

Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi

Miloglav, Nikša

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:518249>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PRIMJENA BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U
PROTUPOŽARNOJ OPERATIVI**

**UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLICATION IN
FIREFIGHTING OPERATIONS**

Mentor: prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Nikša Miloglav

JMBAG: 0135230049

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 20. studenoga 2023.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Nekonvencionalno zrakoplovstvo**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7391

Pristupnik: **Nikša Miloglav (0135230049)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu diplomskog rada potrebno je definirati predmet istraživanja, svrhu i cilj istraživanja, dati pregled dosadašnjih istraživanja razmatrane tematike, predložiti strukturu rada prema poglavljima te definirati očekivane rezultate istraživanja. Potrebno je dati presjek zakonske regulative o bespilotnim zrakoplovima. Ukratko opisati moguće primjene bespilotnih zrakoplova u civilne namjene, a naglasak staviti na mogućnosti primjene u protupožarnoj operativi. Usporediti najčešće korištene bespilotne zrakoplove u protupožarne svrhe u svijetu. Dati pregled trenutnog stanja protupožarne operative u Republici Hrvatskoj te ukazati na mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova. U zaključnom dijelu izvesti konkretne zaključke o tematici istraživanoj u diplomskom radu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Andrija Vidović

SAŽETAK

Upotreba bespilotnih zrakoplova ili dronova ima širok spektar primjena, uključujući sport, rekreaciju, komercijalne svrhe i vojne operacije. U civilnom sektoru, bespilotni zrakoplovi su postali nezamjenjivi alati koji omogućuju brzu reakciju i precizno obavljanje zadataka koji bi inače bili zahtjevni ili opasni za ljude. To se odnosi i na primjenu u protupožarstvu, gdje su bespilotni zrakoplovi postali standardna oprema, omogućujući brzo otkrivanje izvora požara, praćenje njegovog širenja, te pristup teško dostupnim ili opasnim područjima gdje ljudski život može biti ugrožen. Različiti modeli bespilotnih letjelica nude specifične funkcionalnosti u protupožarstvu, a njihova oprema može se prilagoditi ovisno o vrsti intervencije, primjerice dodavanjem termalnih kamera, senzora dima ili sustava za ispuštanje vode.

Republika Hrvatska također je prepoznala potencijal ove tehnologije te je integrirala različite modele bespilotnih letjelica u svoj sustav za određene operacije u protupožarstvu, čime se povećala učinkovitost i sigurnost vatrogasnih intervencija. Iako trenutna rješenja već pokazuju značajano poboljšanje u protupožarnim operacijama, budućnost donosi još mnogo prostora za inovacije i daljnji napredak, što će omogućiti još širu i sofisticiraniju primjenu bespilotnih letjelica u borbi protiv požara i drugim hitnim situacijama.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotne letjelice; protupožarstvo; zakonska regulativa; civilna namjena; sustavi i oprema

SUMMARY

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones spans a wide range of applications, including sports, recreation, commercial purposes, and military operations. In the civil sector, UAVs have become indispensable tools that enable rapid response and precise execution of tasks that would otherwise be challenging or hazardous for humans. This is particularly relevant in firefighting, where UAVs have become standard equipment, allowing for the quick detection of fire sources, monitoring of fire spread, and access to hard-to-reach or dangerous areas where human life may be at risk. Different models of UAVs offer specific functionalities in firefighting, and their equipment can be customized to the type of intervention, such as the addition of thermal cameras, smoke sensors, or water release systems.

Croatia has also recognized the potential of this technology and has integrated various models of UAVs into its system for specific firefighting operations, thereby enhancing the efficiency and safety of firefighting interventions. While current solutions already demonstrate significant improvements in fire operations, the future holds considerable potential for innovation and further advancement, which will allow for an even broader and more sophisticated use of drones in combating fires and other emergency situations.

KEY WORDS: unmanned aerial vehicles (UAVs); firefighting; legislation; civilian applications; systems and equipment

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED REGULATIVE O BESPILOTNIM ZRAKOPLOVIMA.....	3
2.1. Pregled regulative u SAD-u	3
2.2. Pregled regulative u Europi.....	5
3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE BESPILOTNIH LETJELICA	12
3.1. Primjena u civilne svrhe	12
3.2. Primjena u vojne svrhe	15
4. PRIMJENA BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U PROTUPOŽARNOJ OPERATIVI	18
4.1. Oprema i tehnologija	18
4.1.1. Navigacijski sustavi.....	18
4.1.2. RTK/PPK tehnologija.....	19
4.1.3. LiDAR.....	21
4.1.4. Dock	23
4.1.5. Softveri	24
4.2. SAR	26
4.3. Nadzor i mapiranje	28
4.4. Procjena štete.....	29
4.5. Operacije s opasnim tvarima	30
4.6. Prevencija.....	33
4.7. Modeli bespilotnih letjelica	34
4.7.1. <i>DJI Phantom 4 RTK</i>	35
4.7.2. <i>DJI Mavic 3 Enterprise vs. M30 vs. M300 RTK</i>	36
4.7.3. <i>Autel EVO II Dual 640T vs. M30T vs. MATRICE 300RTK+H20T</i>	44
4.7.4. <i>Yuneec H520E vs. DJI vs. Autel EVO II Dual 640T</i>	48
4.7.5. Bepilotne letjelice s fiksnim krilima	53
4.8. Budućnost korištenja bespilotnih letjelica u protupožarstvu	57
5. PROTUPOŽARNA OPERATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	63
5.1. Canadair CL-415	64
5.2. Air Tractor AT-802	65
5.3. Mi-171Sh.....	67
5.4. Pilatus PC-9.....	67
6. MOGUĆNOST PRIMJENE BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U PROTUPOŽARNOJ OPERATIVI U REPUBLICI HRVATSKOJ	69

6.1.	Regulativa i zakoni u Republici Hrvatskoj.....	69
6.2.	Požari u Republici Hrvatskoj.....	70
6.3.	Bespilotni zrakoplovi u Republici Hrvatskoj	74
6.3.1.	<i>ORBITER 3</i>	75
6.3.2.	Pilot-program EMSA-e	79
6.3.3.	Tele2 DRONacija	81
6.4.	Prijedlog organizacije protupožarnog sustava bespilotnih zrakoplova u RH.....	83
7.	ZAKLJUČAK	88
	LITERATURA.....	91
	POPIS KRATICA	97
	POPIS SLIKA	99
	POPIS TABLICA.....	101

1. UVOD

Bespilotni zrakoplovi ili dronovi postali su neizostavan dio suvremenog svijeta s mnogobrojnim primjenama u različitim sektorima. Njihova sve veća popularnost rezultat je napretka u tehnologiji, ali i potrebe za inovativnim pristupima u mnogim područjima, uključujući i protupožarnu operativu. Požari širom svijeta svake godine prouzrokuju razaranja, gubitak života te velike materijalne štete, stoga je važno istražiti nove metode i tehnologije koje bi mogle unaprijediti sustave zaštite od požara.

Cilj istraživanja je prikazati moguće primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarstvu u svijetu i u Republici Hrvatskoj, operacije u kojima su najefikasniji i tehnologije po kojima se razlikuju. Svrha istraživanja je utvrditi donose li bespilotni zrakoplovi značajno poboljšanje kod operacija u kojima se koriste te iznijeti prijedloge njihove daljnje implementacije, posebice u Republici Hrvatskoj.

Diplomski rad je koncipiran u 7 poglavlja, kako slijedi:

1. Uvod
2. Pregled regulative o bespilotnim zrakoplovima
3. Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova
4. Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi
5. Protupožarna operativa u Republici Hrvatskoj
6. Mogućnost primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi u Republici Hrvatskoj
7. Zaključak

U uvodnom poglavlju, definirani su predmet, svrha i cilj istraživanja te je predložena struktura diplomskog rada prema poglavljima.

U poglavlju 2, dan je pregled regulative o bespilotnim zrakoplovima u SAD-u i Europi, koji pruža uvid u različite pravne okvire koji oblikuju korištenje bespilotnih zrakoplova u tim regijama.

Nakon toga, u poglavlju 3, istražen je širok spektar mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova, uključujući civilne i vojne svrhe.

Glavni fokus ovog istraživanja usmjeren je na primjenu bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi, što je i tematika koja se obrađuje u poglavlju 4. Razmatrane su različite tehnologije koje se koriste u protupožarnim operacijama, uključujući navigacijske sustave, RTK¹/PPK² tehnologiju i LiDAR³ sustave, itd. Nadalje, analizirane su specifične primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi, uključujući nadzor i mapiranje, SAR⁴ operacije, procjenu štete, operacije HAZMAT⁵ i prevenciju. Nadalje prikazani su neki od modela bespilotnih zrakoplova koji se upotrebljavaju u protupožarstvu te njihova usporedba, kako bi se moglo zaključiti koja je letjelica prikladnija za koju vrstu misije. Na kraju poglavlja je osvrtno na potencijalne buduće primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarnim operacijama i načine na koje bi se mogle implementirati.

Poglavlje 5 daje osvrtno na trenutno stanje vatrogasnih snaga u Republici Hrvatskoj i kratki pregled konvencionalnih letjelica koje su na raspolaganju 855.-oj protupožarnoj eskadrili, koja obavlja ključne operacije gašenja požara iz zraka.

Na početku poglavlja 6 dan je presjek regulative o bespilotnim zrakoplovima u Republici Hrvatskoj. U drugom dijelu poglavlja prikazane su bespilotne letjelice koje se koriste za protupožarne operacije u Republici Hrvatskoj. Navedeni su bespilotni sustavi koji se koriste za različite misije i manje bespilotne letjelice donirane Javnim vatrogasnim postrojbama i Dobrovoljnim vatrogasnim društvima.

U zaključnom segmentu ovog rada su formulirani konkretni zaključci o predmetu istraživanja koji je obuhvaćen u ovom diplomskom radu.

¹ Real Time Kinematic - kinematičko pozicioniranje u stvarnom vremenu

² Post-Processing Kinematics - kinematičko pozicioniranje nanadnom obradom podataka

³ Light Detection and Ranging - optički mjerni instrument

⁴ Search and Rescue - potraga i spašavanje

⁵ Hazardous materials - opasna roba

2. PREGLED REGULATIVE O BESPILOTNIM ZRAKOPLOVIMA

2.1. Pregled regulative u SAD-u

Jedan od ključnih zakonskih okvira za bespilotne letjelice u Sjedinjenim Američkim Državama je službeni dokument nazvan *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, što znači bespilotni zrakoplovni sustavi. Ovaj dokument objavljen je 1. kolovoza 2017. s ciljem pružanja smjernica za legalno upravljanje bespilotnim letjelicama i sustavima bespilotnih letjelica⁶. FAA⁷-in Part 107 pruža propise za izdavanje certifikata daljinskog pilota, kao i operativna pravila za operatore bespilotnih letjelica, kao što su održavanje linije vidljivosti, masa ispod 25 kg (55 lbs), brzina manja od 45 m/s (100 mph) i let ispod 121,92 m (400 ft).

Ipak, Part 107 nije sveobuhvatno rješenje za sve bespilotne operacije. Neki zadaci ne zadovoljavaju uvjete prema Part 107, a neki mogu biti u skladu s njim. U svakom slučaju oni zahtijevaju dodatna odobrenja ili izuzeća radi rješavanja specifičnih regulatornih pitanja. FAA je prvotno objavila Part 107, 21. lipnja 2016. godine, ali je kasnije ažuriran 15. siječnja 2021. kako bi omogućio noćno letenje i letenje iznad ljudi bez posebnih odobrenja. FAA teži reguliranju putem propisa, a ne preko pojedinačnih odobrenja⁸. Sažeti su u četiri skupine⁹:

Operativna ograničenja:

- bespilotna letjelica mora imati masu manju od 25 kg (55 lbs);
- bespilotna letjelica mora ostati u vidnom polju operatera ili promatrača;
- male bespilotne letjelice ne smiju vršiti operacije iznad ljudi koji nisu uključeni u operaciju;
- dopuštene samo dnevne operacije (vremena službenih izlazaka i zalazaka sunca po lokalnom vremenu);
- bespilotna letjelica mora prepustiti prednost prolaska drugom zrakoplovu;
- operater može uz sebe imati promatrača, ali i ne mora;
- FPV¹⁰ kamera ne zadovoljava uvjete za „prepoznavaj i izbjegni“ princip, ali se može koristiti sve dok zadovoljava ostale potrebne zahtjeve;
- maksimalna brzina u zraku ne smije biti veća od 160,93 km/h (100 mph);
- maksimalna visina leta ne smije biti viša od 152,4 m (500 ft) iznad razine Zemlje;
- minimalni uvjeti vidljivosti ne manji od 483 m (3 mi) od kontrolne stanice

⁶ https://www.faa.gov/documentlibrary/media/order/jo_7200.23a_unmanned_aircraft_systems_uas.pdf

[Pristupljeno: listopad 2023.]

⁷ Federal Aviation Administration - Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo

⁸ <https://jrupperchtlaw.com/faa-part-107/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

⁹ https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-08/Part_107_Summary.pdf [Pristupljeno: listopad 2023.]

¹⁰ First-person view - pogled iz prvog lica

- operacije nisu dozvoljene u klasi A zračnog prostora (5.500 m (18.000 ft) i više);
- u klasama B, C, D i E, operacije su dozvoljene uz dopuštenje nadležnog tijela kontrole zračne plovidbe;
- u klasi G operacije su dozvoljene bez dopuštenja kontrole zračne plovidbe;
- osoba, kao operater ili promatrač, ne smije istovremeno operirati s više od jednom bespilotnom letjelicom;
- operacije se ne smiju odvijati iz drugog zrakoplova ili automobila u pokretu, osim s čamca ili drugih brodova ukoliko se nalaze na vodenoj površini;
- izvršavanje operacija ne smije biti izvršavano na neoprezan i nemaran način;
- zahtjevan je prijeletni pregled od strane operatera;
- osoba ne smije operirati malom bespilotnom letjelicom ukoliko zna da postoji mogućnost da neki psihički ili fizički uvjeti mogu utjecati na sigurnost operacije;
- predložena je nova kategorija „mikro bespilotne letjelice“ koja će smjeti letjeti u klasi G bez odobrenja, iznad ljudi koji nisu uključeni u operaciju, te će operater morati dokazati stečeno znanje upravljanja tom kategorijom bespilotnih letjelica;

Certifikat operatera i odgovornosti:

- u ovom kontekstu, pod operaterom se smatra osoba koja upravlja malim bespilotnim letjelicama, a od nje se očekuje da:
 - položi inicijalni aeronautički ispit unutar organizacije koja ima odobrenje od strane FAA-a;
 - dobije odobrenje od strane TSA¹¹-a;
 - dobije certifikat o sposobnosti upravljanja malim bespilotnim letjelicama;
 - jednom godišnje položi aeronautički ispit;
 - ima najmanje 17 godina;
 - omogući pregled i testiranje svoje bespilotne letjelice i popratnih dokumenata i certifikata na zahtjev FAA-a;
 - u slučaju nesreće, koja je rezultirala ljudskom ozljedom ili materijalnim oštećenjem, prijavi FAA-u unutar 10 dana;
 - provede prijeletni pregled kako bi se uvjerio da je bespilotni zrakoplov spreman za sigurno upravljanje;

¹¹ Transportation Security Administration - Putna Sigurnosna Agencija Ministarstva Domovinske Sigurnosti Sjedinjenih Američkih Država

Zahtjevi zrakoplova:

- iako nije potreban certifikat o plovidbenosti, operater svoju bespilotnu letjelicu mora održavati kako bi ona bila u stanju izvršavati operacije na siguran način, a registracija jednako vrijedi za njih kao i za druge zrakoplove;
- zahtijevaju se oznake na bespilotnim letjelicama kao i na drugim zrakoplovima, a ukoliko je bespilotna letjelica fizički premala, oznake trebaju biti manje, ali što je veće moguće;

Modelni zrakoplovi:

- predloženi zahtjevi se ne odnose na modelne zrakoplove koji zadovoljavaju sve kriterije navedene u odjeljku 336 javnog zakona 112-95.

2.2. Pregled regulative u Europi

Dvije najvažnije organizacije čija je glavna svrha unapređenje razine stupnja sigurnosti, ekonomičnosti i efikasnosti zračnog prometa u Europi su EASA¹² i EUROCONTROL. Riječ je o organizacijama koje donose određena pravila, procedure, standarde, zakone i regulative te nadgledaju i kontroliraju implementaciju istih. Jednako tako, takve se agencije bave i potrebnim testiranjima, mjerenjima i analizama za dobivanje raznih informacija važnih za razvoj zrakoplovne industrije.

Kako je navela EASA, upravljanje bespilotnom letjelicom dopušteno je u Europskoj uniji. Međutim, preporučljivo je upoznati se s propisima o bespilotnim letjelicama i pridržavati ih se prije uključivanja u takvu aktivnost. Počevši od 1. siječnja 2021., Agencija Europske unije za sigurnost zračnog prometa uvela je jedinstvene propise o bespilotnim letjelicama u svim državama članicama. Ova ažurirana regulatorna struktura zamjenjuje Regulativu (EU) 2019/947 prethodne propise koje su neovisno donijele pojedinačne države članice. Osim 28 država članica, Island, Švicarska, Lihtenštajn i Norveška također su prihvatile nedavno uvedenu regulativu EASA-e o bespilotnim letjelicama (slika 1.).

¹² European Union Aviation Safety Agency - Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost



Slika 1. Države koje su prihvatile regulativu EASA-e o bespilotnim letjelicama

Izvor: <https://www.dronelicense.eu/blogs/popular/drone-maps-of-europe>, [Pristupljeno: listopad 2023.]

Prema novim propisima, postoje tri operativne kategorije koje određuju propise o bespilotnim letjelicama na temelju mase letjelice i vrstu operacije koju ista može obavljati - otvorena kategorija, kategorija specifičnih operacija i certificirana kategorija¹³. U tablici 1. poblje je opisana svaka od njih.

¹³ <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

Tablica 1. Operativne kategorije bespilotnih letjelica

OTVORENA	POSEBNA	CERTIFICIRANA
<p>Operacije koje predstavljaju nizak (ili nikakav) rizik za treće strane. Operacije se provode u skladu s osnovnim i unaprijed definiranim karakteristikama i ne podliježu nikakvim daljnjim zahtjevima za autorizaciju. Da biste bili u otvorenoj kategoriji letovi moraju biti:</p> <ul style="list-style-type: none"> • U vizualnom vidokrugu • Ne iznad 121,92 m (400 ft). • MTOM (Maksimalna masa pri polijetanju) - 25 kg 	<p>Operacije koje predstavljaju veći rizik od one u Otvorenoj kategoriji ili gdje jedan ili više elemenata operacije spadaju izvan granica Otvorene kategorije. Operacije će zahtijevati operativno odobrenje od strane CAA¹⁴-e, na temelju procjene sigurnosnog rizika.</p>	<p>Operacije koje predstavljaju jednak rizik onom zrakoplovstva s posadom i stoga će biti podvrgnute istom regulatornom režimu (tj. certifikacija zrakoplova, certifikacija operatora, licenciranje pilota).</p>

Izvor: <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/>, [Pristupljeno: listopad 2023.]

Otvorena kategorija je podijeljena u tri dodatne potkategorije, koje donose dodatna pravila. Određivanje potkategorije temelji se na identifikacijskoj oznaci klase i masi bespilotne letjelice.

Bespilotnom letjelicom se može upravljati u kategoriji „Open“ A1 ako:

- je označena identifikacijskom oznakom klase 0 ili 1,
- je označen kao C1, operater letjelice mora biti registriran pri EASA-i,
- maksimalna masa uzlijetanja letjelice s oznakom C0 i ne prelazi 250 g (0,55 lbs),
- maksimalna masa uzlijetanja letjelice s oznakom C1 i ne prelazi 900 g (1,98 lbs),
- brzina leta ne prelazi 19 m/s (42 mph),

¹⁴ Civil Aviation Authority - agencija za civilno zrakoplovstvo

- letjelicom se ne upravlja iznad velikog broja ljudi ili u područjima gdje je upravljanje bespilotnim zrakoplovima zabranjeno u državi članici.

Bespilotnom letjelicom se može upravljati u kategoriji „Open“ A2 ako:

- je označena identifikacijskom oznakom klase 2,
- je operater letjelice registriran pri EASA-i i ima najmanje 16 godina,
- maksimalna masa pri polijetanju letjelice s oznakom C2 ne prelazi 4 kg (8,81 lbs),
- letjelicom se ne upravlja iznad velikog broja ljudi ili u područjima gdje je upravljanje bespilotnim letjelicama zabranjeno u državi članici,
- letovi se drže na horizontalnoj udaljenosti od 30 m (98 stopa) od neuključenih osoba.

Bespilotnom letjelicom se može upravljati u kategoriji „Open“ A3 ako:

- je označena identifikacijskom oznakom klase 3 ili 4,
- je operater letjelice registriran pri EASA-i i ima najmanje 16 godina,
- maksimalna masa uzlijetanja letjelice s oznakom C3 ili C4 ne prelazi 4 kg (8,81 lbs),
- se letovi drže podalje od ljudi i na minimalnoj udaljenosti od 150 m (492 stope) od urbanih područja¹⁵.

Certifikacija bespilotnih letjelica

Ključni aspekt Otvorene kategorije podrazumijeva da se svaka bespilotna letjelica namijenjena za korištenje unutar ove kategorije mora pridržavati niza standarda. Kako bi se uspostavila ova standardizacija, bespilotne letjelice dizajnirane za prodaju unutar tržišta Europske unije, kategorizirane su u 5 različitih klasa. Iako je za sveobuhvatno razumijevanje novih propisa neophodno upoznati se s ovim klasama, mala je vjerojatnost da će certificirane letjelice biti dostupne na početku primjene novih propisa. Posljedično, postoje „prijelazni“ aranžmani koji dopuštaju rad necertificiranih (već postojećih) bespilotnih letjelica u otvorenim potkategorijama A1 i A2 dvije godine nakon stupanja na snagu propisa Europske unije. Nakon tog razdoblja njihova će uporaba biti ograničena na potkategoriju A3 (daleko od ljudi)¹⁶.

Klasa 0 – može se letjeti u svim potkategorijama, vrlo mali bespilotni zrakoplov, uključujući igračke, koji:

- su manje od 250 g najveće uzletne mase,
- imaju najveću brzinu od 19 m/s (približno 42,5 mph),

¹⁵ <https://uavcoach.com/drone-laws-in-the-european-union/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

¹⁶ <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

- ne mogu letjeti dalje od 120 m (400 stopa) od upravljačkog uređaja.

Klasa 1 – može se letjeti u svim potkategorijama koji:

- imaju jednaku ili manju masu pri polijetanju od 900 g ili su napravljeni i rade na način da će u slučaju sudara s osobom odaslana energija biti manja od 80 Joula,
- imaju najveću brzinu od 19 m/s (približno 42,5 mph),
- je dizajniran i izrađen tako da potencijalne ozljede ljudi svede na minimum.

Standardi također pokrivaju druge aspekte kao što su ograničenja buke, ograničenja visine i zahtjevi za daljinsku identifikaciju i sustave geosvjesnosti.

Klasa 2 – može se letjeti u potkategoriji A2 i A3 ako je:

- manje od 4 kg maksimalne mase pri polijetanju,
- dizajniran i konstruiran tako da potencijalne ozljede ljudi svede na minimum,
- opremljen načinom rada za male brzine koji ograničava maksimalnu brzinu na 3 m/s (približno 6,7 mph).

Standardi također pokrivaju druge aspekte kao što su ograničenja buke (ali različita od C1), ograničenja visine i zahtjevi za daljinsku identifikaciju i sustave geosvjesnosti, plus dodatne zahtjeve ako će se koristiti tijekom vezanog leta.

Klasa 3 – može se letjeti u potkategoriji A3:

- Bepilotne letjelice koje posjeduju automatske načine upravljanja (kao što se nalaze u tipičnim multikopterskim letjelicama) koji imaju maksimalnu masu pri polijetanju manju od 25 kg

Standardi također pokrivaju druge aspekte koji pokrivaju ograničenja visine i zahtjeve za daljinsku identifikaciju i sustave geosvjesnosti. Postoje i dodatni zahtjevi ako će se koristiti tijekom privezanog leta, ali nema određenog ograničenja buke (jer je zrakoplov namijenjen za let na većim udaljenostima od ljudi).

Klasa 4 – može se letjeti u potkategoriji A3:

- Беспилотне летјелце које не посједују никакву аутоматизацију, осим за основну стабилизацију лета (па су више репрезентативне за „традиционалне“ моделе летјелца) које имају максималну масу при полијетанју мању од 25 kg

Стандарди такођер покривају друге аспекте који покривају ограничења висине и захтјеви за даљинску идентификацију и системе геосвјесности. Постоје и додатни захтјеви ако ће се користити тојеком привезаног лета, али нема одређеног ограничења буке (јер је зракоплов намијенjen за лет на већим удаљеностима од људи)¹⁷.

Посебна категорија

Најједноставнији опис операције Посебне категорије је онај који се не може извести унутар Отворене категорије, али није довољно комплициран за сертификану категорију.

Примјери тога су:

- управљање беспилотном летјелицом с MTOM-ом од 4 kg до 25 kg у стамбеном, комерцијалном, индустријском или рекреацијском подручју или гдје је вјеројатно да ће у оперативном подручју бити људи који нису укључени,
- управљање EVLOS¹⁸ или BVLOS¹⁹ летовима,
- рад у загушеном подручју са смањеним удаљеностима раздвајања²⁰.

Сертификана категорија

Сертификана категорија користи се за операције беспилотних летјелца које представљају висок ризик. Ова категорија користи се за велике беспилотне летјелце, које представљају inherentan ризик ако нешто пође по злу.

Операције беспилотних летјелца требају бити класифициране у сертификану категорију ако су испуњени слједећи увјети:

- летјелца је сертификан у складу с тачкама (a), (b) и (c) ставка 1. чланка 40. Деlegerане уредбе (EU) 2019/945,
- операција се проводи под било којим од доље наведених увјета:

¹⁷ <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/> [Pristupljeno listopad: 2023.]

¹⁸ Extended Visual Line of Sight – управљање беспилотним зракопловом изван видокруга даљинског pilota

¹⁹ Beyond Visual Line of Sight - управљање беспилотним зракопловом изван удаљености на којој даљински pilot може одговорити или избјећи друге кориснике зрачног простора

²⁰ <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

- iznad velikih grupa ljudi,
 - uključuje prijevoz ljudi,
 - uključuje prijevoz opasnih tvari koje bi mogle dovesti do visokog rizika u slučaju nesreće.
- operacije bi trebale biti klasificirane kao operacije bespilotnih zrakoplova u Certificiranoj kategoriji ako nadležno tijelo na temelju procjene rizika iz članka 11. smatra da se rizik operacije ne može na odgovarajući način ublažiti ako se bespilotna letjelica i operator koji upravlja istom ne certificiraju i ako, prema potrebi, udaljeni piloti ne ishode potvrdu²¹.

²¹ <https://uavcoach.com/drone-laws-in-the-european-union/> [Pristupljeno: listopad 2023.]

3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE BESPILOTNIH LETJELICA

3.1. Primjena u civilne svrhe

Uporaba bespilotnih letjelica u civilne svrhe može se klasificirati u dvije osnovne kategorije, a to su rekreativna/sportska i komercijalna. U rekreativne i sportske svrhe, bespilotne letjelice se mogu koristiti za razne sportske aktivnosti, hobije ili pak kao izvor zabave za civilne korisnike, bez ikakvih komercijalnih ciljeva. Što se tiče komercijalne uporabe, mogu se pronaći mnoge primjene u gotovo svakom sektoru poslovanja.

Implementacija bespilotnih letjelica u upravljanju gradskim prometom može uvelike pomoći pri rješavanju prometnih problema u velikim i srednje velikim gradovima. Može osigurati provedbu plana razvoja gradskog prometa na makrorazini i praćenjem uživo provoditi regulaciju toka prometa na mikrorazini, te tako odgovoriti na neočekivane prometne incidente i omogućiti provedbu hitnih operacija spašavanja. Brzim vremenom odaziva poboljšavaju efikasnost kod pregleda cesta, nesreća i uočavanju vozila koja su nepropisno zauzimaju trake za hitne slučajeve. U trenutku prometne nesreće, bespilotna letjelica može snimiti nesreću, vratiti scenu kada se nesreća dogodila i pružiti podršku za utvrđivanje odgovornosti za nesreću²².

Primjena bespilotnih letjelica za praćenje stanja okoliša može se ugrubo podijeliti u tri vrste²³:

- praćenje stanja okoliša: promatranjem uvjeta kvalitete zraka, tla, vegetacije i vode, a također postoji mogućnost praćenja razvoja iznenadnih incidenata onečišćenja okoliša u stvarnom vremenu;
- provedba zakona o zaštiti okoliša: odjel za nadzor zaštite okoliša koristi bespilotne letjelice opremljene opremom za prikupljanje i analizu, za krstarenje nad određenim područjima, praćenje ispuštanja ispušnih plinova i otpadnih voda te traženje izvora onečišćenja;
- upravljanje okolišem: bespilotne letjelice koji nose katalizatore i opremu za detekciju vremenskih prilika koriste se za raspršivanje tekućine za gašenje iz zraka. Princip rada je isti kao i kod bespilotnih letjelica za raspršivanje pesticida za uklanjanje smoga nad određenim područjima.

