spriječile nesreće i smanjila šteta. Istraživanja pokazuju da se smanjenje štete na cestama može postići kombiniranjem bespilotnih letjelica s tehnologijama za inspekciju cesta. Takve letjelice omogućuju učinkovito otkrivanje s obzirom na to da se algoritmi za otkrivanje ciljeva mogu primijeniti na slike pukotina na cesti snimljene dronom [17].

2.4.8. UAV za automatiziranu obnovu šuma

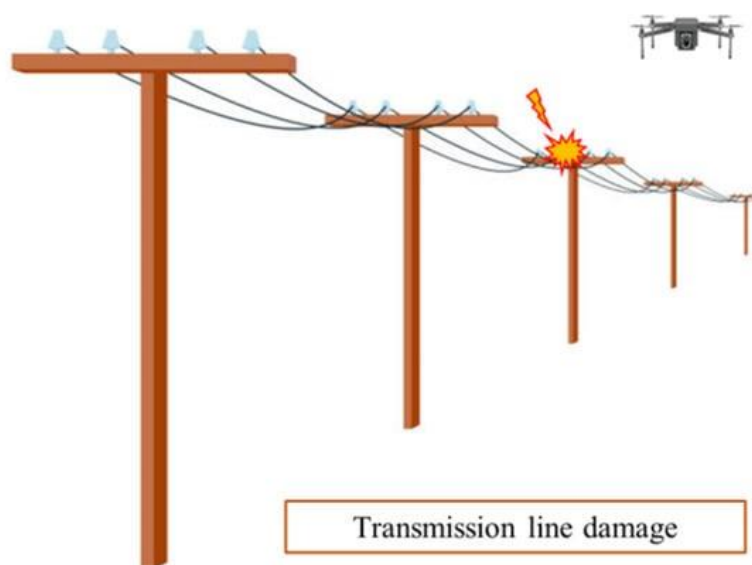
Korištenje bespilotnih letjelica za automatiziranu obnovu šuma još je jedno novo područje proučavanja. Bespilotne letjelice mogu se koristiti kao pomoć u različitim zadacima koji su potrebni za provedbu obnove šuma, uključujući razvoj infrastrukture, opskrbu sjemenom, upravljanje mjestom (plijevljenje i gnojidba, itd.), istraživanje mjesta i razvoj strategije obnove, istraživanje bioraznolikosti nakon napora obnove [23]. Tehnologije koje se već koriste, kao što su senzori za snimanje i pozicioniranje, pomažu bespilotnim letjelicama u obavljanju specifičnih

zadataka, kao što su preliminarna istraživanja lokacije prije obnove i praćenje različitih aspekata oporavka bioraznolikosti. Dronovi mogu podržati procjenu obnove šuma i pratiti promjene u klimi, sastavu ekosustava i funkcijama šuma [24]. Bespilotne letjelice opremljene kamerama visoke rezolucije mogu prikupiti dovoljno podataka o šumskim ekosustavima za podršku inicijativama za obnovu šuma. Budući da su kamere na dronovima toliko svestrane i jednostavne za korištenje, njihova odgovarajuća razlučivost može olakšati karakterizaciju i analizu šumskih područja. Štoviše, geometrijske značajke šuma dobivaju se pomoću optičkih senzora postavljenih na letjelice [25]. Analogno tome, operacije daljinskog otkrivanja dronovima također mogu poslužiti kao pouzdane i učinkovite alternative konvencionalnim praksama gospodarenja šumama [17].

2.4.9. UAV za pregled nadzemnih vodova

Da bi opskrba električnom energijom bila pouzdana i lako dostupna, kvarove na dalekovodima je potrebno pronaći i spriječiti. Tradicionalne metode imaju nedostatke poput visoke cijene, teške primjene i opasnih rizika. Stoga, kao što Slika 5. prikazuje, istraživači su razvili veliko zanimanje za distribuciju i inspekciju dalekovoda uz pomoć dronova. Sigurnost prijenosne mreže također je povezana s pregledom vodova. Prikladna metoda za pomoć ovim inspeksijskim zadacima je bespilotna letjelica opremljena digitalnom kamerom za snimanje slika koridora dalekovoda [26]. Dronovi se mogu koristiti u svrhu traženja udara groma, zahrđalih ili oštećenih vijaka. Obično loše vrijeme, požari i padajuće drveće uzrokuju kratki spoj ovih dalekovoda. Studije pokazuju i efikasnost dronova ugrađenih u nadzemne električne vodove za otkrivanje kvarova [27]. Greške se mogu locirati pomoću robota za penjanje i samog drona. U usporedbi s helikopterima, dronovi su jeftiniji i nose manji rizik od nesreće od tradicionalnih pješakačkih patrola kada provode inspekciju. Za grubu inspekciju bespilotne letjelice s fiksnim krilima općenito se preferiraju u odnosu na druge vrste bespilotnih letjelica zbog svojih brzih i većih brzina leta. Letjelice s više rotora koriste lebdenje u zraku kako bi se približile objektima i snimile slike. Zbog svoje trodimenzionalne sposobnosti manevriranja, višerotorne letjelice su

preporučljive. Plan autonomne misije i pilot suočeni su s izazovima pri korištenju bespilotnih letjelica s više rotora u ograničenim ili složenim okruženjima [17]. Kako bi se omogućile pouzdane, učinkovite i brže inspekcije, čini se da sva ranije navedena istraživanja impliciraju potrebu da bi se u budućnosti trebali istražiti sofisticiraniji algoritmi za prikupljanje, dijeljenje i obradu podataka za kooperativnu mrežu dronova.



Slika 5. Pregled dalekovoda uz pomoć drona [17]

3. INSTITUCIONALNA I PRAVNA REGULATIVA U PODRUČJU UPOTREBE BESPILOTNIH LETJELICA U HRVATSKOJ

Kao što je ranije u ovom radu spomenuto, bespilotne letjelice stekle su veliku popularnost posljednjih godina za razne primjene, uključujući profesionalnu i rekreacijsku upotrebu. S obzirom na to da uporaba bespilotnih letjelica povremeno može imati štetne posljedice kako za ljude tako i za okoliš, bilo je potrebno donijeti zakonske akte kojima bi se uporaba ovih letjelica dovela u regulirani pravni okvir. U ovom poglavlju se obrađuje pravna regulativa upotrebe bespilotnih letjelica u Hrvatskoj. Sve u nastavku ovog poglavlja odnosi se na pilote dronova i operatere bespilotnih letjelica. Obuhvaćene su i letjelice manje od 249 grama.

Prije svega treba napomenuti da u ovom trenutku u Republici Hrvatskoj postoje 3 glavne institucije koje ovlaštene za područje bespilotnih letjelica, a to su [28]:

1. **Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (dalje: HACZ)**
2. **Hrvatska kontrola zračne plovidbe (dalje: HKZP)**
3. **Državna geodetska uprava (dalje: DGU).**

HACZ i HKZP se bave dronovima u kontekstu zrakoplova, odnosno letjelice, a DGU materijalima iz zraka snimljenim bespilotnim letjelicama [28].

Što se tiče pravne regulative, Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture izradilo je prve nacрте zakona koji se odnose na sustave bespilotnih zrakoplova u Republici Hrvatskoj tijekom prve polovice 2015. godine. Ti su zakoni naknadno dorađeni **Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova (Narodne novine br. 77/2015)**. Pravilnik se više puta mijenjao tijekom godina, a od 2018. do 12. veljače 2021. bio je na snazi **Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (Narodne novine br. 104/2018) kojim se** definirala upotreba bespilotnih zrakoplova do 150 kg [29]. S obzirom na to da je Hrvatska članica EU, od 1. siječnja 2021. došlo je do velikih izmjena u pravnoj regulativi bespilotnih letjelica jer je EU donijela nova pravila koja su postala

operativna i utječu na svaku članicu EU. Osim toga, od 28. veljače 2023. u **Pravilnik o upravljanju zračnim prostorom (Narodne novine br, 20/2023)** unesene su i odredbe o bespilotnim letjelicama usklađene s Uredbama EU [28, 29, 30].

