

# Primjena bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama

---

**Patrlj, Silvio**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:701440>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet prometnih znanosti**

**DIPLOMSKI RAD**

**PRIMJENA BESPILOTNIH ZRAKOPLOVA U URBANIM  
SREDINAMA**

**APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN  
URBAN AREAS**

Mentor: prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Silvio Patrlj

JMBAG: 0135255426

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 20. studenoga 2023.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7393

Pristupnik: **Silvio Patrlj (0135255426)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama**

Opis zadatka:

U uvodu diplomskog rada potrebno je obrazložiti predmet, svrhu i cilj istraživanja te predočiti strukturu rada. Kronološki prikazati razvoj sustava bespilotnih zrakoplova. Dati prikaz najvažnije zakonske regulative koja se odnosi na sustave bespilotnih zrakoplova. Ukratko opisati najvažnija područja primjene bespilotnih zrakoplova za civilne svrhe. Naglasak u radu staviti na moguće primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama i probleme u odvijanju letnih operacija u tim sredinama tom kategorijom zrakoplova. Navesti preduvjete sigurne integracije bespilotnih zrakoplova u zračni prostor (U-Space zračni prostor). U zaključnom dijelu diplomskog rada predočiti konkretne zaključke o istraživanoj tematici.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Andrija Vidović

## SAŽETAK

Pod pojmom bespilotni zrakoplov podrazumijeva se zrakoplov koji autonomno izvodi operacije unaprijed programiranom letnom rutom ili se njime upravlja na daljinu bez prisutnosti pilota u zrakoplovu. Svrha rada je istražiti uporabu bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe s posebnim naglaskom na uporabu u urbanim sredinama. Cilj rada je ukazati na prednosti i nedostatke uporabe bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama. Danas gotovo i ne postoji grana civilnog društva u kojoj bespilotna letjelica nije pronašla mogućnost primjene. U urbanim sredinama značajnu primjenu pronašli su u dostavljanju paketa, nadziranju, prikupljanju podataka te u kriznim situacijama, itd. Njihova velika prednost je u tome što su bez posade te se pilote ne izlaže riziku. Problemi koji se pojavljuju primjenom bespilotnih zrakoplova su kibernetička sigurnost, zaštita privatnosti i sigurnost obavljanja letnih operacija.

**KLJUČNE RIJEČI:** bespilotni zrakoplov; udaljeni pilot; urbana sredina; civilne svrhe; vojne svrhe.

## SUMMARY

Unmanned aerial vehicle means aircraft without a pilot who flies autonomously on a path which is preprogrammed or aircraft which is controlled by ground control station. Purpose of this graduation thesis is to find where UAVs are used in civilian application and where they will be used in urban areas. Also, advantages and disadvantages of using UAVs in urban areas will be discussed in this thesis. Today is very hard to find a field in the industry where UAVs didn't find their purpose. In urban areas UAVs will be used for delivering packages, surveillance, remote sensing and in crisis (like earthquake, floods, etc.). Main advantage of using UAVs instead aircraft is the fact that the pilots are not exposed to a risk. Problems that appear because of using UAVs in urban areas are cyber security, privacy of citizens and safety of its flight.

**KEY WORDS:** unmanned aerial vehicle; remote pilot; urban areas; civilian purposes; military purposes.

## Sadržaj

1	Uvod.....	1
2	Kronološki pregled razvoja sustava bespilotnih zrakoplova .....	4
2.1	Razvoj vojnih bespilotnih zrakoplova.....	4
2.1.1	Razvoj bespilotnih zrakoplova početkom 20.-tog stoljeća .....	4
2.1.2	Razvoj bespilotnih zrakoplova 20.-tih, 30.-tih i 40.-tih godina 20.-tog stoljeća .....	7
2.1.3	Razvoj bespilotnih zrakoplova 60.-tih i 70.-tih godina 20.-tog stoljeća .....	9
2.1.4	Razvoj bespilotnih zrakoplova krajem 20.-tog stoljeća .....	14
2.1.5	Razvoj bespilotnih zrakoplova početkom 21.-og stoljeća .....	15
2.2	Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova .....	19
2.2.1	Počeci razvoja civilnih bespilotnih zrakoplova.....	20
2.2.2	Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova krajem 20.-og stoljeća ...	21
2.2.3	Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova početkom 21.-og stoljeća	22
2.2.4	Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova 10.-tih godina 21.-og stoljeća.....	25
3	Pregled regulative o sustavima bespilotnih zrakoplova.....	31
3.1	Klase bespilotnih zrakoplova .....	32
3.1.1	Bespilotni zrakoplovi klase C0.....	32
3.1.2	Bespilotni zrakoplovi klase C1.....	33
3.1.3	Bespilotni zrakoplovi klase C2.....	33
3.1.4	Bespilotni zrakoplovi klase C3.....	34
3.1.5	Bespilotni zrakoplovi klase C4.....	34
3.1.6	Bespilotni zrakoplovi klase C5.....	35
3.1.7	Bespilotni zrakoplov klase C6 .....	35
3.2	Kategorije operacija bespilotnih zrakoplova.....	36
3.2.1	Otvorena kategorija .....	36

3.2.2	Posebna kategorija.....	37
3.2.3	Certificirana kategorija.....	39
3.3	Operatori bespilotnih zrakoplova .....	40
3.3.1	Operator bespilotnog zrakoplova u otvorenoj kategoriji.....	40
3.3.2	Operator bespilotnog zrakoplova u posebnoj kategoriji.....	41
3.3.3	Certifikat operatora lakog bespilotnog zrakoplova (LUC) .....	41
3.4	Udaljeni pilot .....	42
3.4.1	Udaljeni piloti bespilotnih zrakoplova u otvorenoj kategoriji.....	43
3.4.2	Udaljeni piloti bespilotnih zrakoplova u posebnoj kategoriji.....	43
4	Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe .....	45
4.1	Primjena bespilotnih zrakoplova u poljoprivredne svrhe.....	46
4.1.1	Prikupljanje podataka.....	46
4.1.2	Sadnja biljaka.....	47
4.1.3	Tretiranje biljaka pesticidima .....	48
4.2	Nadzor pomoću bespilotnih zrakoplova .....	52
4.2.1	Nadzor granica .....	52
4.2.2	Nadzor mora .....	53
4.2.3	Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarne svrhe .....	54
4.3	Primjena bespilotnih zrakoplova u građevinarstvu.....	56
4.4	Primjena bespilotnih zrakoplova u filmskoj industriji .....	57
4.5	Primjena bespilotnih zrakoplova u marketinške svrhe .....	59
5	Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama ....	61
5.1	Dostava paketa pomoću bespilotnih zrakoplova.....	62
5.1.1	SkyDrop .....	63
5.1.2	Amazon Prime Air .....	63
5.1.3	Wing .....	66
5.1.4	Zipline.....	68

5.1.5	Matternet .....	70
5.2	Nadziranje i prikupljanje podataka u urbanim sredinama .....	72
5.2.1	Airobotics .....	74
5.2.2	ElistAir .....	77
5.2.3	Primjeri upotrebe bespilotnih zrakoplova u svrhe nadzora i prikupljanja podataka .....	79
5.3	Upotreba bespilotnih zrakoplova u kriznim situacijama .....	79
5.4	Inteligentni transportni sustavi .....	81
5.5	Urbana zračna mobilnost.....	82
5.6	Prednosti i nedostaci primjene bespilotnih zrakoplova .....	83
5.6.1	Ekonomski pokazatelji.....	84
5.6.2	Utjecaj bespilotnih zrakoplova s ekološkog aspekta.....	85
5.6.3	Privatnost građana .....	85
5.6.4	Sigurnost primjene bespilotnih zrakoplova .....	86
5.6.5	Kibernetička sigurnost.....	87
5.6.6	Zaštita od neovlaštenih bespilotnih zrakoplova .....	87
6	U-Space zračni prostor .....	89
6.1	Usluge pružane unutar U-space zračnog prostora .....	90
6.2	Uspostava zračnog prostora za bespilotne zrakoplove .....	91
6.3	Odvajanje bespilotnih zrakoplova .....	93
6.4	Koncepti zračnog prostora u urbanim sredinama .....	94
7	Zaključak.....	98
	Popis literature .....	103
	Popis kratica i akronima.....	117
	Popis slika.....	120
	Popis tablica .....	123

# 1 Uvod

Bespilotni zrakoplovi iz godine u godinu bilježe porast primjene bilo da se radi u vojne ili civilne svrhe. Prvo su se počeli primjenjivati u vojne svrhe gdje su se značajno razvili od jednostavnijih letjelica koje su se koristile u misijama izviđanja neprijateljskog teritorija pa sve do naprednijih letjelica koje su bile sposobne za bojeva djelovanja.

Već u samim začecima primjene bespilotnih zrakoplova uočen je njihov veliki potencijal i mogućnost uporabe upravo zbog njihovih dimenzija, mogućnost leta bez posade, male potrošnje goriva/baterije, manjih površina za polijetanje i slijetanje. Upravo zbog tih prednosti bespilotni zrakoplovi počeli su se primjenjivati u civilne svrhe. Na samom početku koristili su se za zabavu i snimanje fotografija iz zraka. Daljnjim razvojem letjelice postaju kompleksnije te se proširuje mogućnost njihove primjene. Danas se upotrebljavaju u širokom spektru civilne namjene kao što su akcije potrage i spašavanja, poljoprivredne svrhe, policijske svrhe, protupožarne svrhe, itd.

U ovom diplomskom radu naglasak će biti stavljen na primjenu bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama te će biti navedene prednosti i nedostaci njihove primjene. Svojom upotrebom bespilotni zrakoplovi mogu pridonijeti urbanim sredinama u vidu smanjenja gužvi, zagađenja te povećanju sigurnosti na ulicama. Kompanije koje se bave dostavljanjem paketa uočile su veliki potencijal u bespilotnim letjelicama u vidu „last mile delivery“ - na taj način dostave bi bile ekološki prihvatljivije te puno brže. Osim dostavljanja samih paketa mogle bi se koristiti za transport krvi i organa između medicinskih ustanova. Također, bespilotni zrakoplovi mogli bi se koristiti za nadzor kolodvora, trgova ili ulica te bi na taj način policija puno brže i efikasnije reagirala na kršenje zakona. U slučaju prirodnih katastrofa bespilotni zrakoplovi mogli bi se koristiti u potrazi za ljudima, distribucijom brzih i točnih informacija o stradalima te nastaloj šteti u gradovima. Uz sve navedene prednosti koje urbane sredine ostvaruju primjenom bespilotnih zrakoplova, potrebno je razmotriti i određene nedostatke poput kibernetičke sigurnosti te privatnosti i sigurnosti ljudi koji žive u urbanim sredinama. Budući da je većina bespilotnih letjelica opremljena kamerama i senzorima postoji opravdana zabrinutost ljudi što se tiče privatnosti. Iz tog razloga je potrebno da sustavi koji upravljaju bespilotnim zrakoplovima, ali i sami bespilotni zrakoplovi, budu dobro zaštićeni kako ne bi došlo do krađe podataka ili otimanja same bespilotne letjelice.



Kako bi bespilotni zrakoplovi mogli na siguran način obavljati svoje zadaće u urbanim sredinama potrebno je uspostaviti U-space zračni prostor. Također, potrebno je odrediti zahtjeve za U-space zračni prostor uključujući dodatne U-space usluge. U-space zračni prostor predstavlja zemljopisno područje unutar kojeg su dopuštene operacije bespilotnih zrakoplova samo uz potporu U-space usluga. Pod uslugama podrazumijevaju se digitalne usluge i automatizacija kako bi se doprinijelo sigurnom, zaštićenom i učinkovitom pristupu U-space zračnom prostoru.

Svrha rada je istražiti uporabu bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe s posebnim naglaskom na uporabu u urbanim sredinama. Cilj diplomskog rada je ukazati na izniman potencijal primjene ovih letjelica u svim sferama civilnog društva uključujući i primjenu u urbanim sredinama. Diplomski rad sastoji se od sedam poglavlja:

- Uvod
- Kronološki pregled razvoja sustava bespilotnih zrakoplova
- Pregled regulative o sustavima bespilotnih zrakoplova
- Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe
- Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama
- U-space zračni prostor
- Zaključak

U uvodnom dijelu navedeni su predmet, svrha i cilj istraživanja te je predočena struktura diplomskog rada.

U drugom poglavlju kronološki je prikazan razvoj bespilotnih zrakoplova. U prvom dijelu poglavlja opisan je razvoj bespilotnih zrakoplova koji su se koristili u vojne svrhe. Također, bit će navedeni bespilotni zrakoplovi koji se i danas koriste u vojne svrhe. Drugi dio poglavlja odnosi se na razvoj bespilotnih zrakoplova koji su se koristili u civilne svrhe. Također, navedeni su bespilotni zrakoplovi koji se trenutno koriste u civilne svrhe.

U trećem poglavlju navedena je regulativa koja se odnosi na sustave bespilotnih zrakoplova, udaljene pilote, operacije bespilotnih zrakoplova, itd. Također, navedene su klase bespilotnih zrakoplova i kriteriji pod kojim se isti svrstavaju u pojedinu klasu. Ukratko, navedena su pravila i kriteriji koji se odnose na operatore i udaljene pilote.

Četvrto poglavlje odnosi se na primjenu bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe. U ovom poglavlju navedena je primjena bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi, građevinarstvu, filmskoj industriji te marketingu. Također, navedene su i prednosti upotrebe bespilotnih zrakoplova u svrhe nadzora granica, mora, itd. Uz sve navedeno opisane su mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u protupožarne svrhe.

U petom poglavlju navedene su mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama. Neke od mogućih primjena su dostava paketa, nadziranje i prikupljanje podataka te upotreba u kriznim situacijama. Također, navedene su mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u području inteligentnih transportnih sustava. U ovom poglavlju objašnjen je pojam urbana zračna mobilnost te su navedeni rezultati provedenog istraživanja. Na kraju poglavlja navedene su prednosti i nedostaci primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama.

Šesto poglavlje odnosi se na U-space zračni prostor. U početku poglavlja su navedene i objašnjene usluge koje će se pružati unutar U-space zračnog prostora. Također, prikazane su i usluge koje se pružaju bespilotnim zrakoplovima u pojedinim razredima zračnog prostora. Na kraju poglavlja su navedeni i opisani koncepti zračnog prostora u urbanim sredinama.

U sedmom poglavlju donesen je konkretan zaključak o tematici istraživanja u diplomskom radu.

## **2 Kronološki pregled razvoja sustava bespilotnih zrakoplova**

Prvi bespilotni zrakoplovi koristili su se samo u vojne svrhe. Tijekom razvoja bespilotnih zrakoplova uočile su se mnoge prednosti te su se krajem 20.-tog stoljeća počeli koristiti i u civilne svrhe. Neke od prednosti su njihova efikasnost, prilagodljivost te ekonomičnost. Tehnološkim napretkom u području robotike, informatike, itd., bespilotni zrakoplovi postaju sve raznovrsniji i pristupačniji te poprimaju karakteristike multifunkcionalnih strojeva. Bespilotni zrakoplovi su i dalje vrlo zastupljeni u vojnom djelovanju usprkos sve većoj upotrebi u civilne svrhe.

### **2.1 Razvoj vojnih bespilotnih zrakoplova**

Prvi oblik bespilotnog zrakoplova javlja se sredinom 19.-tog stoljeća odnosno točnije 1849. godine. Austrijanci odnosno tadašnja Habsburška Monarhija kontrolirala je sjeverno – istočni dio talijanskog poluotoka. Kako bi natjerali Mlečane na predaju odlučili su bombardirati Veneciju iz zraka. Pritom su koristili zračne balone napunjene eksplozivom koji bi eksplodirali nakon pola sata [1].

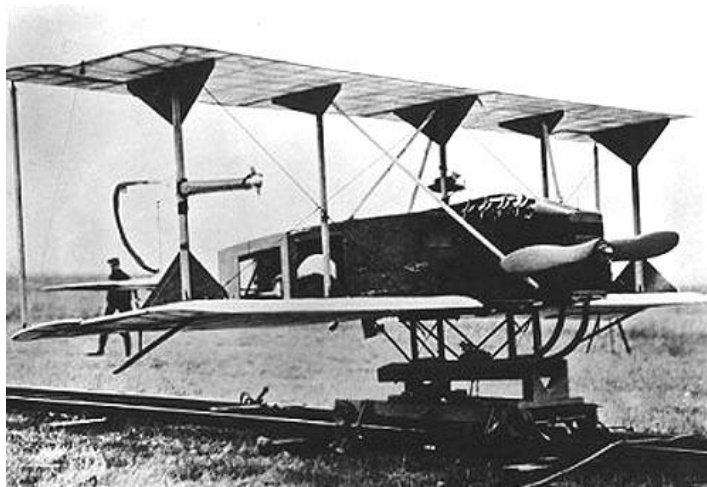
Godine 1898. Nikola Tesla konstruirao je prvi brod kojim je bilo moguće upravljati na daljinu. To se smatra pretečom današnjih bespilotnih zrakoplova. Vojska nije uvidjela potencijal broda na daljinsko upravljanje već je smatrala da brod kao takav nije moguće koristiti u vojne svrhe. Nikola Tesla nije usavršio svoj brod na daljinsko upravljanje, ali usprkos tome ostavio je značajan trag budući da je prvi koji je uspio upravljati u ovom slučaju s brodom na daljinu pomoću radiovalova [2]. Također, Nikola Tesla je previdio opsežnu uporabu bespilotnih zrakoplova u budućnosti te je 1915. godine u svojoj disertaciji opisao naoružani bespilotni zrakoplov koji bi se koristio za obranu Sjedinjenih Američkih Država [3].

#### **2.1.1 Razvoj bespilotnih zrakoplova početkom 20.-tog stoljeća**

U Prvom svjetskom ratu, bespilotni zrakoplovi nisu se značajno koristili te su se manje razvijali u odnosu na zrakoplove s posadom. Glavni razlog je nedovoljno razvijena tehnologija u pogledu automatske stabilizacije, autonomne navigacije te

značajno ograničena udaljenost na kojoj se može vršiti upravljanje bespilotnim zrakoplovom. Elmer Ambrose Sperry 1909. godine razvio je žiroskopski stabilizator za zrakoplov. Glavna uloga žiroskopskog stabilizatora je održavanje razine leta i stabilizacije. Navedeni žiroskopski stabilizator imao je određene mane poput težine te nije bio dovoljno učinkovit. Sperry je uz pomoć Glenn Hammond Curtiss-a poboljšao prvobitni žiroskopski stabilizator na način da su mu smanjili dimenzije te povećali učinkovitost [4].

Prve bespilotne letjelice koristile su se za gađanje vojnih ciljeva na većim udaljenostima odnosno zrakoplov je bio pun eksploziva koji bi nakon određenog vremena odbacio krila i srušio se na zemlju. Iz tog razloga mogu se smatrati pretečom krstarećih raketa. Američka vojska je 1917. godine predstavila Aerial Torpedo. To je bio dvokrilni bespilotni zrakoplov izrađen od drveta. Imao je masu od svega 270 kg, a pogonio ga je Ford-ov motor koji je proizvodio 29,4 kW (40 KS) [5]. Na slici 1. prikazan je Aerial Torpedo.



Slika 1. Bespilotni zrakoplov Aerial Torpedo

Izvor: [5]

Godinu dana kasnije Američka vojska predstavila je Kettering Bug koji je vrlo sličan Aerial Torpedo-u, ali je bio lakši te je mogao nositi više eksploziva (82 kg) [5]. Također je bio dvokrilac. Na slici 2. prikazan je bespilotni zrakoplov Kettering Bug.



Slika 2. Bepilotni zrakoplov Kettering Bug

Izvor: [6]

Britanska vojska 1914. godine započela je razvoj bepilotnog zrakoplova Aerial Target. Navedeni bepilotni zrakoplov bio je jednokrillac te se njime radijski upravljalo. Bepilotni zrakoplov Aerial Target prvi put je testiran u ožujku 1917. godine. Komponente za daljinsko upravljanje dizajnirao je Dr. Archibald Low. Motor koji je pokretao bepilotni zrakoplov razvijao je 25,7 kW (35 KS), a dizajnirao ga je Granville Bradshaw [7]. Na slici 3. prikazan je bepilotni zrakoplov Aerial Target.



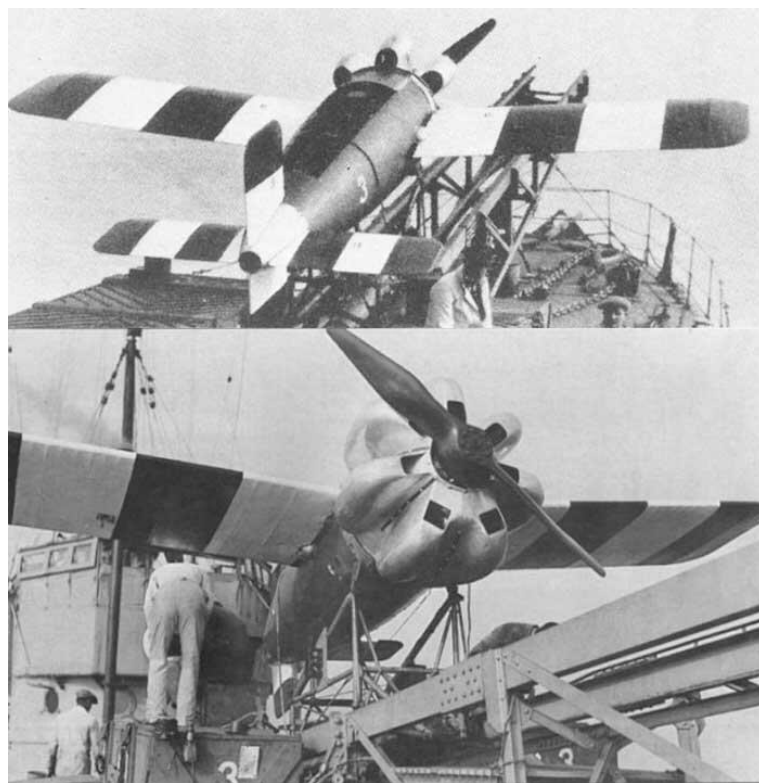
Slika 3. Bepilotni zrakoplov Aerial Target

Izvor: [7]

Bespilotni zrakoplovi nisu se koristili operativno u Prvom svjetskom ratu iako su se prilikom testiranja pokazali obećavajućim. Glavni razlog je nedovoljno razvijena tehnologija što je rezultiralo nepreciznim navođenjem zrakoplova prema vojnim ciljevima.

### **2.1.2 Razvoj bespilotnih zrakoplova 20.-tih, 30.-tih i 40.-tih godina 20.-tog stoljeća**

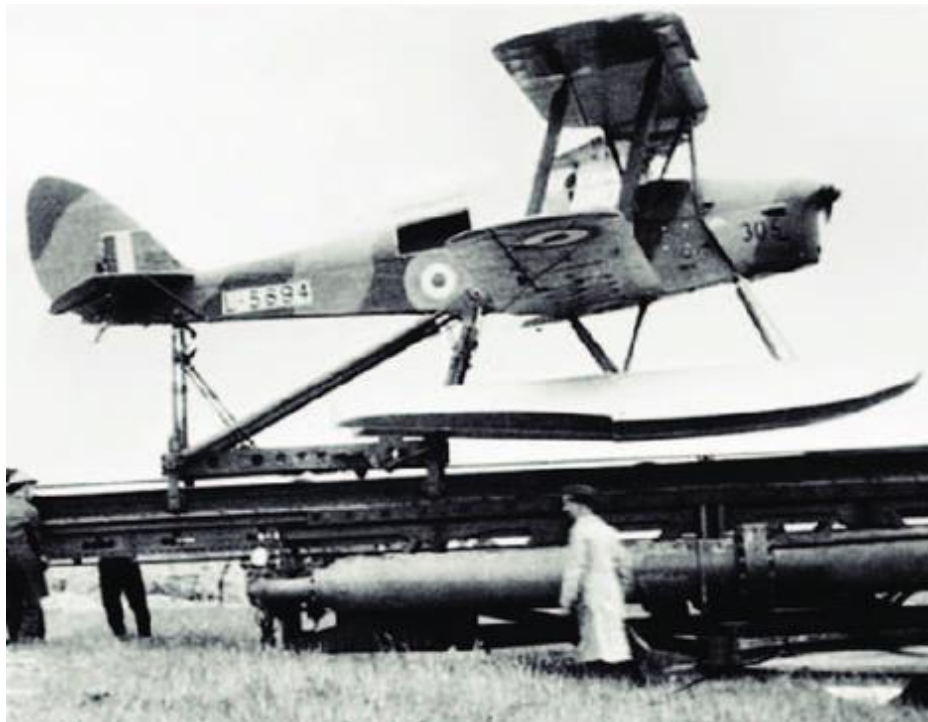
Britanska vojska nakon Prvog svjetskog rata nastavlja razvijati bespilotne zrakoplove. Godine 1927. izveden je prvi let bespilotnog zrakoplova imena Long – Range Gun With Lynx Engine ili skraćeno LARNYX. Navedeni bespilotni zrakoplov mogao je nositi 114 kilograma eksploziva na udaljenost od 480 km. Pokretao ga je motor od 147 kW (200 KS). Bespilotnim zrakoplovom bilo je moguće upravljati na daljinu prilikom polijetanja i nedugo nakon toga. Kada bi se bespilotni zrakoplov udaljio od odašiljača slijedio bi unaprijed unesen plan leta [4]. Na slici 4. prikazan je bespilotni zrakoplov LARNYX.