²² <https://www.jouav.com/blog/applications-of-drones.html> [Pristupljeno: studeni 2023.]

²³ <https://www.jouav.com/blog/applications-of-drones.html> [Pristupljeno: studeni 2023.]

Istaknute korporacije poput *Amazona*, *UPS*-a i *DHL*-a nude mogućnost dostave bespilotnim letjelicama, prepoznajući njihov potencijal za smanjenje zahtjeva za radnom snagom i zagušenja kopnenog prometa. Nadalje, bespilotne letjelice nude održivo rješenje za učinkovitu dostavu malih paketa, uključujući hranu, pisma, lijekove, pića i slične predmete, osobito na kraćim udaljenostima²⁴.

Korisna uporaba bespilotnih zrakoplova je i u protupožarstvu i kod ostalih prirodnih katastrofa ili katastrofa koje je prouzrokovao čovjek. Leteći iznad aktivnih šumskih požara ili gorućih zgrada, bespilotna letjelica opremljena termalnom kamerom može prosljediti infracrvene podatke i vizualne podatke vatrogascima na zemlji u realnom vremenu. Koriste se za operacije prevencije požara, operacije potrage i spašavanja, procjena štete nakon požara, potresa, itd. Mogu se koristiti i za mapiranje terena s obzirom da mogu prikupljati podatke vrlo visoke razlučivosti i omogućiti slike sa teško dostupnih lokacija kao što su obale, vrhovi planina i otoci, te za izradu 3D karata. Korištenje bespilotnih letjelica izaziva zabrinutost zbog narušavanja privatnosti, budući da mogu snimati slike i videozapise ljudi i imovine bez pristanka. Cilj je uspostaviti ravnotežu između prikupljanja potrebnih informacija i poštivanja prava na privatnost.

Bespilotne letjelice velikog dometa opremljene digitalnim videokamerama i kamerama visoke razlučivosti te GPS²⁵ sustavima za pozicioniranje imaju sposobnost obavljanja pozicioniranja i autonomnog krstarenja duž električne mreže. Istovremeno ih se može pratiti i kontrolirati od strane licenciranog osoblja putem računala. Na taj način bespilotne letjelice mogu značajno poboljšati učinkovitost rada kod kvarova na dalekovodima i reducirati previsoke troškove.

Poljoprivrednici uvijek traže jeftine i učinkovite metode za redovito praćenje svojih usjeva. Infracrveni senzori u bespilotnim letjelicama mogu se koristiti za nadzor širenja bolesti usjeva, omogućujući poljoprivrednicima da pravovremeno reagiraju i poboljšaju kvalitetu i prinos usjeva, primjenom gnojiva ili insekticida. Procjena je da će se u sljedećih nekoliko godina za potrebe nadzora i tretiranja usjeva koristiti bespilotni zrakoplovi u gotovo 80% slučajeva²⁶.

Jeftinije bespilotne letjelice se mogu poslati u uragane i tornada, kako bi znanstvenici i prognostičari stekli potencijalne nove uvide u njihovo ponašanje i putanju. Specijalizirani

²⁴ <https://www.allerin.com/blog/10-stunning-applications-of-drone-technology> [Pristupljeno: studeni 2023.]

²⁵ Global Positioning System - satelitski radionavigacijski sustav za određivanje položaja na Zemlji

²⁶ <https://www.allerin.com/blog/10-stunning-applications-of-drone-technology> [Pristupljeno: studeni 2023.]

senzori za takve situacije mogu se koristiti za detaljnije vremenske parametre, prikupljanje podataka i sprječavanje budućih nesreća.

Mnogo je uspješnih slučajeva korištenja bespilotnih letjelica u filmskoj industriji i praćenju medijskih događanja. Bespilotne letjelice mogu ostvariti prijenos slike visoke razlučivosti u stvarnom vremenu, s dometom do 5 kilometara za visoku i 10 kilometara za standardnu razlučivost. Fleksibilnost i manevarska sposobnost bespilotnih letjelica u rasponu od jednog metra do četiri do pet kilometara omogućuje različite tehnike snimanja, poput jurnjave automobilima, podizanja i spuštanja, rotiranja lijevo-desno te snimanja krupnog plana, čime se značajno smanjuju troškovi snimanja. Zanimljivo je i da su upotrebljavane u velikim sportskim događajima poput Zimskih olimpijskih igara u Sočiju u Rusiji²⁷.

Bespilotne letjelice našle su primjenu i na tržištu nekretnina. Sada prodavač ne mora biti fizički prisutan da bi kupcu omogućio detaljan pregled nekretnine. Zbog pojave malih bespilotnih letjelica, prodavač sada može pokazati kupcu nekretninu putem visokokvalitetnog prijenosa slike u stvarnom vremenu.

Postoji i veliki interes za ulaganje u taksi prijevoz bespilotnim letjelicama. Mnoge tvrtke rade na razvoju taksi bespilotnih letjelica s ciljem da postanu integralni dio urbanog prijevoza u budućnosti kao jedno od rješenja za gužve u gradskom prometu i povećanje učinkovitosti prijevoza. Predviđa da će prvi bespilotni leteći taksi poletjeti 2030. godine²⁸.

Korištenje bespilotnih letjelica predstavlja ekonomičniji i efikasniji način zaštite divljih životinja naspram dosadašnje metode s ljudima na terenu. Primjena bespilotnih letjelica u zaštiti divljih životinja također se pokazala korisnom u suzbijanju krivolova u Aziji i Africi²⁹.

Bespilotne letjelice predstavljaju odgovor na potrebu dostavljanja medicinskih potrepština i/ili organa za transplantaciju na udaljena područja. Na Aljasci, bespilotne letjelice su zamijenile tradicionalne metode poput psećih zaprega, motornih sanki ili vozila hitne pomoći, omogućujući brzu i učinkovitu dostavu vitalnih medicinskih potrepština³⁰.

Bespilotne letjelice postale su neizostavan alat za poboljšanje efikasnosti i sigurnosti u različitim sektorima. Njihova primjena obećava daljnji razvoj tehnologije i široku primjenu u budućnosti.

²⁷ <https://www.jouav.com/blog/applications-of-drones.html> [Pristupljeno: studeni 2023.]

²⁸ <https://www.bbc.com/news/technology-68597045> [Pristupljeno: travanj 2024.]

²⁹ <https://www.aonic.com/my/blogs-drone-technology/top-10-applications-of-drone-technology/> [Pristupljeno travanj: 2024.]

³⁰ <https://www.aonic.com/my/blogs-drone-technology/top-10-applications-of-drone-technology/> [Pristupljeno: travanj 2024.]

3.2. Primjena u vojne svrhe

Bespilotni zrakoplovi postali su sastavni dio modernog ratovanja. Mnoge su vojne primjene bespilotnih letjelica, od prikupljanja obavještajnih podataka, do pronalaženja ciljeva i preciznih napada.

U prošlosti su se prvenstveno koristili u svrhu motrenja i izviđanja. Razvojem tehnologije bespilotnih letjelica, dolazi do mogućnosti šire primjene kod vojnih operacija uključujući i borbene misije.

Prikupljanje obavještajnih podataka ističe se kao ključna primjena bespilotnih letjelica u vojnim operacijama. Ove bespilotne letjelice opremljene su kamerama i sensorima visoke razlučivosti, što im omogućuje prikupljanje podataka i slika na daljinu. Prikupljene informacije služe u svrhu identificiranja neprijateljskih položaja, procjene uvjeta terena i praćenja kretanja. Bespilotne letjelice izvrsne su u identificiranju i praćenju neprijateljskih ciljeva, a kasnije mogu postati meta za topništvo, projekte ili drugo oružje. Osim toga, imaju ključnu ulogu u procjeni posljedica takvih napada, nudeći vrijedne uvide vojnim planerima.

U porastu je i korištenje bespilotnih letjelica za precizne udare. Takve bespilotne letjelice opremljene su precizno navođenim streljivom, što omogućuje precizno ciljanje neprijateljskih položaja. Ova sposobnost omogućuje vojnim zapovjednicima da precizno izvode napade na određene ciljeve, smanjujući rizik od kolateralne štete.

Također, imaju ulogu u zaštiti vojnih snaga. Služe za nadzor neprijateljskih položaja, obavještavajući trupe o potencijalnim prijetnjama. Osim toga, mogu pratiti konvoje, nudeći ključnu informaciju o situaciji na terenu te na taj način smanjuju rizik od zasjede.

Bespilotne letjelice se još uvijek koriste u svrhu nadzora i izviđanja. Mogu se koristiti za nadzor neprijateljskih položaja, praćenje kretanja trupa i procjenu terena. Takve informacije koriste vojni planeri za razvoj strategija i taktika. Pokazali su se neprocjenjivima u lociranju i spašavanju osoblja u opasnim ili teško dostupnim područjima. Moguće ih je koristiti i kod pregleda minskih polja i područja s visokim naponom kako bi vojnici mogli prikupiti ključne informacije bez izlaganja potencijalnoj ozljedi. Nadalje, bespilotne letjelice se mogu koristiti za dostavu zaliha vojnicima na terenu, opreme i osoblja na udaljena mjesta³¹.

Bespilotni zrakoplovi se sve više koriste za borbena djelovanja. Uključene su u operacije pružanja zračne potpore kopnenim trupama, precizno gađajući neprijateljske

³¹ <https://droneinternationalexpo.com/blog/uses-of-drones-in-military/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

položaje precizno navođenim streljivom. Osim toga, bespilotne letjelice se koriste za patroliranje granice i izviđačke misije.

Kako važnost upotrebe bespilotnih letjelica u vojnim operacijama postaje veća, operacije protiv bespilotnih letjelica postaju sve važnije. Korištenje bespilotnih letjelica za detekciju i neutralizaciju neprijateljskih bespilotnih letjelica postalo je ključno, smanjujući rizik od napada iz zraka. Napredak u tehnologiji vojnih bespilotnih letjelica revolucionira zračno ratovanje omogućavajući borbu dron-na-dron. S pojavom navedene taktike, strateške implikacije za vojne operacije su ogromne. Budući razvoj tehnologije vojnih bespilotnih letjelica će biti usredotočen na mogućnosti poboljšanja agilnosti, brzine i sposobnosti prikrivanja bespilotnih letjelica, čineći ih još učinkovitijima u borbi dron-na-dron.

Također, treba razmotriti etičke aspekte s obzirom na upotrebu autonomnih bespilotnih zrakoplova, jer postoji zabrinutost zbog potencijalnog neselektivnog ciljanja i mogućih civilnih žrtava. Dok vojne snage istražuju potencijale borbe bespilotnih zrakoplova međusobno, ključno je postići ravnotežu između strateških prednosti i etičke odgovornosti³².

Bespilotne letjelice nalaze upotrebu i u svrhu obuke i simulacije. Mogu se koristiti za simulaciju neprijateljskih položaja i scenarija, omogućujući vojnicima uvježbavanje taktika i strategija u sigurnom okruženju. Posjeduju niz prednosti u odnosu na tradicionalne metode obuke, a postaju sve pristupačniji³³ iz sljedećih razloga:

- svijest o situaciji u stvarnom vremenu: bespilotni zrakoplovi mogu pružiti svijest o situaciji na bojnopolju u stvarnom vremenu., a to im omogućuje zapovjednicima da donose bolje odluke i da brže reagiraju na promjenu situacije;
- obuka u složenim i opasnim okruženjima: bespilotni zrakoplovi se mogu koristiti za obuku u složenim i opasnim okruženjima koja bi bila preopasna ili skupa za obuku sa živim trupama., a to uključuje okruženja kao što su urbana područja, džungle i pustinje;
- smanjeni rizik od ozljeda ili smrti: bespilotni zrakoplovi mogu smanjiti rizik od ozljeda ili smrti vojnog osoblja, zato što se mogu koristiti za provođenje misija koje bi bile preopasne za ljude.

Integracija bespilotnih letjelica u vojne svrhe donosi brojne prednosti, ali postoje i određeni rizici. Neki od tih rizika uključuju ranjivost bespilotnih letjelica na hakiranje i

³² <https://dronesurveyservices.com/what-are-military-drones-used-for/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

³³ <https://www.military.africa/2023/07/the-role-of-drones-in-modern-military-exercises/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

elektroničko ratovanje, posebice jer se više oslanjaju na napredne komunikacijske sustave i umjetnu inteligenciju. Budućnost ratovanja bespilotnim letjelicama čini se obećavajućom s napretkom u umjetnoj inteligenciji i tehnologiji rojenja jer će više manjih bespilotnih letjelica koje djeluju sinkronizirano jedna s drugom, pružati taktičku prednost i omogućiti isplativije operacije. Uspostavljanje ravnoteže između maksimiziranja koristi i rješavanja etičkih i pravnih pitanja ključno je za odgovornu i učinkovitu upotrebu bespilotnih letjelica u modernim vojnim vježbama³⁴.

³⁴ <https://www.military.africa/2023/07/the-role-of-drones-in-modern-military-exercises/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

4. PRIMJENA BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U PROTUPOŽARNOJ OPERATIVI

Danas su bespilotne letjelice postale standardna oprema mnogih vatrogasnih postrojbi jer vatrogasci sve više iskorištavaju jedinstvene prednosti koje bespilotne letjelice mogu ponuditi na požarištu. Bespilotne letjelice se sve više koriste u operacijama gašenja požara i drugim visokorizičnim situacijama te na teško dostupnim područjima za različite zadatke, poput pružanja informacija u stvarnom vremenu, mapiranja opsega požara i identificiranja žarišta. Opremljeni termovizijskim kamerama, bespilotne letjelice također mogu otkriti ljude i životinje kojima je potrebno spašavanje, povećavajući brzinu i učinkovitost odgovora vatrogasaca, istovremeno smanjujući rizik od ljudskih žrtava.

4.1. Oprema i tehnologija

Osim samih bespilotnih letjelica i njihovih osnovnih karakteristika kao što su dimenzije, masa, nosivost, maksimalna visina leta i vrijeme trajanja baterije, važno je spomenuti i dodatnu opremu kojom mogu biti opremljene s obzirom na namjenu. Većina bespilotnih letjelica opremljena je foto/video kamerom i/ili termalnom kamerom. Kamere s visokom razlučivošću imaju sposobnost snimanja detaljnih slika, pružajući korisne podatke o mogućim opasnostima, pristupnim točkama i drugim bitnim detaljima. Termalne kamere funkcioniraju detektirajući toplinske potpise koje ispuštaju objekti, što ih čini vrlo učinkovitim čak i u uvjetima slabog osvjetljenja ili situacijama s ograničenom vidljivošću. Za razliku od standardnih kamera, termalne kamere registriraju temperaturne razlike, stvarajući raznolike toplinske profile za različite objekte³⁵.

Uz već navedeno opremu poput kamera različitih vrsta i namjena, bespilotne letjelice mogu biti opremljene navigacijskim sustavima, sustavima pozicioniranja, različitim sensorima, softverima i mnogom dodatnom opremom.

4.1.1. Navigacijski sustavi

Korištenje navigacijskih sustava na bespilotnim zrakoplovima ključni su za uporabu bespilotnih letjelica u potpuno autonomnom modu rada, koja također omogućuje funkcionalnost u slučajevima gubitka radio kontakta s letjelicom, omogućujući joj izvršavanje zadanih operacija. Određivanje točne pozicije bespilotne letjelice ključno je za poboljšanje

³⁵ <https://www.zenadrone.com/advantages-of-using-drone-with-camera/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

navigacije, neovisno o vrsti senzora za daljinsko opažanje koji letjelica koristi. Precizna lokacija svake snimka potrebna je kako bi se snimke mogli georeferencirati. Za određivanje točne pozicije bespilotne letjelice koriste se globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS³⁶) poput *GPS*, *GLONASS*, *BeiDou*, *Galileo*, itd.

Ponekad zbog određenih smetnji GNSS-a nije moguće točno odrediti geolokaciju letjelice stoga se sve više okreće integraciji senzora kako bi se dodala dodatna sposobnost određivanja pozicije. Prva integracija uključuje GNSS i INS³⁷ (inercijalni navigacijski sustav), koji zajedno koriste prednosti jednog sustava kako bi nadoknadili nedostatke drugog. INS pruža visoku točnost u kratkom vremenskom intervalu, dok GNSS osigurava konstantnu točnost na globalnoj razini.

U situacijama kada GNSS nije dostupan, INS može samostalno pružati podatke o poziciji, omogućujući bespilotnoj letjelici siguran nastavak operacije. Ovi sustavi zadovoljavaju većinu navigacijskih potreba bespilotnih letjelica, ali u određenim scenarijima poput leta na nižim visinama, leta u blizini aerodroma ili kroz tunele, dodatni senzori su neophodni. U tim slučajevima, integracija GNSS-a, INS-a i obične kamere pruža potrebne informacije za navigaciju, često nazvanu GVSS³⁸. Ova kombinacija omogućuje letjelici autonomno izbjegavanje prepreka na temelju informacija dobivenih iz običnih kamera. GVSS sustav oponaša ljudski vid, omogućujući letjelici da samostalno prilagodi rutu prema vanjskim utjecajima, kao što bi postupio pilot konvencionalnog zrakoplova oslanjajući se na svoj vid u sličnim situacijama³⁹.

4.1.2. RTK/PPK tehnologija

Postoje određene metode pozicioniranja koje mogu pomoći GPS sustavima da budu precizniji. Preciznost koju nude GPS uređaji može znatno varirati na temelju čimbenika kao što su vremenski uvjeti, teren, kvaliteta uređaja ili druge varijable. Čak i u optimalnim uvjetima, GPS sustavi bespilotnih letjelica obično nude točnost pozicioniranja u metrima. Stoga naprednije tehnologije poput RTK i PPK postaju bitne. Ove tehnologije mogu ispraviti uobičajene pogreške u satelitskim navigacijskim (GNSS) sustavima, povećavajući točnost pregledanih i mapiranih podataka.

³⁶ Global navigation satellite system - globalni navigacijski satelitski sustavi

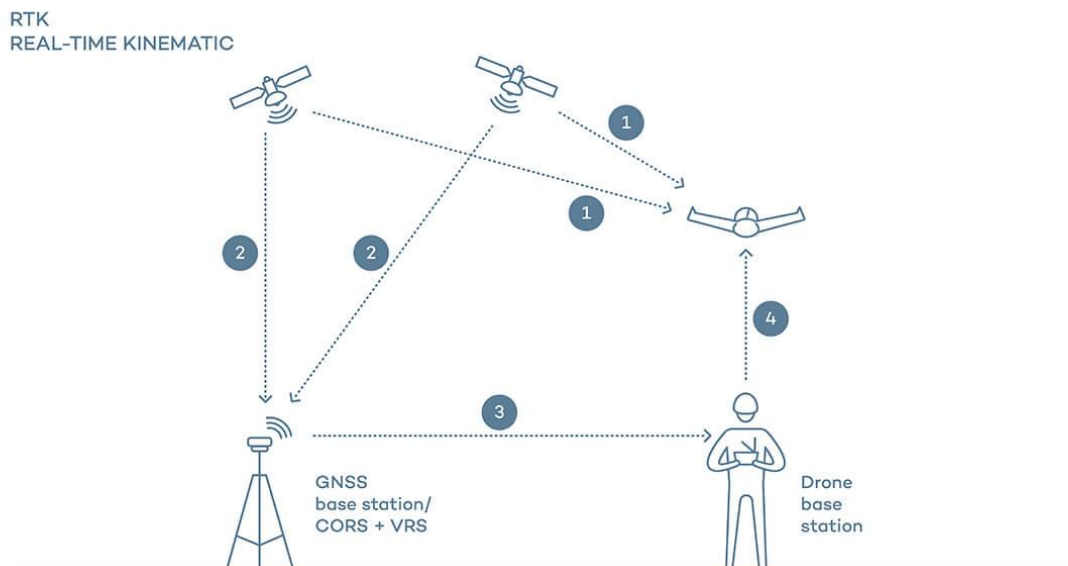
³⁷ Inertial navigation system - inercijalni navigacijski sustav

³⁸ Vision based Sensor Suite – senzor koji koristi slike snimljene kamerom za analizu prisutnosti, orijentacije i točnosti

³⁹ Pavlik, D., Popčević, I., Rumora, A.: Bespilotne letjelice podržane INS i GNSS sensorima, Ekscentar, br. 17, pp. 65-70, 2014.

Bespilotna letjelica s GNSS RTK prijamnikom skuplja podatke uz pomoć satelita i zemaljske stanice. Sam satelit je podložan pogreškama pa osigurava maksimalnu topografsku točnost od jednog metra, dok se uz pomoć zemaljske stanice koja ispravlja pogreške u satelitskom signalu u stvarnom vremenu te se ta pogreška svodi na svega par centimetara. U ovom slučaju, potrebna je neprekinuta komunikacija od GNSS bazne stanice, preko zemaljske stanice do bespilotne letjelice⁴⁰.

Na slici 2. je prikazan proces prikupljanja podataka RTK tehnologijom gdje su konstantno potrebne četiri komunikacijske linije. 1. linija između satelita i bespilotne letjelice, 2. linija između satelita i GNSS zemaljske stanice ili CORS⁴¹ (podržava VRS⁴² putem mobitela) mreže, 3. linija između GNSS zemaljske stanice ili CORS/VRS i bazne stanice bespilotne letjelice, i 4. linija između bazne stanice bespilotne letjelice i bespilotne letjelice.



Slika 2. Proces prikupljanja podataka RTK tehnologijom

Izvor: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

RTK tehnologija također nije potpuno pouzdana u stvarnim uvjetima, gdje prepreke mogu blokirati ili prekinuti signale. Stoga se preporuča dodavanje i PPK tehnologije.

PPK tehnologija radi na sličan način, ali sa jednom razlikom. Podaci prikupljeni preko GNSS prijamnika sa zemaljske stanice ispravljaju se nakon leta pomoću podataka koje je bespilotna letjelica prikupila, a ne u stvarnom vremenu. U ovom slučaju nema potrebe za

⁴⁰ <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

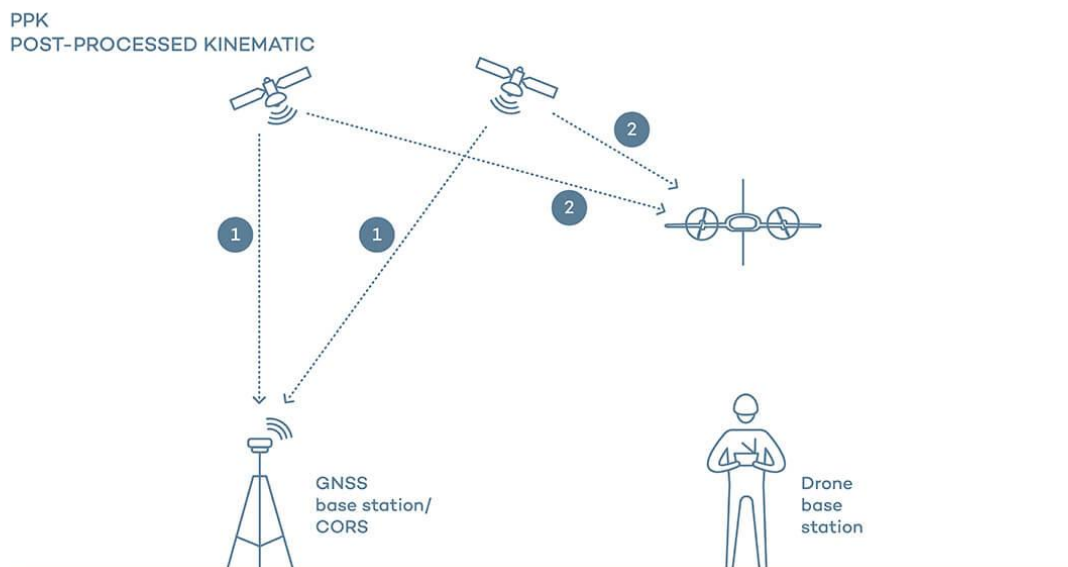
⁴¹ Continuously Operating Reference Station - kontinuirana referentna stanica

⁴² Virtual Reference Station - virtualna referentna stanica

GNSS vezom između zemaljske stanice i zemaljske stanice bespilotne letjelice niti veze između zemaljske stanice bespilotne letjelice sa samom bespilotnom letjelicom. Potrebna je samo telemetrija između bespilotnog zrakoplova i bazne stanice bespilotnog zrakoplova. Kada bespilotni zrakoplov sleti, potrebno je primijeniti postupak korekcije putem odgovarajućeg softvera. Na ovaj način dobivaju se podaci s apsolutnom točnošću za postupak mapiranja koji se obavlja naknadno.

Na slici 3. vidljivo je kako PPK zahtijeva dvije stalne komunikacijske linije za ispravljanje satelitskih podataka o lokaciji:

1. linija između satelita i GNSS zemaljske stanice ili CORS mreže i
2. linija između satelita i bespilotne letjelice.



Slika 3. Proces prikupljanja podataka PPK tehnologijom

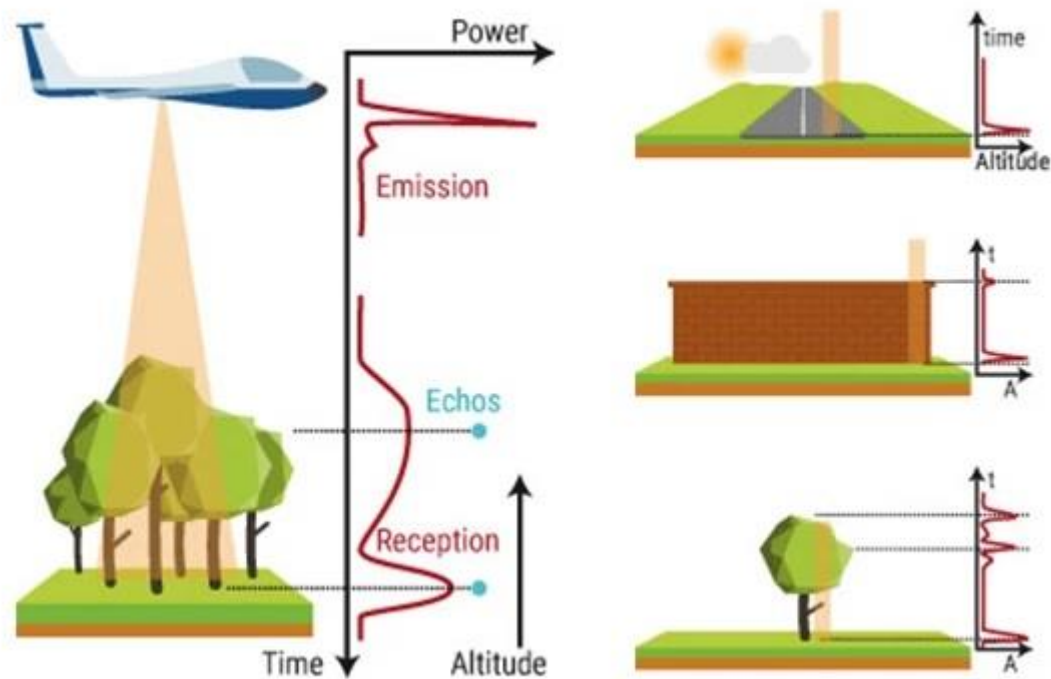
Izvor: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

4.1.3. LiDAR

LiDAR je tehnologija koja se koristi za precizno prikupljanje podataka u obliku 3D modela. To se postiže emitiranjem snažnih laserskih zraka i drugih oblika svjetlosne energije kako bi se izmjerile udaljenosti.

Sastoji se od tri primarne komponente. Laser pomoću kojeg emitira svjetlosne zrake, skener koji bilježi povratne signale nakon što se zrake odbiju od nekog objekta te GPS koji pomaže u određivanju apsolutnog položaja i orijentacije senzora.

Na slici 4. prikazan je postupak dobivanja podataka pomoću LiDAR tehnologije. LiDAR uređaj emitira lasersku zraku, koja je usko fokusirana zraka svjetlosti, obično u obliku infracrvenog svjetla. Laserska zraka putuje kroz zrak sve dok ne naiđe na objekt ili površinu Zemlje. Kada udari u nešto, odbije se, ili reflektira, prema LiDAR senzoru. LiDAR izračunava udaljenost mjerenjem vremena potrebnog da laserska zraka stigne do objekta i vrati se.



Slika 4. LiDAR tehnologija

Izvor: <https://www.jouav.com/blog/lidar-drone.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Bespilotne letjelice opremljene samo kamerama lete iznad krajolika ili struktura, snimaju slike koje se zatim obrađuju u 2D ili 3D modele putem specijaliziranog softvera. Takvi modeli nalaze primjenu u građevinarstvu, poljoprivredi, rudarstvu i raznim industrijama koje zahtijevaju često mapiranje. U usporedbi s LiDAR tehnologijom, fotogrametrijski sustavi mogu se susresti s izazovima u identificiranju vrlo malih i složenih objekata. Dok LiDAR impulsi mogu otkriti električne vodove, slike snimljene fotogrametrijskim modulima možda

neće učinkovito prepoznati žice. Nadalje, LiDAR ima sposobnost prodiranja kroz vegetaciju, otkrivajući oblik terena ispod njega, a može raditi i u uvjetima slabog osvjetljenja⁴³.