Glede spomenutih europskih uredbi, ključne su sljedeće dvije [28]:

1. **Uredba (EU) 2019/945 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja i**
2. **Uredba (EU) 2019/947 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova.**

Sukladno navedenim propisima razlikuju se tri kategorije bespilotnih letjelica: otvorena, posebna i certificirana, pri čemu se otvorena kategorija dijeli na bespilotne zrakoplove od 0 g do 25 kg, te na A1, A2 i A3 + C certifikacija dronova [28, 29, 30]. Na Slici 6. prikazana je slika tablice koja služi kategorizaciji pojedine vrste bespilotne letjelice.

Specifikacije	CO	C1	C2	C3	C4
Težina/energija udara	<250 g	900 g	<4 kg	<25 kg	<25 kg
Maks. brzina	19 m/s = 68 km/h	19 m/s = 68 km/h	-	-	-
Maks. visina leta	120 m	120 m ili podesivo ograničenje visine	120 m ili podesivo ograničenje visine	120 m podesivo ograničenje visine	120 m ili prema uzletištu modela
Zahtjevi tehnike	Smjernica za igračku ili <68 km/h, ograničenje visine	< 68 km/h, ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala	Ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala, način male brzine, zadane točke loma	Ograničenje visine, slijetanje u nuždi kod gubitka signala, način male brzine, zadane točke loma	Nije dozvoljeno automatsko upravljanje
Potrebna registracija pilota na daljinu	Ne odn. da kod dronova s kamerom	Da	Da	Da	Da
Osposobljenost pilota na daljinu	Pročitati uputstva za korištenje	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3, potvrda za daljinsko pilotiranje A2	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3	Pročitati uputstva za korištenje, EU potvrda o osposobljenosti A1/A3
Potrebna daljinska identifikacija	Ne	Da	Da	Da	Ne
Pogon u otvorenoj kategoriji	A1 = let iznad ljudi	A1 = let iznad ljudi	A2 = let u blizini ljudi, A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi	A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi	A3 = let na velikoj udaljenosti od ljudi

Slika 6. Kategorizacija bespilotnih letjelica [28]

Ispiti A1, A2 i A3 mogu se položiti u raznim državama EU-a kao i putem posebnih internetskih portala koji državljanima zemalja izvan EU-a omogućuju dobivanje licence A1-A3. Nakon završetka koraka 2 i 3 (HKZP (AMC portal) + DGU), njemački državljanin koji želi putovati u Hrvatsku zračnim putem mora slijediti potrebne procedure. Hrvatski državljani imaju pristup web stranici HACZ-a za besplatno polaganje ispita A1-A3. Državljanima Srbije i BiH moguće pristupiti A1-A3 (online) putem web stranice Agencije za civilno zrakoplovstvo (HACZ). Na web stranici agencije dostupna je i literatura koja može pomoći u pripremi ispita. Ispit A2 provodi se samo u prostorijama HACZ-a u Zagrebu ili drugim određenim gradovima (na web stranici HACZ-a navedena su mjesta i vrijeme održavanja ispita). Ispitni materijali dostupni su na web stranici HACZ-a. Pitanja sadrže većinu istih pitanja kao i ispit A1–A3, međutim postoje neka pitanja specifična za EU propise i članke iz njih na ispitu A2. U ovom trenutku slovenska tvrtka Onedrone. si nudi obrazovni tečaj potreban za dobivanje odobrenja za posebnu kategoriju; međutim, pregledom internetskih stranica nije utvrđeno da trenutno postoji u Hrvatskoj [28].

Piloti moraju dobiti policu osiguranja drona nakon položenog ispita, a prije polijetanja. Za svaki dron potrebno je osiguranje. Polica osiguranja preduvjet je za mogućnost prijave operatera u HACZ, čime se otvaraju vrata za upravljanje pilotiranjem i certificiranje leta. Kod izrade police osiguranja drona mora se slijediti posebna procedura. U Hrvatskoj je osoba za kontakt u vezi osiguranja gospodin Hrvoje Sremić, jedini stručnjak u Hrvatskoj za osiguranje bespilotnih letjelica (dronova) [31].

Sve letove drona, bez obzira na težinu drona, potrebno je prijaviti kontroli leta. Dronovi koji pripadaju kategoriji pilota C1, C2, C3 i C4, uz prijavu leta kontroli leta, moraju koristiti aplikaciju Remote-ID koja ih također identificira u zračnom prostoru. Ako je planirani let unutar 5-10 kilometara od zračne luke (Zadar, Pula, Dubrovnik, Split, Zagreb, Osijek, Rijeka, Osijek, Zadar), dron se nalazi u CTR-iju, odnosno kontroliranom zračnom prometu. Aplikacija AMC portala registraciju čini jednostavnom, a nakon registracije, može se ishoditi dozvola za let unutar CTR-

a do 50 metara visine. Letenje je dopušteno između 0 i 120 metara, ovisno o tome je li namjeravana putanja leta unutar CTR-a ili ne. Ako je lokacija izvan CTR-a, dozvolu za let do 120 metara visine moguće je ishoditi podnošenjem AMC zahtjeva. Aplikacija AMC portala prikazuje konfiguraciju hrvatskog zračnog prostora. Do visine od 120 metara (50 metara) bilo unutar ili izvan CTR-a, lete dronovi koji pripadaju kategorijama A1, A2 i A3. Za letenje na većim visinama potrebno je dodatno odobrenje HACZ-a [31].

DGU daje dozvole za snimanje iz zraka i korištenje fotografija iz zraka. U Republici Hrvatskoj je trenutno na snazi **Uredba o snimanju iz zraka (Narodne novine br. 77/2020)** kojom se propisuju ključna pravila za bespilotnim letjelicama. Uredba niti neki drugi propis u RH ne sadrže odredbu koja pravi razliku između pravnih i fizičkih osoba, već je samo pravnim osobama s ovlaštenjem za snimanje iz zraka dopušteno snimanje područja Hrvatske (kopno i more). Navedeno proizlazi iz odredbe čl. 4. Uredbe o snimanju iz zraka. Tako se u stavku 2. propisuje da je pravnim i fizičkim osobama koje su registrirane za snimanje iz zraka kod nadležnih tijela dopušteno snimanje državnog područja Republike Hrvatske iz zraka nakon što dobiju dozvolu [32]. Na pitanja snimanja iz zraka treba nadovezati i **Zakon o obrani (Narodne novine br. 73/2013)** koji propisuje slično kao i Uredba u odredbama čl. 98., 100. i 116., te pri tome određuje i mogućnost izdavanja prekršajnih naloga i novčanih kazni u slučaju postupanja protivno odredbama o dozvoli snimanja iz zraka [33].

4. PREGLED ISTRAŽIVANJA O PRIMJENI BESPILOTNIH LETJELICA U DOMENI ŠUMARSTVA I ZAŠTITI ŠUMA OD POŽARA

Premda su dosadašnja istraživanja prikazana ranije u ovom radu pokazala da je primjena bespilotnih letjelica moguća u širokom području djelatnosti, kroz istraživanje literature obavljeno za potrebe ovoga rada, uočeno je da je domena šumarstva i zaštite šuma od požara u kontekstu primjene bespilotnih letjelica još uvijek nedovoljno empirijski istražena. U nastavku ovog poglavlja sažimaju se nekolicina znanstvenih i stručnih istraživanja koja su pronađena pretragom online tražilica kao i dostupne informacije iz drugih različitih baza podataka. Sažimanje tih radova i podataka daje sliku trenutnog stanja učestalosti primjene bespilotnih letjelica u području šumarstva.

4.1. Primjena bespilotnih letjelica u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je primjena bespilotnih letjelica u šumarstvu aktualna već duže vremena. Ako se pogledaju neki projekti provedeni u sklopu hrvatskih instituta, prvenstveno sveučilišta, mogu se uočiti prilično uspješni projekti koji su istraživali mogućnosti primjene bespilotnih letjelica u području šumarstva. Također, sagledavajući razvoj Hrvatske kroz povijest mogu se uočiti prvi počeci istraživanja primjene dronova u šumarskoj praksi još prije 30-ak godina.

Naime, naime u posljednjih tridesetak godina u Hrvatskoj je proveden niz studija o potencijalnoj primjeni daljinske detekcije u šumarskoj praksi. Unatoč tome, korištenje aerosnimki bio je jedini način primjene daljinskih istraživanja u praktičnom gospodarenju šumama. To je prvenstveno učinjeno kako bi se olakšala navigacija na terenu. Skupi troškovi snimanja iz zraka i opreme, zajedno s ponekad zahtjevnom prirodom uredskog rada, bili su glavni čimbenik ograničene upotrebe tehnika daljinskog istraživanja. Međutim, rezultati daljinskog očitavanja često su bili ispod onoga što je potrebno za učinkovito gospodarenje šumama [7, 36].