Slika 4. Bespilotni zrakoplov LARNYX

Izvor: [8]

Britanska vojska odustala je od razvoja krstarećih raketa te je odlučila nastaviti razvijati bespilotne zrakoplove koji bi bili napunjeni eksplozivom. Cilj im je bio razviti bespilotni zrakoplov koji bi bio potpuno radijski kontroliran. Između 1934. i 1943. godine proizvedeno je oko 420 radijski kontroliranih bespilotnih zrakoplova imena DH.82B Queen – bee. Bespilotni zrakoplov zapravo je verzija zrakoplova De Havilland DH.82 Tiger Mouth [4]. Tijekom Drugog svjetskog rata bespilotni zrakoplovi nisu se koristili u borbama već su se koristili u vježbama protuzračne obrane. Ukoliko se bespilotni zrakoplov ne uništi tijekom vježbe postojala je mogućnost njegovog ponovnog korištenja [9]. Na slici 5. prikazan je bespilotni zrakoplov DH.82B Queen – bee.



Slika 5. Bespilotni zrakoplov DH.82B Queen – bee

Izvor: [10]

U Sjedinjenim Američkim Državama Radioplane Company proizvela je tisuće bespilotnih zrakoplova imena RP 4 koji su se također koristili u vojnim vježbama. Sljedeće veliko otkriće je bespilotni zrakoplov Project Fox koji je imao ugrađenu kameru u prednjem dijelu trupa. Navedenim bespilotnim zrakoplovom upravljalo se iz

zrakoplova TG-2 koji je bio opremljen zaslonom na kojem se prikazivala slika koju je snimio bespilotni zrakoplov [5].

### 2.1.3 Razvoj bespilotnih zrakoplova 60.-tih i 70.-tih godina 20.-tog stoljeća

Tijekom 60.-tih godina bespilotni zrakoplovi većinom su se koristili za špijuniranje neprijateljskog teritorija. Bespilotni zrakoplov imena Ryan Firebee bio je opremljen fotoaparatom. Ukoliko je letio na nižim visinama tada bi se njime upravljalo sa zemlje uz uvjet da je unutar vidokruga udaljenog pilota, a ukoliko bi letio na većim visinama tada bi se upravljalo njime iz drugog zrakoplova. Njegova mana bila je ta što su se fotografije mogle pogledati tek kada se bespilotni zrakoplov vrati u bazu. Prednost je ta što ga je teže uočiti na radaru, a samim time i oboriti [5]. Na slici 6. prikazan je bespilotni zrakoplov Ryan Firebee.



Slika 6. Bespilotni zrakoplov Ryan Firebee

Izvor: [11]

Tvrtka Northrop proizvela je bespilotni zrakoplov Chukar koji je također bio na turbomlazni pogon, ali je bio znatno manji i brži nego Ryan Firebee. Verzija koja je proizvedena 1970. godine bila je opremljena naprednim autopilotom što je omogućilo obavljanje operacija izvan vidokruga udaljenog pilota [4]. Na slici 7. prikazan je bespilotni zrakoplov Chukar.





Slika 7. Bepilotni zrakoplov Chukar

Izvor: [12]

Prvi bespilotni helikopter koji se operativno koristio bio je QH – 50 D.A.S.H. Koristio se za obranu, ali i napadanje neprijateljskih podmornica. U početku je mogao nositi jedan torpedo, ali daljnjim razvojem nosivost mu se povećala na dva torpeda te je također mogao nositi i nuklearne bojne glave. Njegova prednost je ta što je mogao poletjeti i sletjeti na manje vojne brodove [13]. Na slici 8. prikazan je QH – 50 D.A.S.H..



Slika 8. Bepilotni helikopter QH – 50 D.A.S.H.

Izvor: [13]

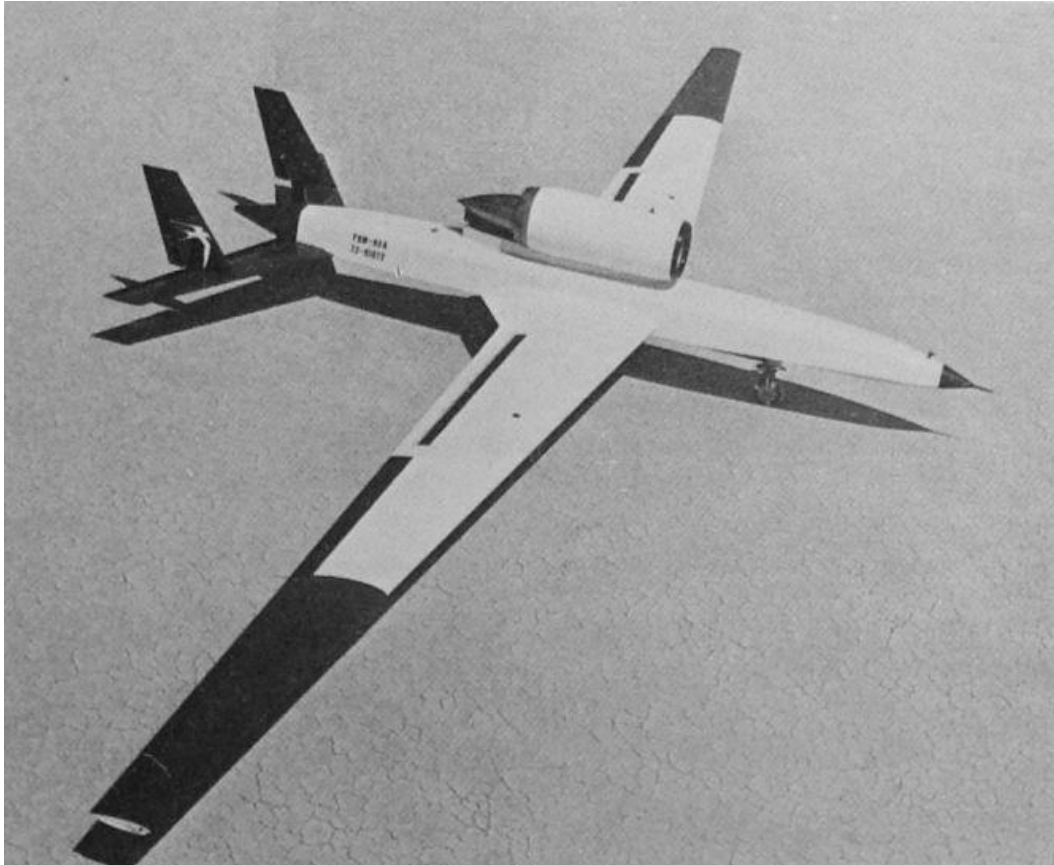
Kasnih 60.-ih godina 20.-tog stoljeća Američka vojska započinje projekt Compass Cope prilikom kojeg se nastoji razviti bespilotni zrakoplov koji može letjeti na velikim visinama te ima veliku istrajnost leta (engl. *High Altitude Long Endurance – HALE*). Cilj programa je razviti bespilotni zrakoplov koji bi zadovoljio nekoliko uvjeta. Bespilotni zrakoplov mora moći letjeti na visini od 16.770 metara, mora imati istrajnost od najmanje 20 sati, a pritom mora nositi teret mase od 680 kilograma. Također, mora moći letjeti danju i noću bez obzira na vremenske uvjete. Bespilotni zrakoplovi se tijekom 1970.-ih i 1980.-ih godina prvenstveno razvijaju za potrebe nadziranja neprijateljskog teritorija odnosno špijuniranja bilo da se radi o kraćim ili većim udaljenostima. Tvrtka LTV Electrosystems razvila je 1970. godine bespilotni zrakoplov XQM – 93 te 1972. godine Martin Marietta 845A. Bespilotni zrakoplov Martin Marietta 845A nije se nastavio razvijati iako je imao istrajnost 27 sati. Boeing je razvio bespilotni zrakoplov YQM – 94 Gull s kojim je 1971. godine pobijedio na natjecanju Compass Cope USAF (engl. *United States Air Force – USAF*) [4]. Bespilotnim zrakoplovom se upravljalo sa zemlje preko radio veze te je podatke o letu slao tijekom leta pilotu na zemlji. Prvi prototip imao je svoj prvi let u lipnju 1973. godine, a u kolovozu te iste godine uništen je u sudaru. Drugi prototip poletio je u studenom 1974. godine. Nakon što je USAF ugasio program, bespilotni zrakoplov je stavljen van upotrebe 1979. godine [14]. Na slici 9. prikazan je bespilotni zrakoplov YQM – 94 Gull.



Slika 9. Bespilotni zrakoplov YQM – 94 Gull

Izvor: [14]

Bespilotni zrakoplov Teledyne Ryan YQM – 98 (Cope-R) također je ostvario značajan uspjeh. Godine 1974. letio je neprekidno 28 sati i 11 minuta [15]. Na slici 10. prikazan je bespilotni zrakoplov Teledyne Ryan YQM – 98 (Cope-R).



Slika 10. Bespilotni zrakoplov Teledyne Ryan YQM – 98 (Cope-R)

Izvor: [16]

Bespilotni zrakoplov MBLE Epervier razvijen je u Belgiji 1969. godine. Nakon opsežne faze testiranja operativno se počinje koristiti 1976. godine [17]. Pogonio ga je turbo mlazni motor te se lansirao pomoću rampe koja se nalazila na kamionu, a padobran je koristio za spuštanje na zemlju. Navedenim bespilotnim zrakoplovom nije se upravljalo na daljinu već je cijeli plan leta bio unaprijed programiran. Bespilotni zrakoplov bio je opremljen dnevnom ili infracrvenom kamerom [5]. Zadnji let izveden je u rujnu 1999. godine. Zamijenio ga je napredniji Eagle B-Hunter. Na slici 11. prikazan je bespilotni zrakoplov MBLE Epervier.



Slika 11. Беспилотни зракоплов MBL Epervier

Izvor: [17]

Israel Aircraft Industries 1970.-ih godina razvija беспилотни зракоплов IAI Scout. Беспилотни зракоплов био је опремљен клипним мотором те је имао распон крила 4 метра. Крила и оквир били су израђени од стакло пластике што га је заједно са његовим малим димenzijama чинило готово неprimjetnim на radarу. Такођер, могао је преносити слику tijekom лета [5]. На слици 12. приказан је беспилотни зракоплов IAI Scout.



Slika 12. Беспилотни зракоплов IAI Scout

Izvor: [18]

Godine 1973. svoj prvi let obavio je беспилотни зракоплов имена Tadiran Mastiff. On se smatra prvim modernim беспилотним зракопловом. Masa mu је iznosila 72 kg

bez dodatnog tereta te je razvijao brzinu od 185 km/h. Mogao je letjeti 7 sati bez prekida te je tijekom cijelog leta imao mogućnost prijena slike [19].

Bespilotni zrakoplovi koji su vertikalno polijetali i slijetali koristili su se u operacijama na manjim udaljenostima. Na primjer, Westland Wisp bio je značajan po tome što je operator mogao vidjeti snimke tijekom leta.

#### **2.1.4 Razvoj bespilotnih zrakoplova krajem 20.-tog stoljeća**

Tijekom 1980.-ih razvijen je bespilotni zrakoplov Canadair CL – 89 koji se koristio za nadziranje neprijateljskog teritorija. Letio je prema unaprijed unesenom planu leta te mu je radijus djelovanja iznosio 70 km. Mana mu je ta što nije bilo moguće vidjeti snimke tijekom leta [5].

Američka vojska je 1985. godine razvila bespilotni zrakoplov Pioneer RQ – 2A. Njegova uloga bila je nadzor neprijateljskog teritorija, prikupljanje informacija o nastaloj šteti te označavanje ciljeva. Bespilotnim zrakoplovom može se upravljati na udaljenosti do 185 km. Prilikom slijetanja na brod za njegovo zaustavljanje koristila se mreža, a na kopnu se zaustavljao pomoću repne kuke i sajle. Zbog svojih malih dimenzija i kompozitnih materijala od kojih je izrađen bilo ga je teško uočiti na radaru. Operativno se koristio 1991. godine u Zaljevskom ratu [20]. Na slici 13. prikazan je bespilotni zrakoplov Pioneer RQ – 2A.



Slika 13. Bespilotni zrakoplov Pioneer RQ – 2A

Izvor: [20]

General Atomics GNAT bio je bespilotni zrakoplov koji se počeo razvijati 80.-ih godina 20.-tog stoljeća za potrebe izviđačkih misija. Prvobitno je zamišljen kao pojednostavljena verzija bespilotnog zrakoplova LSI Amber koji je bio namijenjen inozemnoj prodaji. Bespilotni zrakoplov GNAT 750 bio je veći u odnosu na LSI Amber, ali je bio manje težine te je mogao nositi veći dodatni teret. Pogonio ga je motor Rotax 582 koji je razvijao 48 kW (65 KS). Maksimalna brzina koju je bespilotni zrakoplov mogao postići iznosila je 193 km/h (120 mph). Mogao je preletjeti 2.000 kilometara do područja koje bi nadzirao te se mogao na tom području zadržati 12 sati prije povratka na početnu poziciju. Prvi let izveo je 1989. godine, a 2014. godine stavljen je van upotrebe [21]. Na slici 14. prikazan je bespilotni zrakoplov GNAT 750.



Slika 14. Bespilotni zrakoplov GNAT 750

Izvor: [21]

### **2.1.5 Razvoj bespilotnih zrakoplova početkom 21.-og stoljeća**

Bespilotni zrakoplov Watchkeeper prvi let izveo je u travnju 2008. godine. Koristio se u raznim vojnim misijama poput izviđanja te nadzora neprijateljskog teritorija. Bespilotni zrakoplov mogao se koristiti u svim vremenskim uvjetima, imao je mogućnost automatskog polijetanja i slijetanja te samo odleđivanja. Također, mogao je nositi 150 kg dodatnog tereta (dnevno/noćni senzori, radar, kamera, itd.). Koristio je

rotacijski Wankel-ov motor na vodeno hlađenje. U ožujku 2014. godine bespilotni zrakoplov prvi se put operativno koristi u Afganistanu [22]. Na slici 15. prikazan je bespilotni zrakoplov Watchkeeper.



Slika 15. Bespilotni zrakoplov Watchkeeper

Izvor: [22]

General Atomic Aeronautical vodeća je kompanija u svijetu koja se bavi proizvodnjom bespilotnih zrakoplova koji se koriste u vojne i sigurnosne svrhe. Bespilotni zrakoplovi koje proizvodi navedena kompanija su:

- MQ – 9B SkyGuardian,
- MQ – 9B SeaGuardian,
- MQ – 9B STOL,
- MQ – 9A „Reaper“,
- Avenger,
- Gray Eagle ER,
- Mojave,
- Sparrowhawk.

Bespilotni zrakoplov MQ – 9A Reaper prvi put poletio je 2001. godine. To je turbo – prop bespilotni zrakoplov koji postiže maksimalnu brzinu leta od 445 km/h te

ima istrajnost od 27 sati. Koristi Honeywell TPE331-10 turbo – prop motor s ugrađenom elektronikom koja poboljšava performanse motora te smanjuje potrošnju goriva (engl. *Digital Electronic Engine Control – DEEC*). Ugradnjom dodatnih spremnika za gorivo istrajnost se povećava na 34 sata. Maksimalna visina na kojoj može letjeti iznosi 15 km te može nositi 1.746 kg dodatnog tereta. Od dodatne opreme može nositi razne senzore, radare te oružje. Čime će navedeni bespilotni zrakoplov biti opremljen ovisi o vrsti misije za koju se koristi. Bespilotni zrakoplov je konstruiran na način da zadovolji standarde koji se odnose na zrakoplove s posadom što se tiče pouzdanosti. Navedeni bespilotni zrakoplov koriste Sjedinjene Američke Države, Velika Britanija, Italija, Francuska i Španjolska [23]. Na slici 16. prikazan je MQ – 9A Reaper.



Slika 16. Bespilotni zrakoplov MQ – 9A Reaper

Izvor: [23]

Bespilotni zrakoplov MQ – 9B SkyGuardian pripada novoj generaciji bespilotnih zrakoplova. Navedenim bespilotnim zrakoplovom upravlja se preko satelita te može letjeti više od 40 sati u svim vremenskim uvjetima. Opremljen je revolucionarnim Lynx Multi-Mode radarom, naprednim elektro-optičkim/infracrvenim (engl. *electro-optical/infrared – EO/IR*) sensorima te ima mogućnost autonomnog polijetanja i slijetanja. Što se tiče strukture bespilotnog zrakoplova ima 9 mjesta (8 mjesta na krilu i jedno mjesto na trupu) na koje se može montirati oprema koja je potrebna za obavljanje određene misije. Maksimalno može nositi 2.155 kg dodatnog



tereta. Navedeni bespilotni zrakoplov zadovoljava standarde Sjevernoatlantskog saveza (engl. *North Atlantic Treaty Organization* – NATO), ali i standarde za upotrebu u civilnom zračnom prostoru. Bespilotni zrakoplov opremljen je sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara (engl. *Detect and Avoid* – DAA). General Atomics surađivao je s zrakoplovnim vlastima Sjedinjenih Američkih Država (engl. *Federal Aviation Administration* – FAA) i Ujedinjenog Kraljevstva (engl. *UK Civil Aviation Authority* – CAA) kako bi učinio SkyGuardian prikladnim za let u civilnom zračnom prostoru. Namijenjen je za misije potrage i spašavanja u slučaju prirodnih katastrofa te u humanitarnim misijama. Što se tiče vojnih misija može se koristiti za kontroliranje granica, upozoravanje o neprijateljskoj aktivnosti (brodovi, podmornice ili zrakoplovi) te za takozvano elektronsko ratovanje [24]. Na slici 17. prikazan je MQ – 9B SkyGuardian.



Slika 17. Bespilotni zrakoplov MQ – 9B SkyGuardian

Izvor: [24]

Bespilotni zrakoplov MQ – 9B SeaGuardian može se sigurno integrirati u civilni zračni prostor. Navedeni bespilotni zrakoplov namijenjen je za obavljanje misija nadziranja mora i oceana. Posebnim ga čini to što je prvi bespilotni zrakoplov u klasi koji može pretraživati i patrolirati površinu, ali i ispod površine oceana [25].

Bespilotni zrakoplov Mojave pripada seriji Predator bespilotnih zrakoplova. Može polijetati i slijetati s kratkih uzletno – sletnih staza (USS). Ne mora nužno biti

asfaltirana USS već može polijetati i s travnatih površina. Za polijetanje mu je potrebno oko 370 metara, dok mu je za slijetanje potrebno oko 460 metara. Maksimalno može nositi 1.633 kg dodatnog tereta što je gotovo dvostruko više od prijašnjih modela. Bepilotni zrakoplov može nositi maksimalno 16 raketa tipa AGM – 114 Hellfire te raznu drugu opremu poput elektro-optičkih/infracrvenih senzora, radar sa sintetskim otvorom (engl. *Synthetic Aperture Radar – SAR*)/GMTI (engl. *Ground Moving Target Indicator – GMTI*) i SIGINT (engl. *Signal Intelligence*) [26]. Radar sa sintetskim otvorom je vrsta radara koji na vrlo velikim udaljenostima može otkriti vrlo male ciljeve. Navedeni radar se postavlja na letjelice koje se gibaju pravocrtno te stalnom brzinom [27]. Pod pojmom GMTI podrazumijeva se način rada radara u kojem se eliminiraju smetnje kako bi ciljevi bili uočljiviji. Signal Intelligence podrazumijeva dobivanje obavještajnih podataka od neprijatelja presretanjem komunikacije. Na slici 18. prikazan je bespilotni zrakoplov Mojave.



Slika 18. Bepilotni zrakoplov Mojave

Izvor: [26]

## 2.2 Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova

Prvu sliku iz zraka pomoću zmaja uslikao je engleski meteorolog E. D. Archibald 1882. godine. Švedski izumitelj Alfred Nobel je 1897. godine uslikao sliku iz zraka pomoću rakete [28]. Zmaj i raketa koji su korišteni za snimanje fotografija ne

odgovaraju u potpunosti definiciji bespilotnog zrakoplova, ali navedeni događaji pokazuju da je i tada već postojao interes za postavljanjem kamera na određenu platformu koja bi se mogla koristiti za prikupljanje podataka odnosno fotografiranje iz zraka.

Tijekom 20. stoljeća bespilotni zrakoplovi značajno su se razvili upotrebom u vojne svrhe. Navedeno je rezultiralo sve većim interesom javnosti za upotrebom bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe. Zrakoplovne vlasti protivile su se zajedničkoj upotrebi zračnog prostora od strane bespilotnih zrakoplova i zrakoplova s posadom iz razloga što bespilotni zrakoplovi nisu bili opremljeni sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara (engl. *sense – and – avoid*). To je jedan od glavnih razloga zbog kojeg se bespilotni zrakoplovi u prošlosti nisu značajnije upotrebljavali u civilne svrhe.

### **2.2.1 Počeci razvoja civilnih bespilotnih zrakoplova**

Prvi koji su počeli eksperimentirati s bespilotnim zrakoplovima u civilne svrhe bili su Przybilla i Wester-Ebbinghaus 1979. godine. U prvom eksperimentu koristili su bespilotni zrakoplov s fiksnim krilima duljine 3 m. Godinu dana kasnije konstruirali su helikopter koji su koristili u fotogrametrijske svrhe. Postojale su i konstrukcije bespilotnih zrakoplova u obliku cepelina i balona, ali se nisu pokazale dovoljno dobrim te se prestalo s njihovim razvojem. U svrhe fotogrametrije najboljim su se pokazale konstrukcije oblika aviona i helikoptera [3].

Yamaha je 1985. godine počela razvijati bespilotnu letjelicu koja se koristila u poljoprivredne svrhe. Bespilotna letjelica R-50 Aero Robot imala je glavni i repni rotor po uzoru na helikopter. U lipnju 1986. godine izrađen je prvi prototip. Godinu dana kasnije izrađen je prvi model i izveden je demonstrativni let. Bespilotna letjelica imala je mogućnost nositi 15 kg dodatnog tereta. Prvenstveno se koristila za tretiranje voćnjaka i polja riže s pesticidima. Također, koristila se za zaštitu golf terena od insekata [29]. Yamaha je bila prva koja je uspjela razviti bespilotni zrakoplov koji je dobio odobrenje zrakoplovne vlasti za upotrebu u poljoprivredne svrhe. Na slici 19. prikazana je bespilotna letjelica Yamaha R-50 Aero Robot.



Slika 19. Беспилотна летјелца Yamaha R-50 Aero Robot

Izvor: [29]

### 2.2.2 Razvoj civilnih беспилотних зракоплова крајем 20.-ог стољећа

Године 1994. развијен је беспилотни зракоплов имена Pathfinder. Наведени беспилотни зракоплов био је врло логан те је био на соларну енергију. Циљ AeroVironment компаније био је развићи беспилотни зракоплов који би могао летјети непрекидно неколико тједана или мјесеци те би се користио за прикупљање разних података. Године 1998. компанија је развила већи беспилотни зракоплов који се звао Pathfinder-Plus. Наведени беспилотни зракоплов имао је већи распон крила (36,8 м) у односу на претходника (30 м). Исте те године беспилотни зракоплов летјо је на рекордних 24,4 км (80.201 ft). Беспилотни зракоплов Pathfinder-Plus има 8 мотора (два више у односу на Pathfinder). Насљедник Pathfinder-а је беспилотни зракоплов имена Centurion/Helios [30]. На слици 20. приказан је Pathfinder-Plus.



Slika 20. Беспилотни зракоплов Pathfinder-Plus

Izvor: [30]

Bespilotna letjelica Rmax proizvedena je 1997. godine. Rmax je naprednija verzija bespilotne letjelice R-50 Aero Robot. Navedena bespilotna letjelica mogla je letjeti jedan sat bez prekida te je mogla nositi 28 – 31 kilogram dodatnog tereta. Ukupna masa prilikom polijetanja iznosila je 94 kilograma te je koristila YACS (engl. *Yamaha Attitude Control System* – YACS). Navedeni sustav koristio je podatke od tri žiroskopska senzora i mjerača ubrzanja. Yamaha je htjela omogućiti široj masi mogućnost upotrebe bespilotnih letjelica te je iz tog razloga uložila značajna sredstva u razvoj tehnologije za daljinsko upravljanje. Bespilotna letjelica Rmax 2015. godine dobila je odobrenje za rad u Sjedinjenim Američkim Državama od Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration* – FAA) [31]. Na slici 21. prikazana je bespilotna letjelica Rmax.