Očekuje se da će globalno tržište LiDAR bespilotnih letjelica, procijenjeno na 114,3 milijuna dolara u 2021. godini, značajno rasti i doseći oko 892 milijuna dolara do 2032. godine. Bespilotne letjelice opremljene LiDAR sustavom nude svestranost primjene i visoku učinkovitost, što ih čini sve popularnijim u raznim sektorima⁴⁴.

4.1.4. Dock

S porastom za sve većom upotrebom automatizirane tehnologije, javlja se rješenje u obliku *drone-in-a-box* sustava za bespilotne letjelice. Tradicionalne bespilotne letjelice sastoje se od letjelice i nekog oblika zemaljskog upravljača. Sustav *drone-in-a-box* omogućuje autonomno upravljanje bespilotnim zrakoplovom koji također funkcionira kao platforma za slijetanje i baza za punjenje. Nakon izvršavanja unaprijed programiranog leta, letjelica se vraća u svoju „bazu“.

Samostalni *dron-in-a-box* sustavi sastoje se od tri glavne komponente: zemaljske stanice koja puni i štiti zrakoplov, samog bespilotnog zrakoplova i računalnog sustava upravljanja koji operateru omogućuje interakciju sa sustavom, uključujući više bespilotnih zrakoplova⁴⁵. Prigodne su za korištenje na zabačenim mjestima, povezane su s *cloudom* što omogućava daljinsko upravljanje.

Zemaljske stanice, poput DJI Dock stanice prikazane na slici 5., su najčešće vodootporne te tako štite letjelicu od vremenskih uvjeta, pružaju mogućnost punjenja baterije i brze zamjene baterije u trajanju od 90 do 200 sekundi. Osim osnovnih funkcija neke zemaljske stanice imaju i dodatne mogućnosti pa mogu služiti kao meteorološke stanice, opremljene su WiFi antenama i sigurnosnim kamerama. Omogućuje široku interoperabilnost s različitim sadržajima, dodacima i softverskim integracijama, uključujući detekciju objekata, analitiku koju pokreće sustav umjetne inteligencije i pametne aplikacije za praćenje⁴⁶.

⁴³ <https://enterprise-insights.dji.com/blog/lidar-equipped-uavs> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁴⁴ <https://www.jouav.com/blog/lidar-drone.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁴⁵ <https://www.jpost.com/Business-and-Innovation/Tech/Israeli-drone-built-to-replace-manned-security-guards-476469> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁴⁶ <https://www.flytbase.com/blog/dji-compatible-docking-stations> [Pristupljeno: rujan 2023.]



Slika 5. DJI Dock s bespilotnom letjelicom M30T

Izvor: <https://airworxdrone.com/es/products/dji-dock-m30t-pre-order>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

4.1.5. Softveri

Osim bespilotnih letjelica koji prikupljaju informacije, potreban je i softver za obradu podataka u stvarnom vremenu i izradu karata. To su softveri poput *FlytBase*, *Fire Flight*, *DroneSense*.

Takvi sustavi omogućuju timovima za hitne slučajeve da se jednostavno povežu čak pomoću mobilne aplikacije. Aplikacija se povezuje s bespilotnom letjelicom i postaje refej između bespilotne letjelice i softvera.

Za povezivanje bespilotnih zrakoplova potrebno je jedno računalo (*DJI Manifold 2*, *Raspberry Pi 3b*, *Odroid N2*, *Jetson Nano Developer Kit*, itd.) Računalo stvara vezu između bespilotnog zrakoplova i softvera putem interneta, a može se integrirati s privatnim oblakom poput *Amazon S3* za automatsko pohranjivanje video podataka, koji se mogu dohvatiti za buduće istrage⁴⁷. Na ovaj način je omogućen prijenos uživo s povezanih letjelica u stvarnom vremenu.

Nadzorna ploča *FlytBase* aplikacije nudi različite vrste snimanja, uključujući termalni način rada za bespilotne zrakoplove opremljene termalnim kamerama. U slučaju dvostruke

⁴⁷ <https://www.flytbase.com/blog/drone-for-hazmat-response> [Pristupljeno: rujanj 2023.]

kamere, toplinski način rada podržava MSX⁴⁸ koji dodaje detalje za bolji kontrast i omogućuje pregledavanje različitih paleta boja, što je korisno u identifikaciji opasnih materijala u različitim agregatnim stanjima (kruto, plinovito i tekuće). Na slici 6. lijevo je prikazana toplinska slika koja se dobije bez MSX-a, a desno je prikaz detaljnije slike uporabom MSX tehnologije.



Slika 6. Uporaba MSX tehnologije

Izvor: <https://www.flir.eu/discover/professional-tools/what-is-msx/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Neke dodatne značajke uključuju automatizaciju leta bespilotnog zrakoplova putem naprednog planera misije, značajke temeljene na umjetnoj inteligenciji za otkrivanje objekata te integraciju s *DroneLogbookom* za upravljanje podacima o letu. Ove značajke omogućuju potpuno automatizirani sustav odgovora na hitne situacije integriran je s zemaljskim hardverom i dispečerskim sustavima poput 911⁴⁹.

Postoje i određeni softveri koji su bazirani na tehnologiji umjetne inteligencije (AI⁵⁰) koja omogućava lakše upravljanje bespilotnom letjelicom u kompleksnom okruženju, gdje AI obavlja radnju izbjegavanja prepreka⁵¹.

⁴⁸ Multi-Spectral Dynamic Imaging - tehnologija slikanja koja proizvodi detaljnije toplinske slike spajanjem vizualnog i toplinskog spektra

⁴⁹ <https://www.flytbase.com/blog/drone-for-hazmat-response#how-drones-are-connected> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁵⁰ Artificial Intelligence - umjetna inteligencija

⁵¹ <https://www.skydio.com/fire-fighting-drones> [Pristupljeno: rujan 2023.]

4.2. SAR

Operacije traganja i spašavanja (SAR) kategoriziraju se na temelju vrste terena ili specifičnih okolnosti u kojima se potraga provodi, pa se tako razlikuje⁵²:

1. Spašavanje iz zraka na moru (ASR⁵³): obuhvaća koordiniranu operaciju potrage i spašavanja (SAR) usmjerenu na pružanje pomoći pojedincima koji su preživjeli hitno slijetanje na vodu i onima koji su preživjeli potonuće svojih pomorskih plovila. Ova operacija koristi različita sredstva kao što su hidroavioni, helikopteri, podmornice, čamci za spašavanje i brodovi. Za provođenje ovog oblika spašavanja odgovorne su vojne i civilne postrojbe. Uvođenje inovacija poput helikoptera, sa svojim mogućnostima lebdenja, dovelo je do značajne transformacije u tehnikama spašavanja zrak-more.
2. Potruga i spašavanje na zemlji: obuhvaća potragu za osobama koje su izgubljene ili u nevolji na kopnu ili unutarnjim plovnim putovima. Potragu za ljudima koji su nestali zbog raznih razloga, od obiteljskog zlostavljanja, mentalne bolesti, nesreća, do gubitka ili čak otmice. Policija obično služi kao glavno tijelo odgovorno za provođenje ovakvih potraga, iako često svoju pomoć nude dobrovoljni timovi za potragu i spašavanje. Ovisno o specifičnim rizicima u okolišu, može postojati zahtjev za specijalizirane timove za vođenje operacija poput brzog spašavanja iz vode, odgovora na poplave, tehničkog spašavanja uže tom, spašavanja u zatvorenom prostoru, spašavanja preko snijega i spašavanja na tankom ledu.
3. Gorsko spašavanje: ova vrsta SAR operacije posebno se događa na neravnom i planinskom terenu.
4. Urbano traženje i spašavanje (US&R ili USAR): također poznato kao HUSAR⁵⁴, fokusira se na lociranje i spašavanje pojedinaca zarobljenih unutar srušenih zgrada ili drugih urbanih i industrijskih okruženja. Za ovaj zahtjevan zadatak potrebna je stručnost specijaliziranih multidisciplinarnih timova zbog zamršene i složene prirode posla.
5. Borbeno traganje i spašavanje: provodi se na bojnopolju radi spašavanja unesrećenih pojedinaca, obično u zonama sukoba.

⁵² <https://www.flytbase.com/blog/drones-for-search-rescue> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁵³ Air-sea rescue - zračna i pomorska potraga

⁵⁴ Heavy Urban Search and Rescue - potraga i spašavanje u urbanim područjima

SAR operacije mogu biti prilično izazovne i nepredvidive stoga je važno naglasiti vrijeme i teren na kojemu se operacije izvode kao dva faktora koja uvelike odlučuju o ishodu operacije. U većini SAR misija, nestala osoba je zarobljena u situaciji opasnoj po život, ostavljajući ograničeno vrijeme za akciju spašavanja. Stoga je imperativ za spasioce da lociraju osobu što je brže moguće. Također SAR misije koje se provode u prirodnim okruženjima, daleko od urbanih sredina, često nailaze na težak teren, kao što su snijegom prekrivene planine ili guste prašume, što može ometati cijelu operaciju. Stoga bespilotne letjelice nude mnoštvo prednosti koje ih čine neprocjenjivim u hitnim slučajevima. Primarno bespilotne letjelice pridonose poboljšavaju SAR operacije⁵⁵ na sljedeće načine:

- brzi odgovor: bespilotni zrakoplovi mogu doseći lokaciju mnogo brže od vozila na zemlji, zahvaljujući svojoj sposobnosti navigacije preko prometa i prepreka. Također su sposobni pristupiti udaljenim ili opasnim područjima do kojih je inače teško doći.
- informacije o okruženju: bespilotni zrakoplovi omogućuju prikupljanje podataka iz zraka na velikom području, omogućujući hitnim službama da mapiraju cijelu zonu potrage i identificiraju potencijalne lokacije na kojima bi se nestala osoba mogla nalaziti. Vizualni podaci iz bespilotnih letjelica u stvarnom vremenu smanjuju i vrijeme i broj osoblja potrebnog za lociranje i spašavanje pojedinca.
- detekcija i identifikacija: opremljeni raznim sensorima, uključujući termalne kamere, bespilotni zrakoplovi se intenzivno koriste u misijama potrage i spašavanja. Ovi senzori mogu detektirati toplinske potpise, olakšavajući lociranje objekata i pojedinaca na tlu, osobito u slabo osvijetljenim područjima ili područjima s gustom vegetacijom. Osim toga, bespilotni zrakoplovi mogu snimati slike visoke razlučivosti koje osoblju na terenu nude vrijedne informacije.
- komunikacija: bespilotni zrakoplovi opremljeni zvučnicima mogu više puta emitirati poruke, upozoravajući nestalu osobu na potragu koja je u tijeku. Ova značajka također olakšava izravnu komunikaciju sa žrtvama ili zemaljskim timovima.
- osvjetljenje: bespilotni zrakoplovi mogu nositi reflektore, osvjetljavajući ciljane područja tijekom noćnih operacija, čime se poboljšava vidljivost u izazovnim uvjetima.

⁵⁵ <https://www.flytbase.com/blog/drones-for-search-rescue> [Pristupljeno: rujun 2023.]

4.3. Nadzor i mapiranje

Jedna od osnovnih funkcija korištenja bespilotnih letjelica u bori protiv požara i njihovoj prevenciji je nadzor i mapiranje. Ova tehnologija pruža vatrogascima informacije u stvarnom vremenu pripremajući ih na uvjete s kojima se suočavaju te tako pozitivno utječe na sigurnost i učinkovitost same akcije. Bespilotne letjelice opremljene infracrvenim kamerama omogućuju vatrogascima kvalitetniji nadzor okoline u kojoj se požar pojavljuje. Na taj način mogu primijeniti najbolji pristup borbi protiv požara i prepoznati potencijalne opasnosti.

Bespilotne letjelice se mogu koristiti za mapiranje veličine i oblika požara. Poznavanje točne veličine i oblika požara može pomoći vatrogascima da isplaniraju svoju strategiju, kao i da odrede najbolje rute za evakuaciju ljudi u tom području. Omogućuju i informacije o terenu koji okružuje požar. Takve informacije mogu se koristiti za prepoznavanje potencijalnih izvora goriva na promatranom području i predviđanje kako bi se požar mogao proširiti. Također, bespilotni zrakoplovi se mogu koristiti za praćenje kvalitete zraka u tom području. Ovi podaci mogu biti od pomoći vatrogascima da planiraju svoj pristup, ali i kao upozorenje ljudima u tom području na opasne uvjete. Konačno, bespilotni zrakoplovi se mogu koristiti za praćenje divljih životinja u tom području. Takve informacije mogu biti od pomoći vatrogascima da planiraju svoj pristup i zaštite životinje od ozljeda⁵⁶.

Kao najprikladniji tipovi bespilotnih zrakoplova pri praćenju i mapiranju šumskih požara, ističu se heksakopteri i oktokopteri. Prednosti ovakvih konfiguracija su mogućnost leta kroz jake vjetrove i većoj nosivosti potrebne opreme, od koje su primarno mogu izdvojiti kamere visoke razlučivosti, termovizijske kamere i senzori za plin.

Heksakopteri, zbog svoje stabilnosti i nosivosti, ističu se kao najbolji izbor za praćenje i mapiranje šumskih požara. Sa šest rotora, heksakopteri mogu prevoziti terete mase do 6 kg, održavati let otprilike 25 minuta s jednim punjenjem i postići brzine do 50 km/h.

Oktokopteri su druga najbolja opcija bespilotnih letjelica za praćenje i mapiranje šumskih požara. Imaju osam rotora, nosivost do 8 kg, istrajnost oko 30 minuta s jednim punjenjem i postižu brzinu do 60 km/h.

I heksakopteri i oktokopteri pokazali su se vrlo prikladnima za zadatke praćenja i mapiranja šumskih požara, pokazujući iznimnu stabilnost, nosivost i produženo trajanje leta.

⁵⁶ <https://ts2.space/en/can-drones-be-used-for-monitoring-and-mapping-of-wildfires-and-forest-fires/>
[Pristupljeno: rujan 2023.]

Štoviše, njihova svestranost u nošenju različitih tereta čini ih idealnim izborom za ove specifične primjene⁵⁷.

Do početka primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarne svrhe, te zadaće su najčešće obavljali ultralaki avioni i helikopteri. Isti se koriste i danas, ali zamjetna je postupna zamjena tih letjelica bespilotnim zrakoplovima. Upotrebom bespilotnih letjelica se dobiva višestruko jeftiniji i efikasniji sustav za mapiranje požara.

4.4. Procjena štete

Korištenje bespilotnih letjelica za snimanje požara dobivaju se informacije o trenutnom statusu požara i pomaže u otkrivanju uzroka nastanka požara. Ove informacije dobivene putem fotografija i videa mogu se arhivirati i koristiti za provođenje istrage. Bespilotne letjelice se koriste i nakon gašenja požara kako bi pregledali mjesto događaja, prikupili relevantne podatke i pretvorili ih u 3D karte koje služe kao zapis događaja nakon požara. Osim toga, video snimke i slike iz zraka pomažu u stvaranju boljeg materijala za obuku kako bi se poboljšao budući pristup upravljanju požarima ili boljim procesima donošenja odluka. Na osnovu tih informacija mogu se planirati rute za evakuaciju kao i preventivne mjere za što bržu kontrolu požara u budućnosti. Kada se govori o fazi nakon što je požar ugašen, osim sigurnosti vatrogasaca tu je i sigurnost procjenitelja štete. Prije nego što su bespilotni zrakoplovi postali opcija, procjenitelji štete su postavljali infrastrukturu poput skela i dizalica, na koje bi se ljudi morali penjati kako bi mogli provjeriti štetu na visini što upotreba bespilotnih letjelica isključuje.

Važno je spomenuti i dodatnu točnost koju bespilotni zrakoplovi nude, kroz preciznu zračnu fotogrametriju i druge prednosti koje ne bi bile moguće bez te tehnologije. Takva tehnologija uvela je značajne promjene za industrije poput osiguranja i mapiranja, bez koje bi bilo teško pravodobno odrediti punu veličinu i složenost gubitka.

Bespilotne letjelice korištene su nakon požara na sveučilištu u *Cape Townu* (*University of Cape Town, UCT*). Kako bi procijenili štetu na *UCT*-u, tim stručnjaka koristio je širok raspon bespilotnih zrakoplova i fotografske opreme, kao i softver za analizu podataka. To uključuje

- 3D pregled oštećenih struktura korištenjem visoke razlučivosti i toplinske fotogrametrije;

⁵⁷ <https://ts2.pl/en/can-drones-be-used-for-monitoring-and-mapping-of-wildfires-and-forest-fires/#gsc.tab=0>
[Pristupljeno: rujan 2023.]

- 3D mapiranje unutrašnjosti oštećenih zgrada pomoću senzora za detekciju i domet svjetlosti (LiDAR);
- potpuni pregled gornjeg kampusa i dijelova srednjeg i donjeg kampusa kako bi se dokumentirala šteta na krovovima i pratilo kako se požar proširio⁵⁸.

S LiDAR tehnologijom, moguće mapirati interijere i eksterijere kako bi se uočili postojeći nedostaci ispod površine; poput čeličnih konstrukcija koje su se možda proširile, uzrokujući pukotine koje bi destabilizirale strukturu.

S podacima zaprimljenim uz pomoć bespilotnih zrakoplova, moguće je izraditi 3D modele postojećih struktura i pretvoriti ih u modele računalno potpomognutog dizajna (CAD⁵⁹) kako bi se zaključilo koji dijelovi zgrada mogu ostati i koji će resursi biti potrebni za ponovnu izgradnju ili restrukturiranje. Ti 3D modeli se zatim mogu pretvoriti u precizne 3D arhitektonske modele koji bi se iskoristili pri redizajniranju i popravcima zgrada čime bi se ubrzao proces obnove.

4.5. Operacije s opasnim tvarima

Vatrogasni timovi se na požarištu suočavaju s brojnim opasnostima koje su direktna posljedica požara. Oni se također moraju nositi s hitnim situacijama koje uključuju opasne materijale (HAZMAT) i različite vrste kemijskih, bioloških, radioloških, nuklearnih i eksplozivnih prijetnji (CBRNE⁶⁰).

Za tehničare kod operacija s opasnim tvarima, postoji 8 koraka za upravljanje takvom situacijom, koji se mogu tretirati kao opći protokol⁶¹:

1. Upravljanje požarištem i kontrola: Ovaj korak je taktički, gdje tim određuje najsigurniji način za pristup opasnoj situaciji i preuzimanje nadzora nad požarištem. Cilj je osigurati mjesto događaja. Temeljne aktivnosti ove faze su izviđanje i nadgledanje, prikupljanje podataka o opasnostima, utvrđivanje razmjera štete te procjena kontaminanata i ukupnog rizika.
2. Identifikacija problema: Na temelju podataka prikupljenih u prvoj fazi identificira se opasni materijal i utvrđuje izvor kontaminacije. Razmatra se i najgori mogući scenarij i učinak na ljude u okolnim područjima.

⁵⁸ <https://dronenews.africa/cape-town-fire-survey-drones/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁵⁹ Computer-aided design - oblikovanje s pomoću računala

⁶⁰ Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive - kemijska, biološka, radiološka, nuklearna i eksplozivna

⁶¹ <https://www.flytbase.com/blog/drone-for-hazmat-response> [Pristupljeno: rujan 2023.]

3. Procjena opasnosti i rizika: Tim za odgovor procjenjuje fizičku štetu koju je opasni agens prouzročio ljudima i okolini. Takva bi procjena otkrila mnogo o zagađivačima i njihovim simptomima na temelju čega bi se mogle poduzeti odgovarajuće mjere ublažavanja. Primjerice, ako se tijekom požara ljudi u blizini žale na gušenje i glavobolju, to može biti znak trovanja ugljičnim monoksidom, na temelju čega se može pružiti liječnička pomoć.
4. Zaštitna odjeća i oprema: Tim za intervenciju koristi zaštitnu opremu i mjerne instrumente koji bi omogućili istražiteljima da pomno ispituju kontaminaciju i dobiju važne informacije o kvaliteti zraka, razini radioaktivnosti (u slučaju radioaktivnih tvari) i drugim čimbenicima okoliša.
5. Upravljanje informacijama i koordinacija resursa: U bilo kojoj vrsti odgovora važna je koordinacija koja se postiže dijeljenjem informacija s različitim agencijama, ali i medijima. Koordinacija potiče suradnju i učinkovito korištenje raspoloživih resursa.
6. Ciljevi provedbe odgovora: Na temelju stečenog znanja izrađuje se plan akcije s obzirom na raspoložive resurse. Plan se fokusira na najbolji način za zaustavljanje širenja zagađivača, imajući na umu sigurnost tehničara.
7. Dekontaminacija: S planom akcije, dekontaminacija ima za cilj staviti štetu od kontaminacije i širenje pod kontrolu. Na primjer, u slučaju curenja biološkog agensa, poput virusa, ljudi koji su došli u kontakt odmah se stavljaju u karantenu i pod promatranje.
8. Završetak incidenta: Ovo je posljednji korak koji se može podijeliti u četiri podkoraka, a to su:
 - ispitivanje nakon uspješnog obuzdavanja,
 - priprema izvješća nakon incidenta,
 - službeni pregled koji naglašava prednosti i nedostatke operacije odgovora,
 - kompletna dokumentacija.

Za operacije s opasnim tvarima važno je da bespilotni zrakoplovi osim kamera budu opremljeni i sensorima koji mogu detektirati paru, kemikalije i radijaciju. Korištenjem bespilotne letjelice na licu mjesta, brže se mogu identificirati problemi i poduzeti odgovarajuće radnje.

Bespilotna letjelica može se lansirati u roku od nekoliko minuta s ciljem izviđanja iz zraka i daljinskog praćenje u slučaju prisutnosti opasnih tvari tj. identifikaciju okoline koja je trenutno opasna za život i zdravlje. Bespilotni zrakoplovi omogućuju brzo detektiranje

ozlijeđenih osoba, identificiranje problema s izloženošću, pa čak i otkrivanje poteškoća kao što su curenje ili puknuće spremnika, oštećeni ventili, pojava vatre ili plamena, očuvanje strukturalne cjelovitosti, određivanje smjera izlivanja i slično. Na taj način omogućeno je kvalitetnije praćenje potencijalnih rizika po ljude na terenu, pomaže u identifikaciji potrebne zaštitne (poput odgovarajućih zaštitnih odijela) i ostale potrebne opreme. Sve se to može učiniti za vrijeme uspostave operacije i dekontaminacije, a da se vatrogasci drže podalje od opasnosti.

Kod operacija s opasnim tvarima nužno je da je letjelica opremljena termovizijskim kamerama kako bi se napravila detekcija kritičnih područja. Također, može se detektirati inače golom oku nevidljiv opasni oblak pare. Nadalje, moguće je vidjeti toplinske potpise osoba koje se nalaze na terenu.

Korištenje bespilotnog zrakoplova omogućuje procjenu učinkovitosti operacija suzbijanja požara i precizno navođenje sredstava za gašenje, koristeći i vizualnu optiku i toplinsku sliku. Ovi podaci mogu pomoći u prepoznavanju situacija koje zahtijevaju evakuaciju pojedinaca koji su u neposrednoj ili potencijalnoj opasnosti. Bespilotni zrakoplov koji je opremljen zvučnikom može se koristiti za dodatno upozorenje. Bespilotni zrakoplov opremljen hazmat monitorom može sletjeti na kontaminirano područje i služiti kao daljinski hazmat senzor satima. Mogu biti korisni i za dostavu potrebnog alata u blizini operacije. S dodatnim svjetlom može pomoći u osvjetljavanju područja tijekom dnevnih ili noćnih operacija⁶².

Vatrogasna i spasilačka služba *Southern Manatee FL* (SMFR), jedna je od pionira i predvodnik u korištenju bespilotnih letjelica kod operacija s opasnim tvarima. To su postigli uporabom opreme koja detektira opasne materijale i prenosi svoje nalaze u stvarnom vremenu, omogućujući spasiteljima trenutnu procjenu situacije na terenu prije izlaganja spasitelja potencijalnim opasnostima.

Kao jedan od primjera je uspješno provedena operacija gašenja spremnika sa sumporom. SMFR je bespilotnim zrakoplovom uspio identificirati vruće točke što bi inače bilo gotovo nemoguće učiniti. Također tijekom curenja bezvodnog amonijaka, termovizijska kamera bespilotnog zrakoplova identificirala je izvor curenja, koji je bio nevidljiv golim okom. Odjel koristi DJI bespilotne zrakoplove poput *Inspire 1* i *Matrice* serije, koji su prilagođeni za otkrivanje opasnih agenasa u okolišu uporabom senzora koji mogu otkriti paru, kemikalije i zračenje. Bespilotni zrakoplov s takvim sensorima daleko je učinkovitiji od

⁶² <https://www.firehouse.com/tech-comm/drones/article/21160945/fire-technology-hazmat-responsesdrones-are-a-necessity> [Pristupljeno: rujan 2023.]

čovjeka u HAZMAT odijelu koji se ujedno i nalazi u opasnoj situaciji. Kombinacija *Zenmuse XT2* termalne kamere i *Z30 zoom* kamere spasiteljima omogućuje trenutni prikaz stanja na terenu i što znatno smanjuje vrijeme intervencije i smanjuje mogućnost nepredviđenih opasnosti po gasitelje.

Dodatna prednost upotrebe bespilotnih zrakoplova je nadzor sigurnosti, tj. za kontrolu rizika na mjestu operacije. Video snimke koje je snimila bespilotna letjelica prenose se na mobilne uređaje i zapovjedna vozila, osiguravajući da zapovjednici u stvarnom vremenu budu u tijeku s razvojem događaja.

4.6. Prevencija

Korištenje bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi značajno doprinosi dodatnom povećanju stupnja prevencije i zaštite od požara. Pilot uporabom bespilotnog zrakoplova može pokriti veliko područje i identificirati žarišne točke pomoću termalnih kamera. Značajke vizualizacije na zaslonu, koje uključuju miješanje palete boja i izoterme, pojednostavljuju proces dobivanja podataka na terenu što gasiteljima omogućava lakše prilagođavanje trenutnoj situaciji na⁶³.

Još jedan način kojim se uporabom bespilotnih zrakoplova može prevenirati nastanak većih požara je namjerno izazivanje kontroliranih požara manjih obuhvata. Namjerno paljenje požara mogu izvoditi sami gasitelji na terenu, a često se u zadnje vrijeme za potpaljivanje požara koriste i bespilotni zrakoplovi. Princip je da se namjerno spaljuju teško dostupna i neprohodna područja da bi se osigurala prohodnost putova i da bi se ograničilo područje širenja nekog potencijalno većeg požara. Kontrolirani požari obično su manjeg intenziteta i mogu nepravilno gorjeti, kretati se nelinearno i stvarati vatrene oluje. Iako se na prvi pogled čini neobično, nedostatak ove metode nije u tome što su kontrolirani požari previše destruktivni, već u tome što nisu dovoljno destruktivni. Ispitivanjem kontroliranog opožarivanja površina koje je provedeno u Teksasu ustanovljeno je da se požar lako širi šumama bogatima smrekom te da je vrijeme oporavka vegetacije kratko. Dvije godine nakon požara, testne površine su u gotovo u potpunosti bila prekrivena vegetacijom i nisu primijećeni znakovi erozije tla⁶⁴.

⁶³ <https://hp-drones.com/en/fire-prevention-using-drones/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁶⁴ <https://education.nationalgeographic.org/resource/drones-shoot-fireballs-help-control-wildfires/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

Najnovija metoda paljenja kontroliranih požara primjenom bespilotnih zrakoplova je sustav IGNIS koji dolazi od *start-up* tvrtke iz Sjedinjenih Američkih Država, *Drone Amplified*. Tvrtka je razvila kemijski spoj koji sadrži kalijev permanganat koji pomiješan s glikolom pokreće kemijsku reakciju koja rezultira požarom. Riječ je o kuglicama veličine *ping-pong* loptice tzv. „zmajeva jaja“, koja se mogu ispuštati s daljinski upravljanoj protupožarnog bespilotnog zrakoplova. Ideja je bila pomoći vatrogascima da izbjegnu napore pješaćenja ili vožnje terenskim vozilom kroz gustu šumu ili planinski teren, nošenje baklje za paljenje malih požara na određenim udaljenim lokacijama ili korištenje skupih helikoptera s posadom. Preciznost je kritičan element kada se provode kontrolirani požari jer je ključna za sprječavanje širenja požara van željenih linija. Kako navode iz tvrtke, bespilotni zrakoplov mase 22,7 kg može nositi oko 400 kuglica⁶⁵. Kuglice se pale 30 do 60 sekundi nakon što su ispuštene. Sposobnost bespilotnog zrakoplova da leti u gusto zadimljenim područjima na velikim visinama čini ga iznimno korisnim za ovu vrstu operacije⁶⁶. Uz već nabrojane, neke od mnogih prednosti IGNIS aplikacije su⁶⁷:

- jednostavno planiranje i izvršavanje autonomne misije (letjelicom može upravljati i pilot) koje omogućuju zrakoplovu da sam leti i zapali precizne vatre,
- sigurnije i kontroliranije izvršavanje operacija – bespilotna letjelica ima mogućnost georeferenciranja čime se osigurava paljenje vatre unutar točno definiranih granica,
- povećana sigurnost praćenjem drugih zrakoplova u području pomoću *ADS-B In*⁶⁸.