Od 1960ih provode se u europskim zemljama istraživanja primjene infracrvenih kolornih (ICK) aerosnimaka za ustanovljavanje oštećenosti šumske vegetacije (Murtha 1972). Metodologija procjene oštećenosti šuma na ICK aerosnim - cima radi inventarizacije oštećenosti šuma se primjenjuje u šumarstvu. U Hrvatskoj su se prva istraživanja iz tog područja provela krajem 1980ih stoljeća.

U Hrvatskoj se snimanje iz zraka sve više koristi, dijelom i zahvaljujući napretku bespilotnih letjelica. Prije su se bespilotne letjelice koristile samo u vojne ili komercijalne svrhe, ali sada kada je prof. dr. Zdenek Tomašegović u šumarstvu otkrio novu metodu primjene. Pokazali su se iznimno korisnima jer omogućuju korištenje kamera za snimanje fotografija iz zraka koje nude mnoštvo podataka potrebnih za inventuru šuma i druge svrhe. Proučavanje uporabe daljinske detekcije u šumarstvu prvi je pothvat dr. Zdenka Tomašegovića pedesetih godina prošlog stoljeća. Korištenjem fotogrametrijskih i fotointerpretacijskih tehnika istraživao je potencijalnu primjenu aerosnimki u šumarstvu. Shvatio je da postoji mnogo aplikacija za fotografije iz zraka. Na primjer, korištenje fotografija iz zraka za procjenu područja, stvaranje i korištenje fotoplanova, procjena veličine sastojina i razumijevanje odnosa između prsnog promjera, visine stabla i širine krošnje. Tijekom 1980-ih i 90-ih godina 20. stoljeća primjena aerofotografije i daljinske detekcije u šumarstvu bila je tema brojnih radova. Svrha radova bila je upoznati inženjere šumarstva praktičare sa svim mogućnostima primjene daljinskih detekcija i GIS-a. Tijekom tih otprilike dvadesetak godina razvijen je niz projekata za procjenu štete u šumama s pomoću infracrvenih fotografija iz zraka u boji (ICK) [7, 36, 37].

Od 1988. godine štete u hrvatskim šumama procjenjuju se s pomoću snimaka iz zraka ICK-a. Za sve naredne projekte korištene su kamere Zeiss LMK 305/23 i film Kodak Aerochrome Infrared 2443. Za snimanje je korištena bukva (*Fagus sylvatica* L.), kao i šume jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru, jugozapadna Hrvatska, te šuma nizinskog hrasta (*Quercus robur* L. Šume Posavine). Ove snimke korištene su za istraživanje tehnika i točnosti. Tumačenje fotografija, kao i inventarizacija šuma na područjima koja su zabilježena, započela je ispitivanjem

odnosa između veličina sastojina i veličina koje su se mogle izmjeriti iz fotografija iz zraka, između ostalog korištenje GIS tehnologije u šumarstvu [38].

U novije vrijeme u Hrvatskoj se također radi na osvještavanju važnosti zaštite šuma od požara kroz razne projekte. Hrvatske šume su tijekom 2019. godine uspješno provele prekogranični EU projekt Hrvatska - Mađarska, koji je financiran sredstvima Regionalnog razvojnog fonda Interreg, pod nazivom *Red Faith*. Riječ je o projektu „Obnove biološke raznolikosti šuma s pomoću zračnih videotehnologija ukupne vrijednosti 485.401,94 eura od kojih EU sufinancira veći dio, točnije 412.591,64 eura. Vodeći partner na projektu s mađarske strane je lokalna samouprava Baranya Megyei Önkormányzat iz Pečuha dok su uključeni i tamošnji šumari kroz tvrtku Mecsekerdő ZRT. Uz domaće stručnjake iz Hrvatskih šuma sudjelovali su i znanstvenici Fakulteta za odgojne i obrazovne znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Tema obnove biološke raznolikosti šuma s pomoću zračnih videotehnologija putem bespilotnih letjelica obuhvatila je brojne ciljeve, a ostvareni su i značajni rezultati kroz ovaj projekt. Snimale su se šume Baranje s obje strane granice. Projekt je zapravo nastao iz potrebe za efikasnijim, kompleksnijim i detaljnijim procesom rekognosciranja i pregleda terena šuma i šumskog zemljišta. Slike iz zraka omogućile su bolje razumijevanje kompozicije šume, posebno krošnji. Zračni monitoring pružio je i mogućnost kvalitetnije prevencije širenja invazivnih vrsta, a i drastično bržu reakciju na ugroze šume od insekata, bolesti ili ljudi. Dodatno je pomogao analizi rezultata korištenja kemijskih sredstava i ostalih uzgojnih rodova, zorno je prikazao štete od suše i požara te upozorio na razmjere poplave i pratio kretanja tadašnjih poplava [34].

U 2023. godini *DroneDays*, međunarodna konferencija o bespilotnim letjelicama, proslavila je svoje treće izdanje na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu. Brojni stručnjaci iz akademske zajednice, gospodarstva i industrije bili su prisutni na događaju kako bi raspravljali o izazovima novih tehnologija i aplikacija za bespilotne letjelice. Posjetitelji su uz pozvana predavanja imali priliku sudjelovati i u panel raspravama o društvenoj

prihvaćenosti bespilotnih letjelica te o inovacijama i poslovnim mogućnostima vezanim uz drone. Svaki posjetitelj FER-a imao je priliku razgledati izložbeni prostor, gdje su različite tvrtke izložile svoje najnovije proizvode i usluge, a u zoni letenja održana su i praktična testiranja najsuvremenije tehnologije dronova. DroneDays 2023 organizira FER u suradnji sa svojim Laboratorijem za robotiku i inteligentne sustave upravljanja. Naime, kroz navedena istraživanja utvrđeno je da će dronovi imati ogroman utjecaj na poljoprivredu i šumarstvo kakvi se danas poznaju zahvaljujući različitim namjenama, uključujući mjerenje golemih površina zemlje, procjenu kvalitete tla, praćenje rasta biljaka, šuma, uočavanje štetočina i prikupljanje podataka o klimatskim uvjetima. Također, istraživanja kroz ova projekt pokazala su da su dronovi također koristan alat za praćenje bioraznolikosti, sprječavanje šumskih požara i suša te dostavu hrane i lijekova na udaljena mjesta [35].

Zadaća koja danas stoji pred upraviteljima šuma i šumarima je očuvati i unaprijediti zdravstveno stanje šuma uz ograničavanje količine šumskih resursa i iskorištavanja na razinu prihvatljivu s ekološkog stajališta. Budući da su već dugo u uporabi, bespilotne letjelice pokazale su se kao neprocjenjiv alat za praćenje šuma. U literaturi se ističe nekoliko mogućih upotreba [39, 40]:

- unapređenje planiranja i upravljanja šumama
- proces aerofotogrametrijskog snimanja
- praćenje nedopuštenih aktivnosti
- doprinijeti očuvanju zdravlja šuma pravovremenim identificiranjem pojedinog problema
- brzo djelovanje u slučaju prirodnih nepogoda.

Proces snimanja fotografija iz zraka kamerom bespilotne letjelice poznat je kao aerofotogrametrija. Uz državne šume, šumama privatnih šumoposjednika može se gospodariti i s pomoću aerosnimki koje se i u Hrvatskoj koriste u poslovima odabira sastojina i ocjenjivanja parametara. Polazeći od pretpostavke da postoje jasne razlike u načinu kartiranja na aerosnimkama između zdravih i oštećenih

stabala zbog promjena u spektralnom sustavu reflektiranih sunčevih zraka i promijenjenog oblika krošnje, provodi se popis šteta s pomoću aerosnimki. Procjena razmjera oštećenosti pojedinih stabala, odnosno krošanja, vidljivih na aerosnimkama služi kao temelj za inventarizaciju oštećenosti šuma tim snimkama. Temeljitim fotointerpretacijskim ključem utvrđuje se odnos aerosnimki i situacije na terenu, odnosno metoda kartiranja pojedinih razina [41].