Slika 21. Bespilotna letjelica Rmax

Izvor: [31]

### **2.2.3 Razvoj civilnih bespilotnih zrakoplova početkom 21.-og stoljeća**

Kompanija CATUAV započela je s radom 2000. godine te je od tada proizvela više od 35 različitih modela bespilotnih zrakoplova. Njihovi bespilotni zrakoplovi pogonjeni su motorima s unutarnjim izgaranjem ili električnim motorima. Također, sudjelovali su u razvoju bespilotnog zrakoplova na solarni pogon [32]. Kompanija je 2000. godine proizvela bespilotni zrakoplov imena Atmos 1, to je ujedno i njihov prvi bespilotni zrakoplov. Navedeni bespilotni zrakoplov mogao je letjeti 18 minuta te je

njegova brzina krstarenja iznosila 35 km/h. Također, mogao je nositi 50 g korisnog tereta. Kompanija je tijekom godina mijenjala oblik repa, bateriju, tip motora s ciljem kako bi povećala domet, mogućnost nošenja više dodatnog tereta i brzinu krstarenja. Godine 2020. proizveden je bespilotni zrakoplov imena Atmos 8 [33]. Na slici 22. prikazan je bespilotni zrakoplov Atmos 1.



Slika 22. Bespilotni zrakoplov Atmos 1

Izvor: [33]

Yamaha je 2003. godine proizvela bespilotnu letjelicu imena Rmax-Type 2G. To je ujedno i zadnji model iz serije bespilotnih letjelica Rmax. Slovo G u nazivu bespilotne letjelice predstavlja Globalni položajni sustav (engl. *Global Positioning System* – GPS). Bespilotna letjelica imala je mogućnost autonomnog leta. Plan leta unosio se pomoću osobnog računala. U slučajevima kada se bespilotna letjelica udalji iz vidokruga pilota bespilotne letjelice, pilot ima mogućnost upaliti CCD (engl. *Charge – Coupled Device* – CCD) kameru te na svom računalu pratiti let bespilotne letjelice [34]. Također, bespilotna letjelica bila je opremljena sustavom za upozoravanje pilota ukoliko leti brže od 20 km/h prilikom prskanja. Protok tekućine kroz mlaznice ovisio je o brzini bespilotne letjelice. Na obje strane imala je spremnike zapremnine 8 litara. Ukupna širina raspršivanja kemikalija ukoliko se koriste mlaznice na obje strane bespilotne letjelice iznosila je 7,5 metara [31].

Kompanija Qinetiq razvila je bespilotni zrakoplov imena Zephyr. Navedeni bespilotni zrakoplov težio je 31 kg te mu je raspon krila iznosio 18 m. Bespilotni zrakoplov je na solarni pogon te je konstruiran na način da može letjeti na visini od 18 km (58.000 ft). Tijekom dana baterije bespilotnog zrakoplova punile su se preko solarnih panela, a noću je bespilotni zrakoplov koristio energiju pohranjenu u baterijama. Godine 2008. bespilotni zrakoplov postavio je rekord u istrajnosti leta (letio je 82 sata i 37 minuta). Navedeni bespilotni zrakoplov može se koristiti u civilne i u vojne svrhe. U civilne svrhe koristi se za promatranje zemljine površine [35]. Na slici 23. prikazano je polijetanje bespilotnog zrakoplova. Za polijetanje bespilotnog zrakoplova nije potrebna uzletno-sletna staza već se on lansira iz ruke.



Slika 23. Bespilotni zrakoplov Zephyr

Izvor: [35]

Kompanija Ascending Technologies razvila je bespilotni zrakoplov Asctec Falcon 8. Navedeni bespilotni zrakoplov počeo se proizvoditi 2009. godine te se koristi i dan danas u profesionalne svrhe. Bespilotni zrakoplov koristi se prilikom provođenja raznih istraživanja te za mapiranje. Zahvaljujući naprednim senzorima i sustavima za prigušivanje vibracija predstavlja odličan alat prilikom provođenja inspekcija. Bespilotni zrakoplov ima osam motora koji su postavljeni u V oblik [36]. Na slici 24. prikazan je bespilotni zrakoplov Asctec Falcon 8.



Slika 24. Беспилотни зракoплов Asctec Falcon 8

Izvor: [36]

#### 2.2.4 Razvoj civilnih беспилотних зракoплова 10.-тих година 21.-ог столјећа

Беспилотни зракoплов SmartBird развила је компанија Festo 2011. године. Наведени беспилотни зракoплов лети маханјем и увијањем крила. На тај начин остварује се пропулзија и узгон који је потребан беспилотном зракoплову за лет. Произведен је од карбонских и стаклених влакана те полиуретанске пјене. Захваљујући материјалима од којих је израђен беспилотни зракoплов тежи око 450 г. Беспилотни зракoплов дугачак је 1,07 м, а распон крила износи 1,96 м. SmartBird потпуно је аутономан беспилотни зракoплов [37]. На слици 25. приказан је беспилотни зракoплов SmartBird.



Slika 25. Беспилотни зракoплов SmartBird

Izvor: [37]



Kompanija SwissDrones osnovana je 2013. godine te je proizvela bespilotni zrakoplov imena SDO 50. Ukupna masa bespilotnog zrakoplova prilikom polijetanja iznosi 87 kg te može nositi više od 20 kg dodatnog tereta. Od dodatnog tereta može biti opremljen raznim senzorima za potragu na moru, detekciju radioaktivnog zračenja ili za detektiranje šumskih požara. Navedeni bespilotni zrakoplov koristi mlazni motor koji razvija 11 kW. Bespilotni zrakoplov može letjeti 3,1 sat bez prekida te maksimalna brzina koju može postići iznosi 72 km/h. Prilikom polijetanja može podnijeti čeonu vjetar do 39 km/h te udare vjetra do 56 km/h. Također, operativan je pri temperaturama od -10 stupnjeva do 45 stupnjeva. Bespilotni zrakoplov potpuno je autonoman te je opremljen ADS-B (engl. *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast* – ADS-B)/Mode S transponderom. Zahvaljujući raznim senzorima, kamerama te otpornosti na vremenske uvjete može se koristiti za izvršavanje raznih zadataka poput inspekcija kritične infrastrukture (dalekovoda), potrage i spašavanja te za mapiranje [38]. Na slici 26. prikazan je bespilotni zrakoplov SDO 50.



Slika 26. Bespilotni zrakoplov SDO 50

Izvor: [38]

DJI je 2013. godine proizveo bespilotni zrakoplov imena Phantom 1. Navedeni bespilotni zrakoplov bio je namijenjen široj masi za fotografiranje iz zraka. Prilikom polijetanja težio je nešto manje od 1,2 kg te je bio operativan na temperaturama između -10 stupnjeva do 50 stupnjeva. Bespilotni zrakoplov ima četiri rotora te je opremljen

autopilot sustavom. Phantom 1 je prvi bespilotni zrakoplov koji je omogućio široj masi upotrebu bespilotnih zrakoplova za vlastite potrebe odnosno rekreativne svrhe [39]. Nekoliko mjeseci kasnije DJI je predstavio Phantom 2 Vision. Navedeni bespilotni zrakoplov mogao se povezati na mobilni uređaj te je preko njega bilo moguće pratiti let uživo [40]. Na slici 27. prikazan je bespilotni zrakoplov Phantom 1.



Slika 27. Bespilotni zrakoplov Phantom 1

Izvor: [41]

Yamaha je razvila novu seriju Fazer bespilotnih letjelica koja je naslijedila seriju Rmax. Prvi model bespilotne letjelice iz navedene serije proizveden je 2013. godine. Za razliku od Rmax serije koju je pogonio dvotaktni motor s dva cilindra, seriju Fazer pogoni četverotaktni motor koji ispušta manje emisije ispušnih plinova te je puno tiši u odnosu na prethodnu seriju. Yamaha 2016. godine izbacuje na tržište novi model bespilotne letjelice Fazer R. Od prethodnika se razlikuje po većoj snazi te po novom obliku repnog rotora. Zahvaljujući navedenim preinakama povećana je zapremnina spremnika za kemikalije na 32 litre što je rezultiralo da se tijekom jednog leta može pokriti 4 hektara zemlje [42]. Na slici 28. prikazana je bespilotna letjelica Yamaha Fazer R.



Slika 28. Беспилотна летjelica Yamaha Fazer R

Izvor: [42]

Kompanija CATUAV 2014. godine razvila je беспилотни zrakoplov koji se koristio u protupožarne svrhe. Navedeni беспилотни zrakoplov koristio se za nadzor šumskih požara. Također, imao je termalnu kameru koja mu je omogućavala obavljanje zadataka noću. Kompanija je razvila i rampu pomoću koje se беспилотни zrakoplov lansirao. Zahvaljujući rampi sam беспилотни zrakoplov mogao se koristiti bilo gdje budući da nije ovisio o duljini uzletno-sletne staze te o terenu. Također, bio je opremljen padobranom koji bi se aktivirao prilikom slijetanja ili u hitnim slučajevima [43]. Na slici 29. prikazan je Firefighting drone i lansirna rampa.



Slika 29. Firefighting drone

Izvor: [43]

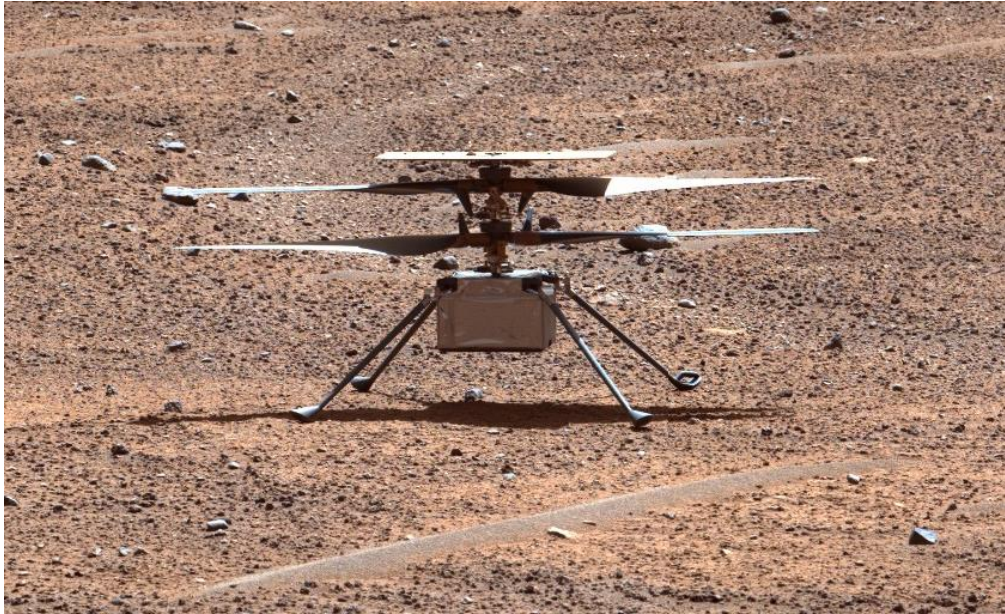
Yamaha je 2016. godine najavila bespilotnu letjelicu Yamaha Fazer R G2. Navedena letjelica bila je sposobna izvesti autonoman let. Namijenjena je za razna mjerenja, prikupljanje video snimaka iz opasnih područja, fotografiranje, itd [42]. Yamaha Fazer R G2 ima rezervoar u koji stane 12 litara goriva što mu omogućuje da leti 100 minuta ili 90 km (Rmax imao je dolet svega 3 km) [31]. Za razliku od prethodnika Rmax G1 koji je mogao nositi 10 kg dodatnog tereta, Fazer R G2 može nositi 35 kg dodatnog tereta. Također, povećana je i maksimalna visina leta na 2.800 metara (Rmax G1 maksimalna visina 1.000 metara) [42]. Na slici 30. prikazana je Yamaha Fazer R G2.



Slika 30. Bespilotna letjelica Yamaha Fazer R G2

Izvor: [42]

Kompanija AeroVironment razvila je bespilotnu letjelicu imena Ingenuity. Navedena letjelica trenutno se testira na Marsu. Bespilotna letjelica u misiji je od veljače 2021. godine te je do sada uspješno izvela 72 leta. Domet bespilotne letjelice iznosi 625 m te može postići visinu od 10 m. Bespilotna letjelica potpuno je autonomna te se pomoću solarnih panela pune baterije koje osiguravaju energiju za let u trajanju od 170 sekundi [44]. Na slici 31. prikazana je bespilotna letjelica Ingenuity.



Slika 31. Беспилотна летјелца Ingenuity

Izvor: [45]

### 3 Pregled regulative o sustavima bespilotnih zrakoplova

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Union Aviation Safety Agency – EASA*) izdala je 2022. godine Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems. Navedeni dokument objedinjuje regulativu Europske Unije, Prihvatljiva sredstva usklađenosti (engl. *Acceptable means of compliance – AMC*) te Vodiče (engl. *Guidance Material – GM*). U Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems nalaze se slijedeće Uredbe: 2019/947, 2020/639, 2020/746, 2021/1166, 2022/425, 2019/945 i 2020/1058.

Europska komisija je 12. ožujka 2019. godine izdala delegiranu Uredbu 2019/945 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja. Uredbom se utvrđuju zahtjevi za projektiranje i proizvodnju sustava bespilotnih zrakoplova te projektiranje i proizvodnju dodataka za daljinsku identifikaciju. Također, utvrđuje se i za koje bi vrste bespilotnih zrakoplova projektiranje, proizvodnja i održavanje trebali podlijegati certifikaciji. Ovom Uredbom utvrđuju se pravila za stavljanje bespilotnih zrakoplova (namijenjenih za rad u otvorenoj kategoriji) i dodataka za daljinsku identifikaciju na raspolaganje na tržište. Također, utvrđuju se pravila za operatore iz trećih zemalja kada na jedinstvenom europskom nebu obavljaju operacije [46]. Delegirana Uredba komisije (EU) 2020/1058 od 27. travnja 2020. godine donosi određene izmjene poput uvođenja dviju novih klasa sustava bespilotnih zrakoplova.

Europska komisija je 24. svibnja 2019. godine izdala Uredbu 2019/947 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova. Navedenom Uredbom utvrđuju se detaljne odredbe za rad sustava bespilotnih zrakoplova, osoblje uključujući udaljene pilote i organizacije uključene u rad tih sustava [47]. Europska komisija 12. svibnja 2020. godine izdaje Uredbu 2020/639. Navedena Uredba donosi izmjene u pogledu standardnih scenarija za operacije pri kojima se održava ili ne održava vizualni kontakt s zrakoplovom. U Uredbi 2020/746 donesene su izmjene u pogledu odgode datuma primjene određenih mjera u kontekstu pandemije COVID-a 19 (engl. *Corona Virus Disease*). Uredba je donesena 4. lipnja 2020. godine. Provedbena Uredba 2021/1166 također donosi izmjene u odnosu na Uredbu 2019/947, a u pogledu odgode datuma početka primjene standardnih scenarija za operacije pri kojima se održava ili ne održava vizualni kontakt s zrakoplovom. Provedbena Uredba 2022/425 od 14. ožujka

2022. godine donosi izmjene u pogledu odgode prijelaznih datuma za upotrebu određenih sustava bespilotnih zrakoplova u otvorenoj kategoriji te datuma početka primjene standardnih scenarija za operacije pri kojima se održava ili ne održava vizualni kontakt s zrakoplovom.

### **3.1 Klase bespilotnih zrakoplova**

Prema Uredbi 2020/1058 postoji šest klasa bespilotnih zrakoplova. Ovisno o bespilotnom zrakoplovu odnosno njegovim karakteristikama svrstava se u određenu klasu. Na bespilotnom zrakoplovu koji je stavljen na tržište mora biti istaknuta klasa kojoj pripada. Identifikacijska oznaka klase mora biti vidljiva, čitljiva i neizbrisiva te mora biti velika najmanje 5 mm. Zabranjeno je stavljati oznake, znakove ili natpise koji bi lako mogli obmanuti treće osobe u pogledu značenja ili oblika identifikacijske oznake klase. Uz identifikacijsku oznaku klase, bespilotni zrakoplov mora imati oznaku sukladnosti (fra. *Conformite Europeenne* – CE), identifikacijski broj prijavljenog tijela (koje je provelo postupak ocjenjivanja sukladnosti) te oznaku razine zvučne snage [46].

#### **3.1.1 Bespilotni zrakoplovi klase C0**

Bespilotni zrakoplovi koji prilikom polijetanja imaju manju masu (uključujući korisni teret) od 250 g svrstavaju se u klasu C0. Brzina u horizontalnom letu ne smije biti veća od 19 m/s te je najveća moguća visina iznad točke polijetanja ograničena na 120 m. Također, rade isključivo na električnu energiju. Bespilotni zrakoplovi projektirani su i izrađeni tako da se eventualne ozljede ljudi tijekom rada svedu na najmanju moguću mjeru te se oštri rubovi izbjegavaju. Ukoliko su isti opremljeni propelerima konstruiraju se tako da se ograniče ozljede koje krilca propelera mogu nanijeti. Udaljeni pilot može upravljati bespilotnim zrakoplovom u svim predviđenim radnim uvjetima i u slučaju da jedan ili više sustava ne funkcionira. Ukoliko raspolaže načinom rada „slijedi me“ i on je uključen, bespilotni se zrakoplov od udaljenog pilota ne udaljava više od 50 m [48].

### **3.1.2 Беспилотни зракopлoви класе C1**

Bеспилотни зракopлoви који се сврставaju у класу C1 не смiju летјети брзином већом од 19 m/s те могу постићи висину од највише 120 m изнад узлетне тoчке или су опремљени сyстaвoм који висину изнад површине или узлетне тoчке oгpаничaвa нa 120 m. Нaјвeћa мoгућa мaсa при пoлијетaњу мoрa бити мaњa од 900 g (уклјучујући кoрисни тeрeт). У класи C1 беспилотни зракopлoви мoрaju имати јединствени сeријски брoј те мoрaju бити опремљени геoинфoрмaцијским сyстaвoм. Тaкoђeр, мoгуће их је изрaвнo дaлјински идентифицирaти те мoрaju бити опремљени сa свјeтлимa. Укoликo је беспилотни зракopлoв опремљен функцијoм кoјa му oгpаничaвa пpиступ oдpeђeним пoдручјимa или oптeрeћeњимa зрaчнoг пpостoрa тa функцијa не смije нeгaтивнo утјeцати нa сигурнoст лeтa, a нeјзинa интeрaкцијa сa сyстaвoм зa кoнтрoлу лeтa беспилoтнoг зракopлoвa мoрa се нeoмeтaнo oдвijaти. Удaлјeни пилoт мoрa бити oбaвijeштeн aкo тa функцијa спpјeчaвa беспилoтни зракopлoв дa уђе у тo пoдручје [48].

Рaдe исклјучивo нa eлeктричнy eнeргијy тe сe удaлјeни пилoт упoзoрaвa кaдa је батeријa беспилoтнoг зракopлoвa или нeјгoвe упpављaчкe кoнзoлe при крaју кaкo би имao дoвoљнo вpeмeнa пpизeмљити беспилoтни зракopлoв. Удaлјeни пилoт мoрa мoћи сигурнo упpављaти беспилoтним зракopлoвoм у свим пpедвидeним рaдним увјeтимa и у слyчaју дa јeдaн или вишe сyстaвa нe функциoнирa. Укoликo дoђе дo удaрцa у лјудскy глaву беспилoтним зракopлoвoм при тeрминaлнoј брзини, eнeргијa кoјa сe пpeнeсe нa лјудскy глaву нe смije бити вeћa од 80 J [48].

### **3.1.3 Беспилотни зракopлoви класе C2**

Мaксимaлнa мaсa при пoлијетaњу oвe кaтeгoрије беспилoтних зракopлoвa мoрa бити мaњa од 4 kg (уклјучујући кoрисни тeрeт) те смiju постићи висину од највише 120 m изнад узлетне тoчке или су опремљени сyстaвoм који висину изнад површине или узлетне тoчке oгpаничaвa нa 120 m. Беспилотни зракopлoв пoсјeдye јединствени сeријски брoј и опремљен је геoинфoрмaцијским сyстaвoм. Тaкoђeр, имaju мoгућнoст изрaвнoг дaлјинскoг идентифицирaњa. Укoликo је беспилотни зракopлoв опремљен функцијoм кoјa му oгpаничaвa пpиступ oдpeђeним пoдручјимa или oптeрeћeњимa зрaчнoг пpостoрa тa функцијa не смije нeгaтивнo утјeцати нa сигурнoст лeтa, a нeјзинa интeрaкцијa сa сyстaвoм зa кoнтрoлу лeтa беспилoтнoг зракopлoвa мoрa се нeoмeтaнo oдвijaти. У oвoј класи беспилoтни зракopлoви мoрaju бити опремљени сa свјeтлимa (тpeптeћe зeлeнo свјeтлo oзнaчaвa беспилoтни зракopлoв) [48].



Bespilotni zrakoplovi u ovoj klasi rade isključivo na električnu energiju. Udaljeni pilot mora biti obaviješten kada je baterija pri kraju kako bi mogao sigurno prizemljiti bespilotni zrakoplov. Kada nije riječ o bespilotnom zrakoplovu s fiksnim krilima, bespilotni zrakoplov mora biti opremljen nisko brzinskim načinom rada. Udaljeni pilot može ga uključiti i tako ograničiti najveću brzinu u odnosu na tlo na 3 m/s. Udaljeni pilot mora moći sigurno upravljati bespilotnim zrakoplovom u svim predviđenim radnim uvjetima i u slučaju da jedan ili više sustava ne funkcionira. Ukoliko je bespilotni zrakoplov povezan niti dok je napeta, duljina joj mora biti manja od 50 m [48].

#### **3.1.4 Bespilotni zrakoplovi klase C3**

Bespilotni zrakoplovi prilikom polijetanja moraju imati manju masu od 25 kg (uključujući korisni teret) te sve dimenzije moraju biti manje od 3 m. Svaki bespilotni zrakoplov mora imati jedinstveni serijski broj. Najveću visinu koju bespilotni zrakoplov može postići iznosi 120 m. Ukoliko je bespilotni zrakoplov povezan niti dok je napeta, duljina joj mora biti manja od 50 m. U ovoj klasi bespilotni zrakoplovi opremljeni su geoinformacijskim sustavom te ih je moguće izravno daljinski identificirati. Ukoliko je bespilotni zrakoplov opremljen funkcijom koja mu ograničava pristup određenim područjima ili opterećenjima zračnog prostora ta funkcija ne smije negativno utjecati na sigurnost leta, a njezina interakcija sa sustavom za kontrolu leta bespilotnog zrakoplova mora se neometano odvijati. Bespilotni zrakoplovi moraju biti opremljeni sa svjetlima [48].

Udaljeni pilot mora moći sigurno upravljati bespilotnim zrakoplovom u svim predviđenim uvjetima i u slučaju da jedan ili više sustava ne funkcionira. Bespilotni zrakoplovi rade na električnu energiju te kada se isprazni baterija na bespilotnom zrakoplovu ili upravljačkoj konzoli obavještava se udaljeni pilot kako bi mogao sigurno prizemljiti bespilotni zrakoplov [48].

#### **3.1.5 Bespilotni zrakoplovi klase C4**

Bespilotni zrakoplovi u ovoj klasi prilikom polijetanja ne smiju imati veću masu od 25 kg (uključujući korisni teret). Udaljeni pilot može sigurno upravljati i usmjeravati bespilotni zrakoplov u svim predviđenim radnim uvjetima i u slučaju da jedan ili više sustava ne funkcionira. U ovoj klasi bespilotni zrakoplovi ne podržavaju načine rada s

automatskim upravljanjem uz iznimku pomoći za stabilizaciju leta pod uvjetom da takva pomoć izravno ne utječe na putanju [48].

### **3.1.6 Беспилотни зракоплови класе C5**

Беспилотни зракоплови који припадају класи C5 морају задовољити захтјеве који се односе на беспилотне зракоплове у класи C3. Уз изnimku захтјева који се односи на висину лета беспилотног зракоплова те опремљености с геoinформацијским функцијама. Класи C5 може припадати беспилотни зракоплов класе C3 ако је опремљен комплетом прибора којим га се преиначује у класу C5 [48].

Беспилотни зракоплови који нису повезани с нити не смiju имати фиксна крила. Уколико nije повезан с нити мора бити опремљен ниско брзинским начином рада, а удаљени пилот мора га моћи укључити и тако ограничити брзину у односу на тло на највише 5 m/s. Удаљени пилот може стално мотрити квалитету везе за управљање и контролу те га се упозорава ако је вjеројатно да ће се веза изгубити или ако се веза прекине. Тјјеком лета удаљени пилот добија јасне и концизне информације о висини беспилотног зракоплова изнад површине или узлетне тачке [48].

### **3.1.7 Беспилотни зракоплов класе C6**

Беспилотни зракоплови који се сврставају у класу C6 морају задовољити захтјева који су прописани за беспилотне зракоплове у класи C3. Постоје одређене изnimke попут: висине лета, не морају бити искључиво на електричну енергију те опремљености геoinформацијским функцијама [48].

Највећа брзина коју може постићи беспилотни зракоплов у односу на тло у хоризонталном лету износи 50 m/s. Тјјеком цијелог лета удаљени пилот добија јасне и концизне информације о географском положају и брзини беспилотног зракоплова те његовој висини изнад површине или узлетне тачке. Путанју беспилотног зракоплова могуће је програмирати те се може спријечити да беспилотни зракоплов изађе из хоризонтално и вертикално програмiranог подручја зрачног простора. Удаљени пилот може стално мотрити квалитету везе за управљање и контролу те га се упозорава ако је вjеројатно да ће се веза изгубити или ако се веза прекине [48].