4.7. Modeli bespilotnih letjelica

Vatrogasci koriste široku paletu bespilotnih letjelica, a sve bi trebale biti oremljene s termalnim kamerama i multispektralnim kamerama. Bespilotni zrakoplovi koje koriste vatrogasci moraju biti otporni na vodu i prašinu te moraju moći raditi u teškim vremenskim uvjetima.

Najčešći bespilotni zrakoplovi koji se koriste u gašenju požara su kvadrokopteri s termalnim i multispektralnim kamerama. Mogu se koristiti za praćenje intenziteta požara, lociranje žarišta i određivanje smjera širenja požara. Također se mogu koristiti za mapiranje terena, praćenje vodnih resursa i pružanje informacija s požarišta u stvarnom vremenu.

⁶⁵ <https://ctif.org/news/start-company-uses-drones-carrying-balls-fire-initiate-prescribed-burns> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁶⁶ <https://droneamplified.com/ignis/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁶⁷ <https://droneamplified.com/get-the-app/> [Pristupljeno: rujan 2023.]

⁶⁸ Automatic Dependent Surveillance–Broadcast - napredna tehnologija nadzora za stvaranje preciznog sučelja nadzora između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe

Multirotor bespilotni zrakoplovi su najpopularniji i najrašireniji bespilotni zrakoplovi. Opremljeni su s više rotora, obično četiri, šest ili osam, koji im omogućuju da ostanu stabilni u zraku i lako manevriraju. Njihove glavne prednosti su⁶⁹:

- okretnost i stabilnost
- jednostavnost korištenja
- točnost u lebdenju

Svoju primjenu u protupožarstvu nalaze i zrakoplovne bespilotne letjelice, također poznate kao bespilotne letjelice s fiksnim krilima. Imaju konfiguraciju sličnu onoj tradicionalnog zrakoplova. Koriste fiksna krila za stvaranje potpore i potisnike za pogon. Među njihovim glavnim prednostima su⁷⁰:

- učinkovitost u letu
- veća nosivost
- dulje vrijeme leta
- let na većoj visini

U nastavku je dan prikaz najčešće korištenih bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi.

4.7.1. DJI Phantom 4 RTK

Phantom 4 RTK (slika 7.) je kvadkopter tvrtke *DJI*, ističe se kao izvrsna početna opcija za sve korisnike koji obavljaju postupak mapiranja. *Phantom 4* opremljen je RTK modulom koji, osim što omogućuje podatke o poziciji u stvarnom vremenu, poboljšava mogućnost mapiranja svodeći točnost geo pozicije na svega par centimetara. Dodatno, njegova kompatibilnost s termovizijskim kamerama proširuje njegovu mogućnost primjene na industrijske inspekcije, operacije potrage i spašavanja i još mnogo toga. Jednostavno manevriranje i pouzdan sustav autopilota čine ga dostupnim i početnicima i stručnjacima. Nadalje, njegov napredni sustav otkrivanja i izbjegavanja prepreka osigurava sigurnost tijekom složenih misija mapiranja⁷¹.

⁶⁹ <https://www.embention.com/news/types-of-drones-and-their-advantages/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

⁷⁰ <https://www.embention.com/news/types-of-drones-and-their-advantages/> [Pristupljeno: studeni 2023.]

⁷¹ <https://www.jouav.com/blog/drone-for-mapping.html> [Pristupljeno: prosinac 2023.]



Slika 7. *DJI Phantom 4*

Izvor: <https://newatlas.com/dji-phantom4-pro-v20-upgrade/54559/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

4.7.2. *DJI Mavic 3 Enterprise vs. M30 vs. M300 RTK*

DJI Phantom 4 RTK je dobra početna opcija, ali ga je kao DJI-jevo glavno kompaktno rješenje za potrebe mapiranja zamijenio *Mavic 3 Enterprise*, koji ga nadmašuje i u trajanju baterije, veličini i broju senzora i cijeni.

Mavic 3E i *Mavic 3T*, kao i serija *M30* i *M300 RTK*, predstavljaju vrhunske komercijalne platforme tvrtke *DJI*. *Mavic 3 Enterprise* serija ističe se kao značajno lakša i manja u usporedbi s drugim modelima. Posebno je korisna u situacijama javne sigurnosti i timova za potragu i spašavanje, pružajući brzu detekciju incidenata. S druge strane, serija *M30* dijeli sličan izgled s *M300 RTK*, ali u nešto manjim dimenzijama. Iako nije jednako prenosiva i lagana kao *Mavic 3 Enterprise* serija, dovoljno je kompaktna da se smjesti u ruksak⁷².

⁷² <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]



Slika 8. *Martice 300 RTK*

Izvor: <https://dronovi.hr/dji-matrice-300-rtk/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Na slici 8. prikazana je bespilotna letjelica *M300 RTK* koja se ističe kao najveća letjelica od ove tri. Iako se može brzo sastaviti u manje od dvije minute, teži je za prenošenje od druga dva modela. Ipak, njegova veličina omogućuje mu veću nosivost, s maksimalnom masom pri polijetanju od 9 kg, i mogućnost integriranja do tri tereta istovremeno (prikazano u tablici 2.).

Tablica 2. Usporedba osnovnih specifikacija Mavic 3, M30 i M300 RTK modela

	Mavic 3	M30	M300 RTK
Dimenzije (sklopljen)	221 x 96,3 x 90.3 mm	365 x 215 x 195 mm	430 x 420 x 430 mm
Masa	915 g-920 g	3,7 kg (uključujući dvije baterije)	Cca. 6,3 kg (s dvije baterije i jednim kardanom prema dolje)
MTOM	915 g-920 g	4 kg	9 kg

Izvor: <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk>, [Pristupljeno: prosinac 2023.]

U Tablici 3. uspoređene su specifikacije kamere sva tri modela. Serija *Mavic 3 Enterprise* ima fiksnu kameru s više senzora. *Mavic 3E* ima širokokutnu kameru i telekameru, dok *Mavic 3T* ima i dodatnu termalnu kameru. Dodaci poput RTK modula ili zvučnika mogu se pričvrstiti na vrh letjelice. Slično je i za seriju *M30*, koja ima fiksnu kameru s više senzora i mogućnost dodavanja dodatnog tereta na vrh letjelice. *M30* ima širokokutnu kameru, *zoom* i laserski daljinomjer, dok *M30T* ima dodatak toplinskog senzora. Za razliku od prethodna dva modela, *M300 RTK* nema fiksni teret. Ova letjelica omogućava širok izbor kamera i senzora koje je moguće integrirati, uključujući LiDAR, fotogrametriju, *zoom* kamere, širokokutne i termalne kamere, kao i druge dodatke, poput reflektora, zvučnika, modula za detekciju plina, noćnog vida i poljoprivrednih senzora. Kao što je spomenuto, postavke kamera za *Mavic 3 Enterprise*, serija *M30* i *M300 RTK* se razlikuju. Kada je riječ o RGB⁷³ fotogrametrijskim rješenjima DJI-ja, postoje tri glavne opcije: *Mavic 3 Enterprise*, *M300 RTK* sa dodatkom *Zenmuse P1* kamere i *M300 RTK* s dodatkom *Zenmuse L1* kamere⁷⁴.

Sva tri rješenja su u RTK modulu koja mogu postići centimetarsku fotogrametrijsku točnost u mjerilu 1:500 bez instaliranja zemaljskih kontrola.

⁷³ Red Green Blue - sustav koji predstavlja boje koje se koriste na digitalnom zaslonu

⁷⁴ <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

Tablica 3. Usporedba optičkih performansi Mavic 3, kamere Zenmuse P1 i Zenmuse L1

	Mavic 3 s RTK modulom	M300 RTK + Zenmuse P1	M300 RTK + Zenmuse L1
RTK/PPK	DA	DA	DA
Format slike	5.280 × 3.956 (4:3)	8.192 × 5.460 (3:2)	5.472 × 3.648 (3:2)
Rezolucija	20 MP	45 MP	20 MP
Veličina piksela	3,3 μm	4,4 μm	2,4 μm
Leća	12 mm/24 mm Ekvivalent: FOV 84,0°	P1 ima izmjenjive objektive: DL 24 mm; FOV 84,0°; DL 35 mm; FOV 63,5°; DL 50 mm; FOV 46,8°	8,8 mm/24 mm Ekvivalent: FOV 84,0°
Minimalni interval fotografije	0,7 s	0,7 s	2,5 s
Vrijeme leta	Do 42 min (s RTK modulom)	Do 44 min	Do 42 min

Izvor: <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk>, [Pristupljeno: prosinac 2023.]

Kao rezultat toga, ovi proizvodi mogu učinkovito povećati učinkovitost mapiranja i geodetskog rada u usporedbi s drugim bespilotnim zrakoplovima koji nisu optimizirani za mapiranje i nemaju RTK/PPK.

Vrijedno je napomenuti da *M300 RTK* ima ugrađeni RTK modul, dok će operateri *Mavic 3 Enterprise* morati kupiti RTK modul zasebno kako bi postigli centimetarsku točnost. Uspoređivanjem mogućnosti ova tri fotogrametrijska rješenja, donosi se zaključak da je *M300*

sa dodatkom *Zenmuse P1 bolji od Mavica 3*, koji je bolji od *M300* sa dodatkom *Zenmuse LI*⁷⁵.

Do ovog zaključka se došlo uglavnom zbog rezolucije kamere, veličine senzora i veličine piksela. Slika visoke rezolucije omogućuje izradu karte visoke rezolucije ili puno detaljniji model. Veći pikseli osiguravaju bolji dinamički raspon i kvalitetu slike u uvjetima slabog osvjetljenja, omogućujući duže vrijeme rada s obzirom na doba dana. Važno je za napomenuti da *P1* kamera nudi više opcija leća koje korisnik može odabrati na temelju scenarija leta, dok *LI* kamera i *Mavic 3 Enterprise* imaju fiksnu žarišnu duljinu s fiksnim vidnim poljem.

Letjelica izvršava oblik leta nalik šrafiranju kod operacija mapiranja, *Mavic 3* pomiče gimbal naprijed, najniže i natrag prilikom mapiranja kako bi dobio sliku iz svih kutova. *Matrice 300 + P1* može koristiti kardansku kontrolu s tri osi koja omogućuje svih pet kutova u samo jednom preletu što rezultira smanjenjem potrošnje baterije⁷⁶. Letjelici *Matrice 300* je zbog toga potrebno kraće vrijeme leta kako bi postigla isti GSD⁷⁷, povećavajući učinkovitost snimanja.

Što se tiče *Matrice 300* s dodatkom *Zenmuse LI* kamere, to nije prvenstveno fotogrametrijska kamera. To je zapravo LiDAR tehnologija, s ubačenim fotogrametrijskim mogućnostima. Zapravo, *M300 RTK* je jedini model od navedena tri modela koji može snimati LiDAR podatke, s *L1* kamerom ili nekim drugim LiDAR sensorom. Prava prednost *M300 RTK* je u njenoj raznovrsnosti, npr. operateri mogu kupiti *L1* i *P1* za optimalno snimanje LiDAR i fotogrametrijskih podataka.

Osim vizualnog prikupljanja podataka, *Mavic 3T* i *M30T* su opremljeni toplinskim sensorima te su optimalni za izvršavanje zadataka kao što su potraga i spašavanje, gašenje požara i inspekcija, koji su istaknuti u tablici 4. S obzirom na to da *M300 RTK* nema fiksni teret, omogućuje integraciju s raznolikim kamerama i sensorima, uključujući *H20T* termalni senzor u navedenom slučaju.

Serijski *Mavic 3 Enterprise* nema laserski senzor za mjerenje udaljenosti. Zbog toga ne podržava mjerenje udaljenosti do određenog objekta i ne može izvršiti kalkulacije pomoću softvera, kao druga dva. Laserski daljinomjer omogućuje i druge značajke poput pametnog

⁷⁵ <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

⁷⁶ https://www.youtube.com/watch?v=ku_IJPRWhQw [Pristupljeno: prosinac 2023.]

⁷⁷ Ground Sampling Distance - udaljenost između dva uzastopna središta piksela mjerena na tlu

praćenja, stvaranju mreže visoke rezolucije i postizanju fokusa kamere putem vizualnog zumiranja, a te funkcije nisu dostupne u *Mavic 3 Enterprise* seriji⁷⁸.

Tablica 4. Usporedba termalnih performansi modela Mavic 3T, M30T i termalne kamere H20T

	Mavic 3T	M30T	H20T
Rezolucija	640 x 512	Infracrveni "Super-resolution" način: 1.280 x 1.024; Normalni način: 640 x 512	640 x 512
Frekvencija slike	30 Hz	30 Hz	30 Hz
Leća	40 mm Ekvivalent; DFOV: 61°	40 mm Ekvivalent; DFOV: 61°;	58 mm Ekvivalent; DFOV: 40.6°
Termalni zoom	Do 28x	Do 20x	Do 16x
Upozorenje o temperaturi	DA	DA	DA
Noćni način	NE	DA	DA

Izvor: <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk>, [Pristupljeno: prosinac 2023.]

Svi infracrveni moduli su vrlo slični i dijele rezoluciju od 640 x 512 piksela. *M30T* se ističe po jedinstvenoj mogućnosti povećanja rezolucije infracrvenih fotografija četiri puta u odnosu na izvorne, što rezultira oštrijom slikom. Međutim, važno je napomenuti da ova značajka pruža poboljšanu sliku za operatera, ali nema utjecaj na poboljšanje toplinskih podataka.

⁷⁸ <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

M300 RTK je iznimno prilagodljiva letjelica, što znači da, kada je potrebno prikupiti termalne podatke, može integrirati razna termalna rješenja osim *H20T*. Primjerice, moguće je koristiti *FLIR Vue TZ20-R* s dvostrukim toplinskim zumiranjem (20x) i infracrvenim laserskim zumiranjem sa svjetlosnim noćnim vidom. Osim toga, *M300 RTK* može nositi *DJI Zenmuse H20N* senzor za noćno snimanje, zajedno s vizualnim senzorima za zvjezdano svjetlo, pružajući izvanredne performanse u uvjetima slabog osvjetljenja⁷⁹.

Tablica 5. Usporedba otpornosti na vremenske uvjete kod modela Mavic 3, M30 i M300 RTK

	Mavic 3	M30	M300 RTK
IP Rating	Nema	IP55	IP45
Operativna temperatura	-10°C do 40°C	-20°C do 50°C	-20°C do 50°C
Maksimalna brzina vjetra	12 m/s	15 m/s; 12 m/s tijekom polijetanja i slijetanja	15 m/s; 12 m/s tijekom polijetanja i slijetanja

Izvor: <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk>, [Pristupljeno: prosinac 2023.]

Sva tri modela su pouzdane letjelice i imaju impresivne specifikacije performansi leta. U tablici 5. uspoređene su njihove sposobnosti s obzirom na različite vremenske uvjete. Razliku čine sposobnost rada u nepovoljnim vremenskim uvjetima poput kiše. Električna i elektronička oprema se kvvari kada voda ili prašina uđu u uređaj. Koliko je dobro uređaj zaštićen od prodora vode i prašine definiran je IP rejtingom. Serija *M30* je najotpornija na vremenske uvjete sa IP 55 rejtingom. Iako ovo nije potpuna vodootpornost, letjelici daje poboljšanu zaštitu od vremenskih nepogoda. Za usporedbu, *M300 RTK* ima ocjenu IP45, što ga čini malo manje vodootpornim u usporedbi sa *M30*. *Mavic 3 Enterprise* ne dolazi s IP ocjenom, što znači da nema sposobnost da se nosi s vlažnim vremenom.

Sva tri modela karakterizira velika istrajnost leta. Posebno vrijedi za *Mavic 3* koji je mala letjelica, a može letjeti do 45 minuta. To je veliko poboljšanje u odnosu na prethodne slične modele kao što su *Mavic 2* i *Phantom 4*, a koji mogu letjeti maksimalno 30 minuta.

⁷⁹ <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

M30 serija nudi do 41 minutu leta, a *M300 RTK* ovisi o količini tereta koje nosi stoga njegova maksimalna istrajnost leta ovisi o odabranoj konfiguraciji. Bez ikakvog tereta *M300 RTK* ima najduže vrijeme leta od 55 minuta, ali već s jednim teretom to vrijeme iznosi 45 minuta. Sa sva tri tereta maksimalno vrijeme leta *M300 RTK* iznosi tri minute, što i nije loše vrijeme ako se u obzir uzme raznovrsnost koju omogućuje. Serija *Mavic 3 Enterprise*, serija *M30* i *M300 RTK* kvalitetni su komercijalni zrakoplovi. No, zbog međusobnih razlika imaju drugačiji korisnički profil. Potrebno je obratiti pažnju na faktore kao što su slučaj upotrebe, proračun i iskustvo.

Mavic 3 Enterprise odlična je letjelica za manje iskusne korisnike koji traže kompaktno rješenje za precizno snimanje, ali modul za termalno snimanje nije dobar kao kod ostala dva. Opremljena je hibridnom *zoom* kamerom koja omogućuje zumiranje do 56 puta te ima mehanički zatvarač kako bi spriječila zamućenja tijekom snimanja pri visokim brzinama. *Mavic 3E* i *Mavic 3T* su lagani, kompaktni i opremljeni s više senzora, koji ih čine izrazito pristupačnim platformama i znatno povoljnijim opcijama u usporedbi s drugim modelima. Oni su posebno prikladni kao početnički zrakoplovi te se ističu po jednostavnom postavljanju i brzom reakcijom. Međutim, postoji nekoliko nedostataka u smislu IP ocjene, određenih ograničenja u performansama, a jedna od tih u slučaju *Mavic 3E* je kamera koja nije tako oštra kao P1 kamera kod modela *M300*.

Zatim, serija *M30*, koje je skuplja od serije *Mavic 3 Enterprise*, ali kompaktnija od *M300 RTK*. Ima veliku izdržljivost i prenosivost. Iako nije rješenje za precizno mjerenje, s mogućnošću povećanja infracrvenih fotografija, izvrsna je opcija za termalno mapiranje. Serija *M30* ima svoje ograničenje, posebice u usporedbi s *M300 RTK*, jer nije jednako prikladna za precizna mjerenja. No, kompatibilnost s dodatnim modulima poput zvučnika i reflektora omogućuje unapređenje funkcionalnosti serije *M30*, čime se doprinosi učinkovitosti izvršenja misije.

Cijena same letjelice *M300 RTK* je gotovo ista kao kod letjelice *M30*, ali bez dodatne opreme, koja onda i nema nekog smisla jer gubi svoj najjači atribut - svestranost. Sa potrebnom dodatnom opremom *M300 RTK* je najskuplji model od navedenih, a sa sposobnošću da nosi do tri korisna tereta, što ju zajedno sa boljim performansama čini najboljim izborom od navedene tri letjelice.

Posebno je prikladna za operatere s iskustvom. Svestranost ove letjelice znači da operateri mogu provoditi niz misija s jednom platformom, nadoknađujući s time manjak kompaktnosti i prenosivosti naspram druga dva⁸⁰.

4.7.3. Autel EVO II Dual 640T vs. M30T vs. MATRICE 300RTK+H20T

Osim DJI modela, koji su najviše upotrebljavani u SAD-u i zauzimaju čak 77% potrošačkog prostora, postoje i druge pouzdane opcije⁸¹. Kada je termalno mapiranje u pitanju, *Autel EVO II Dual 640T Enterprise* (slika 9.) predstavlja izvrsnu opciju.



Slika 9. *EVO II 640T V3*

Izvor: <https://www.dronovishop.hr/autel-evo-ii-dual-rugged-bundle-640t-v3/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁸⁰ <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

⁸¹ <https://www.dpreview.com/reviews/review-the-autel-evo-ii-is-a-solid-drone-and-an-alternative-to-dji/3> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

Najnovija verzija, V3, donosi udaljenost prijenosa slike od 15 km i otpornost na vjetar ocijenjenu razinom 8, čime osigurava uspješan proces mapiranja čak i u nepovoljnim uvjetima. Opremljen je s dvostrukim kamerama koje podržavaju infracrveno termalno snimanje pri visokoj rezoluciji, što ga čini izvrsnim u prikupljanju detaljnih termalnih podataka⁸². U Tablici 6. uspoređene su osnovne specifikacije i termalne performanse EVO II 640T V3 modela s obzirom na odgovarajuće DJI modele.

⁸² <https://www.autelrobotics.com/productdetail/evo-ii-dual-640t-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Tablica 6. Usporedba osnovnih specifikacija i termalnih performansi modela Matrice 300 RTK s priključenom H20T kamerom, M30T i EVO II 640T V3 modela

	MATRICE 300RTK+H20T	M30T	EVO II DUAL 640T V3
Dimenzije	810 × 670 × 430 mm	470 × 585 × 215 mm	457× 558× 108 mm
MTOM	9 kg	4 kg	2 kg
Maksimalna visina uzlijetanja	7.000 m, max. tako-off mass ≤ 7 kg	7.000 m	7.000 m
Maksimalna horizontalna brzina	23 m/s (“S” mode) 17 m/s (“P” mode)	23 m/s	20 m/s
Maksimalno vrijeme leta	Od 31 do 55 min ovisno o opremi	41 min	38 min
Maksimalna otpornost na vjetar	12 m/s	12 m/s	12 m/s
Maksimalna udaljenost prijenosa	15 km	15 km	15 km
Infracrvena rezolucija	640*512	Infracrveni “Super- resolution” način: Normal način: 640 x 512	640*512

Leća	DFOV: 45.5°	DFOV: 61°	FOV H33°V26°
termalni zoom	Do 16x	Do 20x	Do 16x
laserski daljinomjer	5 m – 1,2 km	3 m – 2 km	5 m – 1,2 km

Izvor: izradio autor

Također, *Autel EVO II Dual 640T Enterprise* posjeduje 8K video kameru, 4K HDR video, 48MP kameru te mogućnost zumiranja do četiri puta bez gubitaka kvalitete za snimanje visokih razlučivosti iz zraka. Senzor *RYYB* modela *EVO II Dual 640T V3* koristi algoritam koji u uvjetima ograničenog osvjetljenja pruža izvrsnu redukciju smetnji, poboljšavajući performanse kamere i omogućujući korisnicima bolju analizu detalja⁸³. Što se tiče širokokutne kamere, opremljen je 0,8" *RYYB CMOS* kamerom koja pruža veću površinu u usporedbi s *CMOS 1/2"* ili *1/2,3"*, koji se koristi u *M30T* modelu, kako bi pružio bolje detalje u uvjetima visokog kontrasta. Ima integrirano inteligentno planiranje rute, sposobnost izbjegavanja prepreka i AI algoritme koji dodatno unapređuju mogućnosti mapiranja. Može istovremeno modelirati lokaciju i brzinu određenog objekta, precizno predvidjeti njegovu putanju i kontinuirano pratiti do 64 objekta istovremeno⁸⁴. *Autel VIO* pozicioniranje omogućava siguran povratak čak i u nepovoljnim vremenskim uvjetima, a RTK modul pruža točnost na razini centimetara. Postavljanje je brzo, unutar minute, a prelazak iz kućišta u zrak za 45 sekundi. Opremljen s 19 kompleta senzora, uključujući vizualne senzore i dvostruki IMU⁸⁵, može jednostavno generirati izraditi 3D karte i podatke o terenu u stvarnom vremenu⁸⁶.

Sva tri modela su odlične industrijske bespilotne letjelice. Što se tiče termalnog snimanja može se zaključiti da su i *M30T* i *EVO II 640T* izvrsni modeli za tu svrhu jer oba modela imaju slične karakteristike kamere i imaju mogućnost izbjegavanja prepreka što čini misiju sigurnijom. *EVO II 640T* ističe se u sposobnosti praćenja objekata u stvarnom vremenu i jako malom vremenu reakcije što ga čini idealnim za misije potrage i spašavanja, požara,

⁸³ <https://www.autelrobotics.com/productdetail/evo-ii-dual-640t-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁸⁴ <https://www.autelpilot.eu/collections/evo-ii-pro-v3/products/autel-robotics-evo-ii-dual-640t-v3-thermal-drone-rugged-bundle> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁸⁵ Inertial Measurement Unit - elektronički uređaj koji mjeri i prijavljuje specifičnu silu tijela, kutnu brzinu, a ponekad i orijentaciju tijela

⁸⁶ <https://www.autelrobotics.com/productdetail/evo-ii-dual-640t-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

eksplozija i sl., gdje je vrijeme od presudne važnosti. *EVO II 640T* puno je jeftinija opcija od *M30T*, a s obzirom na gotovo iste performanse odličan je izbor za operatere koji već nemaju *DJI* proizvode, zbog toga što ova dva modela ne mogu raditi na istom softveru. *DJI* modeli imaju prednost u pouzdanosti jer imaju dvostruku redundanciju za svaki kritični sustav te dodatnu opremu poput *DJI Dock* pristaništa za slijetanje i punjenje letjelice. *M300 RTK* i dalje izgleda kao najbolja opcija zbog svoje svestranosti i mogućnosti priključivanja kamera i senzora najbolje klase koje nisu nužno *DJI* proizvodi, tako da se može koristiti u svim vrstama misija i jedini ima LIDAR tehnologiju. Također robusnom konstrukcijom prikladan je za teške uvjete i ima sustav baterija koji omogućava brzu promjenu baterija i omogućuje više letova bez isključivanja.

4.7.4. Yuneec H520E vs. DJI vs. Autel EVO II Dual 640T

Yuneec H520 predstavlja uređaj za mapiranje koji spaja cjenovnu pristupačnost s ključnim značajkama za precizno mapiranje iz zraka (s nešto višom cijenom u RTK modulu). Opremljen RTK modulom koji koristi *GPS* i *GLONASS* za izuzetno precizno pozicioniranje, što čini ga pouzdanim izborom za različite aplikacije. Zahvaljujući sustavu s šest rotora, omogućuje stabilan i precizan let, čak i u slučaju otkaza rotora, što osigurava da *H520E* može sigurno nastaviti letjeti. Ukoliko dođe do kvara propelera ili motora, *H520* će preći u *5 Motor Mode* i nastaviti letjeti kao kvadkopter⁸⁷. Ugrađeni ultrazvučni senzori omogućuju zrakoplovu detekciju prepreka i izbjegavanje sudara. Ako se otkrije prepreka, *H520* će se zaustaviti na udaljenosti od 4,5 metra. Sustav se također može isključiti, a kada je uključen, brzina je ograničena na 7 m/s. U situacijama gubitka signala, postoji opcija povratka na početnu poziciju, čime se osigurava da zrakoplov neće izaći iz radijusa koji je korisnik odredio. Kao i prethodno spomenuti bespilotni sustavi, *H520E DataPilot* automatski generira putanje leta s korisnički definiranim prednjim/bočnim preklapanjem i šrafiranjem za precizno 3D mapiranje ili generiranje slika velikog formata⁸⁸.

⁸⁷ <https://yuneec.online/h520-series/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁸⁸ <https://www.dronovishop.hr/yuneec-h520e/> [Pristupljeno: prosinac 2023.]



Slika 10. Yuneec H520E s priključenom kamerom

Izvor: <https://www.leicesterdrones.com/h520e>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Ono što čini *H520E* RTK posebnim je zamjenjivi gimbal sustav, koji omogućuje korištenje više opcija dodatne opreme bez potrebe za isključivanjem letjelice ili sustava (slika 10.). To znači da ga se može usporediti s *Matrice 300* (prikazano u tablici 7.), s tim što *H520E* ima mogućnost nošenja samo jednog dodatnog tereta, za razliku od *Matrice 300* koji može nositi tri tereta istovremeno. Gimbal omogućuje neprekidnu rotaciju od 360 stupnjeva, a kontroler je opremljen 7-inčnim zaslonom koji pruža jasan pregled podataka mapiranja.

Tablica 7. Usporedba osnovnih specifikacija modela H520E RTK i Matrice 300 RTK

	H520E RTK	Matrice 300 RTK
Dimenzije	551x482x309	810 × 670 × 430 mm
MTOM	2,5 kg	9 kg
Maksimalno vrijeme leta (bez dodatnog tereta)	28 min	55 min
Maksimalna visina leta	5.000 m	7.000 m
Maksimalna horizontalna brzina	13,5 m/s	23 m/s (“S” mode) 17 m/s (“P” mode)
Otpornost na vjetar	20 m/s	12 m/s
Maksimalna udaljenost prijenosa	7 km	15 km

Izvor: izradio autor

H520E trenutno može biti opremljen *E10TX/E10TvX* termalnom kamerom, *CGOET/X Dual Thermal & RGB* kamerom, *E30ZX* kamerom za zumiranje i *E90X* foto/video kamerom.

E90X kamera ima najbolja optička svojstva od navedenih pa bi bilo prikladno usporediti je s dva najbolja optička rješenja DJI modela (*Mavic 3* i *Matrice 300* s priključenom *Zenmuse P1* kamerom), kao što je prikazano u tablici 8.