Biti na više lokacija odjednom je neizvedivo zbog golemih i nepreglednih šuma. Nepostojanje šumara, guste šume kojima je teško pristupiti, ravnodušnost javnosti ili sposobnih institucija itd. stvorili su mnoštvo prilika za nezakonite aktivnosti. Dronovi omogućuju jednostavno i brzo pronalaženje bilo kakve nezakonite aktivnosti koja se događa u šumi. Postoje sićušne letjelice koje bez napora mogu letjeti kroz guste krošnje guste šume. Uz GPS sustav imaju i kamere koje snimaju sve što letjelica. Evo nekoliko primjera nedopuštenih radnji: odlaganje otpada, podmetanje požara, sakupljanje rijetkih i ugroženih gljiva i biljaka, krivolov (na kopnu i u rijekama), sječa i odvoz drvne mase. Dronovi koriste radiofrekvenciju kada obavljaju ove zadatke: mogu prenositi podatke izravno ili putem satelita, a nakon što te podatke zaprime nadležne institucije, poduzimaju se odgovarajuće mjere za otklanjanje štete i pronalazak počinitelja [42].

Posljednje, ali ne manje važno, u Hrvatskoj šume često doživljavaju prirodne katastrofe, posebice kao rezultat klimatskih promjena. Prirodna katastrofa se proglašava kada je pogođeno značajno područje, iako mogu biti pogođena i mala područja. Što se tiče požara, poplava, zaraze štetočinama ili bolestima, erozije, seizmičke aktivnosti, vjetroloma ili ledoloma itd. dronovi su vrlo važni. Uz pomoć fotografija iz zraka ili 3D modela, oni omogućuju brzu procjenu razmjera štete i zahvaćenosti. Oni također omogućuju procjenu smjera u kojem treba djelovati za suzbijanje štetnika. Slično kao u poljoprivredi, herbicidi i fungicidi se mogu brzo i široko primijeniti zrakoplovom u šumarstvu [42].

4.2. Primjena bespilotnih letjelica u svijetu

Sezona šumskih požara u SAD-u sve je dulja. Američka šumarska služba često izvještuje da učinci klimatskih promjena uključuju produženu sezonu šumskih požara i veće troškove gašenja požara [43]. Godine 2018. američki predsjednik je naredio veću upotrebu bespilotnih letjelica u Izvršnoj naredbi o upravljanju šumskim požarima za 2018. godinu [44]. Dana 13. travnja 2011., 104. borbeno krilo Zračne nacionalne garde Massachusettsa pripremilo se za lansiranje QM-167A Subscale Aerial Target iz lansirnog postrojenja Tyndall Air Force Base. 104. je u programu ocjenjivanja sustava naoružanja i stacioniran je u zračnoj bazi Tyndall na Floridi (WSEP). Kako bi locirala posadu koja je izgubila kontakt sa svojim zapovjednikom, Nacionalna garda je 2013. godine prvi put rasporedila dron u Nacionalnom parku Yosemite. U roku od pet minuta, dronovi su pomogli u lociranju posade [45]. Kako bi se borili protiv šumskih požara, Vatrogasna postrojba Los Angelesa prvi je put upotrijebila bespilotne letjelice 2017. godine [46]. Savezni su vatrogasci koristili bespilotne letjelice za gašenje 340 šumskih požara u Oregonu iste godine. Nakon toga 12 država dopustilo je vatrogascima korištenje dronova [47]. Sve ove situacije utjecale su na donošenje novih zakona u SAD-u koji su omogućili upotrebu bespilotnih letjelica. Američki predsjednik Donald Trump tako je u ožujku 2019. potpisao odjeljak 1114 Zakona o tehnologiji upravljanja šumskim požarima kojim su se uveli dosljedni protokoli i planovi za korištenje tehnologija sustava bespilotnih letjelica za šumske požare, uključujući razvoj karata lokacija požara u stvarnom vremenu [48].

Tvrtka Elevated Robotic Services sa sjedištem u Kanadi poznata je po uslugama pomoći vatrogascima u rudarenju bespilotnim letjelicama u uočavanju požara. U prosincu 2017. godine istraživači Sveučilišta British Columbia u Kanadi ispitali su posljedice šumskih požara u British Columbiju upravo pomoću dronova [49].

Dr. Songsheng Li, istraživač računalnog inženjerstva na Zhaoqingu, kineskoj Visokoj školi za poslovanje i tehnologiju Guangdong, trenutno razvija autonomni sustav ranog upozoravanja na šumske požare. Koristi malene bespilotne letjelice

za nadzor šuma, prikupljanje podataka o okolišu i procjenu rizika od požara. Inteligentni načini letenja, bespilotne letjelice (UAV) i GPS sustavi važni su dijelovi njegovog sustava [50].

Godinu dana, počevši od veljače 2021. godine, Nizozemska vatrogasna brigada i Avy BV, nizozemski proizvođač dronova, testiraju bespilotnu letjelicu dugog dometa za rano otkrivanje i praćenje šumskih požara. Bespilotna letjelica velikog dometa ima termalnu i RGB kameru postavljenu na stabilizirani gimbal. Detekcija požara je automatizirana uz pomoć AI [51].

Dronovi, 5G tehnologija i umjetna inteligencija zaslužni su za otkrivanje požara i drugim zemljama u svijetu. Na primjer, u Grčkoj se danas koristi program za otkrivanje požara koji koristi sustav ranog upozorenja uz pomoć senzora i dronova koji na vrijeme upozoravaju na problem. Riječ je o projektu osmišljenom od strane tvrtki Huawei i Nova-Wind. U ovom projektu startup PROBOTEK osigurava sustavno rješenje za ranu detekciju, a Nova-Wind je telekom partner za povezivanje. Ovaj je projekt istražuje potencijal novih tehnologija za očuvanje okoliša, posebice nacionalne baštine, na pilot razini. Program za otkrivanje požara koristi sustav ranog upozorenja za identifikaciju požara koristeći senzore i dronove kako bi na vrijeme upozorio na problem. Funkcionira tako da su senzori instalirani na strateškim točkama u parku i međusobno su povezani s platformom za upravljanje incidentima i dronom. Dron obavlja redovne nadzorne letove kao i letove u hitnim slučajevima u slučaju indikacija senzora. Za otkrivanje dima ili požara koriste se specifični algoritmi koji analiziraju sliku i šalju podatke u kontrolni centar. U slučaju nužde, dron detektira dim ili vatru kroz kameru i šalje upozorenje kontrolnom centru. Odmah po detekciji dima, dron se upućuje na mjesto kako bi potvrdio incident, a zatim se dron ili vraća u svoju bazu ili bilježi napredovanje požara. Rezultat je trenutna identifikacija početne točke požara, praćenje udaljenih područja u stvarnom vremenu, rano vizualno otkrivanje dima i požara, a posljedično i zaštita ljudskih života [52].

4.3. Pregled zaključaka dosadašnjih studija o funkcioniranju bespilotne letjelice u zaštiti od požara

Izgradnja sustava bespilotnih letjelica u situacijama požara je fokus mnogih istraživačkih radova. U ovom je području daljinsko upravljanje ključno jer štiti ljude od nepotrebnog izlaganja rizičnim situacijama. Obavijest o opasnosti od požara i identifikacija aktivnih požara prije svega su postignuti satelitskim snimkama [53]. Dodatno, otkrivanje, praćenje i procjena rizika od šumskih požara predloženi su korištenjem bežičnih senzorskih mreža (WSN) [54]. Za obje vrste sustava postoje ograničenja u stvarnom svijetu. Prvom metodom teško je identificirati male požare jer se podaci izračunavaju u prosjeku po pikselu, što ovisi o razlučivosti slike [55]. Štoviše, sateliti nisu prikladni za kontinuirano praćenje zbog svoje ograničene pokrivenosti tla i mogućnosti značajnih proteka vremena između prolaska preko iste lokacije. U slučaju WSN-ov, njihovi kapaciteti pokrivenosti značajno su smanjeni izazovima održavanja, nedostatkom neovisnosti o napajanju i nescalabilnošću (zbog njihove statičke prirode) [56]. Nadalje, ako su senzori uništeni u požaru, to znači dodatne troškove zamjene. Zbog svoje autonomije, lakoće postavljanja i sposobnosti manevriranja bespilotni zrakoplovni sustavi (UAS) stoga su se iskazali prikladnijim za ovu zadaću [57].