## 3.2 Kategorije operacija bespilotnih zrakoplova

U Uredbi 2019/947 navedene su i opisane kategorije u koje se svrstavaju bespilotni zrakoplovi ovisno o operaciji koju izvode. Bespilotni zrakoplovi ovisno o operaciji podijeljeni su u tri kategorije:

- otvorena kategorija,
- posebna kategorija,
- certificirana kategorija.

### 3.2.1 Otvorena kategorija

Za operacije bespilotnih zrakoplova u otvorenoj kategoriji nije potrebno prethodno ishoditi odobrenje niti operator mora davati izjavu o radu prije operacije. Bespilotni zrakoplov koji je namijenjen za operacije u otvorenoj kategoriji mora biti označen tipom te mora imati serijski broj [46]. Operacije bespilotnih zrakoplova pripadaju ovoj kategoriji samo ako su ispunjeni slijedeći uvjeti [47]:

- udaljeni pilot održava bespilotni zrakoplov na sigurnoj udaljenosti od ljudi te njime ne leti iznad mnoštva ljudi;
- najveća dopuštena masa bespilotnog zrakoplova pri polijetanju manja je od 25 kg;
- ako zrakoplov nije u načinu rada „slijedi me“ niti udaljenom pilotu pomaže promatrač bespilotnog zrakoplova;
- udaljeni pilot neprekidno održava vizualni kontakt s zrakoplovom kojim upravlja;
- dok leti, bespilotnim zrakoplovom ne prevozi se opasna roba niti se iz njega ispušta ikakav materijal;
- ako ne prelijeće umjetnu tvorevinu, bespilotni zrakoplov ne leti više od 120 metara iznad najbliže točke na tlu.

Ukoliko jedan od navedenih uvjeta nije zadovoljen operater bespilotnog zrakoplova mora ishoditi odobrenje budući da upada u posebnu kategoriju. Otvorena kategorija podijeljena je na tri potkategorije: A1, A2 i A3. Operacije se dijele u potkategorije na temelju radnih ograničenja, zahtijeva koji se odnose na udaljene pilote i tehničkih zahtijeva.

U potkategoriji A1 smiju se koristiti bespilotni zrakoplovi klase C0 i C1 te privatno izrađeni bespilotni zrakoplovi. Bespilotni zrakoplovi u načinu rada „slijedi me“ od udaljenog se pilota ne smiju udaljavati više od 50 m. Bespilotnim zrakoplovima klase C0 ili privatno izrađenim bespilotnim zrakoplovima smiju se prelijetati neuključene osobe, ali ne i mnoštvo ljudi. Dok se bespilotnim zrakoplovom klase C1 ne smiju prelijetati ni neuključene osobe ni mnoštvo ljudi. Udaljeni pilot na Internetu mora položiti ispit iz teorijskog znanja ukoliko želi upravljati bespilotnim zrakoplovom klase C1 [47].

U potkategoriji A2 letovi se izvode bespilotnim zrakoplovima klase C2. Bespilotni zrakoplovi moraju imati ažuriran i aktivan sustav izravne daljinske identifikacije i geoinformacijski sustav tijekom izvođenja operacije. Ne smiju se prelijetati neuključene osobe niti im se približavati na manje od 30 m horizontalno. Udaljeni pilot smije tu horizontalnu udaljenost smanjiti na minimalno 5 m od uključenih osoba ako se upravlja bespilotnim zrakoplovom s uključenim nisko brzinskim načinom rada. Udaljeni pilot mora imati potvrdu o osposobljenosti izdanu od strane nadležnog tijela [47].

Bespilotni zrakoplovi koji se mogu koristiti u potkategoriji A3 su bespilotni zrakoplovi klase C2, C3 i C4 te privatno izrađeni bespilotni zrakoplovi (maksimalno 25 kg prilikom polijetanja). Operacije bespilotnih zrakoplova moraju se izvoditi na sigurnoj horizontalnoj udaljenosti od najmanje 150 m od poslovnih, industrijskih, stambenih ili rekreacijskih područja. Odnosno izvode se gdje se može očekivati da se bespilotnim zrakoplovom ni u jednom trenutku neće ugroziti neuključene osobe. Udaljeni pilot mora na Internetu položiti ispit iz teorijskog znanja [47].

### **3.2.2 Posebna kategorija**

Za operacije bespilotnih zrakoplova u posebnoj kategoriji potrebno je ishoditi odobrenje za rad od nadležnog tijela. Također, bespilotni zrakoplovi namijenjeni za rad u posebnoj kategoriji na visini manjoj od 120 m moraju biti opremljeni sustavom daljinske identifikacije [48]. Ovoj kategoriji pripadaju bespilotni zrakoplovi koji ispunjavaju jedan od slijedećih uvjeta [49]:

- ukupna masa pri polijetanju veća je od 25 kg (uključujući korisni teret);
- leti na visini većoj od 120 m od uzletne točke;

- udaljeni pilot ne održava vizualni kontakt s bespilotnim zrakoplovom kojim upravlja.

Prije nego zatraži odobrenje za rad operator bespilotnog zrakoplova mora provesti procjenu rizika te pritom mora navesti mjere za ublažavanje rizika. Prilikom procjene rizika potrebno je opisati karakteristike operacija bespilotnog zrakoplova, predložiti odgovarajuće ciljeve za sigurnost rada, utvrditi rizike operacija na tlu i u zraku, utvrditi moguće mjere za ublažavanje rizika te utvrditi razinu robusnosti odabranih mjera za ublažavanje rizika. Ciljana razina sigurnosti predložena u procjeni treba odgovarati razini sigurnosti u zrakoplovstvu s posadom [47].

Prilikom utvrđivanja mogućih mjera za ublažavanje rizika potrebnih za postizanje predložene ciljane razine sigurnosti uzimaju se u obzir slijedeće mogućnosti odnosno čimbenici [47]:

- ograničenja kretanja ljudi na tlu;
- strateška radna ograničenja operacija bespilotnog zrakoplova;
- strateško ublažavanje rizika vodeći se općim pravilima letenja odnosno zajedničkom strukturom i uslugama zračnog prostora;
- osposobljenost i stručnost osoblja uključenog u sigurnost leta;
- sposobnost nošenja s mogućim nepovoljnim uvjetima rada;
- organizacijski čimbenici poput radnih postupaka i postupaka održavanja operatora bespilotnog zrakoplova i postupci održavanja prema korisničkom priručniku proizvođača;
- rizik od ljudske pogreške u primjeni radnih postupaka;
- kako je bespilotni zrakoplov projektiran i njegove radne značajke.

Nakon što se provede procjena rizika i utvrde mjere za ublažavanje rizika, operator može zatražiti odobrenje za rad od nadležnog tijela. Nadležno tijelo zaduženo je za ocjenjivanje procjene rizika i robusnosti mjera za ublažavanje rizika koje je operator bespilotnog zrakoplova predložio. Ukoliko nadležno tijelo ocijeni da operacija nije dovoljno sigurna potrebno je obavijestiti podnositelja zahtjeva te mu obrazložiti zašto nije izdano odobrenje za rad. Odobrenje za rad i izjava nisu potrebni za slijedeće [47]:

- operatore bespilotnih zrakoplova koji imaju certifikat operatora lakog bespilotnog zrakoplova (engl. *Light UAS operator Certificate* – LUC);

- operacije koje se provode u okviru zrakoplovno – modelarskih klubova i udruga.

Umjesto odobrenja, operator bespilotnog zrakoplova može nadležnom tijelu države članice operacije podnijeti izjavu o radu. Izjava o radu može se podnijeti ukoliko je riječ o bespilotnim zrakoplovima određenih dimenzija s kojima se održava vizualni kontakt ili ne održava te za letove na visini manjoj od 120 m od tla. Kada nadležno tijelo zaprimi izjavu i provjeri njenu ispravnost, izdati će potvrdu o primitku i potpunosti. Operator bespilotnog zrakoplova smije započeti s operacijom kada zaprimi potvrdu o primitku i potpunosti. Ukoliko se promijeni bilo koja informacija u izjavi, potrebno je o tome obavijestiti nadležno tijelo. Operatori koji imaju LUC certifikat ne moraju podnositi izjavu [47].

### **3.2.3 Certificirana kategorija**

Bespilotni zrakoplovi koji se koriste u ovoj kategoriji te njihovi operatori moraju se certificirati dok udaljeni piloti prema potrebi moraju ishoditi dozvolu. Projektiranje, proizvodnja i održavanje bespilotnih zrakoplova moraju se certificirati ako za bespilotni zrakoplov vrijedi bilo što od sljedećeg [48]:

- namijenjen je za prijevoz ljudi;
- bilo koja dimenzija mu je jednaka barem 3 m, a let predviđen iznad mnoštva ljudi;
- namijenjen je za prijevoz opasne robe i mora biti vrlo robustan kako bi se u slučaju nesreće smanjili rizici za treće osobe;
- koristi se u posebnoj kategoriji operacija (rizik rada ne može se prikladno smanjiti ako se bespilotni zrakoplov ne certificira).

Operacije bespilotnih zrakoplova svrstavaju se u certificiranu kategoriju u slučajevima kada nadležno tijelo na temelju procjene rizika smatra da se rizik ne može dovoljno ublažiti ako se bespilotni zrakoplov i operator ne certificiraju.

Države članice uspostavljaju i održavaju točne sustave registracije za bespilotne zrakoplove za čiju je konstrukciju obvezna certifikacija. Vlasnik je dužan registrirati bespilotne zrakoplove čija je konstrukcija podložna certifikaciji. Bespilotni zrakoplov ne može u isto vrijeme biti registriran u više država članica [47].

### 3.3 Operatori bespilotnih zrakoplova

Operatorom sustava bespilotnog zrakoplova smatra se svaka pravna ili fizička osoba koja upravlja ili namjerava upravljati jednim bespilotnim zrakoplovom ili s više njih. Ukoliko je operator bespilotnog zrakoplova fizička osoba sam se registrira u državi članici u kojoj ima boravište, a ako je pravna osoba to čini u državi članici u kojoj pretežito posluje. Operatori bespilotnih zrakoplova moraju se registrirati u slijedećim slučajevima [47]:

- kada unutar otvorene kategorije izvode operacije:
  - o bespilotnim zrakoplovima opremljenim senzorima koji mogu prikupljati osobne podatke;
  - o bespilotnim zrakoplovima dopuštene mase pri polijetanju od najmanje 250 g ili bespilotnim zrakoplovima koji u slučaju udarca na čovjeka mogu prenijeti kinetičku energiju veću od 80 J;
- kad god bespilotnim zrakoplovima, neovisno o njihovoj masi, izvode operacije unutar posebne kategorije.

Operator ne može biti istovremeno registriran u više država članica. Države članice operatorima i bespilotnim zrakoplovima za koje je registracija obvezna dodjeljuju jedinstveni digitalni registarski broj. Nakon što se registriraju, operatori moraju navesti svoj broj registracije na bespilotnom zrakoplovu.

#### 3.3.1 Operator bespilotnog zrakoplova u otvorenoj kategoriji

Operator bespilotnog zrakoplova u otvorenoj kategoriji odgovoran je za uspostavljanje radnih postupaka prilagođenih vrsti operacije i pripadajućem riziku. Također, mora osigurati da se u svim operacijama učinkovito koristi radiofrekvencijski spektar i da se pritom izbjegavaju štetne smetnje. Operator je odgovoran za imenovanje udaljenog pilota za svaku operaciju. Udaljeni piloti i drugo osoblje moraju biti upoznati s korisničkim priručnikom proizvođača bespilotnog zrakoplova. Operator prema potrebi ažurira informacije u geoinformacijskom sustavu u skladu s planiranim mjestom izvođenja operacija te osigurava da bespilotni zrakoplov nosi identifikacijsku oznaku klase. Ukoliko je riječ o operaciji bespilotnog zrakoplova u potkategoriji A2 ili A3, operator mora osigurati da su uključene osobe koje su prisutne u području operacija obaviještene o rizicima i da su izrijeком pristale prisustvovati [47].

### **3.3.2 Operator bespilotnog zrakoplova u posebnoj kategoriji**

Operator bespilotnog zrakoplova u posebnoj kategoriji dužan je uspostaviti postupke i utvrditi ograničenja prilagođena vrsti planirane operacije i pripadajućem riziku. Također, mora osigurati da se u svim operacijama učinkovito koristi radiofrekvencijski spektar i da se pritom izbjegavaju štetne smetnje. Operacije se moraju izvoditi u skladu s ograničenjima, uvjetima i mjerama za ublažavanje rizika utvrđenima u izjavi ili u odobrenju za rad. Bespilotni zrakoplov mora biti projektiran u najmanju ruku tako da se spriječi da zbog eventualnog kvara bespilotni zrakoplov napusti zračni prostor operacije ili prouzroči smrt. Također, sučelje čovjeka i stroja mora biti takvo da umanjuje rizik od greške pilota i ne uzrokuje umor. Operator je dužan održavati bespilotni zrakoplov u stanju potrebnom za sigurno odvijanje operacije [47].

Odgovornost operatora je da odredi udaljenog pilota za svaku neautonomnu operaciju, a za autonomne osigurati da su odgovornosti i zadaće u svim fazama operacije ispravno raspodijeljene. Udaljeni piloti moraju odslušati tečaj za udaljene pilote te tečajeve koji su neophodni za izvođenje određenih operacija. Također, članovi osoblja s dužnostima ključnim za operaciju bespilotnog zrakoplova moraju u okviru posla odslušati tečaj koji je pripremio operator te moraju biti upoznati s ažuriranim informacijama o zemljopisnim područjima koja su relevantna za planiranu operaciju [47].

### **3.3.3 Certifikat operatora lakog bespilotnog zrakoplova (LUC)**

Zahtjev za LUC može podnijeti pravna osoba. Zahtjev se podnosi nadležnom tijelu koje zatim odlučuje hoće li odobriti operatoru određene povlastice. Nadležno tijelo u LUC-u navodi pod kojim se uvjetima dodjeljuje povlastica operatoru bespilotnog zrakoplova. Operator koji ima LUC certifikat može izvoditi vlastite operacije, a da pritom nije dužan dati izjavu o radu niti podnijeti zahtjev za odobrenje za rad [47].

Operator koji ima LUC certifikat mora poštivati zahtjeve koji se odnose na operatore i udaljene pilote u posebnoj kategoriji. Također, mora postupati u skladu s predmetom LUC-a i pripadajućim povlasticama utvrđenima u uvjetima odobrenja. Ukoliko je riječ o operacijama obuhvaćenima povlasticama potrebno je najmanje tri godine čuvati evidenciju o procjeni operativnog rizika i popratnoj dokumentaciji,



poduzetim mjerama za ublažavanje rizika te kvalifikacijama i iskustvu osoblja uključenog u operacije [47].

Operator bespilotnog zrakoplova koji podnosi zahtjev za LUC uspostavlja, primjenjuje i održava sustav upravljanja sigurnošću prikladan veličini organizacije te prirodi i složenosti njezinih aktivnosti pritom imajući na umu svojstvene opasnosti i rizike. Dužnost operatora je da imenuje rukovoditelja koji je odgovoran za primjenjivanje standarda te da organizacija poštuje sustave upravljanja i postupke utvrđene u priručniku za LUC [47].

Certifikat LUC izdaje se na neodređeno vrijeme. Odnosno valjan je sve dok njegov nositelj poštuje relevantne zahtjeve Uredbe 2019/947 i države članice koja ga je izdala te sve dok se ne preda ili opozove. Može se prenijeti samo ako se mijenja vlasništvo nad organizacijom i ako to odobri nadležno tijelo [47].

### **3.4 Udaljeni pilot**

Pod pojmom udaljeni pilot podrazumijeva se fizička osoba odgovorna za sigurno upravljanje letom bespilotnog zrakoplova koja upravlja njegovim komandama leta, bilo ručno ili kada bespilotni zrakoplov leti na automatiziran način praćenjem njegova pravca letenja uz mogućnost intervencije i promjene pravca u svakom trenutku [46].

Udaljeni piloti koji upravljaju bespilotnim zrakoplovima u otvorenoj i posebnoj kategoriji ne smiju biti mlađi od 16 godina. Minimalna dob se ne propisuje ukoliko je bespilotni zrakoplov privatno izrađen i najveća dopuštena masa pri polijetanju je manja od 250 g te ako operacije izvode pod neposrednim nadzorom udaljenog pilota koji ima 16 ili više godina. Države članice mogu sniziti minimalnu dob za četiri godine (kada je riječ o udaljenim pilotima koji izvode operacije u otvorenoj kategoriji) ili za dvije godine (kada je riječ o udaljenim pilotima koji izvode operacije u posebnoj kategoriji). Ukoliko država članica snizi minimalnu dob za udaljene pilote to se odnosi samo na područje te države članice [47].

### **3.4.1 Udaljeni piloti bespilotnih zrakoplova u otvorenoj kategoriji**

Udaljeni pilot mora biti odgovarajuće osposobljen za svoje zadaće u potkategoriji planiranih operacija bespilotnim zrakoplovom. Dokaz o osposobljenosti udaljeni pilot mora imati kod sebe tijekom izvođenja leta s bespilotnim zrakoplovom. Potvrda o osposobljenosti udaljenog pilota traje 5 godina. Udaljenom pilotu u izvođenju leta može pomagati promatrač. Promatrač se nalazi do udaljenog pilota te on bez pomagala vizualno prati let. Komunikacija između njih mora biti jasna i djelotvorna [47].

Prije početka leta udaljeni pilot treba se informirati o okruženju odnosno mora provjeriti postoje li relevantne prirodne ili umjetne tvorevine. Također, treba provjeriti jesu li prisutne neuključene osobe. Udaljeni pilot dužan je osigurati da je stanje bespilotnog zrakoplova takvo da se let može sigurno dovršiti. Ukoliko bespilotni zrakoplov nosi dodatan koristan teret udaljeni pilot mora provjeriti da mu ukupna masa ne prelazi dopuštenu masu pri polijetanju [47].

Udaljeni pilot tijekom izvođenja leta ne smije biti pod utjecajem psihoaktivnih tvari niti alkohola. Također, ne smije upravljati bespilotnim zrakoplovom ukoliko nije u stanju zbog ozljeda, umora, uzetih lijekova, bolesti ili drugih razloga. Tijekom leta potrebno je održavati vizualni kontakt s bespilotnim zrakoplovom te promatrati zračni prostor oko njega. Let bespilotnog zrakoplova potrebno je prekinuti ukoliko postane rizičan za druge zrakoplove, ljude, životinje, okoliš ili imovinu [47].

### **3.4.2 Udaljeni piloti bespilotnih zrakoplova u posebnoj kategoriji**

Udaljeni piloti moraju poštivati zahtjeve u pogledu osposobljenosti koje je u odobrenju za rad utvrdilo nadležno tijelo. Ne smiju upravljati bespilotnim zrakoplovom ukoliko su pod utjecajem psihoaktivnih tvari ili alkohola. Također, ukoliko nisu u stanju zbog ozljeda, uzetih lijekova, umora, bolesti ili drugih razloga [47].

Prije početka leta potrebno je osigurati da je radno okruženje u skladu s odobrenim ili u izjavi navedenim ograničenjima i uvjetima. Udaljeni pilot mora osigurati da je stanje bespilotnog zrakoplova takvo da se let može sigurno dovršiti. Također, mora osigurati da su informacije o operaciji dostupne relevantnoj jedinici operativnih usluga u zračnom prometu, drugim korisnicima zračnog prostora i relevantnim dionicima [47].

Tijekom leta udaljeni pilot mora poštivati ograničenja i uvjete koji su navedeni u odobrenju ili izvavi. Također, ne smije ulaziti ni u kakav rizik koji bi mogao uzrokovati sudar s zrakoplovom sa posadom te prekida let ako postane rizičan za ljude, životinje, okoliš ili imovinu. Udaljeni pilot tijekom leta mora slijediti procedure operatora. Ukoliko ne dobije dopuštenje odgovornih službi za hitne intervencije ne leti blizu ni unutar područja u kojima je u tijeku hitna intervencija [47].

## 4 Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe

Bespilotni zrakoplovi iz godine u godinu bilježe porast primjene u civilne svrhe. Procijenjeno je da će tržište bespilotnih zrakoplova u Europi na godišnjoj razini generirati vrijednost od 10 milijardi eura do 2035. godine [50]. Bespilotni zrakoplovi koji se koriste u civilne svrhe najčešće su opremljeni raznim kamerama i senzorima koji omogućuju ljudima da prikupljaju različite podatke iz zraka na puno jeftiniji i pristupačniji način. Uspoređujući bespilotne zrakoplove i helikoptere, bespilotni zrakoplovi su daleko jeftiniji što se tiče nabave, održavanja te naknade za udaljenog pilota. Prikupljeni podaci koriste se u svrhe nadziranja, mapiranja, inspekcija te izrade 3D modela.

Već u samim začecima primjene bespilotnih zrakoplova uočen je njihov veliki potencijal i mogućnost uporabe upravo zbog njihovih dimenzija, mogućnost leta bez posade, male potrošnje goriva/baterije i manjih površina za polijetanje i slijetanje. Upravo zbog tih prednosti bespilotni zrakoplovi počeli su se primjenjivati u civilne svrhe. Na samom početku koristili su se za zabavu i snimanje fotografija iz zraka no daljnjim razvojem letjelice postaju sposobnije izvršavati puno složenije zadaće.

Veliku primjenu bespilotni zrakoplovi pronašli su u poljoprivredi, filmskoj industriji, marketingu i oglašavanju, potrazi i spašavanju, itd. Veliki broj energetskih kompanija koristi bespilotne zrakoplove prilikom inspekcija dalekovoda i elektrana te za provjeru štete nakon većih nevremena. Inače je bilo potrebno nekoliko sati za inspekciju vjetroelektrane, ali uz pomoć bespilotnih zrakoplova to je moguće obaviti u nekoliko minuta. Manji bespilotni zrakoplovi koriste se za inspekciju turbina. Izvođenje inspekcija upotrebom bespilotnih zrakoplova puno je sigurnija opcija budući da se zaposlenici ne izlažu rizicima poput pada s visine ili strujnog udara. Također, kompanije štede milijune dolara koje bi potrošile na angažiranje radnika, unajmljivanje helikoptera, itd. Bespilotni zrakoplovi pronalaze primjenu i u skladištima. Na primjer, Wal-Mart je proveo projekt u kojem je koristio bespilotne zrakoplove u skladištu. Zadatak bespilotnih zrakoplova je da skeniraju te da označe koje stvari nedostaju [51].

## 4.1 Primjena bespilotnih zrakoplova u poljoprivredne svrhe

Pretpostavlja se da će tržište bespilotnih zrakoplova koji se primjenjuju u poljoprivredi narasti s 1,2 milijarde dolara u 2019. godini na 4,8 milijardi dolara u 2024. godini. Bespilotni zrakoplovi imaju značajnu ulogu u takozvanoj preciznoj poljoprivredi. Cilj precizne poljoprivrede jest povećati prinos, a istodobno smanjiti troškove poput angažiranja dodatnih radnika i slično. Prema nekim izvješćima pretpostavlja se da prinos može rasti do 5% primjenom precizne poljoprivrede [52].

### 4.1.1 Prikupljanje podataka

Bespilotni zrakoplovi veliku su primjenu pronašli u poljoprivredi iz razloga što u kratkom roku mogu preletjeti velike zemljišne površine te skupiti podatke koje kasnije poljoprivrednici proučavaju. Mogu se koristiti za sljedeće [53]:

- brojanje biljaka,
- određivanje fenofaza,
- periodično praćenje rasta,
- procjena svježe mase,
- procjena indeksa listne površine,
- detekcija korova,
- procjena vodnog stanja biljke,
- izračunavanje i interpretacija vegetacijskih indeksa,
- procjena gubitka usjeva nakon vremenskih nepogoda, itd.

Sakupljeni podaci pomažu poljoprivrednicima da učinkovitije tretiraju biljke te sa većom točnošću utvrde termin žetve. Također, bespilotni zrakoplovi mogu brzo i učinkovito kartirati cijelu farmu ili proizvodno područje te mogu označiti točne lokacije na kojima su se pojavile štetočine, bolesti ili područje gdje nedostaje vlage. Kartiranje odnosno kreiranje digitalne slike proizvodne površine uobičajeno se vizualizira pomoću Geografskog Informacijskog Sustava (engl. *Geographic Information System* – GIS) [54].

Bespilotni zrakoplovi koji se namjeravaju koristiti u poljoprivredi, najčešće se nabavljaju s računalnim programima za analizu prikupljenih podataka i automatsko planiranje leta. Na slici 32. prikazan je plan leta bespilotnog zrakoplova koji se koristi u poljoprivredne svrhe.