Tablica 8. Usporedba optičkih performansi modela *H520E* s priključenom *E90X* kamerom, *Mavic 3* i *Matrice 300* s priključenom *Zenmuse P1* kamerom

	H520E+E90X	Mavic 3	Matrice 300+ Zenmuse P1
Operativna temperatura	-10°C do 40°C	-10°C do 40°C	-20°C do 50°C
Rezolucija	20 MP	20 MP	45 MP
Leća	23 mm Ekvivalent; FOV 91°	12 mm/24 mm Ekvivalent: FOV 84,0°	P1 ima izmjenjive objektivne: DL 24 mm; FOV 84,0°; DL 35 mm; FOV 63,5°; DL 50 mm; FOV 46,8°
Format slike	3:2 5.472 x 3.648, 4:3 4.864 x 3.648, 16:9 5.472 x 3.080	5.280 × 3.956 (4:3)	8.192 × 5.460 (3:2)

Izvor: izradio autor

U tablici 9. uspoređena je kamera *E10TvX*, koja je najbolji priključak za termalno snimanje kod *H520E* modela, s najbolja dva modela bespilotnih letjelica za prikupljanje termalnih podataka (*M30T* i *EVO II DUAL 640T V3*).

Tablica 9. Usporedba termalnih performansi modela *H520E* s priključenom *E10TvX* termalnom kamerom, *M30T* i *EVO II 640T V3*

	H520E+E10TvX	M30T	EVO II DUAL 640T V3
Infracrvena rezolucija	640 x 512	Infrared Image Super-resolution Mode: 1.280 x 1.024; Normal Mode: 640 x 512	640x512
Leća	DFOV 89,6° 23 mm	DFOV: 61°; 9,1 mm	FOV H33°V26° 13 mm

Izvor: izradio autor

Yuneec H520E može se smatrati ekonomičnijom alternativom *Matrice 300 RTK* s nešto slabijim performansama. Njegova najveća prednost leži u svestranosti, slično kao kod *Matrice 300*, uz znatno manji domet prijenosa. Iz tog razloga može predstavljati dobro rješenje za hitne službe, policiju, vatrogasce, inspektore, itd. I foto/video i termalne kamere koje su kompatibilne sa *H520E* ogovaraju standardima *Mavic 3* i *M30T* modela i ima mogućnost dvostrukog video prijenosa, prikazujući termalnu i optičku sliku istovremeno. Iako *H520E* ima nižu početnu cijenu, višestruko je skuplji i od *Mavica 3* i *M30T* kada se uračuna dodatna oprema poput RTK modula, optičke i termo kamere. Stoga je *H520E* više zamjena za *Matrice 300 RTK*. Ono što ga izdvaja od svih prethodno navedenih modela je otpornost na vjetar. Zbog svojih šest rotora *H520E* je izuzetno stabilna letjelica i idealan je za pretežito vjetrovita područja jer može zadržati stabilnost pri brzini vjetra do 20 m/s.

4.7.5. Bepilotne letjelice s fiksnim krilima

Nasuprot multirotor letjelicama, *VTOL*⁸⁹ letjelice s fiksnim krilima spajaju karakteristike vise rotornih letjelica i letjelica s fiksnim krilima, omogućujući vertikalno polijetanje i slijetanje. To znači da ne zahtijevaju velike površine za slijetanje i imaju visoku učinkovitost u letu. Primjeri takvih letjelica u protupožarnim operacijama uključuju *CW-15* (slika 11.) i *CW-30E* (slika 12.), proizvedene od strane kineske tvrtke *JOUAV*⁹⁰. U tablici 10. su prikazane osnovne karakteristike već spomenutog kvadkoptera *Matrice 300 RTK* (koja je najveća letjelica multirotor letjelica od spomenutih u tekstu) i potpuno električne bepilotne letjelice s fiksnim krilima *JOUAV CW-15*.

⁸⁹ Vertical take-off and landing - zrakoplov koji je sposoban uzlijetati i slijetati okomito

⁹⁰ <https://www.jouav.com/vtol-drone> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Tablica 10. Usporedba osnovnih specifikacija multirotor letjelice *Matrice 300 RTK* i letjelice s fiksnim krilima *CW-15*

	MATRICE 300RTK	JOUAV CW-15
Dimenzija	810 × 670 × 430 mm	3,54 x 2,06 m
MTOM	9 kg	16,5 kg
Maksimalna visina uzlijetanja	7.000 m	6.500 m
Maksimalna horizontalna brzina	23 m/s	17 m/s
Maksimalno vrijeme leta	55 min	180 min
Maksimalna otpornost na vjetar	12 m/s	Level 6 (10,8-13,8 m/s)
Maksimalna udaljenost prijenosa	15 km	50 km
PPK/RTK	RTK	PPK i RTK
LiDAR	DA	DA

Izvor: izradio autor

JOUAV CW-15 je autonomna bespilotna letjelica namijenjena za pomoć u operacijama gašenja požara. Funkcionira autonomno zahvaljujući naprednim sustavima kontrole leta i navigacijskim algoritmima, što je oslobađa potrebe za stalnom ručnom kontrolom. Koristeći

automatizirane putanje leta, postupke polijetanja i slijetanja te precizno praćenje točaka ruta, smanjuje opterećenje vatrogasaca. Zrakoplov je modularan, prenosiv, s trajanjem baterije do 180 minuta i dometom leta od 50 km. Njegova brzina krstarenja iznosi 17 m/s, omogućujući brzo reagiranje u slučaju opasnosti. *CW-15* može biti opremljen s više vrsta dodatne opreme s obzirom za koji tip misije se koristi, poput optičkih i termalnih kamera, LiDAR senzorom, itd. Otvorena arhitektura bespilotnog zrakoplova omogućuje učinkovitu obradu video podataka, prepoznavanje slika, primjenu algoritama umjetne inteligencije te GPU⁹¹ za ubrzavanje računalne grafike i obrade slika⁹².



Slika 11. Bespilotna letjelica *CW-15*

Izvor: <https://www.jouav.com/products/cw-15.html>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

JOUAV CW-30E je hibridna bespilotna letjelica s kombinacijom benzina i električne energije, kao i *CW-15* projektiran za operacije u protupožarstvu. S impresivnim vremenom leta do 480 minuta i dometom od 200 km, ovaj model pruža izvanrednu izdržljivost i pokrivenost. Putuje brzinom od 25 m/s, što mu omogućuje brzo stizanje na mjesto događaja kako bi podržao vatrogasne timove. Kao i *CW-15* nudi fleksibilnost u korisnim teretima koje može implementirati. S visokom rezolucijom termalne slike, kamerom za vidljivo svjetlo s 30x zumom i AI potporom za identifikaciju i praćenje objekata, ovaj bespilotni zrakoplov

⁹¹ Graphics processing unit - grafički procesor

⁹² <https://www.jouav.com/blog/drones-in-firefighting.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

omogućuje precizno lociranje točke požara. Osim toga, njegov vodootporni dizajn osigurava pouzdanost čak i u kišnim uvjetima⁹³.



Slika 12. Hibridna bespilotna letjelica *CW-30E*

Izvor: <https://www.jouav.com/products/cw-40.html>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Može se zaključiti da ova dva *VTOL* modela bespilotnih letjelica imaju prednost nad multirotor modelima s obzirom na maksimalno vrijeme trajanja leta i domet, iz razloga jer sav svoj uzgon dobivaju iz krila poput letjelice s fiksnim krilima i koriste samo motore za vučnu silu. Mogu biti i opremljene dodatnom opremom, ali gube u pogledu prenosivosti i vremenu reakcije, iako *CW-30* dio toga nadoknađuje svojom maksimalnom brzinom. Oba modela su sklopiva, iako su potrebna dva čovjeka za sastavljanje prije leta. Također nude raznovrsnost dodatnih priključaka, ali za razliku od *Matrice 300* modela mogu nositi samo jedan istovremeno. Stoga kod operacija kod kojih je potrebna i izvrsna kamera i termalna kamera ili LiDAR senzor potrebno je koristiti dvije letjelice za razliku od jedne *Matrice 300*.

Jedan takav primjer korištenja dva modela bespilotnih letjelica se dogodio kada je izbio šumski požar u provinciji Qinghai u Kini, a prijetnjom širenjem na velika područja i

⁹³ <https://www.jouav.com/blog/drones-in-firefighting.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

predstavljajući opasnost po lokalne zajednice i divlje životinje. Odgovor u borbi protiv požara je bio u obliku kombinacije *CW-007* i *CW-15* bespilotnih letjelica⁹⁴.

Bespilotne letjelice *CW-007* su korištene za prikupljanje slika požarišta prije i poslije te za precizno određivanje geografske lokacije. Opremljen kamerom punog formata od 61 MP, *CW-007* pruža slike s većom prostornom razlučivošću u usporedbi sa satelitima i većinom zrakoplova s ljudskom posadom, što omogućava izradu preciznijih 3D karata. S druge strane *CW-15* ima impresivno vrijeme letenja od 160 minuta. Uz sposobnost video prijenosa visoke razlučivosti u stvarnom vremenu, vatrogasni zapovjednici na udaljenim pozicijama su bili u mogućnosti primiti informacije o vjetru i vatri i ostale podatke koji bi im pomogli u predviđanju kako bi se plamen mogao dalje širiti. Ova izravna komunikacija osigurala je brzo donošenje odluka, poboljšanu koordinaciju i poboljšanu opću sigurnost za vatrogasno osoblje⁹⁵.

4.8. Budućnost korištenja bespilotnih letjelica u protupožarstvu

Unatoč svojim prednostima, bespilotni zrakoplovi imaju neka ograničenja u operacijama gašenja požara. Općenito, vremensko ograničenje leta je jedno od njih jer bespilotni zrakoplovi s baterijama imaju ograničeno vrijeme letenja prije nego što se moraju ponovno napuniti. Dodatno, nepovoljni vremenski uvjeti poput jakih vjetrova, gustog dima ili visokih temperatura mogu ometati rad bespilotnih zrakoplova. Također, bespilotni zrakoplovi se mogu suočiti s izazovima u upravljanju područjima s gustom vegetacijom ili preprekama koje ometaju njihov let. Za očekivati je da će se tehnologija unaprijediti u ovom pogledu. Industrija bespilotnih letjelica za suzbijanje požara obećava značajan napredak u narednim godinama, potaknuta porastom požara u šumama i industrijskim postrojenjima. Visoki operativni i kapitalni troškovi povezani s tradicionalnim zrakoplovima za gašenje požara argumentiraju uporabu bespilotnih zrakoplova kao dodatnih alata. Nadalje, ulaganja u razvoj naprednih i efikasnih tehnologija bespilotnih letjelica za razne svrhe očekuje se da će dodatno potaknuti rast tržišta⁹⁶. Glavno pitanje je mogu li bespilotne letjelice direktno sudjelovati u gašenju požara. Zasad postoje dva rješenja: roj bespilotnih zrakoplova i bespilotni zrakoplov opremljen opremom za gašenje.

⁹⁴ <https://www.jouav.com/blog/drones-in-firefighting.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁹⁵ <https://www.jouav.com/case-study/fight-forest-fire-qinghai.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

⁹⁶ <https://caplinnews.fiu.edu/fire-fighting-drones-managing-wildfires/> [Pristupljeno: veljača 2024.]

Metoda roja bespilotnih zrakoplova koristila bi se za zaštitu šuma. Zaštita šuma obuhvaća proces koji se sastoji od tri koraka: prevencije, otkrivanja i suzbijanja šumskih požara. Prethodno su spomenuti prevencija i otkrivanje. Faza suzbijanja uključuje izravni i neizravni pristup. Uobičajeno se za gašenje koristi voda, a ponekad se koriste i kemijski dodaci kako bi se povećala učinkovitost. Glavni nedostatak izravnog suzbijanja je rizik po živote zbog blizine vatre. Upotreba protupožarnih zrakoplova je ograničena na dnevno svjetlo i podrazumijeva ograničene kapacitete zbog potrebe za redovitim punjenjem goriva. Troškovi upotrebe zrakoplova za gašenje požara su visoki, uključujući nabavu, održavanje i obuku osoblja⁹⁷.

Korištenje bespilotnih letjelica rješava neke nedostatke konvencionalnog pristupa gašenju požara, ali istovremeno ima i svoje izazove. Potrebno je omogućiti višestruko punjenje bespilotnih letjelica s odgovarajućom tekućinom za gašenje koja je pohranjena u spremnicima vezanim za letjelicu, kao i automatsku zamjenu baterija. Ovaj proces obično uključuje podršku jedinice koja upravlja grupom bespilotnih letjelica ili platforme za prihvat letjelica (dock), koja se može lako premjestiti i postaviti blizu požara. Osim toga, bespilotni zrakoplovi izloženi visokim temperaturama moraju biti izrađeni od vatrootpornih i vatrostalnih materijala. Sustav koji ispunjava ove zahtjeve donosi značajne prednosti u borbi protiv šumskih požara. Može se koristiti i danju i noću te u uvjetima slabije vidljivosti, omogućava gotovo neprekidan let od 24 sata, ne zahtijeva prisutnost vodenog bazena u blizini, može se primijeniti u područjima koja nisu pristupačna za vatrogasnu opremu te u područjima s kompleksnom topografijom. Ovaj sustav je precizan jer se može točno programirati zahvaćeno područje i plan leta. Također je fleksibilan jer se područje intervencije može modificirati u stvarnom vremenu kako se mijenjaju uvjeti na požarištu. Međutim, praktična primjena ovakvog sustava nije jednostavna i zahtijeva visoku razinu tehnologije. Iako je količina vode koju bespilotni zrakoplov može prenijeti znatno manja u usporedbi s volumenom vode koji može prenijeti protupožarni zrakoplov, velik broj bespilotnih zrakoplova može osigurati kontinuitet i ravnomjernost raspršivanja koji zrakoplov ne može jamčiti. Za učinkovito suzbijanje šumskih požara ključno je intenzivno isparavanje, dok veliki volumen vode koji ispušta zrakoplov ne pridonosi efikasnom gašenju jer nema dovoljno vremena za isparavanje. Upotreba sustava bespilotnih zrakoplova može stvoriti tzv. „efekt kiše“, gdje se mala količina tekućine za gašenje oslobađa kap po kap na vatru ili okolno raslinje umjesto da se tekućina ispusti na koncentrirani način. Ova metoda, teoretski i

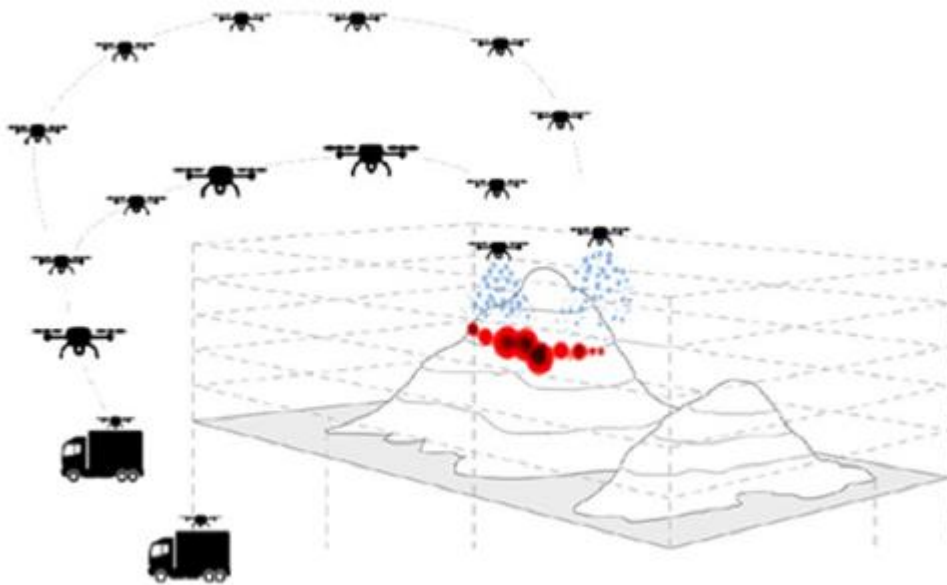
⁹⁷ Ausonio E, Bagnerini P, Ghio M. Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. *Drones* 2021; 5(1).

eksperimentalno, priznata je kao posebno učinkovita u gašenju požara. Također, moguće su različite strategije: ili usmjeravanje bespilotnih zrakoplova izravno prema plamenu ili prema susjednim područjima kako bi se spriječilo širenje vatre na osjetljiva mjesta, kao što su naselja ili postrojenja s visokim rizikom. Trenutno se cijena sustava u usporedbi s postojećim protupožarnim alatima ne može precizno procijeniti jer ovisi o mnogim faktorima, prvenstveno o načinu implementacije i troškovima bespilotnih zrakoplova⁹⁸. No, u proteklim godinama cijena bespilotnih letjelica kontinuirano pada zahvaljujući značajnom tehnološkom napretku u tom području, te se očekuje da će se pad cijene i nastaviti.

Trenutna arhitektura koja se koristi ne omogućuje individualnu komunikaciju unutar roja bespilotnih zrakoplova. Umjesto toga, komunikacija između platforme i bespilotnih letjelica se temelji na hijerarhijskoj vezi, gdje centralna inteligencija, odnosno platforma ili bazna stanica, može direktno komunicirati s svakim bespilotnim zrakoplovom tijekom punjenja gorivom i dodjeljivanja planova leta. Platforma sadrži informacije o stanju baterije, poziciji leta, visini, brzini te šalje planove putanja na više bespilotnih letjelica. Na taj način, roj je dobro organiziran i koordiniran za simultani let uz kontrolirano i efikasno planiranje ruta. Osim toga, s bespilotnim letjelicama koje mogu nositi do 50 L vode, pod pretpostavkom da se bespilotni zrakoplovi nalaze u hangaru udaljenom nekoliko desetaka kilometara od područja požara, dok se platforme postavljaju bliže području zahvaćenom požarom. Na ovaj način, umjesto da se transportiraju kamionima, veći i teži bespilotni zrakoplovi mogli bi autonomno doći do platformi gdje bi se napunili i preuzeli teret potreban za gašenje požara (prikazano na slici 13). Platforma omogućuje povezivanje s bespilotnih zrakoplova putem bežične mrežne infrastrukture 4G/5G. Ove bežične tehnologije visoke brzine, koje su dizajnirane za širokopojasni pristup mobilnoj mreži, također bi omogućile platformi daljinsko upravljanje bespilotnih zrakoplova te slanje i primanje podataka u stvarnom vremenu⁹⁹.

⁹⁸ Ausonio E, Bagnerini P, Ghio M. Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. *Drones* 2021; 5(1).

⁹⁹ Ausonio E, Bagnerini P, Ghio M. Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. *Drones* 2021; 5(1).



Slika 13. Predloženi protupožarni sustav temeljen na korištenju roja kolaborativnih bespilotnih zrakoplova

Izvor: Ausonio E, Bagnerini P, Ghio M. Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework. *Drones* 2021; 5(1).

Druga mogućnost su bespilotni zrakoplovi opremljeni vatrogasnom opremom, što je korisno u slučaju požara u urbanim područjima s visokim zgradama. Postoje specifični izazovi u suzbijanju požara u visokim zgradama zbog ograničenja radnog područja i karakteristika korištenja vatrogasnih vozila, financijskih ograničenja lokalnih vlasti i slično. Jedan od glavnih problema je nedostatak efikasne metode za suzbijanje požara u zgradama višim od 100 metara. Također, vozila s ljestvama za pristup trebaju dugo vremena za mobilizaciju, a njihova učinkovitost bitno ovisi o vremenskim uvjetima, što ne olakšava brzo reagiranje u gašenju požara i spašavanju. Primjerice, stvarno vrijeme aktivacije za vatrogasno vozilo visine 78 metara iznosi više od 3 minute, dok se podizanje platforme vatrogasnog vozila do vrha zgrade proteže na više od 6 minuta¹⁰⁰.

Rješenje za navedene izazove mogao bi biti sustav koji koristi heavy lift bespilotni zrakoplov opremljen vatrogasnom opremom, kao što je sustav *LY100*. Ovaj sustav omogućuje brzo podizanje platforme od otvaranja krova kabine, što traje manje od 30 sekundi. Brzina uspona ovog protupožarnog bespilotnog zrakoplova iznosi 3 do 5 metara u sekundi, a vrijeme

¹⁰⁰ Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).

potrebno za postizanje visine od 100 metara je manje od 60 sekundi, što je značajno brže u usporedbi s konvencionalnim metodama koje za to trebaju oko 10 minuta. Oprema se uglavnom sastoji od spremnika od legure titana, grupe sigurnosnih ventila, električnog ventila za kontrolirano ispuštanje, crijeva i mlaznice (prikazano na slici 14.)¹⁰¹. Ovaj sustav može koristiti različite vrste sredstava za gašenje požara i može kombinirati različite tehnike suzbijanja požara.



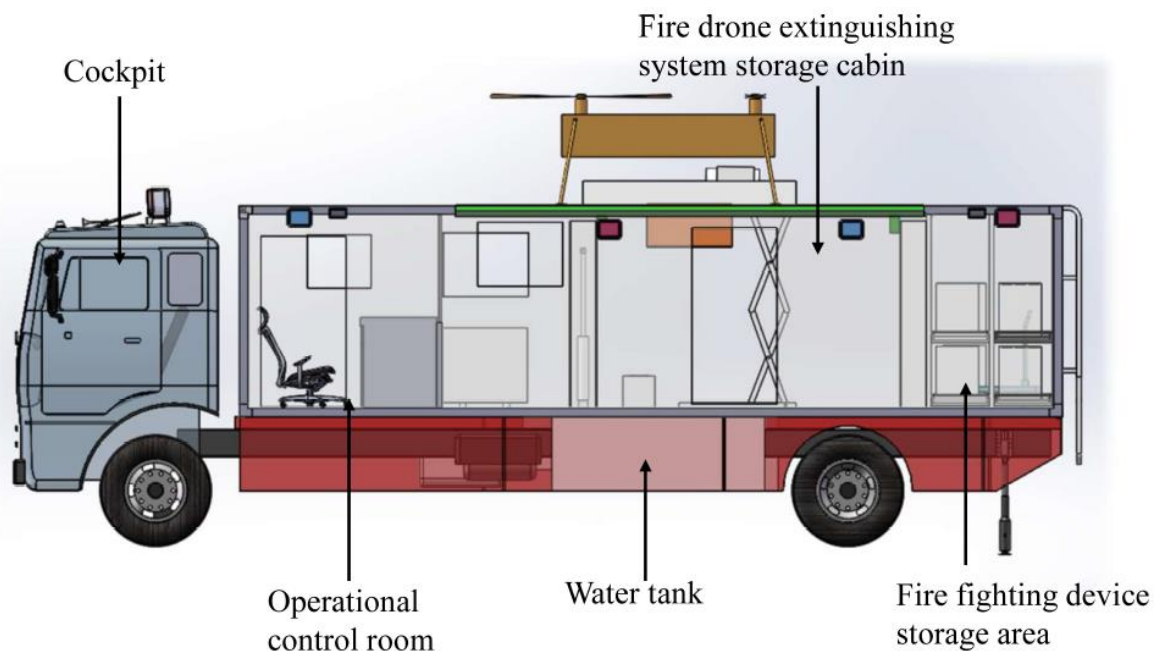
Slika 14. Oprema za gašenje požara sustava *LY100*

Izvor: Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).

Kao što se može vidjeti na slici 15., vatrogasci bi i dalje pristizali na mjesto požara sa vatrogasnim vozilom koje je opremljeno platformom za bespilotni zrakoplov, što služi za polijetanje i slijetanje. Vozilo se sastoji od kokpita, operativne kontrolne sobe i kabine za pohranu opreme. U kokpitu su osobe odgovorne za vožnju, dok je operativna kontrolna soba

¹⁰¹ Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).

odgovorna za nadzor leta bespilotnog zrakoplova, operacije gašenja požara te za prikupljanje i prijenos informacija na licu mjesta¹⁰².



Slika 15. Specijalno vatrogasno vozilo s platformom za bespilotni zrakoplov

Izvor: Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).

¹⁰² Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).

5. PROTUPOŽARNA OPERATIVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U RH djeluje 95 profesionalnih vatrogasnih postrojbi: 61 javna vatrogasna postrojba i 34 postrojbe u vatrogastvu. U javnim vatrogasnim postrojbama zaposlen je 2.351 vatrogasac.

Vatrogasci na teritoriju Republike Hrvatske tijekom svake godine sudjeluju u oko 40.000 vatrogasnih intervencija. Od ukupnog broja intervencija, oko 40% predstavljaju požarne intervencije.

Vatrogasne organizacije u RH raspolažu sa 1.119 vatrogasnih domova, 952 vatrogasna spremišta, 3.229 vatrogasnih vozila te 2.170 vatrogasnih štrcaljki¹⁰³.

Operacije gašenja požara iz zraka obavlja 855. Protupožarna eskadrila. Osnovana je 1994. Godine unajmljivanjem dva zrakoplova *Canadair CL-215* od tvrtke *Bombardier Aerospace*. Godine 1995. Republika Hrvatska kupuje dva zrakoplova *Canadair CL-215*, a 1997. Godine i prvi *Bombardier CL-415*. S vremenom je flota *CL-415* narasla na šest zrakoplova, a zadnji je dostavljen 2009. Godine. U sastavu eskadrile su i avioni *Airtractor AT-802* te *Airtractor AT-802 Fire Boss*.

Tijekom Domovinskog rata 855. Protupožarna eskadrila je bila bazirana na aerodromu Splitu. Okončanjem rata eskadrila prelazi na aerodrom Zemunik gdje se nalazi i danas. Do 2001. Godine eskadrila je bila u sastavu Ministarstva unutarnjih poslova, a od tada prelazi u sastav Ministarstva obrane Republike Hrvatske.

Misija 855. Protupožarne eskadrile je obrana od požara otvorenih područja na teritoriju Republike Hrvatske, a od 2007. Godine sudjeluje u gašenjima požara i u drugim državama poput Portugala, Italije, Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Sjeverne Makedonije, Grčke i Izraela.

Od 2019. Godine 855. Protupožarna eskadrila sudjeluje i s dva protupožarna aviona *Canadair CL-415* u europskom sustavu za obranu od prirodnih katastrofa – *RescEU*. Ovim projektom Europska unija uspostavlja dodatne kapacitete u cilju jačanja postojećih snaga za nesreće i katastrofe, a koji bi se koristili nakon što se iskoriste svi nacionalni kapaciteti države koja traži pomoć¹⁰⁴.

Osim zrakoplova s posadom Republika Hrvatska posjeduje i bespilotne letjelice. U vojarni "Hrvatski branitelji Istre" u Puli, koja je otvorena u studenom 2019. godine, nalazi se Središte za besposadne zrakoplovne sustave, koje je dio Obavještajne pukovnije Glavnog stožera Oružanih snaga Republike Hrvatske. Središte posjeduje četiti modela bespilotnih

¹⁰³ <https://upvh.hr/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹⁰⁴ <https://vojnipilot.hr/855-protupozarna-eskadrila/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

zrakoplova. Беспilotni zrakoplovi su postali ključni dio RH vojnog sustava zbog svoje sposobnosti za različite operacije, od izviđanja do specijaliziranih zadataka kao što su protupožarne akcije. Primarni беспilotni sustav namjenjen za protupožarne operacije je sustav *ORBITER 3*, dok su na raspolaganju i izvidnička minibеспilotna letjelica *Skylark 1* te školske беспilotne letjelice *Bojnik* i *VX II*¹⁰⁵.

Također Republika Hrvatska bila je među prvim zemljama članicama Europske unije koja je bila dio eksperimentalnog programa koji koristi беспilotne letjelice za nadzor mora u Europskoj uniji. Više o беспilotnim zrakoplovima, Europskom projektu i projektu donacije беспilotnih zrakoplova u Republici Hrvatskoj, biti će riječi u poglavlju 6.

5.1. Canadair CL-415

Canadair CL-415 (slika 16.) je linija amfibijskih zrakoplova koju su prvotno proizvodili *Canadair*, a kasnije su je preuzeli *Bombardier*, *Viking Air* i *De Havilland Canada*. Osnova *CL-415* temelji se na modelu *Canadair CL-215*, koji je prvi model iz serije amfibijskih zrakoplova dizajniran i napravljen od Kanadskog proizvođača *Canadair*.



Slika 16. *Canad air CL-415*

¹⁰⁵ <https://hrvatski-vojniki.hr/srediste-za-besposadne-zrakoplovne-sustave/> (pristupljeno: travanj 2024.)

Izvor: <https://www.morh.hr/canadair-cl-415-s-dvije-posade-upucen-na-gasenje-pozara-u-helensku-republiku/>

CL-415 je unaprijeđen u pogledu kokpita, aerodinamike i sustava ispuštanja vode, čime je postao moderni amfibijski zrakoplov za protupožarne operacije. U usporedbi s *CL-215*, *CL-415* ima veću nosivost i brzinu, što poboljšava njegovu učinkovitost i performanse. Zahvaljujući jačini njegovih turboprop motora *Pratt & Whitney Canada PW123AF*, od kojih svaki može generirati do 1.775 kW potiska. Motori su smješteni bliže trupu u usporedbi s rasporedom kod *CL-215*.