Prema dosadašnjim istraživanjima, bespilotne letjelice korisne su za zadatke koji uključuju nadzor, praćenje i procjenu štete nakon požara, kako strateški tako i tehnički [58]. Također su korisni i pouzdani s ekonomskog stajališta jer su pokazali pozitivnu ekonomsku ravnotežu koja podržava njihovu primjenu u situacijama šumskih požara [59]. Koristeći svoje kamere i druge zračne senzore, dron može letjeti ili lebdjeti iznad određenih područja kako bi prikupio relevantne podatke. U svrhu postizanja najboljeg mogućeg otkrivanja, pokrivanja i suzbijanja požara, ovo je inspiriralo autore da predlože okvire i postupke temeljene na sustavu bespilotnih letjelica, a u nastavku slijedi prikaz od nekih ključnih tehničkih značajki bespilotnih letjelica u funkciji zaštite šuma od požara.

4.3.1. Opažaj vatre - segmentacija požara, boja i kretanja

Studije su pokazale koliko su bespilotne letjelice korisne za daljinsko očitavanje u situacijama gašenja požara. Čak i za osnovne zadatke kao što je slanje video sekvenci ljudskim operaterima i promatranje požara iz stacionarnog položaja, oni su nevjerojatno korisni. Vatrogasci već mogu planirati mjere zadržavanja i vidjeti širenje požara odozgo zahvaljujući ovom jednostavnom slučaju uporabe. Ipak, iako su korisni u manjim krizama, bespilotni zračni sustavi za jednu osobu nisu proširivi za opsežne situacije. Korištenjem nekoliko takvih sustava, automatizirani sustavi za nadzor i detekciju požara mogu pomoći u osiguravanju optimalne pokrivenosti požarnog područja. Štoviše, prikupljene informacije mogu se koristiti za istraživanje požara, procjenu štete nakon požara, izračun volumena i procjenu brzine širenja. Pregledom literature pokazalo se i da se kamere koriste i za detekciju nadzor i mjerenje požara. U takvim slučajevima, sustavi trebaju obavljati različite zadatke, poput planiranja putanje i procjene lokacije požara, kako bi funkcionirali neovisno kada se bave zadacima povezanim s požarom. Također se moraju brzo prilagoditi promjenjivom scenariju hitne situacije. Podaci senzora analiziraju se na ovaj način kako bi se identificirali požari i odredilo koje korake poduzeti kao odgovor na njih. Na temelju znakova boja ili infracrvenog intenziteta, autori obično izdvajaju piksele nalik vatri za detekciju požara. Procjena opsega požara ili opožarenih područja obično zahtijeva dodatnu analizu za zadatke praćenja. Kako bi se odredilo koliko će se požar proširiti tijekom vremena, izračunate mjere mogu se unijeti u modele požara [57, 60].

Proces identificiranja piksela na slici koji odgovaraju vatri poznat je kao segmentacija vatre. Standardi koji se koriste za odabir piksela razlikuju se među metodama. Primarni čimbenik koji utječe na točnost detekcije također je kriterij odabira. Intenziteti slike ili vrijednosti piksela slike iz vizualnog spektra obično se koriste u segmentaciji požara (npr. segmentacija prostora boja). Vatra se također može izdvojiti iz niza slika korištenjem segmentacije kretanja za praćenje njenog kretanja. Pikselne jedinice čine slike i mogu imati različito kodiranje (u boji, u sivim tonovima itd.). Tri vrijednosti u crvenom, zelenom i plavom kanalu (RGB) čine

svaki piksel na slici u boji. Za temperaturu (MWIR i LWIR) i refleksiju (NIR, SWIR), svaki piksel na infracrvenoj slici ima vrijednost jednog kanala [57].

Autori projekta COMETS koriste se preglednom tablicom koja sadrži RGB vrijednosti koje nalikuju vatri, a koja je preuzeta iz naučenog histograma boje vatre. Kada pikseli slike odgovaraju onima u tablici, vrijednosti koje nedostaju smatraju se neaktivnima. Kvaternimetrijske slike s vrijednostima zračenja u odnosu na ukupnu temperaturu objekata na sceni dobivene su korištenjem nekalibrirane LWIR kamere. Vrhunac topline slike ishoda ovisi o stanju stvari u to vrijeme. Pragovi koji se koriste za binarizaciju infracrvenih slika naučeni su kroz postupak obuke. U obzir su uzeti različiti uvjeti osvjetljenja i pozadine, sa slikama sa i bez vatre. Kao rezultat toga, postalo je moguće odabrati odgovarajući prag koji će se primijeniti tijekom instalacije pod poznatim okolnostima [61].

Ambrozija i sur. (2011) u svom istraživanju odabrali su fiksne pragove za svaki IR spektralni pojas. Također su mijenjali bendove koji se koriste za dnevne i noćne misije. Tijekom noći korišteni su MWIR i LWIR pojasevi, a danju je dodan NIR pojas. Rezultati pokazuju da se fiksni prag slabo prilagođava neočekivanim uvjetima, ali se može podesiti da radi bolje u poznatim okruženjima [60].

U jednom istraživanju autori koriste segmentaciju prostora boja. Slike se pretvaraju iz RGB u CIELAB prostor boja prije daljnje obrade [62]. U drugom se pak istraživanju predlaže korištenje prostora boja YCbCr. Skup pravila razvijen je na temelju empirijskih izračuna izvedenih na snimljenim slikama požara. Na primjer, autori u Sun i sur. (2017) smatraju piksele požarima ako njihove vrijednosti slijede sljedeća pravila: $Y > C_b$, $Cr > C_b$, $Y > Y_{mean}$, $C_b < C_{bmean}$ i $Cr > C_{rmean}$. Srednji podindeks označava srednju vrijednost kanala odgovarajuće slike [63].

Algoritmi dubokog učenja pokazali su izvanredne rezultate u brojnim domenama u proteklih nekoliko godina. Detekcija požara bila je primarni fokus prethodnog rada duboke konvolucijske neuronske mreže (CNN) u bespilotnim zračnim

sustavima. Uspješan sustav segmentacije požara mogao bi se stvoriti uz pomoć nedavno predloženih tehnika segmentacije dubokog požara [57]. Segmentacija vatre temeljena je uglavnom na statičkoj slici i pomaže u sužavanju prostora pretraživanja, ali ponekad uzrokuje i pogrešne rezultate kada otkrije objekte slične boje vatre. U jednom istraživanju autori su predložili korištenje Lukas-Kanade algoritma optičkog protoka za uzimanje u obzir kretanja vatre [64]. Vektor relativnog gibanja može se izračunati identificiranjem odgovarajućih značajnih točaka u uzastopnim okvirima slike. Osim pokretnih objekata na tlu, kretanje bespilotne letjelice je u skladu sa srednjim vektorom gibanja. Budući da se kreću nasumično, plamen vatre je jedan od tih objekata. Požari se mogu provjeriti i stope lažnih uzbuna smanjiti identificiranjem ključnih lokacija unutar područja s nepravilnim kretanjem i bojama koje podsjećaju na plamen [57].

4.3.2. Izvlačenje značajki o požaru

Sustav detekcije analizira podatke koje prima kako bi potražio obrasce koji podržavaju pojavu događaja. Brojanje različitih značajki koje mogu poslužiti kao jaki ili slabi potpisi za određenu aplikaciju način je na koji se obrasci identificiraju. Značajke koje su najviše tražene za detekciju požara dronovima su pokret, boja i svjetlina. Integracija različitih značajki uzima se u obzir u istraživanjima otkrivanja požara kako bi se poboljšali rezultati faze klasifikacije. Pikselne, prostorne i vremenske značajke mogu se razlikovati na temelju razine apstrakcije na kojoj su dohvaćene [57].

Kako bi se izvukli pikseli poput vatre, oznake boja se obično koriste u prvom koraku. Time je prostor pretraživanja manji i može se dalje obraditi pomoću algoritama detekcije koji zahtijevaju veće računalne troškove. Konveksna ljuska i granični pravokutnik dvije su prostorne karakteristike koje neki autori uzimaju u obzir pri određivanju složenosti opsega požara. Ponekad se uzima u obzir razdvajanje između položaja težišta točke unutar graničnog okvira [65].