Slika 32. Plan leta bespilotnog zrakoplova

Izvor: [54]

Standardnu opremu bespilotnog zrakoplova čine Globalni položajni sustav (engl. *Global Positioning System* – GPS) i digitalna kamera s multispektralnim sensorima. Dok skuplji modeli imaju infracrvene (toplinske) senzore, senzore hiperspektralnog (oku nevidljivog) zračenja, optički radar (engl. *Light Detecting and Ranging* – LIDAR), 3D radar (engl. *Synthetic Aperture Radars* – SAR), itd [54].

#### 4.1.2 Sadnja biljaka

Sađenje biljaka pomoću bespilotnih zrakoplova nov je način primjene bespilotnih zrakoplova u poljoprivredi. Navedeno nije još ušlo u značajniju primjenu, ali se očekuje kroz nekoliko godina. Britanski inženjeri konstruirali su bespilotni zrakoplov koji ima mogućnost sadnje biljaka. Navedeni bespilotni zrakoplov koristi se za pošumljavanje. Na slici 33. moguće je vidjeti proces sadnje biljaka pomoću bespilotnog zrakoplova.



Slika 33. Proces sadnje biljaka

Izvor: [55]

Bespilotni zrakoplov prvo leti iznad terena te prikuplja podatke o terenu. Zatim generira 3D mapu područja koje namjerava pošumljavati. Na temelju prikupljenih podataka određuje lokaciju na kojoj će posaditi biljku. Sjeme se nalazi u biorazgradivoj kapsuli zajedno s hranjivim tvarima. Bespilotni zrakoplov može nositi 150 kapsula sa sjemenom te može ispaliti svaku sekundu jednu kapsulu što dovodi do podatka da za 20 minuta može pošumiti jedan hektar. Radi usporedbe, čovjek može u jednom danu posaditi 1.500 biljaka dok par bespilotnih zrakoplova može posaditi 100.000 biljaka u istom periodu [56].

Prednosti ovakvog načina sađenja su milijarde novih drveća svake godine, učinkovitije je saditi na ovaj način nego na tradicionalan te je lakše pristupiti teško dostupnim područjima što rezultira manjom vjerojatnošću ozljede radnika.

#### 4.1.3 Tretiranje biljaka pesticidima

Tretiranje poljoprivrednih površina pesticidima pomoću bespilotnih zrakoplova poprilično je rašireno u jugoistočnoj Aziji. Razlog tome je što u Aziji prevladavaju polja riže te ih je najučinkovitije tretirati iz zraka. U Južnoj Koreji i Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) gotovo 30% poljoprivrednih površina tretirano je iz zraka [57].

Također, korištenje bespilotnih zrakoplova vrlo je učinkovito kod tretiranja vinograda koji se nalaze na velikoj kosini.

Yamaha je prva razvila bespilotni zrakoplov čija je namjena bila tretiranje poljoprivrednih površina iz zraka. Najpoznatiji modeli su Rmax i Fazer. Navedeni bespilotni zrakoplovi 2015. godine dobili su dozvolu za rad u SAD-u. U SAD-u nije moguće kupiti Yamah-in bespilotni zrakoplov već se on unajmljuje zajedno s udaljenim pilotima. Udaljeni piloti završili su tečajeve i imaju iskustva s upravljanjem navedenog bespilotnog zrakoplova. Na taj način sprječavaju se moguće ozljede poljoprivrednika, ali i ostalih osoba te je puno jednostavnije i praktičnije budući da bi u suprotnom poljoprivrednici morali završiti tečajeve i morali bi biti upoznati sa zakonom koji se odnosi na bespilotne zrakoplove.

DJI Agriculture osnovan je 2015 godine te je iste godine predstavljen i prvi bespilotni zrakoplov koji se koristi u poljoprivredne svrhe. Pomoću DJI bespilotnih zrakoplova u 2021. godini tretirano je 66,7 milijuna hektara poljoprivrednih zemljišta [58]. Bespilotni zrakoplov Agras MG-1 ima spremnik volumena 10 l te četiri mlaznice. Odnosno maksimalni korisni teret koji može nositi je 10 kg. Maksimalna masa prilikom polijetanja iznosi 24,8 kg, a brzina tijekom tretiranja ograničena je na 7 m/s, dok mu u slobodnom letu brzina iznosi 15 m/s [59]. Bespilotni zrakoplov Agras MG-1 2016. godine dobio je dozvolu za rad u SAD-u. Na slici 34. prikazan je Agras MG-1 koji tretira poljoprivrednu površinu.



Slika 34. Bespilotni zrakoplov Agras MG-1

Izvor: [57]



Daljnijim razvojem bespilotni zrakoplovi uz tretiranje pesticidima dobivaju i nove mogućnosti poput raspršivanja umjetnog gnojiva i sjemena. Trenutno DJI Agriculture u svojoj ponudi ima sljedeće bespilotne zrakoplove:

- Agras T10,
- Agras T20P,
- Agras T30,
- Agras T40.

Bespilotni zrakoplov Agras T10 ima spremnik u koji stane 8 litara te maksimalnom širinom prskanja od 5 metara može u sat vremena obraditi 15 hektara. Ima četiri mlaznice kroz koje može propustiti 2,4 litre u minuti. Osim tretiranja pesticidima bespilotni zrakoplov može se koristiti i za raspršivanje umjetnog gnojiva i sjemena. Potrebno je tri minute da se zamijene spremnici. U spremnik stane 8 kilograma te je širina raspršivanja 7 metara što rezultira pokrivenošću od 14 hektara u sat vremena [60].

Agras T20P vrlo je lagan i okretan bespilotni zrakoplov koji može letjeti s 20 kg tereta namijenjenog za tretiranje pesticidima ili do 25 kg tereta za raspršivanje poput umjetnog gnojiva. Opremljen je sa dvostrukim atomiziranim sustavom raspršivanja (engl. *Dual Atomized Spraying System*), softverom za mapiranje (engl. *DJI Terra*), radarom s aktivno faznom upravljanoj antenskom rešetkom (engl. *Active Phased Array Radar*) i binokularnim vidom (engl. *Binocular Vision*). Navedeni bespilotni zrakoplov može se koristiti u raznim operacijama poput mapiranja, prikupljanja podatka, tretiranja pesticidima i raspršivanja. Unutar sat vremena bespilotni zrakoplov može pošpricati 12 hektara poljoprivrednih zemljišta odnosno 2,6 hektara voćnjaka. Kroz mlaznice može propustiti 12 l u minuti. Ukoliko je riječ o raspršivanju tada unutar sat vremena može raspršiti tonu umjetnog gnojiva [61].

Agras T30 ima spremnik u koji stane 30 litara tekućine za tretiranje. Bespilotni zrakoplov moguće je prilagoditi ovisno o tome tretiraju li se poljoprivredne površine ili voćnjaci. Ima 16 mlaznica te može maksimalno propustiti 8 litara po minuti. Navedeni bespilotni zrakoplov može pošpricati 40 hektara u satu. Širina prskanja iznosi 9 metara. Spremnik za raspršivanje ima kapacitet od 40 litara te je širina raspršivanja 7 metara. Unutar sat vremena moguće je raspršiti tonu umjetnog gnojiva ili hrane za životinje [62].

Agras T40 je bespilotni zrakoplov koji može nositi 40 kg tereta za tretiranje pesticidima ili 50 kg odnosno 70 litara tereta za raspršivanje. Korisni teret se povećao zahvaljujući duplim rotorima. Osim za raspršivanje i za špricanje moguće ga je koristiti za mapiranje i prikupljanje podataka. Unutar sat vremena može pošpricati 21,3 hektara poljoprivrednih površina ili 4 hektara voćnjaka te može raspršiti tonu i pol umjetnog gnojiva [63].

Bespilotni zrakoplovi puno su prihvatljivija opcija za poljoprivrednike u odnosu na helikoptere i manje zrakoplove koji se koriste za tretiranje biljaka iz zraka. Za razliku od manjih zrakoplova i helikoptera koji vrše špricanje pri većim visinama i na većim brzinama bespilotni zrakoplovi vrše špricanje na manjim visinama (uobičajeno 1,5 m do 3,5 m) i manjim brzinama (3 – 7 m/s). Upotrebom posebno konstruiranih mlaznica i pomoću kontrole protoka sprječava se nepoželjno širenje pesticida. Što se tiče troškova održavanja i nabave helikopteri ili manji zrakoplovi daleko su skuplji i kompliciraniji za održavanje. Također, bespilotni zrakoplov je jednostavniji za održavanje, tiši te ekološki prihvatljiviji. U SAD-u je 2013. godine zabilježeno 78 zrakoplovnih nesreća povezanih s poljoprivredom od kojih je 9 bilo sa smrtonosnim ishodom [64]. U tablici 1. prikazana je usporedba bespilotnog zrakoplova imena DJI Agras T30 i najprodavanijeg helikoptera na svijetu Single Squirrel AS350.

Tablica 1. Usporedba Single Squirrel AS350 i DJI Agras T30

	Single Squirrel AS350	DJI Agras T30
Cijena	3,6 milijuna eura	Manje od 25.000 eura
Osoblje na zemlji	4	0
Piloti	2	1
Energija	Gorivo	Litij baterija
Korisni teret	500 – 600 kg	30 kg
Brzina	30 – 44 m/s	3 – 7 m/s
Visina špricanja	25 – 50 m	5 – 8 m
Precizno špricanje	Ne	Da

Izvor [64]

Neke od prednosti upotrebe bespilotnih zrakoplova prilikom špricanja biljaka su: nije potrebno zapošljavati dodatne radnike koji bi ručno špricali biljke, štiti se zdravlje radnika budući da se često koriste kemikalije koje su otrovne, moguće je tretirati veću površinu u kraćem vremenu, itd. Također, bespilotni zrakoplov koji je opremljen digitalnom kamerom s multispektralnim senzorima prikuplja podatke te na osnovu tih podataka određuju se biljke koje je potrebno špricati. Na taj način smanjuje se utjecaj pesticida na okoliš budući da se umjesto cijelog polja tretira manji broj biljaka. Od nedostataka potrebno je izdvojiti da bespilotni zrakoplovi ne mogu nositi veliku količinu kemikalija kojima se tretiraju biljke te su operacije ograničene trajanjem baterije [64]. Također, veliki problem stvara direktiva budući da je Europska unija 2009. godine zabranila špricanje iz zraka. Dopušteno je samo u iznimnim slučajevima kada je riječ o strmim terenima te kada je učinkovitije špricanje iz zraka nego sa zemlje. Europska unija je 2019. godine donijela amandman na direktivu, ali se njihov stav nije promijenio. Zabranjeno je špricanje iz zraka osim u iznimnim slučajevima [65].

## **4.2 Nadzor pomoću bespilotnih zrakoplova**

Bespilotni zrakoplovi zbog svojih malih dimenzija, mobilnosti te vrlo dobrih kamera predstavljaju idealno rješenje za nadzor granica, mora, privatnih posjeda, itd. Također, moguće ih je koristiti u slučaju prirodnih katastrofa ili požara širokih razmjera. Zbog leta na većim visinama ima širu sliku te se eliminiraju slijepe točke. Puno je sigurnije koristiti bespilotne zrakoplove jer se pilote ne izlaže riziku. Upotrebom bespilotnih zrakoplova značajno se štedi budući da bespilotni zrakoplovi čine samo 20% troškova upotrebe helikoptera za potrebe nadzora [66].

### **4.2.1 Nadzor granica**

Zaštita granica od velikog je interesa svakoj državi. Bespilotni zrakoplovi predstavljaju vrlo efikasno rješenje za nadzor te zaštitu granica od ilegalnih prelazaka ljudi ili krijumčarenja droge. Mogu se koristiti za patroliranje područja koja su teško dostupna jedinicama na zemlji te na taj način predstavljaju odličan alat u borbi protiv krijumčarenja. Današnji bespilotni zrakoplovi opremljeni su naprednim kamerama koje mogu uslikati slike visoke rezolucije te mogu prenositi sliku u stvarnom vremenu. Također, imaju i razne senzore pomoću kojih je moguće detektirati pokrete ljudi ili

vozila čak i u području guste vegetacije i tijekom noći. Sve navedeno omogućuje jedinicama na zemlji da reagiraju u što kraćem roku na sve moguće prijetnje.

Sjedinjene Američke Države i Izrael aktivno koriste bespilotne zrakoplove u nadzoru svojih granica. SAD koristi bespilotni zrakoplov imena Predator B za nadzor granice s Meksikom, dok Izrael koristi bespilotni zrakoplov Skylark I-LE za nadzor svojih granica. Navedeni bespilotni zrakoplov vrlo je lagan te ga je moguće lansirati iz ruke. Australija koristi bespilotne zrakoplove opremljene termalnim kamerama za nadzor granica na moru tijekom noći. Razlog tome je kako bi se detektirale manje brodice koje krijumčari koriste za ilegalni prelazak. Indija u svrhu zaštite svojih granica koristi bespilotni zrakoplov tipa Netra. Zamjenom helikoptera i zrakoplova s bespilotnim zrakoplovima značajno su smanjili troškove nadzora granica. Agencija za europsku graničnu i obalnu stražu (engl. *European Border and Coast Guard Agency – Frontex*) koristi bespilotne zrakoplove za nadzor granica na moru i na kopnu [67].

#### **4.2.2 Nadzor mora**

Kao primjer uporabe bespilotnih zrakoplova u svrhe nadzora mora može poslužiti i primjer Republike Hrvatske. Republika Hrvatska je 2018. godine sklopila ugovor s Izraelskom tvrtkom o kupnji šest bespilotnih zrakoplova. Ime bespilotnog zrakoplova je Orbiter 3B. Navedeni bespilotni zrakoplov može letjeti 6 sati, ima dolet od 150 km te može letjeti brzinama od 55 km/h do 130 km/h. Centri za nadzor nalaze se u Puli, Rijeci, Zadru i Splitu. U Republici Hrvatskoj bespilotni zrakoplovi imaju slijedeće zadaće [68]:

- praćenje ribolovne aktivnosti i otkrivanje nelegalne aktivnosti u unutarnjem moru, teritorijalnom moru i u zaštićenom ekološko ribolovnom pojasu;
- nadzor izlova tune;
- kontrolu prostorno vremenskog ograničenja ribolova;
- nadzor izlova male plave ribe noću;
- identifikaciju ribarskih plovila temeljem vanjskih oznaka;
- nadzor ulaska ribarskih plovila sa stranom zastavom u teritorijalno more.

Osim za nadzor plovnih puteva, bespilotni zrakoplovi se koriste za nadzor cestovnih puteva te tijekom kriznih situacija i nadzora državne granice. Na slici 35. prikazan je bespilotni zrakoplov Orbiter 3B.



Slika 35. Orbiter 3B

Izvor: [68]

### 4.2.3 Primjena bespilotnih zrakoplova u protupožarne svrhe

Bespilotni zrakoplovi pronašli su veliku primjenu u protupožarne svrhe. Njima se mogu nadzirati veća područja te je pomoću termalne kamere moguće otkriti požar u ranim fazama. Također, mogu se značajno približiti vatri, a da se pritom ne ugrožava ljudski život. Zahvaljujući bespilotnim zrakoplovima vatrogasci mogu pratiti razvoj požara u stvarnom vremenu što im omogućuje lakše donošenje ključnih odluka i strategija u borbi protiv vatre. Na temelju video snimaka moguće je odrediti lokacije na kojima je vatra najjača te smjer širenja vatre. Na taj način izbjegava se dovođenje vatrogasaca u neposrednu opasnost. Nakon što se požar ugasi na temelju prikupljenih snimaka moguće je procijeniti štetu koju je prouzročio požar čime se zamjenjuju prijašnje metode procjene šteta koje su bile dugotrajne te su se ljudi izlagali rizicima. Osim procijene štete, prikupljene snimke moguće je koristiti u razvoju budućih strategija gašenja požara. Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti i za uspostavu komunikacijske veze između različitih timova kako bi se osiguralo pravovremeno dijeljenje informacija.

Standardnu opremu bespilotnih zrakoplova namijenjenih za protupožarne svrhe čine napredni senzori (npr. LiDAR) i kamere visoke rezolucije (npr. termalna kamera). Sustav LiDAR koristi se za prostorno lasersko skeniranje terena kojeg je zahvatio požar. Pomoću termalnih kamera moguće je u ranim fazama otkriti požar, a kasnije se koriste za identificiranje lokacija koje su najviše zahvaćene vatrom. Bespilotni zrakoplovi osim senzora i kamera mogu biti opremljeni i sustavima za gašenje požara. To su najčešće sustavi za raspršivanje pjene ili vodeni topovi [69]. Na

slici 36. prikazan je bespilotni zrakoplov koji je opremljen sustavom za gašenje požara pomoću suhog praha.



Slika 36. Bespilotni zrakoplov za protupožarne svrhe

Izvor: [70]

Navedeni bespilotni zrakoplov može letjeti ukupno 45 minuta te može nositi 15 kg korisnog tereta. Opremljen je kamerom koja može zumirati do 30 puta, laserom za mjerenje udaljenosti te sustavom za izbjegavanje prepreka. Bespilotni zrakoplov može gasiti požar na dva načina. Prvi način je pomoću takozvanih bomba za gašenje požara. Takozvane bombe su napunjene prahom za gašenje požara. Kada se bomba baci u vatru ona se aktivira te rasprši prah. Drugi način je raspršivanje suhog praha. Bespilotni zrakoplov može istovremeno gasiti požar na oba načina [70].

Primjenom bespilotnih zrakoplova ostvaruju se razne prednosti. Uz brojne prednosti postoje i određeni nedostaci. Što se ranije otkrije požar povećavaju se šanse za zaštitu ljudskih života i smanjenje materijalne štete. Također, štite se i životinje koje nastanjuju taj dio, ali i vegetacija. Od nedostataka potrebno je izdvojiti ograničeno trajanja leta, ograničen kapacitet korisnog tereta te izloženost ekstremnim vremenskim uvjetima. Ograničeno vrijeme trajanja leta prvenstveno je zbog same baterije. Ekstremni vremenski uvjeti poput jakog vjetera i vrlo visokih temperatura mogu utjecati na stabilnost i manevarske sposobnosti bespilotnog zrakoplova [69].

### 4.3 Primjena bespilotnih zrakoplova u građevinarstvu

Bespilotni zrakoplovi u građevinarstvu se koriste u fazi planiranja projekata prije početka izgradnje, praćenju napretka izgradnje te za potrebe sigurnosti i zaštite. Također, moguće ih je koristiti i za inspekcije mostova, brana ili drugih građevina.

U fazi planiranja vrlo bitnu stavku čini prikupljanje podataka o terenu (npr. nagib terena) na kojem se namjerava izgraditi građevina. Također, moguće je izvesti razna mjerenja terena pomoću bespilotnih zrakoplova. Inače su se mjerenja izvodila pomoću opreme na zemlji što je oduzimalo poprilično vremena i resursa. Na temelju slika koje su uslikane iz raznih kutova i s različitih visina, inženjeri mogu kreirati trodimenzionalni model gradilišta [71].

Kada započne izgradnja, bespilotni zrakoplovi koriste se za praćenje napretka izgradnje. Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti za mapiranje građevine te je moguće lakše uočiti ukoliko dođe do odstupanja u obliku građevine koja je zamišljena prvobitno. Također, ukoliko dođe do kašnjenja u izgradnji, moguće je lako utvrditi uzrok tome. Zahvaljujući naprednim kamerama, inženjeri mogu lakše uočiti pogreške koje se dogode prilikom izgradnje te na taj način moguće je popraviti pogreške prije nego troškovi popravka znatno porastu ili postanu nepopravljivi. Također, bespilotni zrakoplovi mogu snimiti pogreške i na teško dostupnim mjestima što je još jedna velika prednost. Snimke koje su snimljene pomoću bespilotnih zrakoplova koriste se za dokumentiranje postupaka izgradnje [72].

Slijedeća primjena bespilotnih zrakoplova je u svrhu nadzora radnika na gradilištu. Ozljede na radu vrlo su česte na gradilištima budući da se odgovarajuća zaštitna oprema u većini slučajeva ne koristi. Nošenje opreme i pridržavanje sigurnosnih propisa od strane radnika nadzire se pomoću bespilotnih zrakoplova. Također, bespilotni zrakoplovi opremljeni termalnom kamerom koriste se za nadziranje strojeva kako ne bi došlo do pregrijavanja istih te se nadzire ostatak gradilišta da ne dođe do požara. Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti za lociranje strojeva ili opreme na gradilištima. To je korisno pogotovo na velikim gradilištima [72].

Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti u inspekcijama mostova, brana i raznih drugih građevina. Inspekcije mogu biti dugotrajne i ljudi se izlažu nepotrebnom riziku (npr. penjanje na velike visine). Idealno rješenje predstavljaju bespilotni zrakoplovi koji

su opremljeni naprednim senzorima i kamerama koji mogu puno brže i učinkovitije prikupiti podatke o nastalim problemima nego što bi to napravili ljudi. Pregledom prikupljenih podataka inženjeri mogu locirati pukotine, koroziju ili bilo koje druge nedostatke koje je potrebno ukloniti. Zahvaljujući bespilotnim zrakoplovima inspekcije mogu biti puno učestalije čime se povećava sigurnost građevine [71].

Velika prednost bespilotnih zrakoplova je brzina prikupljanja informacija. Njima je moguće prikupiti određene informacije u svega nekoliko sati, dok bi se inače standardnim načinom te informacije prikupljale nekoliko dana odnosno tjedana. Nedostatak je taj što operacije bespilotnog zrakoplova uvelike ovise o samom trajanju baterije te o vremenskim uvjetima.

#### **4.4 Primjena bespilotnih zrakoplova u filmskoj industriji**

Bespilotni zrakoplovi zauzimaju sve veću ulogu u filmskoj industriji. Dosad su se bespilotni zrakoplovi koristili prilikom snimanja raznih filmskih hitova poput James Bond-a, Top Gun-a, itd. Vrlo su poželjni zbog svojih malih dimenzija, manevarskih sposobnosti te malih troškova upotrebe. Omogućuju snimanje scena koje su prije bile preopasne ili su bile preskupe za snimanje. Također, bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti za traženje idealnih lokacija na kojima bi se film mogao snimati. [73].

Snimanje akcijskih scena ili scena iz zraka prije su bile znatno skuplje nego što je to danas slučaj s bespilotnim zrakoplovima. Radi usporedbe, može se uzeti automobil na koji je montirana kamera te ugrađena ostala filmska oprema. Nabava takvog automobila iznosi od 200.000 – 550.000 dolara, a u slučaju unajmljivanja takav automobil dnevno košta između 5.000 – 10.000 dolara. U navedenu cijenu nije uključeno osiguranje auta, naknada za vozača te naknada za kamermana. Ukoliko se redatelj odluči za snimanje scene pomoću helikoptera što je daleko skuplje nego unajmljivanje bespilotnog zrakoplova, morat će dnevno izdvojiti 25.000 dolara na helikopter koji je opremljen kamerama. Navedena cijena ne uključuje osiguranje, naknadu za posadu i kamermana te dodatnu opremu. Za sve navedeno potrebno je još dodatno izdvojiti između 8.000 – 10.000 dolara. Unajmljivanje bespilotnog zrakoplova zajedno sa svom potrebnom opremom za snimanje te osobljem iznosi oko 5.000 dolara na dan [73].



U SAD-u su 2016. godine donesena pravila koja se odnose na upravljanje bespilotnim zrakoplovima na filmskom setu. U filmskoj industriji se najčešće koriste slijedeći bespilotni zrakoplovi:

- DJI Inspire 3,
- DJI Inspire 2,
- DJI Matrice 600 Pro,
- Freefly Alta X,
- Shotover U1,
- DJI Mavic 3 Pro.

Bespilotni zrakoplov DJI Matrice 600 Pro namijenjen je za profesionalnu upotrebu. Maksimalna masa prilikom polijetanja iznosi 15,5 kg te postiže maksimalnu brzinu od 65 km/h. Navedeni bespilotni zrakoplov može letjeti između 32 – 38 minuta. Vrijeme leta ovisi o količini dodatnog tereta koji nosi bespilotni zrakoplov [74]. Na slici 37. prikazan je bespilotni zrakoplov DJI Matrice 600 Pro.



Slika 37. Bespilotni zrakoplov DJI Matrice 600 Pro

Izvor: [75]

## 4.5 Primjena bespilotnih zrakoplova u marketinške svrhe

Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti prilikom snimanja raznih promotivnih videa ili reklama. Na primjer, Tesla je koristila bespilotne zrakoplove prilikom snimanja procesa proizvodnje njihovog automobila u tvornici u Berlinu. Udaljeni pilot letio je bespilotnim zrakoplovom između strojeva koji se nalaze unutar tvornice te na taj način gledateljima na potpuno drugačiji dosad neviđeni način prikazao procese proizvodnje auta. Zahvaljujući malim dimenzijama i manevarskim sposobnostima bespilotni zrakoplov se s lakoćom provukao kroz vrlo uske prolaze te je s lakoćom izbjegavao robote koji se koriste za sastavljanje automobila. Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti i prilikom oglašavanja nekretnina koje su na prodaju ili za najam. Također, moguće je pomoću njih omogućiti kupcu virtualan obilazak nekretnine. Turističke agencije također koriste bespilotne zrakoplove kako bi snimile razne promotivne materijale te na taj način privukle što više kupaca.

Bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti za prijenos uživo koncerta ili nekog drugog događaja. Kasnije se ti materijali mogu koristiti prilikom izrade videa u svrhu promocije novih koncerata ili samog pjevača. Također, na taj način mogu se promovirati i tvrtke koje nude najam audio i video opreme. Isto tako koriste se za izradu 3D modela koji se kasnije mogu koristiti u marketinške svrhe.

Bespilotnim zrakoplovima moguće je noću na nebu kreirati razne oblike, simbole ili znakove. Broj bespilotnih zrakoplova ovisi o složenosti simbola ili znaka koji se namjerava promovirati. U tu svrhu opremljeni su LED (engl. *Light-emitting diode* – LED) svjetlom te su svi međusobno povezani. Bespilotnim zrakoplovima upravlja se pomoću softvera. Kia je prilikom otkrivanja svog novog loga koristila 303 bespilotna zrakoplova koji su bili opremljeni LED svjetlom i pirotehničkim sredstvom čime je ušla u Guinness-ovu knjigu rekorda s najvećim brojem bespilotnih zrakoplova koji su istovremeno lansirali vatromet. Na slici 38. prikazan je trenutak u kojem su bespilotni zrakoplovi upalili vatromet.



Slika 38. Trenutak lansiranja vatrometa

Izvor: [76]

Samsung je također koristio bespilotne zrakoplove kako bi promovirao svoju novu seriju laptopa. Disney+ je u Parizu pomoću bespilotnih zrakoplova zaželio sretnu novu godinu. Netflix je promovirao svoj novi film pomoću bespilotnih zrakoplova. Peugeot je koristio bespilotne zrakoplove na premijeri svog novog električnog automobila [77]. Bespilotni zrakoplovi koristili su se prilikom otvaranja Olimpijskih igara u Tokyo 2020. godine.

## 5 Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama

Pod pojmom urbanizacije podrazumijeva se porast udjela gradskog (urbanog) stanovništva odnosno to je proces širenja gradova. Smanjuje se broj seoskih i mješovitih naselja te raste broj manjih, srednjih i velikih urbanih središta. Također, dolazi do porasta koncentracije središnjih urbanih funkcija (proizvodnih, obrazovnih, kulturnih, financijskih, itd.) u najvećim naseljima te širenje utjecaja najvećih gradova na ukupan teritorij neke zemlje [78]. Gotovo 60% svjetskog BDP-a (bruto domaći proizvod) nastaje u gradovima i metropolitanskim područjima. Također, u gradovima nastaje oko 70% emisija ugljikovog dioksida te se u njima potroši preko 60% resursa [79].

Urbaniziranost je u konstantnom porastu u cijelom svijetu. Prema United Nations Population Fund-u u gradovima od 2010. godine živi više od pola svjetskog stanovništva. Postotak ljudi koji žive u urbanim sredinama konstantno raste. Predviđa se da će do 2050. godine oko 70% svjetskog stanovništva živjeti u gradovima. U Europi oko 75% europskog stanovništva živi u gradovima te se predviđa da će ta brojka do 2025. godine narasti na 80% [80].

Zbog svojih dimenzija, mogućnosti integriranja raznih senzora, male potrošnje energije te mogućnosti vertikalnog polijetanja i slijetanja bespilotni zrakoplovi će značajno doprinijeti razvoju gradova u ekološkom i ekonomskom smislu. Također, bespilotni zrakoplovi imat će značajnu ulogu u kreiranju pametnih gradova (engl. *Smart Cities*). Pametni grad moguće je objasniti kao viziju urbanog razvoja koji koristi digitalne i komunikacijske tehnologije (engl. *Information and Communication Technology – ICT*) i Internet stvari (engl. *Internet of Things – IoT*) kako bi se što bolje zadovoljile potrebe građana i unaprijedila učinkovitost gradskih usluga. Naglasak se stavlja na održivost i efikasnost. Pametni gradovi su slijedeći: Barcelona, New York, London, Nica i Singapur. Konačni cilj je učiniti grad ugodnijim mjestom za život svojih građana [81].

U posljednjih nekoliko godina značajno je narastao interes kompanija za razvojem bespilotnih zrakoplova koji bi se koristili u urbanim sredinama. Bespilotni zrakoplovi u urbanim sredinama mogu se koristiti prilikom dostavljanja paketa,

transportiranja medicinskih uzoraka između bolničkih ustanova, prikupljanje podataka koje kasnije policija može koristiti kao dokazni materijal, nadziranje prometa u svrhu kreiranja optimalnih ruta, prikupljanje podataka o nastaloj šteti nakon vremenskih nepogoda, itd. Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama su brojne. U nastavku će biti detaljnije objašnjena primjena bespilotnih zrakoplova. Uz brojne prednosti koje se ostvaruju primjenom bespilotnih zrakoplova postoje i određeni nedostaci odnosno zabrinutosti poput narušavanja privatnosti građana, buke koju stvaraju bespilotni zrakoplovi te kibernetička sigurnost. Također, potrebno je bespilotne zrakoplove tijekom operacija držati na sigurnim udaljenostima od zrakoplova ili helikoptera (ograničavanje visine letanja, itd.) kako ne bi došlo do sudara.

## **5.1 Dostava paketa pomoću bespilotnih zrakoplova**

Porast broja stanovnika u gradovima rezultira pojačanim dnevnim migracijama. Navedeno rezultira brojnim gužvama koje negativno utječu na okoliš, ljude (gubitak vremena) te povećavaju troškove dostave. Budući da je danas vrlo aktualna tema održivi promet nastoji se pronaći rješenje kojim bi se smanjile prometne gužve, smanjili troškovi i vrijeme dostave te ekološki utjecaj. Pod pojmom održivi promet podrazumijeva se promet koji ne ugrožava ljudsko zdravlje ili ekosustave, a istodobno zadovoljava potrebe ljudi [82].

Primjenom bespilotnih zrakoplova prilikom dostavljanja paketa, povećava se efikasnost, smanjuju se troškovi distributera te ono najbitnije značajno bi se utjecalo na smanjenje prometnih gužvi u velikim gradovima [82]. Budući da bespilotni zrakoplovi trebaju daleko manje mjesta za polijetanje i slijetanje nego što to treba jedan kombi. Također, zamjenom kombi vozila koja su namijenjena za dostavu s bespilotnim zrakoplovima značajno bi se rasteretile ceste. Danas se u većini slučajeva dostavljaju manji paketi što zahtijeva veliki broj kombi vozila kako bi se zadovoljila potražnja. Bespilotni zrakoplovi bili bi iznimno korisni prilikom dostavljanja manjih paketa budući da oni sami nemaju dovoljno kapaciteta za nositi veće pakete. Također, bespilotni zrakoplovi koristili bi se prvenstveno na samom kraju logističkog lanca odnosno za „last mile delivery“ [83].

Kako bi se omogućio daljnji razvoj bespilotnih zrakoplova koji bi se koristili za dostavu paketa ili hrane potrebna je precizna i temeljita pravna regulativa. Nakon što se stvore pravni okviri, cijeli proces razvijanja ovog načina transporta ići će progresivno naprijed [82].

### **5.1.1 SkyDrop**

Domino's je u suradnji sa SkyDrop kompanijom dostavljao pizze uz pomoć bespilotnih zrakoplova na Novom Zelandu. U periodu od 10. – 21. srpnja 2023. godine kupci su mogli birati dostavu bespilotnim zrakoplovom. Takav način dostave bio je moguć samo kupcima s područja Huntly-a, Novi Zeland [84]. SkyDrop je prva kompanija na Novom Zelandu koja je dobila odobrenje od Uprave za civilno zrakoplovstvo za dostavljanje paketa koristeći bespilotne zrakoplove. Bespilotni zrakoplov potpuno je autonoman, dolet mu je 10 km te može nositi maksimalno 3,5 kg dodatnog tereta. Usprkos mogućnosti autonomnog leta, cijeli let se prati te je moguće preuzeti kontrolu nad bespilotnim zrakoplovom u svakom trenutku ukoliko dođe do izvanredne situacije. Bespilotni zrakoplov opremljen je padobranom u slučaju da dođe do kvara. Navedeno je značajno doprinijelo dobivanju odobrenja, ali također se značajno pridonosi samoj sigurnosti operacije [85].

### **5.1.2 Amazon Prime Air**

Amazon je razvio bespilotne zrakoplove koji dostavljaju pakete unutar jednog sata od narudžbe proizvoda. Bespilotni zrakoplov može nositi 2,3 kg dodatnog tereta. Dostava pomoću bespilotnih zrakoplova dostupna je u Sjedinjenim Američkim Državama u gradovima College Station (Texas) i Lockeford (California). Amazon namjerava krajem 2024. godine dostavljati pakete s bespilotnim zrakoplovima u Italiji i Velikoj Britaniji [86]. Potrošači koji namjeravaju koristiti dostavu pomoću bespilotnih zrakoplova moraju predati zahtjev Amazonu koji zatim pošalje djelatnika koji će odrediti je li dvorište dovoljno veliko. Ukoliko je pozitivan odgovor, djelatnik će označiti lokaciju koja je najbolja za mjesto dostave te će potrošaču dati oznaku s QR (engl. *Quick-response*) kodom. Nakon što potrošač izvrši kupovinu preko internetske stranice i odabere način dostave mora postaviti oznaku s QR kodom na dvorište, a postavlja ju iznad oznake koju je postavio djelatnik Amazona [87]. Na slici 39. prikazana je oznaka s QR kodom koju dobiva potrošač.



Slika 39. Oznaka za bespilotni zrakoplov

Izvor: [88]

Ljudi i kućni ljubimci moraju biti udaljeni najmanje 5 m od oznake kako bi se smanjio rizik od mogućih ozljeda. Također, na istu udaljenost potrebno je skloniti sve stvari od oznake. Dvorište je potrebno održavati kako ne bi došlo do oštećenja bespilotnog zrakoplova. Ukoliko potrošači žive u zgradama postupak dostave je malo drugačiji. Nakon što potrošač dobi obavijest o dostavi mora se uputiti prema području koje je namijenjeno za dostavljanje paketa pomoću bespilotnog zrakoplova. Navedeno područje je ograđeno te je potrebna šifra za ulazak. Bespilotni zrakoplovi ne mogu se koristiti za dostavljanje tijekom oluja, ekstremnih temperatura ili jakog vjetra [87]. Na slici 40. prikazan je bespilotni zrakoplov kojeg Amazon trenutno koristi za dostavljanje paketa.



Slika 40. Bespilotni zrakoplov MK27-2

Izvor: [89]

Prime Air predstavio je novi bespilotni zrakoplov MK30 koji je u odnosu na prijašnji model puno tiši, manji i lakši. Sve navedeno rezultiralo je većom autonomijom leta čime će se moći dostavljati većem broju potrošača te boljom otpornošću na vremenske uvjete (slabija kiša, visoke i niže temperature). Bespilotni zrakoplov potpuno je autonoman i opremljen je sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara [86]. Navedena tehnologija omogućava bespilotnom zrakoplovu da na siguran način izbjegava ljude, kućne ljubimce, zrakoplove te ostale prepreke. Na slici 41. prikazan je bespilotni zrakoplov MK30.



Slika 41. Bespilotni zrakoplov MK30

Izvor: [86]

Bespilotni zrakoplovi do sad su polijetali iz distribucijskih centara koji su bili namijenjeni samo za njih. To je slučaj u američkim gradovima (Lockeford i College Station). Amazon nastoji integrirati bespilotne zrakoplove u svoju dostavnu mrežu na način da se uz kombi vozila i kamione paketi mogu dostavljati i s bespilotnim zrakoplovima iz istog distributivnog centra. U SAD-u će se bespilotni zrakoplovi najviše koristiti u centrima iz kojih se svi naručeni proizvodi dostavljaju isti dan (engl. *Same-Day Delivery stations*) [86].



### 5.1.3 Wing

Kompanija Wing je uz pomoć svojih bespilotnih zrakoplova uspješno izvršila više od 350.000 dostava te dostavljaju na 10 lokacija na 3 kontinenta [90]. Wing u Helsinkiju dostavlja proizvode od svojih partnera Alepa, Fazer i Crunch Brunch [91]. U SAD-u bespilotni zrakoplovi dostavljaju pakete iz Walgreen i Walmart trgovina na području Dallas-Fort Worth-a [92]. U Australiji na području Logan-a (Queensland) bespilotni zrakoplovi dostavljaju brzu hranu iz Kentucky Fried Chicken-a (KFC) [93]. Bespilotni zrakoplovi u Australiji još dostavljaju i iz sljedećih kompanija: Coles, Roll'd, Friendly Grocer i St. John Ambulance QLD [94]. Wing zajedno s partnerom Apian namjerava dostavljati medicinske potrepštine u Irskoj i Velikoj Britaniji [95].

Bespilotni zrakoplov koji koristi kompanija Wing ukupno ima 16 motora. Navedeno mu pruža dodatnu sigurnost budući da lakše može podnijeti kvar motora ili upravljačke površine. Polijeće vertikalno i pritom koristi 12 motora te tijekom horizontalnog leta koristi 4 motora. Bespilotni zrakoplov opremljen je višeslojnim sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara koji mu omogućava sigurnu integraciju u zračni prostor. Mase je oko 4,5 kg iz razloga što je veći dio bespilotnog zrakoplova izrađen od stiropora. Leti brzinom od oko 105 km/h. Na slici 42. prikazan je bespilotni zrakoplov kojeg Wing koristi za dostavljanje paketa.



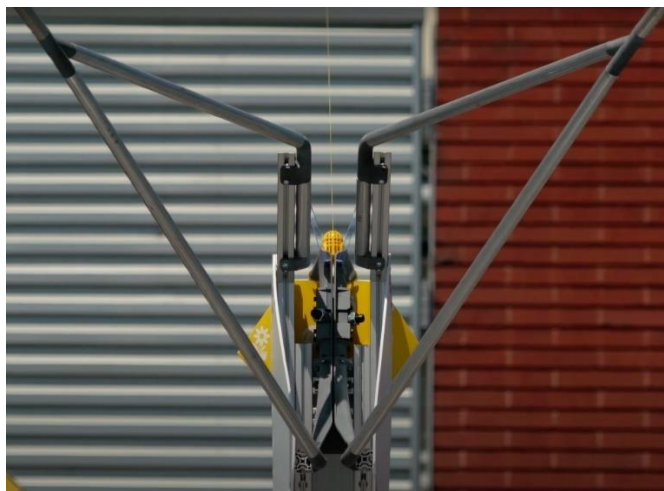
Slika 42. Wing-ov bespilotni zrakoplov

Izvor: [96]

Bespilotni zrakoplovi koji se koriste prilikom dostavljanja paketa na području Dallas Fort-Worth-a ne lete iznad 120 metara, odnosno lete u takozvanom zračnom

prostoru *Mode C Veil*. U tom zračnom prostoru većina zrakoplova ne smije letjeti. Bespilotni zrakoplovi se nadziru tijekom cijelog leta od strane udaljenih pilota. Kako bi se održala sigurna udaljenost bespilotni zrakoplovi mogu odgoditi polijetanje te promijeniti putanju leta. Bespilotni zrakoplov je visoko automatiziran te na osnovu prikupljenih podataka o nepredviđenom događaju odlučuje hoće li moći izvršiti dostavu ili ne. Moguće je uspješno izvršiti dostavu paketa nakon što je bespilotni zrakoplov doživio nepredviđenu situaciju tijekom dostave. Ukoliko bespilotni zrakoplov nikako ne može izbjeći nepredviđeni događaj, on će izvesti prisilno slijetanje. Navedeno će izvesti na području gdje nema ljudi i prometa. Udaljeni pilot također može aktivirati prisilno slijetanje. Ukoliko je izvedeno prisilno slijetanje o tome će odmah biti obaviješten udaljeni pilot [97].

Postupak naručivanja, prikupljanje naručenih proizvoda i dostave objašnjen je u nastavku. Kupci preko aplikacije kupuju razne namirnice, gotovu hranu, medicinske lijekove koji će biti dostavljeni pomoću bespilotnog zrakoplova. Nakon što kupci obave kupovinu, prodavači dobivaju narudžbu koju zatim spremaju u posebnu kutiju. Postoje dva načina prikupljanja paketa od strane bespilotnog zrakoplova. Prvi način je da se direktno zakači na kuku koju je spustio bespilotni zrakoplov, a drugi je da se paket ostavi na takozvanom *AutoLoader-u*. Samostalno prikupljanje funkcionira na način da bespilotni zrakoplov prikuplja paket bez pomoći osoblja. Na slici 43. prikazan je *AutoLoader* za samostalno prikupljanje paketa.



Slika 43. *AutoLoader*

Izvor: [98]

Nakon što je paket prikupljen, bespilotni zrakoplov samostalno pronalazi najbržu slobodnu rutu do odredišta. Preko aplikacije moguće je pratiti tijek dostave u stvarnom vremenu te je prikazano procijenjeno vrijeme dostave. Bespilotni zrakoplov na lokaciji spušta paket sa 6 m i pritom on to samostalno radi te nije potrebna pomoć od strane kupca. Kupac dobiva obavijest kada je paket dostavljen. Nije potrebna dodatna infrastruktura ili znakovi za dostavljanje paketa pomoću Wing-ovih bespilotnih zrakoplova već je potreban slobodni dio dvorišta koji nije natkriven.

#### **5.1.4 Zipline**

Zipline je prisutan u 7 država (SAD, Ruanda, Gana, Nigerija, Obala Bjelokosti, Kenija i Japan) na 3 kontinenta. Do sad su s bespilotnim zrakoplovima ukupno preletjeli više od 97 milijuna km (60 milijuna milja). Pritom je izvršeno 964.475 dostava te je dostavljeno 9,761.795 proizvoda. Zipline svojim partnerima nudi dva načina suradnje. Prvi način je dostavljanje hrane, namirnica, itd. od restorana ili dućana do potrošača, a drugi način je da Zipline skladišti proizvode od dobavljača te ih zatim prema potrebi dostavlja potrošačima. Zipline je 2016. godine u Ruandi počeo dostavljati bespilotnim zrakoplovima krv i medicinske proizvode. Od tada je značajno proširena ponuda proizvoda koji se mogu dostavljati bespilotnim zrakoplovima. Danas je moguće dostavljati hranu, namirnice iz obližnjih dućana, poljoprivredne proizvode te veterinarske proizvode. Zipline je razvio dvije vrste bespilotnih zrakoplova, jedni su namijenjeni za dostavljanje proizvoda na većoj udaljenosti (operativno od 2016. godine) dok su drugi namijenjeni za dostavljanje paketa u urbanim sredinama. Upotrebom Zipline-ovih bespilotnih zrakoplova spašavaju se životi (dostavljanje cjepiva, lijekova, itd.), smanjuju se emisije štetnih plinova (97% manje emisija u odnosu na vozila koja koriste fosilna goriva) te se pojavljuju razne ekonomske mogućnosti (npr. zapošljavanje) [99].

Zipline-ov bespilotni zrakoplov imena Platform 1 namijenjen je za dostavljanje paketa na većim udaljenostima. Prilikom dostavljanja leti na visini od 90 m, a kada dođe na odredište spušta se na 20 – 30 m sa kojih ispušta paket. Nakon što ispusti paket, automatski se aktivira padobran koji polagano spušta paket na zemlju. Radijus djelovanja mu je 100 km (60 milja) što znači da može preletjeti ukupno 200 km (120 milja) jednim punjenjem. Brzina bespilotnog zrakoplova iznosi 97 km/h (60 mph). Bespilotni zrakoplov može se koristiti za dostavljanje paketa koji teže 1,8 kg (4 lb).

Platform 1 koristi lansirnu rampu za polijetanje dok prilikom slijetanja koristi repnu kuku [100]. Na slici 44. prikazan je Platform 1.



Slika 44. Беспилотни зракоплов Platform 1

Izvor: [101]

Bеспилотни зракоплов Platform 2 koji još nije operativan, namijenjen je za dostavljanje paketa u urbanim sredinama. Za razliku od Platform 1 koji ispušta paket u zraku, Platform 2 lebdi nad odredištem te spušta manji беспилотни зракоплов (engl. *droid*) na lokaciju gdje on ostavlja paket. Беспилотни зракоплов leti na visini od 90 m (300 ft) te mu je maksimalna brzina 112 km/h (70 mph). Radijus djelovanja mu je 16 km (10 milja), a u jednoj operaciji maksimalno može preletjeti 38 km (24 milje). Беспилотни зракоплов Platform 2 ima dvostruko veću nosivost u odnosu na Platform 1 koja iznosi 3,6 kg (8 lbs). Također, Platform 2 ne koristi lansirnu rampu već on vertikalno polijeće te zatim prelazi u horizontalan let [100]. Na slici 45. prikazan je беспилотни зракоплов Platform 2, manji беспилотни зракоплов (engl. *droid*) te infrastruktura namijenjena za prikupljanje paketa i punjenje беспилотног зракоплова.



Slika 45. Беспилотни зракoплов Platform 2

Izvor: [102]

Bеспилотни зракoплови oпремлени су напредним сензорима који им oмoгућавају детекцију oсталог прoмета у зрачнoм прostorу. Pomoću сензора могу детектирати прoмет на удаљености од 1,6 km, али и више. Zipline је разvio софтвер који управља флотом беспилотних зракoплова. Nаведени софтвер спрјечава могуће сударе између беспилотних зракoплова, рјешава потенцијална загушења те oптимизира њихов лет. Беспилотни зракoплови могу и међусoбно кoмуницирати у сврху oдржавања сигурне удаљености. Такође, oпремлени су сyстaвима помоћу којих могу препознати лоше времenske uvjete те затим аутоматски мијењају руту како би избјегли лоше вријеме. На сваком беспилотном зракoплову пoхранјене су мапе које му oмoгућавају да лакше савлада кoмплексни зрачни прoстор кроз који лети на путу према oдредишту. Локација беспилотног зракoплова може се oдредити с великoм тoчношћу (могуће oдступање износи један центиметар). Zipline-ови беспилотни зракoплови oпремлени су с падoбранима. Падoбран може активирати oпeратор или сyстaв беспилотног зракoплова [100].

### 5.1.5 Matternet

Matternet је разvio беспилотни зракoплов имена M2 Drone. У oжyjкy 2017. године добио је oдобрење за oбављање летова беспилотним зракoпловима у Шvicарској изнад густо насељених подручја. Беспилотни зракoплови користе се за транспортирање медицинских узoрака између Lugano's EOC болнице и University Hospital Zurich. У

svibnju 2018. godine u SAD-u Matternet počinje koristiti bespilotne zrakoplove za transportiranje krvi, uzoraka, itd. između medicinskih ustanova pod nadzorom FAA [103]. Bespilotni zrakoplov je 2022. godine dobio certifikat za tip od FAA. Prvi civilni bespilotni zrakoplov koji je dobio ovaj certifikat je M2 [104]. Iste te godine Matternet je dobio još jedan certifikat, a to je certifikat kojim mu se dopušta serijska proizvodnja M2 bespilotnog zrakoplova [105]. U prosincu 2022. godine Matternet je započeo testiranje na najdužoj ruti koja se proteže iznad Zurich-a, a povezuje Triemli i Waid bolnice. Navedena ruta dugačka je 5 km te će se na toj ruti transportirati medicinski uzorci [106]. Bespilotni zrakoplov može se koristiti u zdravstvene svrhe, prilikom dostavljanja namirnica iz trgovina te ga mogu koristiti logističke kompanije.

Bespilotni zrakoplov može nositi 2 kilograma dodatnog tereta na udaljenosti od 20 kilometara [107]. Također, može operirati izvan vidokruga udaljenog pilota i u urbanim sredinama. Matternet je razvio softver koji upravlja bespilotnim zrakoplovima. Navedeni softver prima zahtjeve od korisnika, generira rute, nadzire i upravlja letom bespilotnog zrakoplova. Na slici 46. prikazan je Matternet-ov bespilotni zrakoplov M2 Drone.



Slika 46. M2 Drone

Izvor: [108]

Bespilotni zrakoplov dizajniran je na način da leti od jedne zemaljske stanice do druge. Kada bespilotni zrakoplov sleti automatski se skida dodatni teret s bespilotnog zrakoplova i zamjenjuje se baterija kako bi bespilotni zrakoplov bio

spreman za novi let. Cijeli postupak je automatiziran. Zemaljska stanica može pohraniti 4 kutije u koje se stavlja paket. Samo autorizirano medicinsko osoblje može preuzeti paket na označenom mjestu te na istom tom mjestu i predaje paket. Nije potrebno posebno obučavati medicinsko osoblje. Zemaljska stanica visoka je 3 m iz razloga kako se ne bi narušavala sigurnost u urbanim sredinama. Također, opremljena je sustavima koji navode bespilotni zrakoplov da sleti unutar okvira platforme [109]. Na slici 47. prikazana je zemaljska stanica za bespilotni zrakoplov M2.