CL-415 može sakupiti do 6.140 litara vode iz obližnjih izvora, miješati je s kemijskom pjenom po potrebi i izbaciti na vatru bez potrebe za povratkom u bazu radi ponovnog punjenja spremnika. Voda se skladišti u velikim spremnicima koji se uglavnom nalaze ispod poda kabine unutar trupa, iako ima spremnike koji se nalaze s obje strane trupa. Konstrukcija zrakoplova osmišljena je za pouzdanost i dugovječnost, koristeći materijale otporne na koroziju, uglavnom tretirani aluminijski, što olakšava njegovu upotrebu u slanoj vodi¹⁰⁶.

5.2. Air Tractor AT-802

Na slici 17. prikazan je *Air Tractor AT-802*. To je poljoprivredni zrakoplov koji se također može prilagoditi vatrogasnoj ili oružanoj verziji. Prvi put je letio u Sjedinjenim Državama u listopadu 1990. godine, a proizvodi ga *Air Tractor Inc.*

¹⁰⁶ <https://www.flightglobal.com/flight-test-bombardier-415-the-superscooper/88562.article> [Pristupljeno: siječanj 2024.]



Slika 17. *Air Tractor AT-802*

Izvor: <https://www.morh.hr/airtractor-gasi-pozar-na-otoku-pagu/>

U svojoj standardnoj konfiguraciji *AT-802* koristi konvencionalni stajni trap, te nakon bacanja oko 3.000 litara vode mora se vratiti na aerodrom, gdje ga ponovno puni cisterna, dok je u vatrogasnoj konfiguraciji *Fire Boss* opremljen plovcima, koji im omogućuju slijetanje i punjenje na površini vode. Maksimalna poletna masa *Air Tractora 802 Fire Boss* je 7.257 kg sa spremnikom kapaciteta 3.100 litara i vremenom punjenja od 80 sekundi¹⁰⁷. Uz standardni rezervoar može imati opcionalne spremnike pjene od 130 litara u plovcima. Raspon krila je dvadeset metara i to je najveći zrakoplov na svijetu koji ima jedan propelerni motor. Mana ovog modela je što se teže puni u uvjetima pojačanih valova na morskoj površini. Što se tiče obuke pilota *Air Tractora*, također ima jedan nedostatak: u kabini je samo jedan čovjek, pilot. Stoga je obuka individualna, bez instruktora¹⁰⁸.

Air Tractor je najbolje upotrebljavati za izviđanje i gašenje požara u inicijalnoj fazi, ali dobar je i na većim požarištima, kad štiti i gasi rubna područja, te je zato jako koristan u kombinaciji s *CL-215* i *CL-415*.

¹⁰⁷ <https://www.morh.hr/airtractor-at-802-f/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹⁰⁸ <https://upvh.hr/u-gnijezdu-kanadera/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

5.3. Mi-171Sh

Mi-171Sh (slika 18.) predstavlja izvojni varijantu ruske verzije *Mi-8AMTSh*, koja se pojavljuje kao posebna jurišna transportna inačica *Mi-171*, sam po sebi nadogradnja modela *Mi-17*.



Slika 18. *Mi-171Sh*

Izvor: <https://hrvatski-vojniki.hr/hrz-ponovno-posjeduje-kompletnu-flotu-helikoptera-mi-171sh/>

To je srednji transportni helikopter namijenjen za prevoženje ljudi, a koristi se i za gašenje požara. Pri gašenju požara koristi protupožarni uređaj nosivosti 2200l vode. *Mi-17* serija helikoptera cijeni se zbog svoje isplativosti i jednostavnosti održavanja. Helikopter može prevoziti do 4.000 kg tereta unutar trupa ili istu količinu tereta izvan trupa na vanjskim vješalima. Pokreću ga dva motora *Klimov TV3-117VM* s turbo osovinom, svaki od 2.190 KS, omogućujući rad na visokim nadmorskim visinama i u planinskim područjima. Opremljen je *GPS*-om i ruskim satelitskim navigacijskim sustavom *GLONASS*. Nove verzije su prepoznatljive po „delfinovom nosu“ i opremljene su vremenskim radarom. Helikopter može sigurno sletjeti s jednim pokvarenim motorom, a u slučaju otkaza drugog motora, preostali motor automatski povećava snagu kako bi omogućio nastavak leta¹⁰⁹.

5.4. Pilatus PC-9

Pilatus PC-9, prikazan slikom 19., je švicarski školski zrakoplov s jednim turboprop motorom. Prvi prototip *PC-9* uzletio je 7. svibnja 1984. godine, a drugi, po kojem je

¹⁰⁹ https://www.militarytoday.com/helicopters/mi_171sh.htm [Pristupljeno: siječanj 2024.]

nastavljena izrada, dva mjeseca kasnije. *PC-9* može ponijeti i do 1.040 kg korisnog tereta. Namjenjen je se za obuku pilota, a koristi se i u operacijama potrage i spašavanja ¹¹⁰.



Slika 19. *Pilatus PC-9*

Izvor: <https://www.morh.hr/pilatus-pc-9m/>

¹¹⁰ https://hr.wikipedia.org/wiki/Pilatus_PC-9 [Pristupljeno: siječanj 2024.]

6. MOGUĆNOST PRIMJENE BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U PROTUPOŽARNOJ OPERATIVI U REPUBLICI HRVATSKOJ

6.1. Regulativa i zakoni u Republici Hrvatskoj

Kako bi određeni sustav mogao funkcionirati, isti je potrebno definirati regulativama, zakonima ili pravilnicima. Zakoni, regulative i propisi vezani za korištenje bespilotnih letjelica, a na koje se poziva Republika Hrvatska, postoje na nekoliko razina – svjetskoj, europskoj i regionalnoj. Svaka agencija, odnosno svaka država određuje i propisuje vlastita pravila o korištenju bespilotnih letjelica. Dodatna pitanja koja je važno definirati i regulirati u svakoj državi pojedinačno su klasifikacija bespilotnih letjelica, korištenje zračnog prostora te upravljačke dozvole koje vrijede na teritoriju države.

U Republici Hrvatskoj nadležna institucija koja donosi zakone, regulative i pravilnike za uređenje pitanja bespilotnih letjelica jest Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. Njihov zadatak je definirati i regulirati posjedovanje, klasifikaciju i korištenje bespilotnih letjelica na području Republike Hrvatske. Glavni akt po kojem se uređuju sva regulativna pitanja zove se *Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova*. Isti je izdan od strane Narodnih novina u izdanju NN49/15, a važeći je od svibnja 2015. godine. Njegov donositelj je tadašnje Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture. Sastoji se od četiri dijela – Opće odredbe, Pravila letenja, Izvođenje letačkih operacija te prijelazne i završne odredbe, koja sadrže sveukupno 22 članka.

U prvom dijelu navedene su opće odredbe po člancima:

- definira se područje primjene pravilnika, koji se odnosi na bespilotne zrakoplove mase do 150 kg. Ovo uključuje razne vrste letjelica, od letjelica za rekreativnu upotrebu do profesionalnih bespilotnih sustava. Prema Članku 3.:
 - klasa 5: do 5 kg;
 - klasa 25: od 5 do 25 kg;
 - klasa 150: od 25 do 150 kg;
- klasifikacija bespilotnih zrakoplova prema masi pomaže u određivanju pravila koja se primjenjuju na različite vrste zrakoplova,
- propisuju se kategorije područja letenja (npr., kontrolirana, ograničena, zabranjena) te se postavljaju uvjeti za različite vrste letačkih operacija,

U drugom dijelu pravilnika navedeni su postupci odobravanja za bespilotne zrakoplove:

- zahtjevi za dobivanje odobrenja naglašavaju važnost sigurnosti i osiguravaju da operatori zadovoljavaju određene standarde,
- tehnički zahtjevi obuhvaćaju potrebnu dokumentaciju, tehničke karakteristike zrakoplova i druge aspekte operacija.

U trećem dijelu navedena su pravila o korištenju bespilotnih zrakoplova:

- opća pravila letenja postavljaju okvire za siguran rad bespilotnih zrakoplova, uključujući minimalne udaljenosti od ljudi i objekata,
- pravila za korištenje FPV sustava (sustava prve osobe) osiguravaju da operater ima jasnu sliku okoline, a obvezna pratnja promatrača dodatno povećava sigurnost.

U četvrtom dijelu navedene su prijelazne i završne odredbe:

- komponente operativnog priručnika uključuju informacije o operateru, zrakoplovu, područjima letenja i drugim važnim aspektima,
- zahtjevi za analizu kvarova i dokumentiranje rezultata osiguravaju transparentnost i mogućnost poboljšanja sustava,
- obaveza osiguranja za operatore štiti od mogućih financijskih rizika vezanih uz bespilotne operacije¹¹¹.

6.2. Požari u Republici Hrvatskoj

U tablici 11. dan je prikaz broja i vrste požara u Republici Hrvatskoj od 1.1. do 31.12. 2023. godine. U tom razdoblju zabilježeno je 10.414 požara od čega 5.476 požara na otvorenim prostorima, pri čemu je izgorilo 5.251 hektara površine. U usporedbi s istim razdobljem prošle godine, ukupan broj požara smanjio se za 32,72%, a izgorilo je 91,60% manje površine. Također broj smrtno stradalih u požarima samnjio se sa 35 u 2022. godini na 21 u 2023. Usprkos sjajnim rezultatima u svim bitim kategorijama, broj ozljeđenih smanjio se za samo 10% tj. sa 185 u 2022. godini na 166 u 2023. Na dnu tablice je prikazano kao su zapravo intervencije vatrogasaca u slučaju požara zapravo samo oko petine njihovih ukupnih intevencija.

¹¹¹ https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_10_127_2757.html [Pristupljeno siječanj 2024.]

Tablica 11. Izvješće o požarima od 01.01. do 31.12.2022.

	Požari na otvorenom prostoru	Požari raslinja	Površina (ha)	Ukupan broj požara	Zabilježeni broj smrtno stradalih	Zabilježeni broj ozljeđenih
2022. godina	10.543	7.891	62.544	15.479	35 (Vatrogasaca 1)	185 (Vatrogasaca 28)
2023. godina	5.476	3.013	5.251	10.414	21	166 (Vatrogasaca 27)
Usporedba podataka 2022./2023.	-48,60%	-61,82%	-91,60%	-32,72%	-40,00%	-10,27%
2023. godina						
Ukupan broj intervencija		Ukupan broj požara		Ostale intervencije		
45.712		10.414		35.298		
Udio u ukupnom broju		22,78%		77,22%		

Izvor: <https://hvz.gov.hr/program-aktivnosti/1788> [Pristupljeno: srpanj 2024.]

Najviše požara zabilježeno je u Splitsko-dalmatinskoj županiji (882), a potom slijede Karlovačka sa 442, Ličko-senjska sa 415, Zadarska sa 393 te Zagrebačka sa 380 požara. Međutim, kada se gleda veličina zgarišta, procjenjuje se da je požar najviše štete učinio na području Sisačko-moslavačke županije gdje je izgorjelo 11,7 hektara. Potom slijede Karlovačka s preko 8,9 hektara zgarišta, Ličko-senjska sa sedam tisuća hektara, Šibensko-kninska sa 3,2 tisuće hektara.

U 2023. provedeno je 41 protupožarno izviđanje protupožarnim zrakoplovima u županijama priobalja s ciljem ranog otkrivanja požara. Na protupožarnim izvidima zrakoplovi su četiri puta prvi uočili požare, inicijalno djelovali i javili o njihovu stanju u Operativno vatrogasno zapovjedništvo Republike Hrvatske. Angažiranje kopnenih i mornaričkih snaga u aktivnostima gašenja požara nije bilo.

U gašenju požara raslinja na priobalnom i kraškom području 12 osoba (18 osoba u 2022.) je ozljeđeno od kojih je 9 vatrogasaca (13 vatrogasaca i 5 građanina u 2022.), dok je smrtno stradala 1 osoba (4 osobe od kojih je jedna vatrogasac u 2022.). Gledajući ukupno

Republiku Hrvatsku, u svim vrstama požara 166 osoba je bilo ozlijeđeno od kojih je 27 vatrogasaca, dok je 21 osoba smrtno stradala.

Najveća materijalna šteta u 2023. godini zabilježena je u mjestu Grebaštica kod Šibenika, gdje je požar ošteti nekoliko kuća (potkrovlja, krovišta, fasade), pomoćne objekte (kamp kućice, kontejnere), nekoliko osobnih vozila i traktora, maslinike te raznu vegetaciju u vrtovima.

Tablica 12. Usporedba podataka za požare raslinja s prethodnim petogodišnjim razdobljem 2018. - 2022. za područje Republike Hrvatske

Promatrano razdoblje 1.1. - 31.12	Broj požara	Površina (ha)	Prosječno trajanje požara dojava - ugašeno		
2018.	2.567	5.363	1 h 57 min		
2019.	6.434	33.107	1 h i 51 min		
2020.	5.519	40.132	2 h i 33 min		
2021.	5.420	24.209	2 h i 1 min		
2022.	7.891	62.544	2 h i 31 min		
2023.	3.013	5.251	1 h i 23 min		
Promatrano razdoblje 1.1. - 31.12	Petogodišnji prosjek 2018. – 2022.				2023. godina
	Broj požara	Površina (ha)	Prosječno trajanje požara dojava - ugašeno	(IOP) (ha/požar)	(IOP) (ha/požar)
	5.567	33.048	2 h i 16 min	5,94	1,74
Promatrano razdoblje 1.1. - 31.12	2023. / Petogodišnji prosjek 2018. – 2022.				
	Odnos broja požara	Odnos opožarene površine	Odnos prosjeka trajanja dojava - ugašeno	Odnos indeksa opožarene površine (IOP)	
	-45,87%	-84,11%	-38,97%	-70,64%	

Izvor: <https://hvz.gov.hr/program-aktivnosti/1788> [Pristupljeno: srpanj 2024.]

Iz tablice 12. može se isčitati da prosječno vrijeme trajanja od dojava požara do njegovog gašenja u pet godina (2018 g. – 2022 g.) iznosio je 2 sata i 16 minuta, dok je prosječno vrijeme za 2023. godinu iznosio 1 sat i 23 minute. (za požare raslinja).

Tablica 13. Raspodjela broja požara raslinja po mjesecima u 2023. godini

2023. (broj požara)	UKUPN O	Siječanj	Veljača	Ožujak	travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Priobalje	1.951	60	376	249	155	76	131	262	226	172	137	35	72
Kontinent	1.062	16	120	177	65	17	83	170	122	134	123	1	34
Ukupno RH	3.013	76	496	426	220	93	214	432	348	306	260	36	106
Odnos mjesec i ukupno RH		2,52	16,46	14,14	7,30	3,09	7,10	14,34	11,55	10,55	8,63	1,19	3,52

Izvor: <https://hvz.gov.hr/program-aktivnosti/1788> [Pristupljeno: srpanj 2024.]

U tablici 13. prikazana je raspodjela broja požara po mjesecima. Može se zaključiti kako se najveći broj požara događa od u prvom dijelu vatrogasne sezone, u veljači i ožujku, te u drugom dijelu vatrogasne sezone, u srpnju, kolovozu i rujnu.

Vlada Republike Hrvatske na sjednici održanoj 31. siječnja 2024. donijela je Zaključak KLASA: 022-03/24-07/13, URBROJ: 50301-29/23-24-2, kojim se donosi Program aktivnosti u provedbi posebnih mjera zaštite od požara od interesa za Republiku Hrvatsku u 2024. godini.

Prijedlog kratkoročnih mjera za poboljšanje Programa aktivnosti 2024.:

- Osnivanje stalnog „Povjerenstva za praćenje i izmjene standardnih operativnih postupaka temeljem Programa aktivnosti“
- Naglašenija uloga Udruge gradova u Republici Hrvatskoj, Hrvatske zajednice općina i Hrvatske zajednice županija, posebice priobalja
- Praćenje provedbe akcijskog plana održavanja i izgradnje šumskih prometnica na području primorske Hrvatske za razdoblje do 2025. godine te dostavljanje obavijesti Hrvatskoj vatrogasnoj zajednici i Hrvatske Šume d.o.o.

- Nova sposobnost koja će se koristiti u OVZ¹¹² RH – praćenje pozicije protupožarnih zrakoplova u realnom vremenu (razvila Hrvatska vatrogasna zajednica u suradnji s HKZP¹¹³)
- Dodani su novi privatni prijevoznici u željezničkom prometu, nadzirane vjetroelektrane u 2024. te od ove godine uključene su u nadzor i solarne elektane
- Dodatno propisana i naglašena potreba zajedničkog provođenja kontrolnog i konačnog nadzora inspekcija MUP¹¹⁴-a i DIRH¹¹⁵-a
- Navedena je i nova sposobnost DHMZ¹¹⁶-a koji će izraditi i dostaviti posebne vremenske prognoze na zahtjev za potrebe vježbe „Sigurnost“
- OiV d.o.o. propisana obveza dostave rasporeda motriteljskih lokacija s kamerama nadzornog sustava Hrvatske vatrogasne zajednice u digitalnom georeferencionalnom obliku
- Korigirano održavanje sjednice Koordinacije za sustav domovinske sigurnosti, tijekom mjeseca svibnja umjesto na dan održavanja vježbe „Sigurnost“.

Vlada Republike Hrvatske je za 2024. godinu osigurala sredstva na pozicijama Hrvatske vatrogasne zajednice u iznosu od 5.677.150 eura, Ministarstva unutarnjih poslova, Administracija i upravljanje u okviru redovnih djelatnosti za inspekcije zaštite od požara i civilne zaštite te interventne policije na područjima potencijano ugroženim od požara, i pozicijama Ministarstva obrane aktivnosti protupožarne zaštite u iznosu od 16.148.168 eura., dakle ukupno 21.825.318 eura.

6.3. Беспилотни зракoплови у Републици Хрватској

Središte za besposadne zrakoplovne sustave, odnosno 280. vod besposadnih letjelica GS OS RH¹¹⁷ utemeljen je u Zagrebu, 11. ožujka 1993. godine. Njegov prvotni operativni rad krenuo je s jednom desetinom u Slavanskom Brodu gdje se obavljala terenska analitika bez pomagala i uz foto opremu ne tako velikih mogućnosti. Rad je bio obavljan pod malim operativnim radijusom uz otežanu izradu materijala u foto laboratorijima.

¹¹² Operativno vatrogasno zapovjedništvo

¹¹³ Hrvatska kontrola zračne plovidbe

¹¹⁴ Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske

¹¹⁵ Državni inspektorat Republike Hrvatske

¹¹⁶ Državni hidrometeorološki zavod

¹¹⁷ Glavni stožer Oružanih snaga Republike Hrvatske

Godinu dana poslije u 280. vod bespilotnih letjelica uvode se još dvije operativne desetine sa sjedištem u Zagrebu i Sinju. Uz ovu, u Zagrebu se uvodi i destina za izradu, obradu i interpretaciju. Godine 1995. uvodi se foto laboratorij u rad čime se dobiva na kvaliteti i brzini obrade i interpretacije podataka. Na taj način se operativni radijus dvostruko povećao. Krajem iste godine uvodi se još jedna desetina – za razvoj i održavanje sustava, čime su zaokružene i objedinjene sve taktičko tehničke radnje.

Današnja misija i zadaća 280. voda bespilotnih letjelica su prikupljanje podataka u slikovnom području ili IMINT¹¹⁸, izviđanje i nadzor područja operacija, nadzor topničke paljbe te procjena oštećenosti cilja. Osim sustava Orbiter, koji služi i kao potpora u protupožarnoj sezoni, na raspolaganju je izvidnička mini bespilotna letjelica *Skylark 1* te školske bespilotne letjelice *Bojnik* i *VX II* na kojima se provode brojne obuke i uvježbavanja¹¹⁹.

6.3.1. ORBITER 3

Bespilotna letjelica *Orbiter* ima masu od oko 30 kg. Može ostati u zraku tijekom šest sati, s operativnim dometom do 120 km. Kao što se može vidjeti na slici 20., *Orbiter* ima delta krila, a izrađen je od kompozitnih materijala što ga čini neprimjetnim na radarima, vrlo tihim i bez toplinskog odraza. Tijekom leta u stvarnom vremenu, prenosi videosignale. U *stealth* načinu, gotovo je neprimjetan na radarima i elektromagnetski, te u tom modu ne prenosi video signale, ali snima¹²⁰. Bespilotni zrakoplovni sustav *Orbiter 3* korišten je kao pomoć kod sanacije štete nastale nakon potresa 2020. godine. Snimljena je ukupna površina područja od 201 km² te izvršeno mapiranje centra grada Siska, postrojenja INA rafinerije, grada Petrinje, mjesta Brest Pokupski s naglaskom na most koji spaja Brest i Petrinju, glavnu prometnicu i sva naselja na relaciji grad Petrinja, mjesto Strašnik, Majske poljane i grad Glina¹²¹.

¹¹⁸ Imagery intelligence - disciplina prikupljanja obavještajnih podataka u kojoj se slike analiziraju kako bi se identificirale informacije od obavještajne vrijednosti

¹¹⁹ <https://www.crocontrol.hr/app/uploads/2023/01/Bezposadni-zrakoplovni-sustavi-MORH-Zvonimir-Mravunac-NO-VIDEO.pdf> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹²⁰ <https://hrvatski-vojniki.hr/srediste-za-besposadne-zrakoplovne-sustave/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

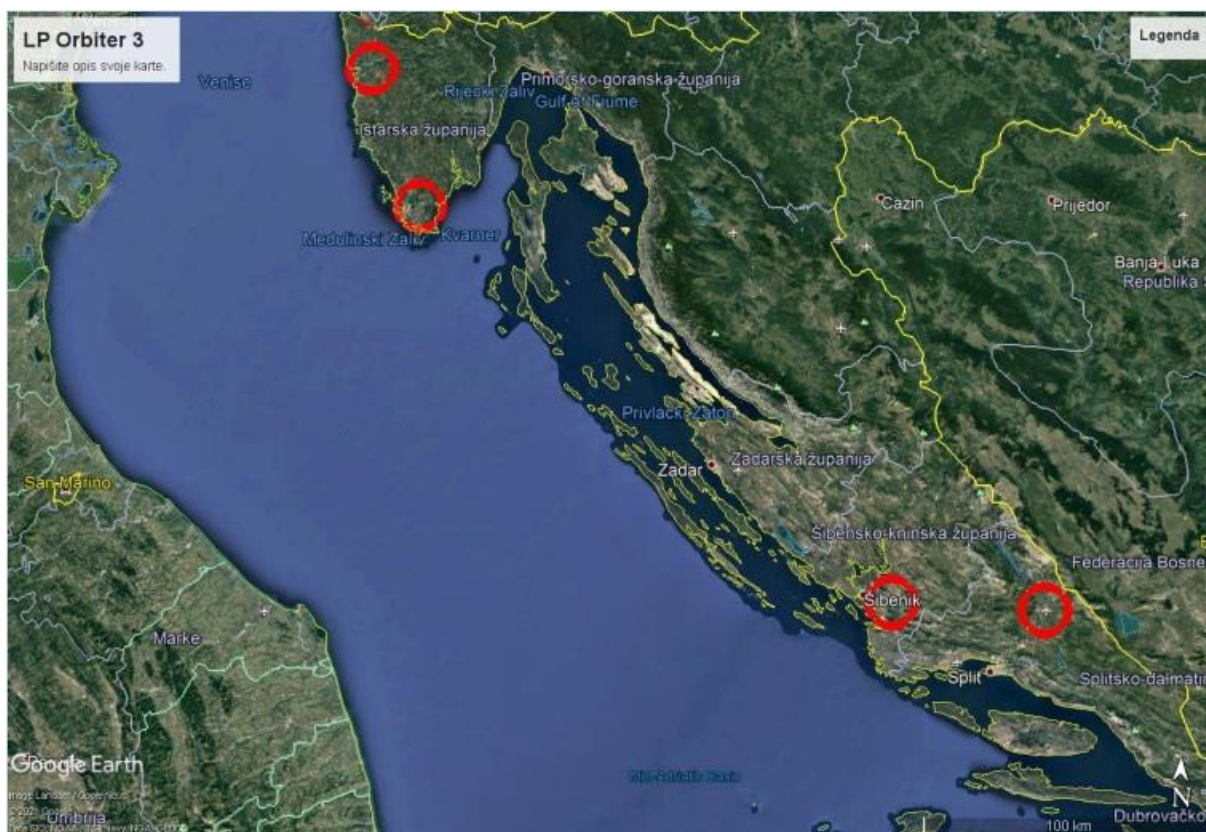
¹²¹ <https://www.morh.hr/besposadni-zrakoplovni-sustavi/> [Pristupljeno: kolovoz 2024.]



Slika 20. Bepilotni sustav *ORBITER 3*

Izvor: <https://www.morh.hr/predstavljen-besposadni-zrakoplovni-sustav-orbiter-3/>,
[Pristupljeno: siječanj 2024.]

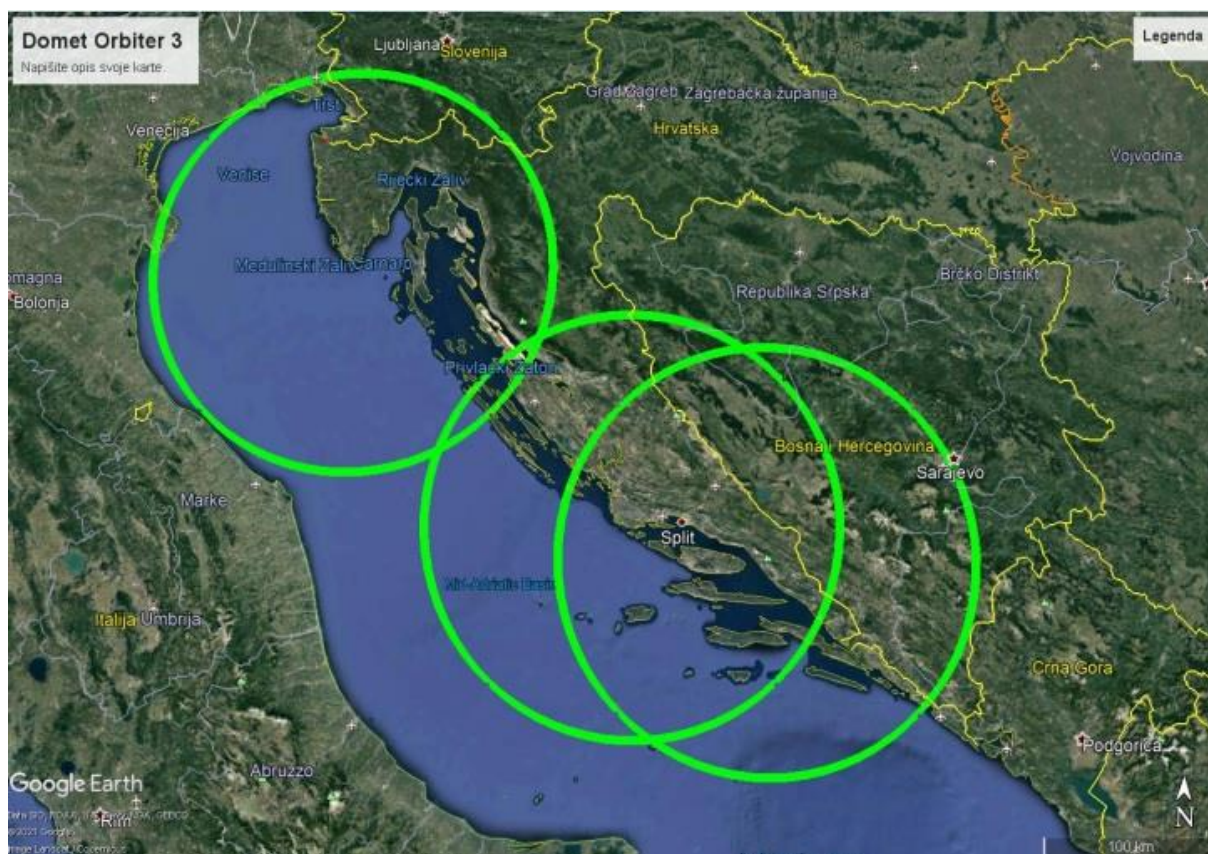
Na slici 21. prikazana su četiri područja polijetanja i slijetanja bespilotnog sustava *ORBITER 3*. To su: Rogovići, Valtura, Danilo Biranj i Sinj-Piket.



Slika 21. Područja slijetanja bespilotnog sustava *ORBITER 3* u Republici Hrvatskoj

Izvor: <https://www.crocontrol.hr/app/uploads/2023/01/Bezposadni-zrakoplovni-sustavi-MORH-Zvonimir-Mravunac-NO-VIDEO.pdf>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Na slici 22. je prikazan operativni domet bespilotnog sustava *OBITER 3*, koji pokriva područja Sjevernog, Srednjeg i Južnog Jadrana, dok unutrašnjost Republike Hrvatske izvan dometa.