Druga prostorna značajka koja se često koristi u otkrivanju požara je tekstura. Lokalni binarni obrasci i ubrzane robusne značajke primarni su deskriptori teksture predloženi za ovaj zadatak [66]. Ovi operatori proizvode vektor obilježja koji se može koristiti kao ulaz za klasifikaciju nakon karakterizacije lokalnih prostornih promjena u boji ili intenzitetu slike. Usklađivanje nepromjenjivo u mjerilu i rotaciji moguće je pomoću računalnog paketa SURF [57].

4.3.3. Razmatranje u aplikacijama bespilotne letjelice

Dodatne značajke mogu poboljšati detekciju požara. Značajke koje se dobiju vremenskom analizom procjenjuju razliku između susjednih okvira. U jednostavnim scenarijima, gdje je kamera statična, a pozadina nije složena, oduzimanje okvira može pomoći u otkrivanju pokretnih piksela. U prisutnosti složenih i dinamičnih pozadina, mogu se razmotriti modeli Gaussove mješavine i druge sofisticirane tehnike modeliranja pozadine. Međutim, video streamovi iz bespilotnih letjelica imaju brze pokrete i nijedna klasična metoda oduzimanja pozadine ne bi dala zadovoljavajuće rezultate zbog pretpostavke statične kamere. Čak i u situaciji kada letjelica lebdi iznad fiksne pozicije, na slike još uvijek utječu turbulencije vjetra i vibracije. Stoga, kako bi se moglo primijeniti tehnike analize pokreta, potrebno je razmotriti poravnanje slike i stabilizaciju videa. Uobičajeni pristup je pronaći jake značajke koje se mogu pratiti preko niza okvira. Merino i sur. (2012) u svom sustavu pomoći pri vatri, koristili su pristup procjene gibanja temeljen na podudaranju točaka značajki, poznat kao rijetko polje gibanja. Iz usklađenih točaka procjenjuju homografsku matricu koja preslikava piksele na slici s pikselima u prethodnom okviru. To omogućuje mapiranje svake slike u zajednički koordinirani okvir za poravnanje [67]. SURF i ORB dvije su metode značajnih točaka koje su korištene za izdvajanje istaknutih značajki prije poravnanja slike. Koliko znamo, utjecaji i prednosti poravnanja slike još nisu obrađeni u literaturi koja se odnosi na detekciju požara i dima, ali neki istraživači poput smatraju da je važno da njihov sustav za pomoć u požaru ispravno radi [67, 68].

Metoda klasifikacije koja se temelji na algoritmima učenja koristi se u mnogim pristupima detekciji požara. Stvaranje ili otkrivanje velikog skupa podataka bez pristranosti primarni je izazov u strojnom učenju. Skup podataka ove vrste trebao bi uključivati negativne primjere sastavljene od izazovnih i standardnih uzoraka, kao i pozitivne primjere sa značajnim varijacijama značajki [57].

4.4. Rasprava na temelju provedenih istraživanja - prednosti i nedostaci primjene bespilotnih letjelica u zaštiti šuma od požara

Ranije prikazana istraživanja pokazuju da se bespilotne letjelice danas koriste za različite potrebe i svrhe u šumarstvu. Imaju mnoge prednosti kada se koriste u zaštiti od požara u šumama; brze su, jeftine i učinkovite te olakšavaju pristup teško dostupnim područjima bez ugrožavanja sigurnosti ljudi. Također smanjuju trošenje novca i vremena. Zapravo je prednost bespilotnih letjelica u odnosu na letjelice kojima upravlja fizička osoba sažeta u samom njihovom nazivu. Njihova veličina i mogućnost pristupa područjima koja su ili potpuno nedostupna ili ljudima teško dostupna velika su prednost. Malo je vjerojatno da se zrakoplov sruši, a i u tom slučaju šteta će biti samo mala. Jedna od prednosti, s obzirom na veličinu zrakoplova, je to što može letjeti vrlo visoko i daleko, kao i ostati u stacionarnom letu, odnosno lebdjeti na jednom mjestu zbog svoje izvrsne manevarske sposobnosti. Bespilotne letjelice imaju i niže troškove održavanja i operativne troškove. Nadalje, za razliku od zrakoplova, ove letjelice mogu letjeti nekoliko sati neprekidno na malim visinama. Njihov kapacitet praćenja, snimanja, nadzora i izviđanja, kao i jednostavno i brzo postavljanje sustava, također su velike prednosti.

Dronovi osim brojnih prednosti imaju i niz nedostataka. Glavni nedostatak korištenja bespilotne letjelice na daljinsko upravljanje je mogućnost skupih pogrešaka pilota, što bi moglo rezultirati padom letjelice. Nadalje, moguće je da se zrakoplov potpuno izgubi tijekom pada. Kada je bespilotna letjelica programirana za let, postoji rizik da će računalo ili aplikacija koja kontrolira let pokvariti ili prikazati netočne podatke. Ovo je posebno opasno kada se zrakoplov

koristi za protupožarne i vojne operacije, jer može dovesti do civilnih žrtava i uništenja imovine. Sigurnost takvih sustava je dovedena u pitanje jer loše programirane letjelice mogu uzrokovati značajnu štetu.

Dakle, iz ranije navedenih istraživanja vidljivo je da prednosti korištenja bespilotnih letjelica nije samo razonoda ili vojne svrhe, kao što je to pretežno bi slučaj u prošlosti. Dronovi danas očigledno imaju vrlo važno mjesto u šumarstvu. Međutim, vidljivo je i da aerosnimke nisu dovoljno korištene u hrvatskom šumarstvu, unatoč domaćim istraživanjima o njihovoj potencijalnoj upotrebi. Brojne primjene aerofotogrametrije u gospodarenju šumama predmet su opsežnih istraživanja u Hrvatskoj posljednjih trideset godina. Iako su neke studije dale obećavajuće rezultate i predložile potencijalne primjene, daljinsko očitavanje još nije našlo široku primjenu u gospodarenju šumama. Međutim, kako tehnologija bespilotnih letjelica postaje sve dostupnija i pristupačnija dronovi bi u budućnosti mogli imati širu i redovitiju primjenu, a ovaj svjetski trend zasigurno će prihvatiti i Hrvatska.

5. ZAKLJUČAK

Šumski požar je iznenadna, katastrofalna prirodna katastrofa i jednostavno teško predvidiva u kontekstu praćenja. Prevencija šumskih požara zahtijeva rano praćenje. Često se provode rutinske inspekcije, za razliku od konvencionalne osnovne metode sprječavanja šumskih požara. Za dovršetak ove radno intenzivne metode potrebno je puno rada i materijalnih resursa. Osoblje ne može ili nema lak pristup odredištu, a male su šanse za točno promatranje vatrene točke, osobito u područjima s lošim geografskim okruženjem. Iako je satelitska tehnologija daljinskog otkrivanja korisna, njezina pravodobnost i rezolucija nisu jako visoke. Bepilotne letjelice su trenutno najpovoljnija opcija. Bez obzira na teren, planiranje rute može postići automatizirani daljinski pregled i nadzor u hitnim slučajevima. Operater može završiti sve operacije izvan mjesta, a ovaj proces ne zahtijeva puno ručnog rada. Kada je riječ o praćenju šumskih požara, fotoelektrična ploča drona može brzo identificirati žarište i područje pokrivenosti. Također može poslati upit za alarm koji će dati precizne koordinate vatrene točke. Njegove prednosti uključuju snažnu inspekciju u stvarnom vremenu, fleksibilnost, brz odgovor u hitnim slučajevima i visoku pravovremenost. Rano otkrivanje šumskih požara, brzo tumačenje informacija o požaru i ubrzano raspoređivanje osoblja za sprječavanje požara doprinose naposljetku i smanjenju materijalnih i ljudskih žrtava. Slijedom navedenog, iako je primjena sustava bespilotnih letjelica i dalje u fazi istraživanja, rezultati dosadašnjih studija pokazuju veliki potencijal, te je izvjesno da će taj sustav uskoro biti puno šire implementiran u području šumarstva u Hrvatskoj i svijetu jer nudi šanse za poboljšanu sigurnost i zaštitu šuma od požara.

LITERATURA

[1] Europski parlament: Klimatske promjene: Zdravim šumama protiv emisija stakleničkih plinova,

<https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20170711STO79506/klimatske-promjene-zdravim-sumama-protiv-emisija-staklenickih-plinova>,

pristupljeno 14.5.2024.

[2] BROUAV: Products, <https://hr.brouases.com/info/the-application-of-drones-in-forest-firefight-68539783.html>, pristupljeno 14.5.2024.