Slika 47. Zemaljska stanica Matternet M2

Izvor: [110]

## 5.2 Nadziranje i prikupljanje podataka u urbanim sredinama

Bespilotni zrakoplovi predstavljaju odličnu platformu na koju se mogu postaviti razni senzori ili kamere ovisno o operaciji za koju se namjeravaju koristiti. Broj bespilotnih zrakoplova koji se koriste za mapiranje i prikupljanje podataka u urbanim sredinama značajno je porastao posljednjih nekoliko godina. Zbog svojih dimenzija, praktičnosti te mogućnosti korištenja većeg broja senzora predstavljaju odličan alat za prikupljanje podataka na daljinu. Bespilotni zrakoplov može snimiti bolju sliku nego što je to moguće preko VHR (engl. *Very High Resolution* – VHR) satelita. Uspoređujući bespilotni zrakoplov i zrakoplov s posadom predstavlja daleko jeftiniju i sigurniju opciju. Također, bespilotnim zrakoplovom moguće je letjeti na nižim visinama što omogućuje

snimanje fotografija s puno detalja. Беспilotni zrakoplovi mogu se koristiti za mapiranje urbanih sredina, modeliranje te za mapiranje vegetacije u urbanim sredinama. Daljnjim razvojem senzora oni postaju sve manji i kompaktniji što će rezultirati većim brojem senzora kojima može biti opremljen беспilotni zrakoplov [111].

Беспilotni zrakoplovi mogu biti vrlo korisni prilikom nadziranja prometa u stvarnom vremenu te mogu prikupljati razne podatke koji se mogu kasnije koristiti u analizama ili simulacijama. Njihovom primjenom ostvaruju se značajne prednosti u odnosu na kamere i senzore koji se koriste za prikupljanje prometnih podataka. Iz razloga što su kamere i senzori fiksirani na nekom području, a беспilotni zrakoplovi su mobilni te mogu pokriti veće područje. Uz pomoć prikupljenih podataka mogla bi se značajno popraviti prometna slika u urbanim sredinama. Будуći da bi se na vrijeme ljude obavijestilo o nesrećama ili potencijalnim zagušenjima na cesti. Na taj način ljudi bi mogli unaprijed pronaći alternativnu rutu te bi se smanjile gužve koje nastaju u urbanim sredinama. Također, prikupljene podatke prometni stručnjaci koristili bi prilikom izvođenja raznih simulacija te konstruiranja prometne infrastrukture koja bi mogla riješiti problem prometnih gužvi u urbanim sredinama. Prometne gužve koje nastaju u velikim gradovima uslijed sve većeg broja stanovnika, mogu se jedino riješiti implementiranjem sustava pametnog upravljanja prometom [80].

Pametni policijski sustav predstavlja vrlo bitan dio takozvanog pametnog grada koji je objašnjen na početku ovog poglavlja. Беспilotni zrakoplovi koji su opremljeni raznim sensorima i kamerama mogu značajno doprinijeti sigurnosti u urbanim sredinama. Mogu se koristiti za snimanje brzine vozila. Ukoliko uhvati automobil u prekršaju snimit će njegovu registraciju i brzinu, lokaciju na kojoj se prekršaj dogodio, vrijeme te video kao dokazni materijal. Za razliku od kamera za prekoračenje brzina koje su fiksne, беспilotni zrakoplovi su mobilni što smanjuje mogućnost predviđanja njihovih lokacija. Također, mogu pratiti ukradena vozila te kriminalce za koje je izdan uhiđbeni nalog. Ne mogu ih samostalno zaustaviti i onemogućiti im daljnji bijeg, ali mogu jedinicama na zemlji pružati informacije o njihovoj lokaciji. Беспilotni zrakoplovi mogu nadzirati urbane sredine 24/7 iz razloga što nemaju posadu te imaju mogućnost autonomnog leta. Ograničenost leta zbog baterije moguće je eliminirati postavljanjem zemaljskih stanica u kojima bi se iste zamijenile ili opremanje беспilotnih zrakoplova solarnim panelima [112].



Javna rasvjeta vrlo je bitna u urbanim sredinama budući da pruža određenu sigurnost vozačima, biciklistima te pješacima. Pretpostavlja se da će do 2025. godine narasti broj svjetala na javnim površinama na 352 milijuna. U ovom slučaju bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti prilikom inspekcije javne rasvjete. Njihovom upotrebom značajno bi se smanjili troškovi obavljanja inspekcija te bi se smanjilo vrijeme za obavljanje istih. Inspekcija javne rasvjete započinje pojedinačnim slikanjem lampi. Prikupljene fotografije prenose se u centralno računalo gdje se zatim analiziraju pomoću MATLAB (engl. *Matrix Laboratory* – MATLAB) softvera [113].

### **5.2.1 Airobotics**

Airobotics Ltd. izraelski je proizvođač i operator autonomnih bespilotnih zrakoplova. Bespilotni zrakoplovi mogu samostalno prikupljati podatke, vršiti razne analize, dostavljati pakete, itd. Mogu obavljati operacije u urbanim sredinama 24/7 potpuno samostalno bez ljudske asistencije. Kompanija osigurava od početka do kraja implementaciju sustava bespilotnog zrakoplova što podrazumijeva ishođenje certifikata od Uprave za civilno zrakoplovstvo te pružanje tehničke i informatičke podrške tijekom implementacije. Kompanija je za svoje bespilotne zrakoplove ishodila certifikat tipa, certifikat za let bespilotnog zrakoplova izvan vidokruga i iznad ljudi od strane FAA. Nacionalna zrakoplovna uprava Singapur (engl. *Civil Aviation Authority of Singapore* – CAAS) dala je odobrenje za prvi let iznad grada te za let izvan vidokruga udaljenog pilota. Nacionalna zrakoplovna uprava Ujedinjenih Arapskih Emirata (engl. *General Civil Aviation Authority* – GCAA) dala je odobrenje za let bespilotnog zrakoplova izvan vidokruga udaljenog pilota iznad urbanih sredina [114].

Sustav Optimus sastoji se od bespilotnog zrakoplova imena Platform i zemaljske stanice. Platform je potpuno autonoman bespilotni zrakoplov koji je namijenjen za prikupljanje podataka iz zraka, mapiranje i dostavljanje prve pomoći u urbanim sredinama te je operativan 24/7. Dodatni teret se mijenja ovisno o zadaći koju obavlja bespilotni zrakoplov. Ukupna težina bespilotnog zrakoplova je 10 kg, domet mu je 16 km te autonomija iznosi 40 min. S zemaljskom stanicom komunicira preko 5G/LTE (engl. *Long Term Evolution*) mreže. Za prijenos sigurnosnih informacija koristi LORA (engl. *Long Range*) sigurnosni kanal. Može podnijeti brzinu vjetra do 46 km/h i otporan je na slabu kišu. Bespilotni zrakoplov opremljen je padobranom koji smanjuje

rizik od ozljede ljudi ili nastanka materijalne štete uslijed pojave kvara na uređaju [115]. Na slici 48. prikazan je bespilotni zrakoplov Platform.



Slika 48. Bespilotni zrakoplov Platform

Izvor: [116]

Kompanija je razvila i zemaljsku stanicu za bespilotni zrakoplov Platform. Bespilotni zrakoplov samostalno polijeće i slijeće na zemaljsku stanicu, a unutar nje pomoću robotske ruke vrši se zamjena baterije i dodatnog tereta (kamere, senzori, itd.). Zemaljska stanica ima kapacitet za 11 baterija te za 9 različitih vrsta dodatnog tereta. Ukupna težina iznosi 2,5 tone. Tijekom cijelog leta bespilotni zrakoplov komunicira s zemaljskom stanicom preko 5G/LTE/RF (engl. *Radio Frequency*) mreže. Kako bi se spriječili neovlašteni upadi koriste se sigurnosne zaštitne stijene (engl. *Firewall*) te se podaci kriptiraju. Također, prilikom određivanja lokacije bespilotne letjelice koristi se tehnika kinematičkog pozicioniranja u stvarnom vremenu (engl. *Real Time Kinematic* – RTK) kojom se određuje lokacija s velikom točnošću. Unutar zemaljske stanice moguće je pratiti let bespilotnog zrakoplova u stvarnom vremenu te je u svakom trenutku moguće prekinuti let. Ukoliko dođe do prekida napajanja, zemaljska stanica opremljena je baterijama koje joj omogućuju rad do 5 sati [115]. Na slici 49. prikazana je zemaljska stanica.



Slika 49. Zemaljska stanica Airobotics

Izvor: [117]

Kompanija je razvila sustav Iron Drone koji je namijenjen za presretanje i uklanjanje neovlaštenih ili zlonamjernih bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama. Sustav Iron Drone sastoji se od bespilotnog zrakoplova Raider i zemaljske stanice. Raider je potpuno autonoman bespilotni zrakoplov koji je operativan 24/7. Pomoću vanjskih senzora detektiraju se zlonamjerni bespilotni zrakoplovi te se zatim aktivira Raider koji polijeće iz zemaljske stanice. Nakon što bespilotni zrakoplov poleti on samostalno leti prema bespilotnom zrakoplovu kojeg je potrebno ukloniti. Bespilotni zrakoplov za presretanje zlonamjernog bespilotnog zrakoplova ne koristi se alatima za ometanje GPS-a i RF-a već ga prati pomoću radara. Tijekom cijelog leta slika se prenosi uživo operatoru koji odlučuje hoće li neovlašteni bespilotni zrakoplov udaljiti s područja ili će ga ukloniti. Ukoliko ga je potrebno ukloniti bespilotni zrakoplov samostalno će ga naciljati i ispaliti mrežu koja je povezana s padobranom i na taj način ga sigurno prizemljiti. Bespilotni zrakoplov opremljen je kamerom za dnevno i noćno snimanje [118]. Na slici 50. prikazan je bespilotni zrakoplov Raider i zemaljska stanica.



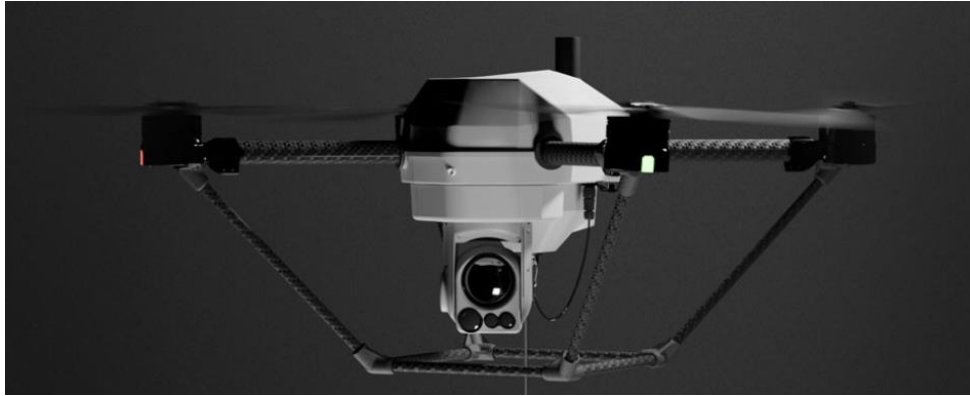
Slika 50. Sustav Iron Drone

Izvor: [118]

### 5.2.2 ElistAir

ElistAir je kompanija koja razvija bespilotne zrakoplove i zemaljske stanice. Razvili su dva bespilotna zrakoplova Khronos i Orion te dvije zemaljske stanice Safe – T i Light – T. Bespilotni zrakoplovi su tijekom cijelog leta fizički vezani uz zemaljsku stanicu. Navedeno rezultira puno većom autonomijom koja iznosi nekoliko sati dok je veliki nedostatak nemogućnost slobodnog leta bespilotnog zrakoplova.

Bespilotni zrakoplov Khronos može poletjeti za manje od 2 minute te mu je maksimalna visina leta 60 m. U zraku može biti 24 sata te je otporan na razne vremenske uvjete. Zemaljska stanica napaja bespilotni zrakoplov tijekom cijelog leta. Prednost ovakvog sustava je ta što se može upotrebljavati u područjima gdje se ometa GPS signal. Bespilotni zrakoplov može biti i pokretan na način da se zemaljska stanica postavi na vozilo koje se kreće. Uvjet je da se vozilo kreće manjom brzinom od 30 km/h. Ukupna težina cijelog sustava iznosi 32 kg [119]. Na slici 51. prikazan je bespilotni zrakoplov Khronos.



Slika 51. Беспилотни зракоплов Khronos

Izvor: [119]

Zemaljska stanica Light – T4 povećava autonomiju leta беспилотним зракопловима. Могуће ју је користити с беспилотним зракопловима Matrice 300 (DJI), Matrice 30 (DJI), SkyDrone7 (Nordic Drones), Scorpion (Quantum Systems), itd. Беспилотни зракоплов који је повезан с земалјском станицом има максималну висину лета 70 m [120]. На слици 52. приказана је земалјска станца Light – T4.



Slika 52. Земалјска станца Light – T4

Izvor: [120]

### **5.2.3 Primjeri upotrebe bespilotnih zrakoplova u svrhe nadzora i prikupljanja podataka**

Policija je u gradu Arlington-u 2013. godine dobila odobrenja za upotrebu bespilotnih zrakoplova u svrhe fotografiranja mjesta zločina, potrage za nestalim osobama te prikupljanje informacija o nastaloj šteti nakon oluje. Tijekom jedne talačke krize koristio se bespilotni zrakoplov za nadzor mjesta događaja. U saveznoj državi Pennsylvania policija koristi bespilotni zrakoplov za nadzor prometa, fotografiranje mjesta nesreće te u potragama za kriminalcima. [121].

Uprava za ceste i promet u Dubai-u je 2017. godine koristila bespilotne zrakoplove za nadzor prometa te za obavljanje očevida nakon prometnih nesreća [80]. Bespilotni zrakoplovi prelijetali bi ceste te bi snimali što se događa na njima. Zatim bi prikupljene podatke prosljedili kontrolnom centru. Kroz određene aplikacije ili društvene mreže građani bi dobili informacije o slobodnim parkirnim mjestima, prometnim gužvama, itd. Uz ceste, bespilotni zrakoplovi koristili bi se i za nadzor stanica za metro i tramvaje. Također, Uprava za ceste i promet u Dubai-u koristila je bespilotne zrakoplove prilikom inspekcije kamiona (preko 300 kamiona provjereno je na taj način) [113]. Kompanija Elistair Tethered je u Lyon-u koristila bespilotni zrakoplov za prikupljanje prometnih podataka. Bespilotni zrakoplovi koristili su se u Ateni (Grčka) za praćenje protoka vozila u prometno zagušenim područjima [80].

Kineska policija je u 2017. godini koristila oko 1.000 bespilotnih zrakoplova za praćenje kriminalaca te za otkrivanje plantaža na kojima se ilegalno uzgaja marihuana. Također, bespilotni zrakoplovi se u Kini koriste za mjerenje emisija štetnih plinova koji nastaju zbog prometa, industrije te grijanja kućanstva [113].

## **5.3 Upotreba bespilotnih zrakoplova u kriznim situacijama**

Bespilotni zrakoplovi mogu biti vrlo koristan alat u rješavanju kriznih situacija poput poplava, potresa, terorističkih napada, požara u urbanim sredinama, itd. Opremljeni su kamerama visoke rezolucije pomoću kojih snimaju zahvaćeno područje. Prikupljene snimke se u stvarnom vremenu prenose u kontrolni centar gdje se analiziraju te se donose odluke o daljnjem postupanju jedinica na mjestu događaja.

Navedeno omogućuje zapovjednicima donošenje ispravnijih naredbi budući da imaju vjerniju sliku o razvoju situacije na terenu. Također, mogu biti opremljeni sensorima koji mogu detektirati otrovne plinove, mjeriti kvalitetu zraka, itd [122]. Prikupljene video snimke nakon rješavanja krizne situacije mogu se koristiti za analizu i istragu samog događaja. Na temelju video snimaka moguće je identificirati područja koja je potrebno unaprijediti u budućim misijama spašavanja.

Osim prikupljanja video snimaka, bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti za identificiranje lokacija na kojima se nalaze preživjeli i dostavljanje prve pomoći (lijekova, uređaja za oživljavanje, itd.). U daljnjoj budućnosti bespilotni zrakoplovi mogli bi se koristiti i za prijevoz ozlijeđenih osoba do bolnica. Bespilotni zrakoplovi koji se koriste u kriznim situacijama opremljeni su naprednim sensorima i termalnim kamerama pomoću kojih mogu detektirati požar u ranim fazama te mogu pronaći ljude koji se nalaze ili su zarobljeni na teško dostupnim područjima. Informacije o zarobljenim osobama omogućuju zapovjednicima da što bolje rasporede jedinice na zemlji kako bi se spasio što veći broj ljudi. Također, bespilotni zrakoplovi mogu se koristiti kao zamjenski sustav za međusobno komuniciranje jedinica na zemlji ukoliko je došlo do oštećenja postojećeg sustava za komuniciranje [80].

Nakon potresa u okrugu Wenchuanu 2008. godine koristili su se bespilotni zrakoplovi za prikupljanje informacija o nastaloj šteti nakon potresa. Također, korišteni su i za pregled postrojenja nakon nuklearne katastrofe u Fukushima Daiichi 2011. godine. Bespilotni zrakoplovi koristili su se i za prikupljanje informacija o nastaloj šteti nakon Typhoon Haiyan na Filipinima [123]. Pomoću DJI-evih bespilotnih zrakoplova spašeno je 1.022 ljudi dok je bespilotni zrakoplov korišten u 616 misija spašavanja. U Splitu su u 2020. godini pomoću bespilotnog zrakoplova pronašli čovjeka koji je htio počiniti samoubojstvo. U Zagrebu u 2021. godini vatrogasci su koristili bespilotni zrakoplov te su pomoću njega uočili zarobljenu osobu u stanu u zgradi koja je gorila [124].

Prednosti upotrebe bespilotnih zrakoplova u kriznim situacijama su brojne. Njegove male dimenzije omogućuju mu korištenje u urbanim sredinama, parkovima, šumama, itd. Također, zbog njegove mobilnosti, raznih naprednih kamera i senzora predstavljaju odličan alat koji pomaže službama za spašavanje u kriznim situacijama. Još jedna velika prednost je ta što je potrebno jako malo vremena za postavljanje te polijetanje bespilotnog zrakoplova. Upravljanje bespilotnim zrakoplovom je lagano te

zahtijeva vrlo malo treninga. Uspoređujući bespilotne zrakoplove s helikopterom ili zrakoplovom koji se također koriste u misijama potrage i spašavanja predstavljaju daleko jeftiniju opciju. Prvenstveno zbog nižih operativnih troškova i iz razloga što mogu raditi više zadataka istovremeno [122]. Upotrebom bespilotnih zrakoplova ljudi se ne izlažu nepotrebnom riziku.

## 5.4 Inteligentni transportni sustavi

Inteligentni transportni sustavi (engl. *Intelligent Transportation System* – ITS) predstavljaju vrlo bitnu stavku prilikom razvoja pametnih gradova. Cjelokupan transportni sustav nije moguće automatizirati upotrebom samo autonomnih vozila već je potrebno automatizirati ostale dijelove prometnog sustava. Bespilotni zrakoplovi mogli bi imati značajnu ulogu u području ITS-a. U budućnosti će bespilotni zrakoplovi moći međusobno komunicirati te će biti moguća komunikacija između bespilotnih zrakoplova i vozila. Na taj način će se povećati sigurnost, dotok informacija te protok vozila [125].

Bespilotni zrakoplov mogao bi biti podrška, ali bi mogao i zamijeniti tim za pomoć na cestama u slučajevima kada se dogodi lakša prometna nesreća. Ukoliko se dogodi teža prometna nesreća mogao bi navoditi hitne službe kako bi izbjegli gužve čime bi se povećale šanse za spašavanje unesrećenih osoba. Kontrolnom centru prosljeđivao bi podatke poput broja ozlijeđenih osoba i njihovo zdravstveno stanje, slike nesreće, itd. Također, mogao bi se koristiti za uspostavu komunikacije između medicinskog tima i ljudi na mjestu nesreće. Policija bi bespilotne zrakoplove mogla koristiti za nadziranje prometa te za slanje izvještaja o počinjenim prekršajima. Bespilotni zrakoplovi također bi se koristili za ispitivanje stanja cesta te za brojanje vozila [125].

Privatnost i sigurnost predstavljaju velike izazove prilikom upotrebe bespilotnih zrakoplova u području ITS-a. Pod osjetljive informacije svrstavaju se lokacija vozila, informacije o korisnicima vozila, brzina vozila, itd. Kako bi se osigurala privatnost potrebno je kriptirati podatke. Regulativa predstavlja određeni nedostatak budući da još kao takva nije donesena. Također, zbog baterija ograničeno je trajanje leta bespilotnog zrakoplova. Uz bateriju potrebno je istaknuti ograničenost sustava u vezi



obrade podataka te domet signala. Brzina bespilotnog zrakoplova također predstavlja određeno ograničenje. Na primjer, postavlja se pitanje hoće li bespilotni zrakoplov moći sustići automobil na autocesti koji vozi daleko većom brzinom nego je dopušteno. Navedeni problem moguće je riješiti dopuštanjem bespilotnim zrakoplovima da lete na većim visinama [125].

## 5.5 Urbana zračna mobilnost

Urbana zračna mobilnost (engl. *Urban Air Mobility – UAM*) novi je sustav za prijevoz putnika i tereta u gusto naseljenim i izgrađenim područjima i oko njih. Navedeno je moguće zahvaljujući električnim zrakoplovima s mogućnošću vertikalnog polijetanja i slijetanja (engl. *Electric Vertical take-off and landing – eVTOL*), ali i razvojem bespilotnih zrakoplova. Poboljšanja u području baterija i električne propulzije omogućuju širu primjenu u urbanim sredinama. Neke operacije urbane zračne mobilnosti već se odvijaju, primjerice dostavljanje paketa ili medicinske opreme pomoću bespilotnih zrakoplova. U Europi se trenutno testiraju rješenja urbane zračne mobilnosti. Komercijalne operacije očekuju se kroz 3 – 5 godina. Implementacijom sustava doprinijet će se okolišu u ekološkom smislu te će se ostvariti brojne prednosti za građane i poduzeća u vidu komercijalnih i hitnih potreba [126].

Definirano je 8 načela za uspješnu provedbu održive urbane mobilnosti. Navedena načela odnose se na sve oblike transporta u urbanim sredinama. Načela su sljedeća: planiranje održive mobilnosti u gradovima, međuinstitucijska suradnja, uključiti građane i ostale dionike u projekt, procijeniti trenutni i budući učinak, definirati dugoročnu viziju i jasan implementacijski plan, međusobno povezati sve oblike transporta u urbanim sredinama, definirati pokazatelje za evaluaciju i praćenje napretka te osigurati kvalitetu [79].

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (EASA) provela je istraživanje o društvenom prihvaćanju urbane zračne mobilnosti u Europi. Istraživanje se provodilo u periodu od studenog 2020. godine do svibnja 2021. godine. Pritom je ispitano 4.000 građana. U istraživanju je 83% ljudi izrazilo pozitivan stav o urbanoj zračnoj mobilnosti dok je njih 17% izrazilo negativan stav. Također, veliki postotak građana zainteresiran je za korištenje usluga urbane zračne mobilnosti:

- 64% građana je za dostavljanje pomoću bespilotnih zrakoplova;
- 49% je za korištenje zračnih taksija (engl. *air taxi*);
- 43% je zainteresirano za korištenje obje usluge;
- 71% bi koristilo barem jednom jednu od usluga.

Građani smatraju da će bespilotni zrakoplovi i eVTOL zrakoplovi biti najkorisniji u medicinske svrhe. Na prvo mjesto stavili su prijevoz ozlijeđenih osoba, zatim dostavljanje medicinskih potrepština između bolnica te prijevoz medicinskog osoblja. Na četvrto i peto mjesto stavili su korištenje bespilotnih zrakoplova tijekom kriznih situacija i prijevoz teškog tereta na dužim relacijama. Očekivane prednosti su najbrži oblik transporta u gradovima (kraće vrijeme reakcije), ekološki su prihvatljiviji i osiguravaju bolju povezanost. Od nedostataka naveli su sigurnost, buku i zaštitu privatnosti [127].

## 5.6 Prednosti i nedostaci primjene bespilotnih zrakoplova

Primjenom bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama ostvaruju se brojne prednosti poput mogućnost operativnog rada 24/7. Također, bez posade su što im omogućuje da se koriste za riskantnije zadatke. Na taj način sprječava se izlaganje ljudi riziku od trovanja, ozljeđivanja, itd. Upotrebom bespilotnih zrakoplova zamjenjuju se ljudi u poslovima poput provođenja inspekcija infrastrukture, brzih dostava, itd. Navedeno rezultira brojnim uštedama. Velika prednost bespilotnog zrakoplova je ta što je potrebno vrlo malo vremena da se sastavi, pozicionira te da isti poleti. Vrijeme je u slučaju izvanrednih događaja poput potresa, požara, prometnih nesreća vrlo bitna stavka. Kraće vrijeme odaziva hitnih služba rezultira većim šansama za spašavanje unesrećenih osoba. Uz brojne prednosti pojavljuju se i određeni nedostaci poput kibernetičke sigurnosti, privatnosti građana te ograničenosti baterije.