Slika 22. Operativni domet bespilotnog sustava *ORBITER 3*

Izvor: <https://www.crocontrol.hr/app/uploads/2023/01/Bezposadni-zrakoplovni-sustavi-MORH-Zvonimir-Mravunac-NO-VIDEO.pdf>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Javlja se potreba za bespilotnim sustavima s većim maksimalnim vremenom leta i većim dometom od dosadašnjeg, kako bi se pokrilo područje unutrašnjosti Republike Hrvatske i sjeverni Jadran (ruta sjever) i srednji i južni Jadran (ruta jug)¹²².

Protupožarna sezona 2023. godine započela je 19. lipnja i trajala je do 10. rujna. Prema podacima Ministarstva obrane Republike Hrvatske, zračne snage Protupožarnih namjenski organiziranih snaga OS RH sudjelovale su u gašenju 22 požara. Sedam od njih gašeno je u Zadarskoj i Splitsko-dalmatinskoj županiji, pet u Šibensko-kninskoj te tri u Dubrovačko-neretvanskoj županiji. Osim sudjelovanja u gašenju, organizirane snage izvršile su 41 protupožarno izviđanje protupožarnim zrakoplovima u županijama priobalja.

U odrađivanju navedenih aktivnosti tijekom protupožarne sezone, ostvareno je ukupno 2.038 letova i 322:25:00 sati naleta, a izbačeno je 9.680 tona vode. Tim bespilotnih

¹²² <https://www.crocontrol.hr/app/uploads/2023/01/Bezposadni-zrakoplovni-sustavi-MORH-Zvonimir-Mravunac-NO-VIDEO.pdf> [Pristupljeno: siječanj, 2024.]

zrakoplovnih sustava bio je angažiran samo tri puta, pri čemu su proveli 5 sati i 21 minutu leta s *Orbiterom 3* nadzirući visoko rizična područja za potencijalne požare.

Jedan od glavnih razloga za nabavu sustava *Orbiter 3* bilo je provođenje izviđanja terena tijekom protupožarnih aktivnosti.¹²³ Možemo se zaključiti da se bespilotni sustav *Orbiter 3* premalo koristio, s obzirom da je Republika Hrvatska u 2022. godini bila druga zemlja u Europi po gustoći šumskih požara¹²⁴ što zahtjeva maksimalno korištenje svih resursa u borbi protiv požara.

6.3.2. Pilot-program EMSA-e

Republika Hrvatska bila je među prvim zemljama članicama Europske unije koja je, kroz suradnju s Europskom agencijom za pomorsku sigurnost (EMSA¹²⁵), bila dio eksperimentalnog programa koji koristi bespilotne letjelice za nadzor mora u Europskoj uniji. Riječ je o dva bespilotna sustava *Camcopter S-100* (slika 23.) austrijske tvrtke *Schiebel*, stacionirana na otoku Braču. *Camcopter S-100* je višenamjenska letjelica koja se koristi za operacije traganja i spašavanja, inspeksijske pregleda, otkrivanje onečišćenja, kao i za detekciju požara¹²⁶.

¹²³ <https://obris.org/hrvatska/okoncana-protupozarna-sezona-2023/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹²⁴ <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/europska-komisija-objavila-kartu-hrvatska-je-po-ovome-druga-najgora-u-eu-foto-20231128> [Pristupljeno siječanj 2024.]

¹²⁵ European Maritime Safety Agency - Europska agencija za pomorsku sigurnost

¹²⁶ <https://obris.org/hrvatska/camcopter-s-100-do-listopada-u-rh/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]



Slika 23. *Camcopter S-100*

Izvor: <https://www.navalnews.com/naval-news/2019/07/croatia-to-deploy-camcopter-s-100-uas-for-maritime-surveillance-missions/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Predstavljen je u rujnu 2019. godine. To je bespilotni sustav s vertikalni polijetanjem i slijetanjem, a može djelovati i danju i noću. Posjeduje maksimalni domet od 100 kilometara i operativnu autonomiju od 6 sati. Senzorski paket obuhvaća sustav optičkih i infracrvenih kamera, kao i AIS¹²⁷ prijemnik, te automatski senzor za nadzor morske površine¹²⁸.

Njihova putanja mogla se pratiti na servisu *FlightRadar24* i moglo se primijetiti da letjelice nisu bile u zraku baš svaki dan. Bez obzira na mogućnost leta od 6 sati, letjelice su u Republici Hrvatskoj bile u zraku točno 23 minute. Otežavajuća okolnost je bila zračni promet koji je vrlo atraktivan i prometan iznad Brača, Hvara i Makarskog primorja za vrijeme turističke sezone¹²⁹. Pred kraj mjeseca kolovoza, točnije 28. kolovoza 2020. godine, srušila se zadnja letjelica *Camcopter S-100* u Republici Hrvatskoj 6 minuta nakon polijetanja, čime je

¹²⁷ Automatic Identification System - automatski identifikacijski sustav ili sustav za obalno kratkodometno praćenje brodova i pomorskog prometa

¹²⁸ <https://obris.org/hrvatska/eu-bespilotne-letjelice-u-hrvatskoj/> [Pristupljeno siječanj 2024.]

¹²⁹ <https://obris.org/hrvatska/camcopter-s-100-do-listopada-u-rh/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

okončan eksperimentalni program Ministarstva mora, pomorstva i infrastrukture te EMSA-e¹³⁰.

6.3.3. Tele2 DRONacija

Tvrtka Tele2 (sada Telemach) je u svojoj akciji DRONacija u razdoblju od 2017. do 2021. godine donirala 35 bespilotnih letjelica koji pomažu vatrogascima javnih vatrogasnih postrojbi i dobrovoljnim vatrogasnim društvima diljem Republike Hrvatske¹³¹. Akcija je već godinu ranije pomogla u zaštiti čak četvrtine područja Republike Hrvatske¹³².

Predstavnicima Javnih vatrogasnih postrojbi Ploče i Zagreb te Dobrovoljnim vatrogasnim društvima Orebić, Vukovar i Đakovo, Dobrovoljnom vatrogasnom društvu Stari Grad Faros Hvar, Javnoj vatrogasnoj postrojbi Grada Rijeke, Vatrogasnoj zajednici Grada Omiša, Javnoj vatrogasnoj postrojbi Grada Zadra, Dobrovoljnom vatrogasnom društvu Selca na Braču donirana je bespilotna letjelica *Yuneec H520* i održana im je i stručna edukacija o njenom upravljanju. Kroz teorijski i praktični dio, vatrogasci su upoznati s funkcionalnostima i prednostima ove bespilotne letjelice, koja će im biti od pomoći u prevenciji požara tijekom ljetnih mjeseci. Ova letjelica je posebno pogodna za dalmatinsko područje jer čak i u uvjetima snažnog vjetra može zadržati stabilnost i letjeti čak i kada je teren opasan za fizičko istraživanje od ekipa na terenu. Posjeduje toplinski senzor koji brzo otkriva izvor topline. Kamera koja dolazi s ovim modelom kombinira toplinsko snimanje u uvjetima slabijeg osvjetljenja i nudi kontinuiranu rotaciju od 360 stupnjeva te 20x optički zoom¹³³. Bespilotne letjelice *Parrot ANAFI* (slika 24.) donirane su Javnoj vatrogasnoj postrojbi Grada Šibenika, Dobrovoljnom vatrogasnom društvu Trogir, Javnoj vatrogasnoj postrojbi Grada Slavenskog Broda, Dobrovoljnom vatrogasnom društvu Retfala Osijek te Zagorskoj javnoj vatrogasnoj postrojbi iz Zaboka¹³⁴.

¹³⁰ <https://obris.org/hrvatska/srusio-se-s-100-camcopter/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹³¹ <https://telemach.hr/o-nama/drustvena-odgovornost> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹³² <https://telemach.hr/o-nama/objave-za-medijske/docId=413> [Pristupljeno: 2024.]

¹³³ <https://lidermedia.hr/ukratko/d-r-onacija-tele2-vatrogasnim-drustvima-donirao-dronove-26329> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

¹³⁴ <https://www.vecernji.hr/biznis/tele2-donacijom-pet-novih-dronova-nastavlja-stitati-hrvatske-sume-1365311> [Pristupljeno: siječanj 2024.]



Slika 24. Беспилотна летјелца *Parrot ANAFI*

Izvor: <https://www.wired.com/review/parrot-anafi-4k-hdr-drone/>, [Pristupljeno: siječanj 2024.]

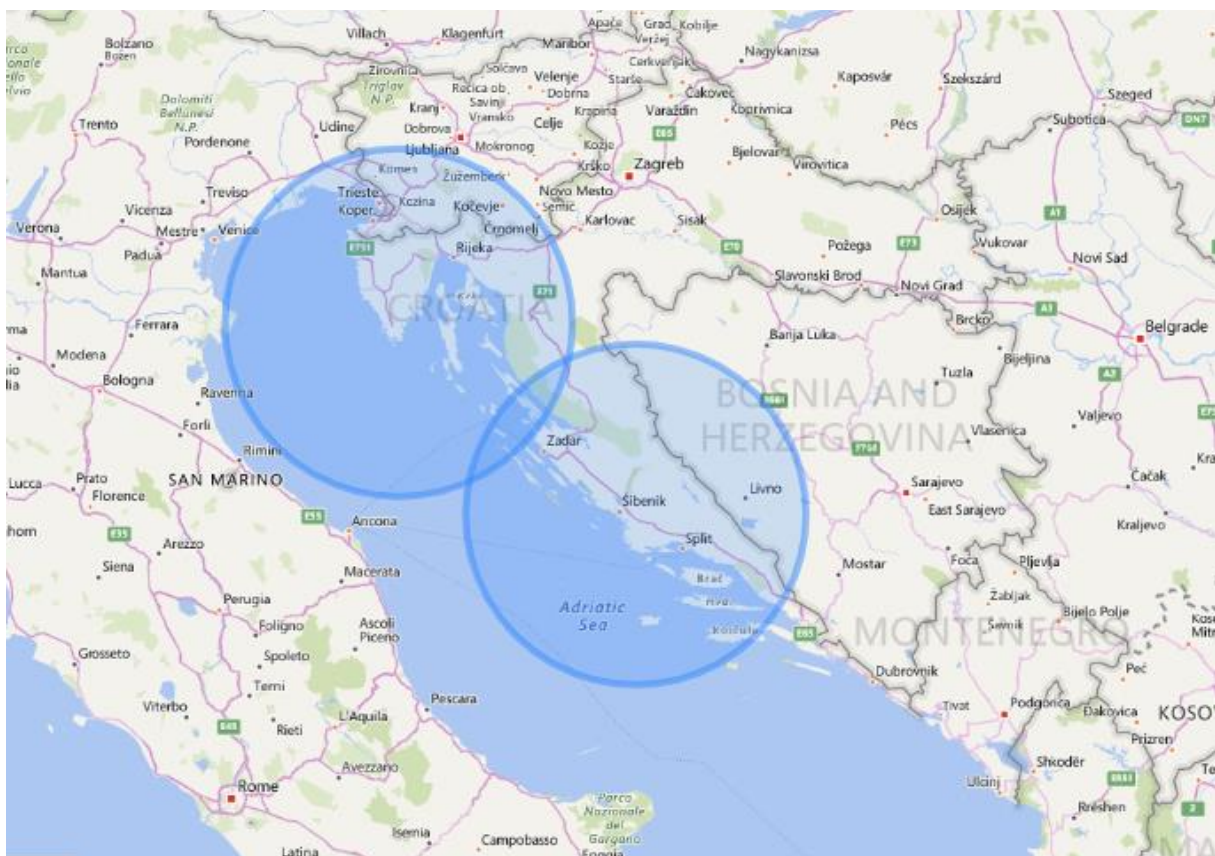
Letjelice će omogućiti vatrogasnim društvima ranije otkrivanje požara, što je ključno za učinkovitiju prevenciju šteta uzrokovanih požarima, praćenje napretka u gašenju požara s udaljenih lokacija te će doprinijeti povećanju sigurnosti vatrogasaca. Godina 2019. bila je izuzetno izazovna za vatrogasce, koji su, osim u obrani od požara, sudjelovali i u radu kriznih stožera u borbi protiv pandemije bolesti COVID-19 te su pružali pomoć u mnogobrojnim poplavama uzrokovanim nepovoljnim vremenskim uvjetima¹³⁵. Pomoć građanima, ali i sigurnost samih vatrogasaca iznimno su važni u svim vrstama hitnih intervencija, a jedna od takvih je bila i prilikom otklanjanja posljedica potresa koji je pogodio Zagreb i okolicu u ožujku 2020. godine, gdje su vatrogasci do polovice rujna zabilježili preko šest tisuća

¹³⁵ <https://hvz.gov.hr/vijesti/tele2-raspisao-poziv-za-donaciju-deset-dronova-vatrogasnim-postrojbama/1860> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

intervencija. Dio posla su olakšale bespilotne letjelice, budući da je bila potrebna tehnološka podrška za pregledavanje teško dostupnih i visokih objekata¹³⁶.

6.4. Prijedlog organizacije protupožarnog sustava bespilotnih zrakoplova u RH

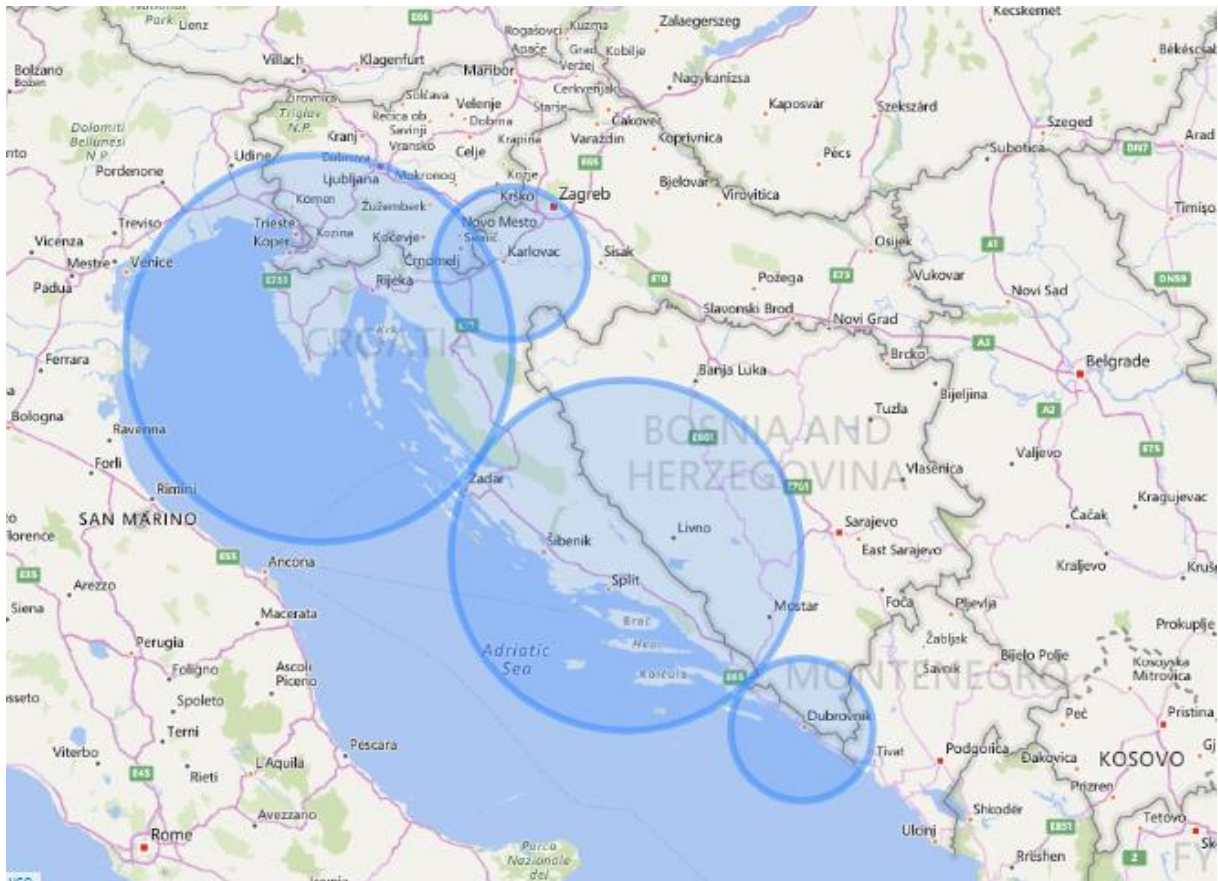
Na slici 25. prikazan je prijedlog koji uključuje nabavljanje još jednog bespilotnog sustava u rangu postojećeg *ORBITERA 3* koji nudi domet od 120 km uz 6 sati leta. S dva takva bespilotna sustava koji bi bili smješteni na već korištenim uzletištim, Valtura i Danilo Biranj uspjeti bi pokriti veliku većinu rizičnog područja Republike Hrvatske, dok bi dubrovačko-neretvanska županija i dio karlovačke županije ostao nepokriven. Riješenje za pokrivenost tog područja moglo bi se nalaziti u nabavci nekih od spomenutih bespilotnih zrakoplova dometa do 15 km (*Phantom 4, Mavic 3, M30, M300 RTK, Autel EVO II Dual 640T, Yuneec H520E*).



Slika 25. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 120 km

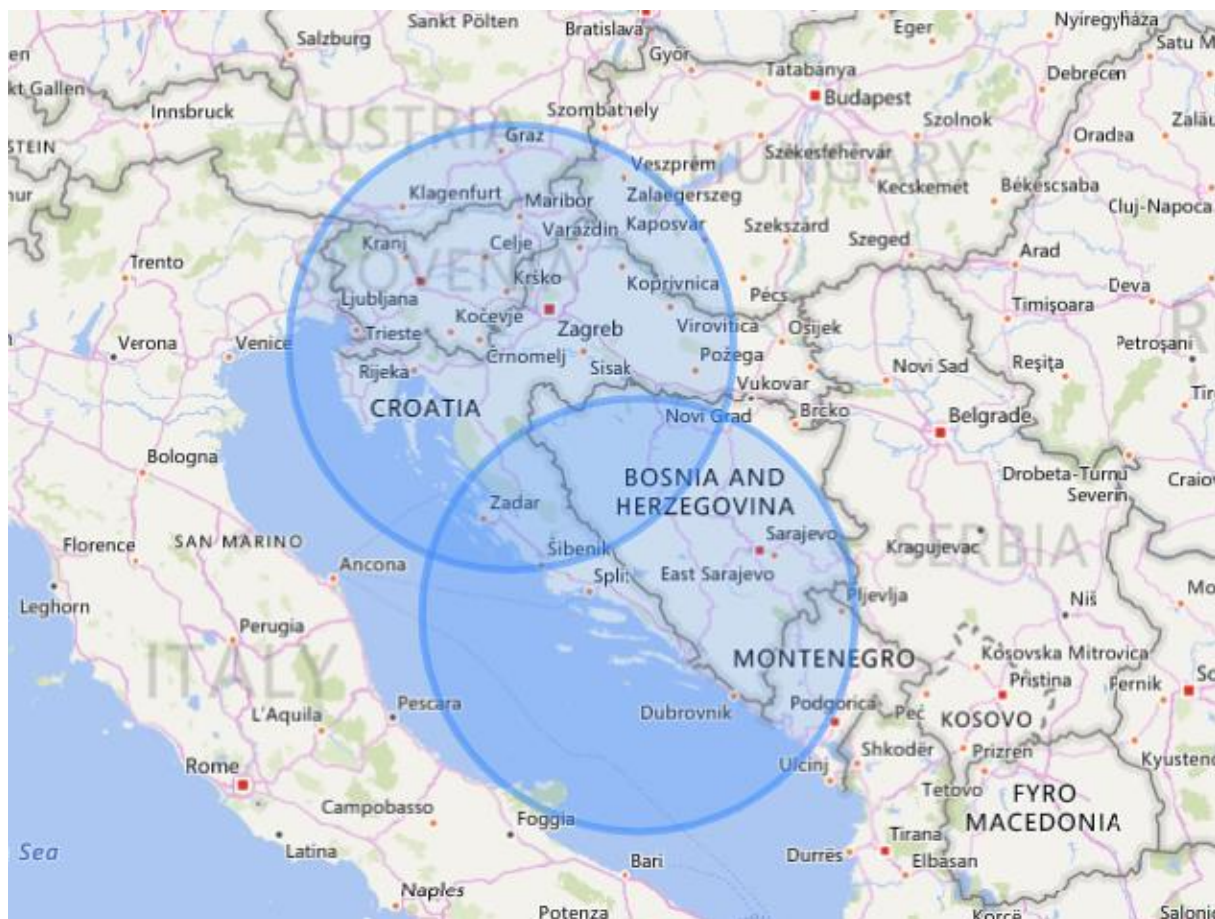
¹³⁶ <https://www.index.hr/vijesti/clanak/tele2-donira-deset-dronova-vatrogasnim-postrojbama-u-hrvatskoj/2224257.aspx> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

Na slici 26. prikazana je opcija 2 za prvi prijedlog. To je nabavka i dvaju bespilotnih zrakoplova poput *CW-15* kao dodatna potpora postojećim bespilotnim sustavima. Zrakoplov tog tipa nudi domet od 50 km i vrijeme leta od 3 sata. Smještajem tih zrakoplova u Dubrovnik i Karlovac pokrilo bi se područje dubrovačko-neretvanske i karlovačke županije koje nije pokriveno s navedena dva bespilotna sustava *ORBITER 3*.



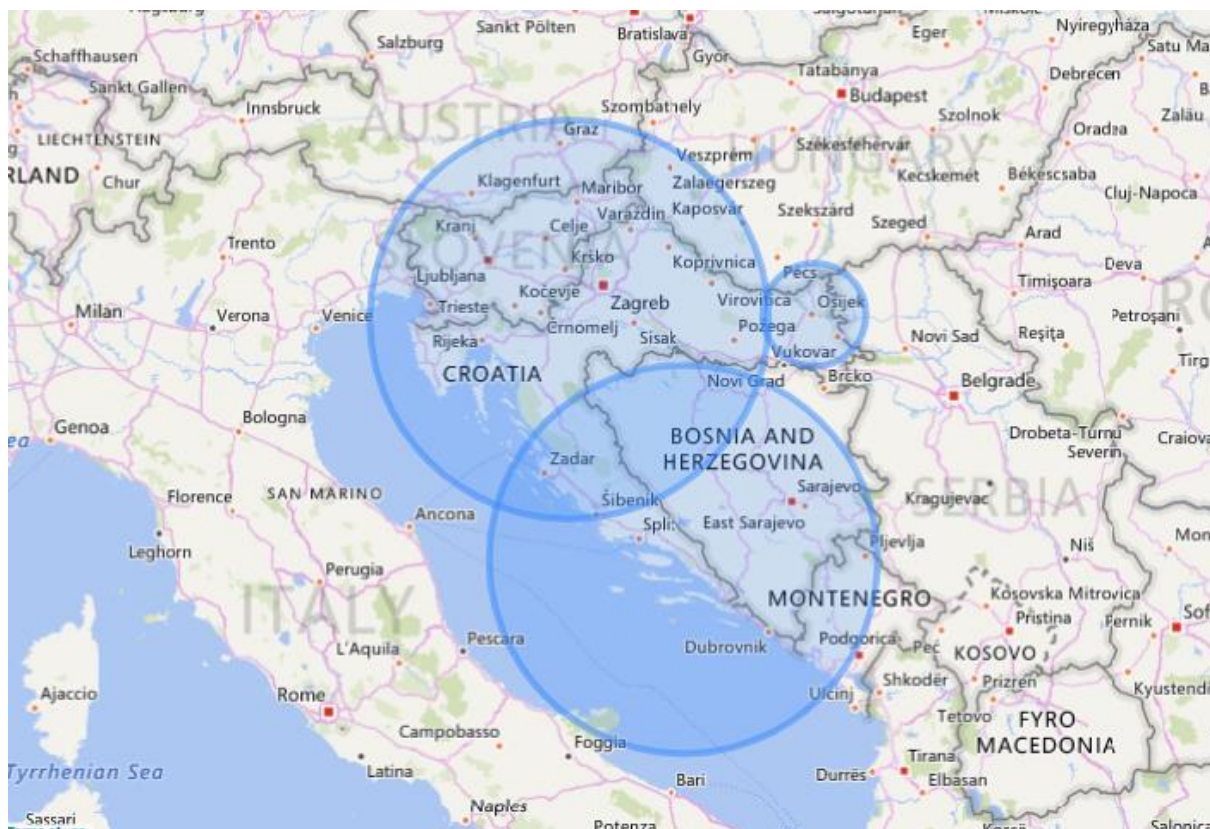
Slika 26. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 120 km i dva bespilotna zrakoplova dometa 50 km

Na slici 27. prikazan je prijedlog u kojem bi za nadzor i rano otkrivanje požara koristili dva nova bespilotna zrakoplova poput *CW-30*. Zrakoplovi bi bili smješteni u Karlovcu i na trenutno korištenom uzletištu Sinj-Piket. S performansama takvog zrakoplova koji nudi do 200 km dometa, 8 sati rada i brzinom od 25 m/s, efikasno bi se pokrio gotovo cijeli teritorij Republike Hrvatske i na kopnu i na moru. Dio koji bi ostao nepokriven s ova dva zrakoplova je istočni dio Slavonije.



Slika 27. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 200 km

Dodatna opcija za rješenje s dva bespilotna zrakoplova dometa 200 km bi bila nabavka još jednog bespilotnog zrakoplova manjeg dometa poput *CW-15* koji je spomenut kako dodatna opcija i u prvom prijedlogu rješenja. Takav zrakoplov bi bio smješten na području Osijeka. Na slici 28. se vidi da bi se s navedena tri bespilotna zrakoplova pokrilo cijeli teritorij Republike Hrvatske, što bi trebao biti krajnji cilj.



Slika 28. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 200km i jednog bespilotnog zrakoplova dometa 50 km

Kako bi se upotpunio sustav korištenja bespilotnih letjelica u RH, potrebno je nastaviti s projektima sličnim kao DRONacija. Opskrbiti dobrovoljna vatrogasna društva i vatrogasne postaje s nekim od spomenutih bespilotnih zrakoplova. Važno je napomenuti potrebu za preciznom analizom i prilagodbom resursa prema specifičnim potrebama svakog područja.

U većim gradovima, s većim brojem vatrogasnih intervencija, odličan izbor bio bi *Matrice 300 RTK*. Pogotovo je potreban u blizini tvornica ili sličnih građevina zbog mogućnosti priključivanja širokog spektra senzora, kao senzora za opasne tvari, radi brze i precizne identifikacije potencijalnih rizika.

Za dobrovoljna društva s manjim bužetom alternativni izbor može biti bilo koji od navedenih bespilotnih zrakoplova.

Za vjetrovita područja kao što je primjer za mjesta u Dalmaciji koja su zahvaćena velikim brojem požara raslinja u Republici Hrvatskoj kao najbolji izbor se ističe *Yuneec H520E* zbog svoje sposobnosti leta pri brzini vjetera od 20 m/s.

Također u nadolazećem razdoblju, trebalo bi intenzivirati promicanje svijesti o upotrebi bespilotnih letjelica i integrirati njihovo korištenje u osnovnu obuku vatrogasaca.

Uz pomoć Programa aktivnosti, treba nastaviti s modernizacijom i digitalizacijom, uključujući digitalizaciju dokumenata Državnog plana angažiranja vatroneta, ažuriranje web stranice Hrvatske vatrogasne zajednice, te digitalizaciju i izradu izvještaja o intervencijama od državnog značaja (npr. odlagališta, pruge, turistički objekti, parkovi, elektroenergetski objekti). Također, važno je nastaviti s unapređenjem GIS-a za Program aktivnosti.

Naglašena je potreba za sudjelovanjem svih subjekata uključenih u Program aktivnosti. Lokalne i područne samouprave, putem vatrogasnih zajednica županija i vatrogasnih jedinica lokalne samouprave, obavezne su organizirati sastanke Stožera civilne zaštite i vatrogasnih zapovjedništava radi pripreme za protupožarnu sezonu.

Hrvatska vatrogasna zajednica, Ministarstvo obrane, Ministarstvo unutarnjih poslova, vatrogasne zajednice županija/Grada Zagreba, Državni hidrometeorološki zavod i drugi relevantni sudionici trebaju nastaviti poticati, razvijati i kontinuirano uvoditi nove metode, tehnike i tehnologije u zaštiti od požara, s naglaskom na prevenciju i pravovremeno lociranje.

Najmanje jednom u dvije godine potrebno je organizirati stručni skup na temu „Razvijanje i uvođenje novih metoda, tehnika i tehnologija u zaštiti od požara“, na kojem će, osim navedenih, sudjelovati i fakulteti, ostale institucije te zainteresirane skupine i pojedinci. Također, potrebno je donositi godišnji Plan znanstveno-tehničkog unapređenja protupožarne zaštite u Republici Hrvatskoj, koji će obuhvatiti tekuće razvojne projekte i potencijalne nove projekte.

Svake godine potrebno je organizirati seminar na temu „Analiza značajnijih požara na otvorenom prostoru“, s ciljem unapređenja sigurnosti, poboljšanja operativnih postupaka gašenja, te jačanja međuresorne suradnje na vatrogasnim intervencijama u otvorenim prostorima¹³⁷.

¹³⁷ <https://hvz.gov.hr/program-aktivnosti/1788> [Pristupljeno: srpanj 2024.]