[3] Lemić D., Radanović R., Orešković M., Genda M., Kapor K. i Virić Gašparić H.: *Dronovi kao moderan alat za suvremenu poljoprivredu*. Glasilo biljne zaštite, 21 (2021). 4, 476-491.

[4] DRONTIM: Tri razloga zašto bi šumarske tvrtke trebale koristiti bespilotne letjelice za određivanje stanja šumskih zaliha i općeg stanja šuma,

<https://drontim.hr/tri-razloga-zasto-bi-sumarske-tvrtke-trebale-koristiti-bespilotne-letjelice-za-odredivanje-stanja-sumskih-zaliha-i-opceg-stanja-suma/>,

pristupljeno 10.5.2024.

[5] European Commission: Unmanned aircraft (drones),

https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/aviation-safety/unmanned-aircraft-drones_en, pristupljeno 21.5.2024.

[6] Dnevnik.hr: Pogledajte najstariju fotografiju na svijetu,

<https://dnevnik.hr/vijesti/svijet/pogledajte-najstariju-fotografiju-na-svijetu.html>,

pristupljeno 21.5.2024.

[7] Kušan V.: *Pristup daljinskim istraživanjima i GIS-u u hrvatskome šumarstvu*, Šumarski List, 3-4 (1996), 171-178.

[8] Consortiq: A Not-So-Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAV),

<https://consortiq.com/uas-resources/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>, pristupljeno 25.5.2024.

[9] IWM: A Brief History of Drones, <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>, pristupljeno 13.5.2024.

[10] Bodin M.: The Illuminating Science Behind Fireflies,

<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/illuminating-science-behind>

[fireflies-180982112/](#), prisutpljeno 14.5.2024.

[11] Fahlstorm P. G. i Gleason T. J.: Introduction to UAV Systems: Fourth Edition, John Wiley & Sons, Ltd, SAD, (2012.).

[12] INSTAR: Dron, <https://www.instar-informatika.hr/dron-dji-mini-2-se-fly-more-combo/163308/product/>, pristupljeno 14.5.2024.

[13] DB Regio Bayern: Fly over Munich in a Zeppelin, <https://www.discoverbavaria.com/destinations/zeppelin-munich>, pristupljeno 20.5.2024.

[14] Čunko M.: Mogućnosti primjene bespilotne letjelice u zaštiti šuma i požara, file:///C:/Downloads/cunko_miroslav_vuka_2017_zavrs_struc.pdf, pristupljeno 11.5.2024.

[15] UAV Systems International: Products, <https://uavsystemsinternational.com/>, pristupljeno 20.5.2024.

[16] INVEST IN ODENSE: International drone show, https://investinodense.dk/international-drone-show/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=&utm_term=wy%20are%20drones%20popular%20and%20useful&device=c&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwmMayBhDuARIsAM9HM8fb6NbLRi9fXFv_XW0sQBN0zJZeoqf0JpdkV86l6mfovSGTCdtNnYaAtY9EALw_wcB, pristupljeno 20.5.2024.

[17] Mohsan S. G. H., Khan M. A., Noor F., Ullah I., Alsharif M. H.: Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review, Drones, 6 (2022), 6, <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/6/147>, pristupljeno 20.5.2024.

[18] Shakhatreh H., Sawalmeh A. H., Al-Fuqaha A., Dou Z., Almaita E., Khalil I., Othman N. S., Khreishah A., Guizani M.: *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges*. IEEE Access, 7 (2019), 48572-48634

[19] Reinecke M. i Prinsloo T.: The influence of drone monitoring on crop health and harvest size, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8016168/>, pristupljeno 25.5.2024.

[20] Maes W. H. i Steppe K.: *Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture*. Trends Plant Sci, 24 (2019), 152–164.

[21] Menouar H., Guvenc I., Akkaya K., Uluagac A. S., Kadri A. i Tuncer A.: UAV enabled intelligent transportation systems for the smart city: Applications and

challenges, *IEEE Commun*, 55 (2017), 22–28.

[22] Elloumi M., Dhaou R., Escrig B., Idoudi H. i Saidane L. A.: Monitoring road traffic with a UAV-based system, https://oatao.univ-toulouse.fr/22632/1/elloumi_22632.pdf, pristupljeno 15.5.2024.

[23] Tiansawat P. i Elliott S.: Unmanned Aerial Vehicles for Automated Forest Restoration, https://www.researchgate.net/profile/Stephen-Elliott/2/publication/350688583_Unmanned_Aerial_Vehicles_for_Automated_Forest_Restoration/links/614b3f56a3df59440ba46d20/Unmanned-Aerial-Vehicles-for-Automated-Forest-Restoration.pdf, pristupljeno 25.5.2024.

[24] De Almeida D. R. A., Broadbent E. N., Ferreira M. P., Meli P., Zambrano A. M. A., Gorgens E. B., Resende A. F., De Almeida C. T., Amaral C. H. D. i Corte A. P. D.: *Monitoring restored tropical forest diversity and structure through UAV borne hyperspectral and lidar fusion*, *Remote Sens. Environ*, 264 (2021), 112582.

[25] Moura M., De Oliveira L., Sanquetta C., Bastos A., Mohan M. i Corte A.: *Towards amazon forest restoration: Automatic detection of species from UAV imagery*, *Remote Sens*, 13 (2021), 2627.

[26] Zhang Y., Yuan X.; Li W. i Chen S.: *Automatic power line inspection using UAV images*, *Remote Sens*, 9 (2017), 824.

[27] Foudeh H. A., Luk P.C.-K. i Whidborne J. F.: *An advanced unmanned aerial vehicle (UAV) approach via learning-based control for overhead power line monitoring: A comprehensive review*. *IEEE Access*, 9 (2021), 130410–130433.

[28] Dronografija: Letenje dronom u Hrvatskoj, <https://www.dronografija.com/post/letenje-dronom-u-hrvatskoj>, pristupljeno 25.5.2024.

[29] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture: *Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova*, Narodne novine broj 104/2018, Zagreb, (2018.).

[30] CCAA: *Letačke operacije sustavima bespilotnih zrakoplova*, <https://www.ccaa.hr/otvorena-kategorija-43022>, pristupljeno 20.5.2024.

[31] Hrvoje Sremić osiguranje drona: *Osiguranje drona*, <https://www.osiguranjedrona.eu.hr/>, pristupljeno 24.5.2024.

[32] Vlada Republike Hrvatske: *Uredba o snimanju iz zraka*, Narodne novine broj 77/2020, Zagreb, (2020).

- [33] Hrvatski sabor: Zakon o obrani, Narodne novine broj 73/2013, Zagreb, (2023).
- [34] AGROKLUB: Kroz EU projekt dronovima nadziru stanje baranjskih šuma, <https://www.agroklub.com/sumarstvo/kroz-eu-projekt-dronovima-nadziru-stanje-baranjskih-suma/53587/>, pristupljeno 13.5.2024.
- [35] Sveučilište u Zagrebu: Treći "DroneDays": Nova perspektiva dronova u poljoprivredi i šumarstvu, <https://www.unizg.hr/nc/vijest/article/treci-dronedays-nova-perspektiva-dronova-u-poljoprivredi-i-sumarstvu/>, pristupljeno 25.5.2024.
- [36] Balenović I.: Prijedlog teme stručnog usavršavanja HKIŠDT, http://www.hkisdt.hr/podaci/2020/SU/teme/Balenovic_Jurjevic.pdf, pristupljeno 25.5.2024.
- [37] Donassy V., Oluić M. i Tomašegović, Z.: *Daljinska istraživanja u geoznanostima*, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Savjet za daljinska istraživanja i fotointerpretaciju, Zagreb, (1983).
- [38] Pernar R., Ančić M. i Aeletković A.: PRIMJENA ICK AEROSNIMAKA ZA UTVRĐIVANJE OŠTEĆENOSTI ŠUMA NA PODRUČJU UŠP GOSPIĆ (CROSBID 140846), *Šumarski list*, CXXXI (2007), 11-12, 507-521
- [39] Balenović I. i Benko, M.: *Prošlost, sadašnjost i budućnost primjene metoda daljinskih istraživanja pri inventuri šuma u Hrvatskoj*, *Šumarski List*, 13 (2011), 272-281.
- [40] Balenković I., Marjanović H. i Benko, M.: *Primjena aerosnimaka u uređivanju šuma u Hrvatskoj*, *Šumarski List*, 11-12 (2010), 623-631.
- [41] DGU: Aerofotogrametrijski snimak, <https://dgu.gov.hr/proizvodi/usluge/podaci-topografske-izmjere/aerofotogrametrijski-snimak/181>, pristupljeno 12.5.2024.
- [42] Vugdelija K.: *Bespilotne letjelice, razvoj, značaj i primjena u šumarstvu*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, (2016), [file:///C:/Downloads/vugdelija_karmen_sumfak_2016_zavrs_sveuc%20\(1\).pdf](file:///C:/Downloads/vugdelija_karmen_sumfak_2016_zavrs_sveuc%20(1).pdf), pristupljeno 25.5.2024.
- [43] USDA: Forest Service Wildland Fire Suppression Costs Exceed \$2 Billion, <https://www.usda.gov/media/press-releases/2017/09/14/forest-service-wildland-fire-suppression-costs-exceed-2-billion>, pristupljeno 15.5.2024.