7. ZAKLJUČAK

Korištenje bespilotnih letjelica ili dronova ima široku primjenu u različitim područjima, uključujući sportsko-rekreacijske aktivnosti, komercijalne svrhe te vojne operacije. Bespilotni zrakoplovi su postala nezamjenjivo sredstvo rada u čitavom nizu civilnih sektora. Ključno je uspostaviti odgovornu upotrebu bespilotnih zrakoplova unutar etičkih i pravnih okvira kako bi se iskoristile njihove prednosti.

Danas su bespilotni zrakoplovi postale standardna oprema mnogih vatrogasnih postrojbi zbog svojih prednosti u brzom lociranju požara, pristupu teško dostupnim područjima te mogućnosti opremanja dodatnom opremom. Pri akcijama potrage i spašavanja, ključno je brzo locirati osobu, stoga su bespilotni zrakoplovi korisni zbog svoje brze reakcije, sposobnosti pristupa teško dostupnim terenima te opcije opremanja dodatnom opremom poput zvučnika za komunikaciju s unesrećenima ili reflektora za osvjtljenje u uvjetima smanjene vidljivosti. Koriste se i za nadzor i mapiranje terena ili požara pružajući detaljnije informacije koje pomažu vatrogascima da bolje razumiju situaciju u kojoj se požar nalazi, što je ključno za planiranje strategije i evakuacijskih ruta. Umjesto tradicionalnih metoda mapiranja požara uporabom velikih i skupih letjelica s kompleksnim sustavima za snimanje, bespilotni zrakoplovi su ekonomičnija opcija koja omogućuje bržu reakciju. Također su korisni za procjenu štete nakon katastrofe i identifikaciju izvora požara uzrokovanog opasnim tvarima. Njihova sposobnost autonomnog leta, posebno unaprijed određenim rutama, čini ih korisnim za uzrokovanje kontroliranih požara na mjestima koja to zahtijevaju, kao i za sadnju sjemena za obnovu vegetacije na tom području.

Tvrtka DJI trenutno dominira tržištem bespilotnih letjelica, nudeći različite modele prilagođene potrebama korisnika i uvjetima letenja. Odabir odgovarajućeg modela ovisi o specifičnim potrebama, iskustvu korisnika te proračunu.

Primjerice, analizom bespilotnog zrakoplova *Matrice 300 RTK*, može se zaključiti da je riječ o preferiranoj opciji za iskusne korisnike s velikim proračunom zbog visoke početne cijene i troškova dodatne opreme. Ovaj model je također idealan za korisnike koji žele imati višenamjensku bespilotnu letjelicu, budući da pruža širok spektar dodatne opreme i mogućnost priključivanja do tri dodatne opcije istovremeno. Za one koji zahtijevaju kvalitetnu termalnu kameru za misije potrage, ranog otkrivanja požara, *M30T* je pouzdan izbor ili kao alternativa, *EVO II DUAL 640T V3*, koja je ekonomičnija opcija. Za početnike s manjim proračunom, posebno za operacije nadzora i mapiranja, preporučuju se manji kompaktni modeli kao što su *Mavic 3* i *Phantom 4*. Za područja s jakim vjetrovima,

heksakopter marke Yuneec je optimalan izbor. Osim mogućnosti rada u uvjetima jakog vjetra, *H520E* nudi i raznolikost u dodatnoj opremi što ga čini korisnim za više vrsta misija po prihvatljivijoj cijeni.

Bespilotne letjelice s fiksnim krilima predstavljaju skuplju opciju koja omogućuje produžene misije s trajanjem baterije od nekoliko sati i dometom leta od 50 do 200 km. Autonomni let potpomognut AI tehnologijom smanjuje opterećenje vatrogasaca, oslobađajući ih potrebe za stalnom ručnom kontrolom. Ovisno o specifičnom modelu, pružaju širok spektar dodatnih funkcija kao što su identifikacija i praćenje objekata, prepoznavanje slika te brza obrada grafika.

Što se tiče Republike Hrvatske, koja je često suočena s požarima, razvidna je potreba za podrškom vatrogasnom osoblju kroz korištenje bespilotnih letjelica. Ova tehnologija nudi brzu reakciju, pruža detaljne informacije s požarišta te olakšava nadzor. Također, važno je napomenuti da Republika Hrvatska pati od nedostatka radne snage u protupožarnim operacijama, stoga bi upotreba bespilotnih letjelica rasteretila vatrogasce od određenih zadataka.

Što se tiče regulative u Republici Hrvatskoj, ista je usklađena s europskim standardima. Pozitivan korak bio je uvođenje *Camcoptera S-100* i projekta EMSA-e, što je Republiku Hrvatsku svrstalo među pionirske zemlje Europske unije u korištenju bespilotnih sustava. Nažalost, projekt je trajao samo dvije sezone, a ograničenja u zračnom prostoru ograničila su njegovu efikasnost. Projekt DRONacija, u kojem je Tele2 donirao 35 manjih bespilotnih letjelica vatrogasnim postrojbama i dobrovoljnim vatrogasnim društvima diljem Republike Hrvatske, postigao je dobre rezultate i pokrio značajan teritorij.

ORBITER 3 je uveden kao rješenje za produžena izviđanja s maksimalnim vremenom leta od šest sati i operativnim dometom do 120 km, međutim, loše je što je korišten samo pet sati tijekom 2022. godine.

Unatoč značajnom smanjenju broja požara i izgorjelih površina u 2023. godini u odnosu na prethodnu godinu, kao i smanjenju broja smrtno stradalih u požarima, potrebno je dodatno raditi na smanjenju broja ozlijeđenih osoba. Izvješće također ukazuje na važnost kontinuiranog unapređenja operativnih postupaka, uključujući bržu reakciju na požare, što je već vidljivo u skraćenju prosječnog vremena od dojava do gašenja požara. Vlada Republike Hrvatske i dalje osigurava značajna sredstva za protupožarnu zaštitu, uz dodatne mjere i nove

sposobnosti koje će pridonijeti učinkovitijoj prevenciji i borbi protiv požara u nadolazećem razdoblju.

Također, veći broj požara je bio zabilježen 1990.-ih i početkom 2000.-ih, nego sada što je sigurno rezultat poduzimanja svih preventivnih aktivnosti i realizacije Programa aktivnosti. Stoga bitno je nastaviti pratiti, revidirati i dalje unaprijediti Program aktivnosti s kratkoročnim i dugoročnim mjerama za što bolje rezultate.

Stoga je nužno je kontinuirano pratiti napredak tehnologije bespilotnih letjelica i implementirati nove tehnologije kako bi se osigurala njihova učinkovita uporaba u različitim situacijama. Potrebna su dodatna ulaganja, od samih letjelica do obuke licenciranog osoblja, kao i njihovo učestalije korištenje s obzirom na širok spektar primjene. .

Zaključno, predložene opcije za nabavu bespilotnih sustava nude značajno poboljšanje pokrivenosti rizičnih područja u Republici Hrvatskoj. Kombinacija različitih tipova bespilotnih zrakoplova omogućila bi efikasniji nadzor i rano otkrivanje požara na gotovo cijelom teritoriju, uključujući područja koja su do sada bila nedovoljno pokrivena. Posebno je važno prilagoditi odabir bespilotnih letjelica specifičnim potrebama svakog područja, uzimajući u obzir faktore poput vjetrovitih uvjeta i potrebe za preciznim sensorima. Daljnja opskrba Vatrogasnih postaja i dobrovoljnih vatrogasnih društava bespilotnim zrakoplovima, zajedno s navedenim Planom aktivnosti, ključna je za cjelovito funkcioniranje sustava.

LITERATURA

1. Allerin. *10 stunning applications od drone technology*; 2017. Preuzeto s: <https://www.allerin.com/blog/10-stunning-applications-of-drone-technology> [Pristupljeno: studeni 2023.]
2. Aoniuc. *Top 10 Applications of Drone Technology*; 2023. Preuzeto s: <https://www.aonic.com/my/blogs-drone-technology/top-10-applications-of-drone-technology/> [Pristupljeno: travanj 2024.]
3. Ausonio E, Bagnerini P, Ghio M. *Drone Swarms in Fire Suppression Activities: A Conceptual Framework*. *Drones* 2021; 5(1).
4. Autel Pilot. Preuzeto s: <https://www.autelpilot.eu/collections/evo-ii-pro-v3/products/autel-robotics-evo-ii-dual-640t-v3-thermal-drone-rugged-bundle> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
5. Autel Robotics. Preuzeto s: <https://www.autelrobotics.com/productdetail/evo-ii-dual-640t-drones/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
6. BBC. *Government wants flying taxis to take off in 2 years*; 2024. Pruzeto s: <https://www.bbc.com/news/technology-68597045> [Pristupljeno: travanj 2024.]
7. Caplin News. *Fire-fighting drones: the potential future of managing wildfires (includes video story)*; 2023. Preuzeto s: <https://caplinnews.fiu.edu/fire-fighting-drones-managing-wildfires/> [Pristupljeno: veljača 2024.]
8. CTIF. *Start-up company uses drones carrying "balls of fire" to initiate prescribed burns*; 2022. Preuzeto s: <https://ctif.org/news/start-company-uses-drones-carrying-balls-fire-initiate-prescribed-burns> [Pristupljeno: rujan 2023.]
9. Digital Photography Review. *Review: The Autel EVO II is a solid drone and an alternative to DJI*; 2020. Preuzeto s: <https://www.dpreview.com/reviews/review-the-autel-evo-ii-is-a-solid-drone-and-an-alternative-to-dji/3> [Pristupljeno: prosinac 2023.]
10. DronoviShop. Preuzeto s: <https://www.dronovishop.hr/yuneec-h520e/> [Pristupljeno: prosinac 2023.]
11. Enterprise Insights DJI. *LiDAR Drone Systems: Using LiDAR Equipped UAVs*; 2022. Preuzeto s: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/lidar-equipped-uavs> [Pristupljeno: rujan 2023.]
12. Faktograf. *POČETAK POŽARNE SEZONE: Nismo uspjeli dobiti podatak koliko je kanadera u funkciji*; 2022. Preuzeto s: <https://faktograf.hr/2022/06/21/pocetak-pozarne-kanadera-u-funkciji>

- [sezona-nismo-uspjeli-dobiti-podatak-koliko-je-kanadera-u-funkciji/](#) [Pristupljeno: siječanj 2024.]
13. Firehouse. *Fire Technology: Hazmat Response—Drones Are a Necessity*; 2020. Preuzeto s: <https://www.firehouse.com/tech-comm/drones/article/21160945/fire-technology-hazmat-responsedrones-are-a-necessity> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 14. FireRescue1. *How Southern Manatee Fire Rescue embraced new drone technology for hazmat response*; 2019. Preuzeto s: <https://www.firerescue1.com/fire-products/data-management/articles/how-southern-manatee-fire-rescue-embraced-new-drone-technology-for-hazmat-response-NYXsdmowRKIO2NKF/> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 15. FlightGlobal. *FLIGHT TEST: Bombardier 415 - The superscooper*; 2009. Preuzeto s: <https://www.flightglobal.com/flight-test-bombardier-415-the-uperscooper/88562.article> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
 16. FlyBase. *Best Drone Docks in 2024*. Preuzeto s: <https://www.flytbase.com/blog/dji-compatible-docking-stations> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 17. FlyBase. *Drones for Search and Rescue Operations - SAR Drones*; 2023. Preuzeto s: <https://www.flytbase.com/blog/drones-for-search-rescue> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 18. FlyBase. *Role of Drones and FlytBase in HAZMAT Response*; 2021. Preuzeto s: <https://www.flytbase.com/blog/drone-for-hazmat-response> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 19. FlyBase. *Role of Drones and FlytBase in HAZMAT Response*; 2021. Preuzeto s: <https://www.flytbase.com/blog/drone-for-hazmat-response#how-drones-are-connected> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 20. Helliguy. *DJI Mavic 3 Enterprise Series vs M30 vs M300 RTK*; 2024. Preuzeto s: <https://www.helliguy.com/blogs/posts/dji-enterprise-drones-mavic-3-enterprise-series-vs-m30-series-vs-m300-rtk> [Pristupljeno: prosinac 2023.]
 21. HP Drones. *Fire Prevention Using Drones*; 2023. Preuzeto s: <https://hp-drones.com/en/fire-prevention-using-drones/> [Pristupljeno: rujan 2023.]
 22. Hrvatska vatrogasna zajednica. *Program aktivnosti 2024*. Preuzeto sa: <https://hvz.gov.hr/program-aktivnosti/1788> [Pristupljeno: srpanj 2024.]
 23. Hrvatska vatrogasna zajednica. *Tele2 raspisao poziv za donaciju deset dronova vatrogasnim postrojbama*; 2020. Preuzeto s: <https://hvz.gov.hr/vijesti/tele2-raspisao-poziv-za-donaciju-deset-dronova-vatrogasnim-postrojbama/1860> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

24. Hrvatski vojnik. *Središte za besposadne zrakoplovne sustave*; 2020. Preuzeto s: <https://hrvatski-vojn timer.hr/srediste-za-besposadne-zrakoplovne-sustave/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
25. Hrvatski vojnik. *Središte za besposadne zrakoplovne sustave*; 2020. Preuzeto s: <https://hrvatski-vojn timer.hr/srediste-za-besposadne-zrakoplovne-sustave/> [Pristupljeno: travanj 2024.]
26. <https://droneamplified.com/get-the-app/> [Pristupljeno: rujan 2023.] –
27. <https://droneamplified.com/ignis/> [Pristupljeno: rujan 2023.] -
28. <https://droneinternationalexpo.com/blog/uses-of-drones-in-military/> [Pristupljeno: studeni 2023.] -
29. <https://dronenews.africa/cape-town-fire-survey-drones/> [Pristupljeno: rujan 2023.] –
30. <https://dronesurveyservices.com/what-are-military-drones-used-for/> [Pristupljeno: studeni 2023.] –
31. <https://rupprechtlaw.com/faa-part-107/> [Pristupljeno: listopad 2023.] -
32. <https://ts2.space/en/can-drones-be-used-for-monitoring-and-mapping-of-wildfires-and-forest-fires/> [Pristupljeno: rujan 2023.] -
33. <https://www.crocontrol.hr/app/uploads/2023/01/Bezposadni-zrakoplovni-sustavi-MORH-Zvonimir-Mravunac-NO-VIDEO.pdf> [Pristupljeno: siječanj 2024.]–
34. <https://www.embention.com/news/types-of-drones-and-their-advantages/> [Pristupljeno: studeni 2023.] -
35. https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-08/Part_107_Summary.pdf [Pristupljeno: listopad 2023.] -
36. https://www.militarytoday.com/helicopters/mi_171sh.htm [Pristupljeno: siječanj 2024.] –
37. https://www.youtube.com/watch?v=ku_IJPRWhQw [Pristupljeno: prosinac 2023.] –
38. Indeks.hr. *Tele2 donira deset dronova vatrogasnim postrojbama u Hrvatskoj*; 2020. Preuzeto s: <https://www.index.hr/vijesti/clanak/tele2-donira-deset-dronova-vatrogasnim-postrojbama-u-hrvatskoj/2224257.aspx> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
39. JOUAV Unmanned Aircraft System. *10 Best Drones for Mapping in 2024 (A Complete Buying Guide)*; 2023. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/blog/drone-for-mapping.html> [Pristupljeno: prosinac 2023.]

40. JOUAV Unmanned Aircraft System. *Everything You Need to Know about LiDAR Drone*; 2024. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/blog/lidar-drone.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
41. JOUAV Unmanned Aircraft System. *Firefighting Drones | How are Drones Used for Fire Department?*; 2024. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/blog/drones-in-firefighting.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
42. JOUAV Unmanned Aircraft System. *How Do Drones Fight Forest Fire in Qinghai, China?*; 2023. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/case-study/fight-forest-fire-qinghai.html> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
43. JOUAV Unmanned Aircraft System. *Verticle Take-off and Landing Drone (VTOL)*. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/vtol-drone> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
44. JOUAV Unmanned Aircraft System. *What are the Main Applications of Drones?* Preuzeto s: <https://www.jouav.com/blog/applications-of-drones.html> [Pristupljeno: listopad 2023.]
45. Lider Media. *D(R)ONacija: Tele2 vatrogasnim društvima donirao dronove*; 2019. Preuzeto s: <https://lidermedia.hr/ukratko/d-r-onacija-tele2-vatrogasnim-drustvima-donirao-dronove-26329> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
46. Military Africa. *The role of drones in modern military exercises*; 2023. Preuzeto s: <https://www.military.africa/2023/07/the-role-of-drones-in-modern-military-exercises/> [Pristupljeno: studeni 2023.]
47. Ministarstvo obrane Republike Hrvatske. *Airtractor AT-802 F*; 2018. Preuzeto s: <https://www.morh.hr/airtractor-at-802-f/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
48. Ministarstvo obrane Republike Hrvatske. *Besposadni zrakoplovni sustavi*; 2021. Preuzeto s: <https://www.morh.hr/besposadni-zrakoplovni-sustavi/> [Pristupljeno: kolovoz 2024.]
49. National Geographic. *Drones Shoot Fireballs to Help Control Wildfires*. Preuzeto s: <https://education.nationalgeographic.org/resource/drones-shoot-fireballs-help-control-wildfires/> [Pristupljeno: rujan 2023.]
50. Obris. *„Camcopter S-100“ do listopada u RH*; 2019. Preuzeto s: <https://obris.org/hrvatska/camcopter-s-100-do-listopada-u-rh/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
51. Obris. *EU bespilotne letjelice u Hrvatskoj*. Preuzeto s: <https://obris.org/hrvatska/eu-bespilotne-letjelice-u-hrvatskoj/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

52. Obris. *Okončana protupožarna sezona 2023.* Preuzeto s: <https://obris.org/hrvatska/okoncana-protupožarna-sezona-2023/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
53. Obris. *Srušio se S-100 Camcopter*; 2020. Preuzeto s: <https://obris.org/hrvatska/srusio-se-s-100-camcopter/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
54. Pavlik, D., Popčević, I., Rumora, A.: *Bespilotne letjelice podržane INS i GNSS sensorima*, Ekscentar, br. 17, pp. 65-70, 2014.
55. Republika Hrvatska. *Zakon o izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika*. Izdanje: 017. Zagreb: Narodne novine; 2013. Preuzeto s: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_10_127_2757.html [Pristupljeno: siječanj 2024.]
56. Skydio. *Keep fires at bay and lives safe. With airborne intelligence.* Preuzeto s: <https://www.skydio.com/fire-fighting-drones> [Pristupljeno: rujan 2023.]
57. Telemach. *O nama – Društvena odgovornost.* Preuzeto s: <https://telemach.hr/o-nama/drustvena-odgovornost> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
58. Telemach. *O nama – Objave za medije.* Preuzeto s: <https://telemach.hr/o-nama/objave-za-medije/docId=413> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
59. The UAV Academy. *The New Drone Regulations.* Preuzeto s: <https://uavacademy.co.uk/eu-regulations-overview/> [Pristupljeno: listopad 2023.]
60. TheJerusalemPost. *Israeli drone built to replace manned security guards*; 2016. Preuzeto s: <https://www.jpost.com/Business-and-Innovation/Tech/Israeli-drone-built-to-replace-manned-security-guards-476469> [Pristupljeno: rujan 2023.]
61. Tportal. *Europska komisija objavila kartu: Hrvatska je po ovome druga najgora u EU*; 2023. Preuzeto s: <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/europska-komisija-objavila-kartu-hrvatska-je-po-ovome-druga-najgora-u-eu-foto-20231128> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
62. U.S. Department Of Transportation. Federal Aviation Administration. *Air Traffic Organization Policy*; 2017. Preuzeto s: [https://www.faa.gov/documentlibrary/media/order/jo_7200.23a_unmanned_aircraft_systems_\(uas\).pdf](https://www.faa.gov/documentlibrary/media/order/jo_7200.23a_unmanned_aircraft_systems_(uas).pdf) [Pristupljeno: listopad 2023.]
63. UAV Coach. *Drone Laws in the European Union.* Preuzeto s: <https://uavcoach.com/drone-laws-in-the-european-union/> [Pristupljeno: listopad 2023.]
64. Udruga profesionalnih vatrogasaca Hrvatske. Preuzeto s: <https://upvh.hr/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

65. Udruga profesionalnih vatrogasaca Hrvatske. *U gnijezdu Kanadera*. Preuzeto s: <https://upvh.hr/u-gnijezdu-kanadera/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
66. Večernji list. *Tele2 donacijom pet novih dronova nastavlja štititi hrvatske šume*; 2019. Preuzeto s: <https://www.vecernji.hr/biznis/tele2-donacijom-pet-novih-dronova-nastavlja-stitati-hrvatske-sume-1365311> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
67. Vojni pilot. *855. protupožarna eskadrila*. Preuzeto s <https://vojnipilot.hr/855-protupožarna-eskadrila/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
68. Wang K, Yuan Y, Chen M, Lou Z, Zhu Z, Li R. A Study of Fire Drone Extinguishing System in High-Rise Buildings. *Fire* 2022; 5(3).
69. Wikipedia. *Pilatus PC-9*. Preuzeto s: https://hr.wikipedia.org/wiki/Pilatus_PC-9 [Pristupljeno: siječanj 2024.]
70. Wingtra. *What's the difference between PPK and RTK drones, and which one is better?* Preuzeto s: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/> [Pristupljeno: rujanj 2023.]
71. Yuneec. Preuzeto s: <https://yuneec.online/h520-series/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]
72. ZenaDrone. *What is the Advantage of a Drone with Camera?* Preuzeto s: <https://www.zenadrone.com/advantages-of-using-drone-with-camera/> [Pristupljeno: siječanj 2024.]

POPIS KRATICA

- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) - napredna tehnologija nadzora za stvaranje preciznog sučelja nadzora između zrakoplova i kontrole zračne plovidbe
- AI (Artificial Intelligence) - umjetna inteligencija
- AIS (Automatic Identification System) - automatski identifikacijski sustav ili sustav za obalno kratkodometno praćenje brodova i pomorskog prometa
- ASR (Air-sea rescue) - zračna i pomorska potraga
- BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) - upravljanje bespilotnim zrakoplovom izvan udaljenosti na kojoj daljinski pilot može odgovoriti ili izbjeći druge korisnike zračnog prostora
- CAA (Civil Aviation Authority) - agencija za civilno zrakoplovstvo
- CAD (Computer-aided design) - oblikovanje s pomoću računala
- CBRNE (Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive) - kemijska, biološka, radiološka, nuklearna i eksplozivna
- CORS (Continuously Operating Reference Station) - kontinuirana referentna stanica
- DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod
- DIRH - Državni inspektorat Republike Hrvatske
- EASA (European Union Aviation Safety Agency) - Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost
- EMSA (European Maritime Safety Agency) - Europska agencija za pomorsku sigurnost
- EVLOS (Extended Visual Line of Sight) - upravljanje bespilotnim zrakoplovom izvan vidokruga daljinskog pilota
- FAA (Federal Aviation Administration) - Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
- FPV (First-person view) - pogled iz prvog lica
- GNSS (Global navigation satellite system) - globalni navigacijski satelitski sustavi
- GPS (Global Positioning System) - satelitski radionavigacijski sustav za određivanje položaja na Zemlji
- GPU (Graphics processing unit) - grafički procesor
- GS OS RH - Glavni stožer Oružanih snaga Republike Hrvatske
- GSD (Ground Sampling Distance) - udaljenost između dva uzastopna središta piksela mjerena na tlu

- GVSS (Vision based Sensor Suite) - senzor koji koristi slike snimljene kamerom za analizu prisutnosti, orijentacije i točnosti
- HAZMAT (Hazardous materials) - opasna roba
- HKZP – Hrvatska kontrola zračne plovidbe
- HUSAR (Heavy Urban Search and Rescue) - potraga i spašavanje u urbanim područjima
- IMINT (Imagery intelligence) - disciplina prikupljanja obavještajnih podataka u kojoj se slike analiziraju kako bi se identificirale informacije od obavještajne vrijednosti
- IMU (Inertial Measurement Unit) - elektronički uređaj koji mjeri i prijavljuje specifičnu silu tijela, kutnu brzinu, a ponekad i orijentaciju tijela
- INS (Inertial navigation system) - inercijalni navigacijski sustav
- LiDAR (Light Detection and Ranging) - optički mjerni instrument
- MSX (Multi-Spectral Dynamic Imaging) - tehnologija slikanja koja proizvodi detaljnije toplinske slike spajanjem vizualnog i toplinskog spektra
- MUP - Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske
- OVZ - Operativno vatrogasno zapovjedništvo
- PPK (Post-Processing Kinematics) - kinematičko pozicioniranje nanadnom obradom podataka
- RGB (Red Green Blue) - sustav koji predstavlja boje koje se koriste na digitalnom zaslonu
- RTK (Real Time Kinematic) - kinematičko pozicioniranje u stvarnom vremenu
- SAR (Search and Rescue) - potraga i spašavanje
- TSA (Transportation Security Administration) - Putna Sigurnosna Agencija Ministarstva Domovinske Sigurnosti Sjedinjenih Američkih Država
- VRS (Virtual Reference Station) - virtualna referentna stanica
- VTOL (Vertical take-off and landing) - zrakoplov koji je sposoban uzlijetati i slijetati okomito

POPIS SLIKA

Slika 1. Države koje su prihvatile regulativu EASA-e o bespilotnim letjelicama	6
Slika 2. Proces prikupljanja podataka RTK tehnologijom	20
Slika 3. Proces prikupljanja podataka PPK tehnologijom.....	21
Slika 4. LiDAR tehnologija.....	22
Slika 5. <i>DJI Dock</i> s bespilotnom letjelicom <i>M30T</i>	24
Slika 6. Uporaba MSX tehnologije	25
Slika 7. <i>DJI Phantom 4</i>	36
Slika 8. <i>Martice 300 RTK</i>	37
Slika 9. <i>EVO II 640T V3</i>	44
Slika 10. <i>Yuneec H520E</i> s priključenom kamerom.....	49
Slika 11. Bespilotna letjelica <i>CW-15</i>	55
Slika 12. Hibridna bespilotna letjelica <i>CW-30E</i>	56
Slika 13. Predloženi protupožarni sustav temeljen na korištenju roja kolaborativnih bespilotnih zrakoplova	60
Slika 14. Oprema za gašenje požara sustava <i>LY100</i>	61
Slika 15. Specijalno vatrogasno vozilo s platformom za bespilotni zrakoplov	62
Slika 16. <i>Canad air CL-415</i>	64
Slika 17. <i>Air Tractor AT-802</i>	66
Slika 18. <i>Mi-171Sh</i>	67
Slika 19. <i>Pilatus PC-9</i>	68
Slika 20. Bespilotni sustav <i>ORBITER 3</i>	76
Slika 21. Područja slijetanja bespilotnog sustava <i>ORBITER 3</i> u Republici Hrvatskoj	77
Slika 22. Operativni domet bespilotnog sustava <i>ORBITER 3</i>	78
Slika 23. <i>Camcopter S-100</i>	80
Slika 24. Bespilotna letjelica <i>Parrot ANAFI</i>	82
Slika 25. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 120km.....	83
Slika 26. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 120km i dva bespilotna zrakoplova dometa 50 km.....	84
Slika 27. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 200km.....	85

Slika 28. Prijedlog organizacije bespilotnog sustava s dva bespilotna zrakoplova dometa 200km i jednog bespilotnog zrakoplova dometa 50 km 86

POPIS TABLICA

Tablica 1. Operativne kategorije bespilotnih letjelica.....	7
Tablica 2. Usporedba osnovnih specifikacija Mavic 3, M30 i M300 RTK modela	37
Tablica 3. Usporedba optičkih performansi Mavic 3, kamere Zenmuse P1 i Zenmuse L1	39
Tablica 4. Usporedba termalnih performansi modela Mavic 3T, M30T i termalne kamere H20T.....	41
Tablica 5. Usporedba otpornosti na vremenske uvjete kod modela Mavic 3, M30 i M300 RTK	42
Tablica 6. Usporedba osnovnih specifikacija i termalnih performansi modela Matrice 300 RTK s priključenom H20T kamerom, M30T i EVO II 640T V3 modela	46
Tablica 7. Usporedba osnovnih specifikacija modela H520E RTK i Matrice 300 RTK.....	50
Tablica 8. Usporedba optičkih performansi modela H520E s priključenom E90X kamerom, Mavic 3 i Matrice 300 s priključenom Zenmuse P1 kamerom	51
Tablica 9. Usporedba termalnih performansi modela H520E s priključenom E10TvX termalnom kamerom, M30T i EVO II 640T V3	52
Tablica 10. Usporedba osnovnih specifikacija multirotor letjelice Matrice 300 RTK i letjelice s fiksnim krilima CW-15.....	54
Tablica 11. Izvješće o požarima od 01.01. do 31.12.2022.	71
Tablica 12. Usporedba podataka za požare raslinja s prethodnim petogodišnjim razdobljem 2018. - 2022. za područje Republike Hrvatske	72
Tablica 13. Raspodjela broja požara raslinja po mjesecima u 2023. godini	73

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ **diplomski rad** _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarnoj operativi**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 16.09.2024.

Student/ica:

Nikša Miloglav



(ime i prezime, *potpis*)