- [44] Chakareski J.: Drone Networks for Virtual Human Teleportation, https://www.researchgate.net/publication/317673366_Drone_Networks_for_Virtual_Human_Teleportation, pristupljeno 20.5.2024.
- [45] Chakareski J., Velisavljevic V., Stankovic V.: *User-Action-Driven View and Rate Scalable Multiview Video Coding*, IEEE Transactions on Image Processing, 22 (2013), 9, 3473–3484.
- [46] Erdelj M. i Natalizio E.: UAV-assisted disaster management: Applications and open issues, https://www.researchgate.net/publication/301710340_UAV_assisted_disaster_management_Applications_and_open_issues, pristupljeno 8.5.2024.
- [47] Cruz H., Eckert M., Meneses J. i Martínez JF.: *Efficient Forest Fire Detection Index for Application in Unmanned Aerial Systems (UASs)*, Sensors, 16 (2016), 65, 893.
- [48] Afghah F., Shamsoshoara A., Njilla L. i Kamhoua C.: *A reputation-based stackelberg game model to enhance secrecy rate in spectrum leasing to selfish IoT devices*, IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 312–317.
- [49] Ghazanfari B., Afghah F. i Matthew E.: Autonomous Extraction of a Hierarchical Structure of Tasks in Reinforcement Learning, A Sequential Associate Rule Mining Approach, <https://arxiv.org/abs/1811.08275>, pristupljeno 20.5.2024.
- [50] Ghazanfari B. i Mozayani N.: *Enhancing Nash Q-learning and Team Q learning mechanisms by using bottlenecks*, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 26 (2014), 6, 2771–2783.
- [51] AVY: The ultimate VTOL drone, <https://avy.eu/>, pristupljeno 20.5.2024.
- [52] Čizmić M.: Moderna tehnologija za spas šuma: Dronovi, umjetna inteligencija i 5G tehnologija otkrivaju požare u Grčkoj, ZIMO, <https://zimo.dnevnik.hr/clanak/moderna-tehnologija-za-spas-suma-dronovi-umjetna-inteligencija-i-5g-tehnologija-otkrivaju-pozare-u-grckoj---731183.html>, pristupljeno 17.5.2024.
- [53] Chiaraviglio N., Artés T., Bocca R., López J., Gentile A., Ayanz J. S. M., Cortés A. i Margalef T.: Automatic fire perimeter determination using MODIS

hotspots information, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7870928>, pristupljeno 25.5.2024.

[54] Yoon I., Noh D. K., Lee D., Teguh R, Honma T. i Shin H: Reliable wildfire monitoring with sparsely deployed wireless sensor networks, <https://ieeexplore.ieee.org/document/6184906>, pristupljeno 18.5.2024.

[55]] Marder J.: NASA tracks wildfires from above to aid firefighters below, <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-tracks-wildfires-from-above-to-aid-firefighters-below>, pristupljeno 18.5.2024.

[56] Bumberger J., Remmler P., Hutschenreuther T., Toepfer H. i Dietrich P.: Potentials and Limitations of Wireless Sensor Networks for Environmental, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013AGUFM.H51F1263B/abstract>, pristupljeno 20.5.2024.

[57] Akhloufi M. A., Courtier A. i Castro N.: Unmanned Aerial Systems for Wildland and Forest Fires, [file:///C:/Downloads/2004.13883%20\(1\).pdf](file:///C:/Downloads/2004.13883%20(1).pdf), pristupljeno 25.5.2024.

[58] Ollero A., De Dios J. M. i Merino L.: *Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting*, Forest Ecology and Management, 234 (2006), 1-263.

[59] Restas A.: Forest fire management supporting by UAV based air reconnaissance results of szendro fire department, hungary, https://www.researchgate.net/publication/251833987_Forest_Fire_Management_Supporting_by_UAV_Based_Air_Reconnaissance_Results_of_Szendro_Fire_Department_Hungary, pristupljeno 25.5.2024.

[60] Ambrosia V., Wegener S., Zajkowski T., Sullivan D., Buechel S., Enomoto F. Lobitz B., Johan S., Brass J. i Hinkley E.: *The ikhana unmanned airborne system (UAS) western states fire imaging missions: from concept to reality (2006–2010)*, Geocarto International, 26 (2011), 2, 85–101.

[61] Merino L., Caballero F., Martínez-de Dios J. i Ollero A.: Cooperative fire detection using unmanned aerial vehicles, https://www.researchgate.net/publication/224625797_Cooperative_Fire_Detection_using_Unmanned_Aerial_Vehicles, pristupljeno 20.5.2024.

[62] Yuan C., Zhixiang L. i Youmin Z.: *Aerial images-based forest fire detection for firefighting using optical remote sensing techniques and unmanned aerial*

vehicles, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 88 (2017), 2-4, 635–654.

[63] Sun H., Song H, Wei Z., Zhang Y. i Liu S.: Bilateral teleoperation of an unmanned aerial vehicle for forest fire detection, [https://www.semanticscholar.org/paper/Bilateral-teleoperation-of-an-unmanned-aerial-for-Sun Song/c4d1aaeac66e5505bb4dbd92127c5314c3b70853](https://www.semanticscholar.org/paper/Bilateral-teleoperation-of-an-unmanned-aerial-for-Sun-Song/c4d1aaeac66e5505bb4dbd92127c5314c3b70853), pristupljeno 23.5.2024.

[64] Bruhn A., Weickert J. i Schnörr C.: *Lucas/kanade meets horn/schunck: Combining local and global optic flow methods*, International Journal of Computer Vision, 61 (2005), 211–231, 2005.

[65] Zhou Q., Yang X. i Bu L.: Analysis of shape features of flame and interference image in video fire detection, [https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-shape-features-of-flame-and-image-in-Zhou Yang/e52dae5516aa28ce64452d5baa70ee2bdaf045e8](https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-shape-features-of-flame-and-image-in-Zhou-Yang/e52dae5516aa28ce64452d5baa70ee2bdaf045e8), pristupljeno 25.5.2024.

[66] Choi J. i Choi J. Y.: Patch-based fire detection with online outlier learning, <https://www.semanticscholar.org/paper/Patch-based-fire-detection-with-online-outlier-Choi-Choi/e2291f81c7cccd1b7b654552527e3a419bd27fc>, pristupljeno 20.5.2024.

[67] Merino L., Caballero F., Martínez-de Dios J., Maza I. i Ollero A.: *An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement*, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 65 (2012), 1-4, 533–548.

[68] Bay H., Ess A., Tuytelaars T. i Gool L. V.: *Speeded-up robust features (SURF)*, Computer Vision and Image Understanding, 110 (2008), 3, 346-359.

[69] Rublee E., Rabaud V., Konolige K. i Bradski G.: Orb: An efficient alternative to SIFT or SURF, https://www.researchgate.net/publication/221111151_ORB_an_efficient_alternative_to_SIFT_or_SURF, pristupljeno 26.5.2024.

POPIS SLIKA

Slika 1. Беспilotna letjelica „Global Hawk”	4
Slika 2. Dron.....	6
Slika 3. Zeppelin	6
Slika 4. Pomoć drona na autocesti	16
Slika 5. Pregled dalekovoda uz pomoć drona	18
Slika 6. Kategorizacija беспilotnih letjelica	20

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela bespilotnih letjelica s obzirom na konstrukciju, upotrebu, dolet i pogonsku skupinu.....	7
---	---