Izazovi koji se pojavljuju prilikom implementacije bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama mogu se podijeliti na poslovne i tehničke. U poslovne izazove ubrajaju se privatnost građana, trošak implementacije, registracija bespilotnih zrakoplova te regulativa, dok se u tehničke izazove ubraja razvoj softvera koji upravlja bespilotnim zrakoplovima, pristup dizajnu strukture zrakoplova primjenom metode

sigurne konstrukcije zrakoplova (engl. *fail-safe*), razvoj motora, razvoj sustava za otkrivanje i izbjegavanje sudara, itd. [128]

### 5.6.1 Ekonomski pokazatelji

Tržište bespilotnih zrakoplova procijenjeno je na 17,31 milijardu dolara u 2024. godini te se prognozira da će nastaviti rasti i da će 2029. godine iznositi 32,95 milijardi dolara. U vremenskom periodu od 2024. do 2029. godine prosječna godišnja stopa rasta iznosila bi 13,74%. Najveći porast broja bespilotnih zrakoplova zabilježen je u Sjevernoj Americi [129].

Bespilotni zrakoplovi puno su prihvatljivija i jeftinija opcija u odnosu na helikoptere. Budući da su troškovi održavanja daleko manji te je potrebno puno manje mjesta za polijetanje i slijetanje te za skladištenje u odnosu na helikopter.

Prilikom dostavljanja pošiljaka unutar 30 minuta bespilotni zrakoplovi ostvaruju prednost u odnosu na električne kombije. Ušteda se ostvaruje u vidu ljudskog rada i održavanja vozila. Dostavljanjem pošiljaka bespilotnim zrakoplovima štedi se 5,6\$ po dostavi. Procijenjeno prosječno vrijeme za dostavljanje paketa koristeći električni kombi iznosi 352 minute, dok bespilotni zrakoplov ima mogućnost dostaviti paket za 7 minuta. Dostavljanje medicinskih uzoraka bespilotnim zrakoplovima ostvaruje se ušteda od 4,5\$ po dostavi te je moguće dostaviti uzorak za 15 minuta za razliku od kombija kojem je potrebno 42 minute [130].

Bespilotni zrakoplovi ostvaruju prednosti i u odnosu na električne bicikle koje često koriste dostavljači hrane. Na svim udaljenostima bespilotni zrakoplovi ostvaruju prednost. Jedan bespilotni zrakoplov može zamijeniti 13 dostavljača na električnim biciklima. Ušteda po dostavi bespilotnim zrakoplovom iznosi 1,7\$ te je moguće dostaviti hranu za 6 minuta dok je procijenjeno 13 minuta za električni bicikl [130].

Sve većom upotrebom bespilotnih zrakoplova u obavljaju svakodnevnih zadaća otvarat će se nova radna mjesta. U Australiji je provedeno istraživanje na temu bespilotnih zrakoplova. Procijenjeno je da će se u periodu od 20 godina otvoriti do 10.000 radnih mjesta koja su na neki način povezana s bespilotnim zrakoplovima [131].

## 5.6.2 Utjecaj bespilotnih zrakoplova s ekološkog aspekta

Bespilotni zrakoplovi emitiraju 84% manje emisija ispušnih plinova u odnosu na dizelske kombije te troše 94% manje energije po dostavi [132]. Upotrebom bespilotnih zrakoplova uklonio bi se dio kombija iz cestovnog prometa što bi rezultiralo boljim protokom vozila te bi se smanjile gužve. Smanjenjem gužva također bi se utjecalo na smanjenje emisija ispušnih plinova nastalih od vozila.

Budući da će se bespilotni zrakoplovi u urbanim sredinama koristiti na nižim visinama postoji određena zabrinutost da bi moglo doći do čestih kontakata s pticama. Također, na zdravlje ptica može utjecati kontinuirana prisutnost bespilotnih zrakoplova te buka koju proizvode rotor. Način na koji se mogu zaštititi životinje je ograničavanje letenja bespilotnim zrakoplovima na područjima parkova, šuma, itd. Na primjer, vlasti u Londonu su zabranile letenje bespilotnih zrakoplova u parkovima. Postoje i slučajevi kada su zabunom ptice napale bespilotne zrakoplove jer su smatrale da su hrana. Takav slučaj dogodio se u Australiji kada su dva orla srušila bespilotni zrakoplov [133].

Buka koju stvaraju rotor bespilotnih zrakoplova predstavlja opasnost i za ljude. Pogotovo one koji žive u blizini zračnih koridora kojima lete bespilotni zrakoplovi namijenjeni za dostavljanje paketa.

## 5.6.3 Privatnost građana

Ljudi koji žive u urbanim sredinama vrlo su zabrinuti zbog svoje privatnosti budući da su svi bespilotni zrakoplovi opremljeni kamerama visoke rezolucije i raznim sensorima pomoću kojih mogu prikupljati razne informacije. To je jedan od većih problema koji ljude sprječava u prihvaćanju bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama. Hakeri neovlaštenim upadom u sustav mogu krasti podatke o drugim osobama te ih koristiti u nedozvoljene svrhe.

Kako bi se zaštitila privatnost građana bespilotnim zrakoplovima zabranjeno je letjeti iznad kuća i dvorišta građana. Savezna država Kalifornija zabranila je novinarima korištenje bespilotnih zrakoplova za prelijetanje te snimanje poznatih osoba dok se nalaze u svojim domovima. U Chicagu je zabranjeno letjeti bespilotnim zrakoplovima iznad crkva, škola, bolnica i policijskih postaja. Također, zabranjeno ih je koristiti u parkovima, na sajmovima, stadionima i sveučilišnim kampovima.

Sveučilište u Michigan-u zabranilo je korištenje bespilotnih zrakoplova za vrijeme nogometne utakmice na Michigan stadionu [121].

#### **5.6.4 Sigurnost primjene bespilotnih zrakoplova**

Javna sigurnost može se ugroziti uobičajenom upotrebom u dozvoljenim aktivnostima, ali i zlonamjernom upotrebom u cilju ostvarenja nekog planiranog protupravnog akta. Prijetnje kojima se ugrožava javna sigurnost mogu se podijeliti na nenamjerne (slučajne) i namjerne (planirane) ugroze. Kod nenamjernih ugroza većinom je uzrok nepoznavanje propisa, nestručno rukovanje, tehnička neispravnosti, itd. Namjerne ugroze bespilotnim zrakoplovom mogu se svrstati u ometanje, obavještajne djelatnosti, krijumčarenje te oružane napade. Pod ometanjem se podrazumijeva kada se bespilotnim zrakoplovom ometaju službe koje sudjeluju u gašenju požara, vojnim vježbama, zračnom prometu, itd. Zračna luka Gatwick 2018. godine bila je zatvorena za promet na 30 sati zbog kontinuiranih letova bespilotnih zrakoplova iznad zračne luke. Navedeno je negativno utjecalo na 1000 zrakoplova i na 140.000 putnika. Godinu dana kasnije slična se situacija dogodila Zračnoj luci Split koja je obustavila promet na pola sata. Američka agencija za borbu protiv droge (engl. *Drug Enforcement Administration* – DEA) je od 2012. godine zabilježila oko 150 bespilotnih zrakoplova koji su prokrijumčarili oko 2 tone kokaina i drugih droga. Godine 2018. počinjen je neuspjeli pokušaj napada bespilotnim zrakoplovom na predsjednika Venezuele u glavnom gradu [134].

Veliki sigurnosni problem može prouzročiti pad bespilotnog zrakoplova u urbanim sredinama. Do pada bespilotnog zrakoplova može doći iz nekoliko razloga poput tehničkog kvara, propusta u održavanju, sudara u zraku, otimeanja, itd. Također, vanjski uvjeti mogu utjecati na pad bespilotnog zrakoplova poput jakog vjetra, turbulencije, groma, itd. Navedeno bi moglo prouzročiti značajne materijalne štete te bi moglo dovesti do ozljeđivanja stanovnika. Također, potrebno je osigurati dovoljan razmak između bespilotnih zrakoplova i zrakoplova kako ne bi došlo do sudara između njih samih. Vrlo je bitno da se bespilotni zrakoplovi drže van zabranjenih područja kako ne bi smetali zrakoplovima. Zračne luke su primjeri područja u kojima je uvijek zabranjeno letenje bespilotnim zrakoplovima (osim uz posebne dozvole) [80].

### 5.6.5 Kibernetička sigurnost

Tehnologija koja se nalazi unutar bespilotnih zrakoplova predstavlja veliki sigurnosni problem budući da ju je moguće hakirati ili uništiti te se na taj način može poremetiti rad čitavog sustava. Navigacijski sustav bespilotnog zrakoplova baziran je na GPS-u što predstavlja određeni problem budući da signal nije kriptiran. Rad bespilotnog zrakoplova moguće je poremetiti lažiranjem adrese (engl. *Spoofing*) ili ometanjem (engl. *Jamming*) Wi-Fi (engl. *Wireless Fidelity*) signala. Pod takozvanim Spoofing napadom podrazumijeva se odašiljanje lažnih GPS koordinata kontrolnom sustavu bespilotnog zrakoplova. Napad će biti uspješan ukoliko se odašiljač lažnog signala nalazi blizu bespilotnog zrakoplova ili se koristi usmjerena antena [135].

Bespilotni zrakoplovi koji se kontroliraju pomoću Wi-Fi mreže koriste IEEE 802.11 standard (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE*). Gotovo sva komunikacija između bespilotnog zrakoplova i zemaljske stanice odvija se preko Wi-Fi mreže. Korištenjem softvera SkyJack moguće je preuzeti kontrolu nad bespilotnim zrakoplovom. Od napada se moguće obraniti zaštitom Wi-Fi pristupa [135]. Također, moguće je izvesti Jamming Wi-Fi napad tijekom kojega se ometa Wi-Fi signal što može dovesti do gubitka kontrole nad bespilotnim zrakoplovom. Potrebno je uspostaviti sigurnu vezu između bespilotnog zrakoplova i zemaljske stanice kako ne bi došlo do krađe podataka te preuzimanja kontrole nad bespilotnim zrakoplovom [80].

### 5.6.6 Zaštita od neovlaštenih bespilotnih zrakoplova

Nenamjerno ugrožavanje javne sigurnosti moguće je riješiti edukacijom udaljenih pilota. Edukacija udaljenih pilota trebala bi se sastojati od teoretskog i praktičnog dijela. Obrana od namjernog ugrožavanja javne sigurnosti upotrebom bespilotnih zrakoplova počinje detektiranjem bespilotnog zrakoplova u letu. Bespilotne zrakoplove moguće je detektirati pomoću radara kratkog i dugog dometa, radio-frekvencijskih analizatora, optičkih senzora (kamere), zvučnih senzora (mikrofoni) te praćenjem GPS-a. Pomoću radio-frekvencijskih detektora moguće je istovremeno pratiti i identificirati više bespilotnih zrakoplova te udaljenog pilota. Njihov nedostatak je što nije moguće detektirati autonomne bespilotne zrakoplove te su u većini slučajeva kratkog dometa. Autonomne bespilotne zrakoplove moguće je detektirati pomoću zvučnih senzora. Nedostatak zvučnih senzora su smanjene performanse u bučnim

područjima. Prednost korištenja kamera za detekciju bespilotnog zrakoplova je u tome što pružaju sliku bespilotnog zrakoplova i potencijalnog tereta.

Nakon detektiranja potrebno je prepoznati opasnost koju bespilotni zrakoplov predstavlja te se zatim pristupa onemogućavanju daljnjeg leta i sprječavanju nastupa štete. Let bespilotnog zrakoplova moguće je spriječiti fizičkim uništenjem ili se udaljenom pilotu onemogućava upravljanje bespilotnim zrakoplovom ili se preuzima kontrola nad samim bespilotnim zrakoplovom. Ukoliko bespilotni zrakoplov leti iznad urbanih sredina fizičko uništenje nije najprihvatljivija opcija budući da se ljudi izlažu riziku od pada bespilotnog zrakoplova. Osim ozljeđivanja ljudi može prouzročiti značajnu štetu na zgradama, automobilima, itd. U urbanim sredinama prihvatljivije je koristiti sustave za ometanje ili preuzimanje signala te kinetičke sustave (ispaljivanje mreže) [134]. Nekoliko kompanija razvilo je bespilotne zrakoplove koji su namijenjeni za hvatanje zlonamjernih bespilotnih zrakoplova. Bespilotni zrakoplovi izbacuju kapsulu s mrežom koja je kvadratnog oblika te se pomoću nje hvata zlonamjerna bespilotni zrakoplov. Nakon toga padobranom se spušta na zemlju.

Ukoliko se želi zabraniti let bespilotnih zrakoplova u određenim područjima potrebno je uspostaviti zone zabranjenog leta. U takvim područjima postupak uklanjanja bespilotnih zrakoplova puno je kraći budući da čim se isti uoči kreće se s postupkom onemogućavanja leta. Iz razloga što se smatra da se bespilotni zrakoplov koji se nađe u toj zoni namjerava koristiti za ne dozvoljene zadaće [134]. Pojedini proizvođači bespilotnih zrakoplova ugrađuju u svoje bespilotne zrakoplove sustave za geo-ograđivanje (engl. *geo-fencing*). Navedeni sustav obavještava udaljenog pilota da se bespilotni zrakoplov nalazi blizu zabranjene zone. Isti može spriječiti i ulazak bespilotnog zrakoplova u zabranjenu zonu. Sustav ne može u potpunosti spriječiti ulazak bespilotnog zrakoplova u zabranjenu zonu budući da se mogu dogoditi određeni propusti u sustavu ili može biti pogreška udaljenog pilota. Navedeni sustav nije obavezan [121].

## 6 U-Space zračni prostor

U SAD-u u 2024. godini registrirano je 781.781 bespilotni zrakoplov, pri čemu je 375.226 bespilotnih zrakoplova registrirano u komercijalne svrhe, a 400.858 ih je registrirano u rekreativne svrhe [136]. SESAR (engl. *Single European Sky ATM Research – SESAR*) je razvojni program projekta „jedinstveno europsko nebo“ usmjeren je na uspostavu i razvoj menadžmenta zračnog prometa, te kanaliziranje razvojnih projekata Europske komisije i EUROCONTROL-a. Glavni cilj je uspostava harmonizirane mreže menadžmenta europskog zračnog prometa koja će se moći nositi s predviđenim rastom zračnog prometa i ugrozom sigurnosti koju taj rast potiče. Razvojnim programom se procjenjuje da se u Europi koristi oko 10.000 bespilotnih zrakoplova u komercijalne svrhe te da će taj broj narasti na 200.000 bespilotnih zrakoplova do 2025. godine, a 2035. godine bit će oko 395.000 bespilotnih zrakoplova [137]. Osim naglog porasta broja bespilotnih zrakoplova veliki problem pružateljima usluga u zračnom prostoru predstavlja i visina na kojoj lete bespilotni zrakoplovi. Bespilotni zrakoplovi lete na visinama manjim od 150 m. Do sada se u tom zračnom prostoru nije odvijao značajan promet budući da su zrakoplovi obavezni letjeti minimalno na 300 m ili više iznad gusto naseljenih područja ili 150 m iznad slabo naseljenih područja. Iznimke su zračne luke. Novi volumeni zračnog prostora stvaraju značajne probleme kontroli zračne plovidbe [138].

U-Space zračni prostor podrazumijeva zemljopisno područje za bespilotne zrakoplove koje su odredile države članice u kojem su operacije bespilotnih zrakoplova dopuštene samo uz potporu U-space usluga [139].

Europska komisija je 22. travnja 2021. godine donijela Uredbu 2021/664 o regulatornom okviru za U-space. Navedenom Uredbom utvrđuju se pravila i postupci za sigurne operacije bespilotnih zrakoplova u U-space zračnom prostoru, za sigurnu integraciju bespilotnih zrakoplova u zrakoplovni sustav i za pružanje U-space usluga. Uredba se primjenjuje na operatore bespilotnih zrakoplova, pružatelje U-space usluga i pružatelje zajedničkih usluga informiranja [140].

Provedbena Uredba komisije 2021/665 donesena je 22. travnja 2021. godine. Navedena Uredba donosi izmjene u pogledu zahtjeva za pružatelje usluga upravljanja zračnim prometom i pružatelje usluga u zračnoj plovidbi i drugih mrežnih funkcija za



upravljanje zračnim prometom u U-space zračnom prostoru koji je određen u kontroliranom zračnom prostoru [139].

Europska komisija 22. travnja 2021. godine donosi Uredbu 2021/666. U Uredbi su donesene izmjene u pogledu zahtijeva za zračni promet s posadom u U-space zračnom prostoru [141].

## **6.1 Usluge pružane unutar U-space zračnog prostora**

U-space usluge oslanjaju se na digitalne usluge i automatizaciju funkcija namijenjenih za podupiranje sigurnog, zaštićenog i učinkovitog pristupa U-space zračnom prostoru za veliki broj bespilotnih zrakoplova. U U-space zračnom prostoru smiju djelovati samo operatori bespilotnih zrakoplova koji koriste U-space usluge. Usluge koje će se pružati su: mrežna usluga identifikacije, usluga geoinformiranja, usluga odobravanja leta bespilotnog zrakoplova i usluga prometnih informacija [140].

Mrežna usluga identifikacije omogućuje stalnu obradu daljinske identifikacije bespilotnog zrakoplova tijekom cijelog trajanja leta i pruža daljinsku identifikaciju bespilotnog zrakoplova ovlaštenim korisnicima. Ovlašteni korisnici dobivaju slijedeće podatke: registracijski broj operatora, jedinstveni serijski broj bespilotnog zrakoplova, geografski položaj (nadmorsku visinu i visinu iznad površine ili uzletne točke), pravac rute otklonjen u smjeru kazaljke na satu u odnosu na geografski sjever i brzinu u odnosu na tlo, geografski položaj udaljenog pilota, status hitnosti bespilotnog zrakoplova i vrijeme u kojem su poruke generirane [140].

U sklopu usluga geoinformiranja pružaju se slijedeće informacije: zemljopisna područja za bespilotne zrakoplove relevantna za U-space zračni prostor, informacije o promjenjivim operativnim uvjetima i ograničenjima zračnog prostora u U-space zračnom prostoru te privremena ograničenja koja se primjenjuju na upotrebu zračnog prostora u U-space zračnom prostoru [140].

Operator bespilotnog zrakoplova prije svakog leta mora podnijeti zahtjev za odobravanje leta svojem pružatelju usluga. Pružatelji usluga provjeravaju zahtjeve za odobrenje leta u odnosu na ograničenja u U-space zračnom prostoru i privremena ograničenja zračnog prostora. Pri obradi zahtjeva za odobrenje leta prednost se daje

bespilotnim zrakoplovima koji provode posebne operacije. Jedinostveni broj odobrenja izdaje se za svako odobrenje za let bespilotnog zrakoplova. Također, prilikom izdavanja odobrenja izdaju se i meteorološke informacije. Kada je bespilotni zrakoplov spreman za let potrebno je uputiti pružatelju usluga zahtjev za aktiviranje odobrenja [140].

Pod pojmom prometnih informacija podrazumijevaju se informacije o svakom drugom uočljivom zračnom prometu koji može biti u blizini položaja ili planirane rute leta bespilotnog zrakoplova. Dije se informacije o zrakoplovima s posadom i prometu bespilotnih zrakoplova koje dijele drugi pružatelji U-space usluga [140].

Unutar usluga meteorološkog informiranja podrazumijevaju se informacije o smjeru i brzini vjetrova, visini najniže djelomične ili potpune naoblake, vidljivost, temperatura i rosište, pokazatelji konvektivne aktivnosti i oborina, odgovarajući barometarski tlak zraka prilagođen razini mora (engl. *barometric pressure adjusted to sea level* – QNH), itd [140]. Operatoru bespilotnog zrakoplova dostavljaju se vremenske prognoze i aktualne vremenske informacije prije i tijekom leta.

Usluga praćenja usklađenosti omogućuje operatorima bespilotnih zrakoplova da provjere ispunjavaju li zahtjeve i uvjete odobrenja za let bespilotnog zrakoplova. Ukoliko pružatelj U-space usluga otkrije odstupanja operatora o tome će obavijestiti druge operatore bespilotnih zrakoplova. Također, obavještava druge pružatelje U-space usluga te relevantne jedinice operativnih usluga u zračnom prometu [140].

## **6.2 Uspostava zračnog prostora za bespilotne zrakoplove**

Ukoliko se odredi U-space zračni prostor unutar kontroliranog zračnog prostora potrebno je primijeniti dinamičku rekonfiguraciju zračnog prostora unutar U-space-a. Dinamička rekonfiguracija podrazumijeva privremenu izmjenu U-space zračnog prostora radi prilagodbe kratkoročnim promjenama u potražnji u prometu s posadom te prilagodbom zemljopisnih granica tog U-space zračnog prostora [140]. U tablici 2. prikazano je koje se usluge u pojedinim razredima u U-space zračnom prostoru pružaju bespilotnim zrakoplovima. Također, navedeni su uvjeti pod kojima se mogu dopustiti letovi prema pravilima instrumentalnog letenja (engl. *Instrument Flight*

*Rules – IFR*) i letovi prema pravilima vizualnog letenja (engl. *Visual Flight Rules – VFR*) u U-space zračnom prostoru.

Tablica 2. Razredi zračnog prostora i U-space usluge koje se pružaju u pojedinim razredima.

Razred	Vrsta leta	Dopušteno u U-space zračnom prostoru	Usluge u U-space zračnom prostoru
A	samo IFR	Ne ako nema dinamičke rekonfiguracije zračnog prostora	
	Sustav bespilotnog zrakoplova (engl. <i>Unmanned Aircraft System – UAS</i> )	Da	Odobrenje za let UAS-a Prometne informacije o UAS-ovima
B, C i D	IFR i VFR	Ne ako nema dinamičke rekonfiguracije zračnog prostora	
	UAS	Da	Odobrenje za let UAS-a Prometne informacije o UAS-ovima
E	IFR	Ne ako nema dinamičke rekonfiguracije zračnog prostora	
	VFR	Da, podložno dijeljenju pozicije s pružateljima U-space usluga	Nema
	UAS	Da	Odobrenje za let UAS-a

			Prometne informacije o UAS-ovima i VFR-u
F	IFR	Da, podložno dijeljenju pozicije s pružateljima U-space usluga	Nema
	VFR	Da, podložno dijeljenju pozicije s pružateljima U-space usluga	Nema
	UAS	Da	Odobrenje za let UAS-a Prometne informacije o UAS-ovima, IFR-u i VFR-u
G	IFR	Da, podložno dijeljenju pozicije s pružateljima U-space usluga	Nema
	VFR	Da, podložno dijeljenju pozicije s pružateljima U-space usluga	Nema
	UAS	Da	Odobrenje za let UAS-a Prometne informacije o UAS-ovima, IFR-u i VFR-u

Izvor: [140]

### 6.3 Odvajanje bespilotnih zrakoplova

Odvajanje bespilotnih zrakoplova može se provoditi na nekoliko načina. Pod takozvanim fiksnim odvajanjem podrazumijeva se održavanje fiksnog razmaka između dva bespilotna zrakoplova. Predloženi su razmaci poput 555,6 m (0,3 NM) ili 185,2 m

(0,1 NM) horizontalno te 30,48 m (100 ft) vertikalno ili 666,7 m (0,36 NM) horizontalno te 137,16 m (450 ft) vertikalno. Manji razmaci između bespilotnih zrakoplova mogući su zbog njihovih malih dimenzija te okretljivosti. Sljedeći način je dinamičko razdvajanje bespilotnih zrakoplova. Razmak između bespilotnih zrakoplova određuje se na osnovu klase kojoj isti pripadaju. Bespilotni zrakoplovi zahtijevaju manji razmak zbog naprednije tehnologije pomoću koje mogu detektirati i učinkovito izbjeći te predvidjeti putanju drugog bespilotnog zrakoplova. Dok je kod bespilotnih zrakoplova sa slabijom opremom potrebno osigurati veći razmak. Kapacitet zračnog prostora ovisi o bespilotnim zrakoplovima unutar njega te se mijenja ulaskom novih bespilotnih zrakoplova. Treći način razdvajanja bespilotnih zrakoplova je takozvano nestandardno razdvajanje. U tom slučaju bespilotni zrakoplovi oslanjaju se na sustav za otkrivanje i izbjegavanje sudara. Navedena tehnologija omogućuje bespilotnim zrakoplovima detektiranje prepreke te promjenu putanje kako bi se izbjegla ista. Manji bespilotni zrakoplovi nisu opremljeni radarom ili LiDAR-om već koriste kameru za izbjegavanje prepreka [142].

Rizik od sudara moguće je smanjiti upotrebom sustava za geo-ograđivanje. Navedeni sustav podrazumijeva virtualne granice unutar zračnog prostora. Koristi se kako bi se ograničio ili potpuno zabranio ulazak svim ili određenim bespilotnim zrakoplovima u specifični zračni prostor. Navedeni zračni prostor može biti iznad aerodroma, bolnica, vojnih baza, prirodnih rezervata, itd. Virtualne granice mogu biti dugoročne i kratkoročne. Dugoročne se koriste prilikom definiranja zračnih puteva dok se kratkoročne koriste u slučajevima potrage i spašavanja, loših vremenskih uvjeta, itd [142].

## **6.4 Koncepti zračnog prostora u urbanim sredinama**

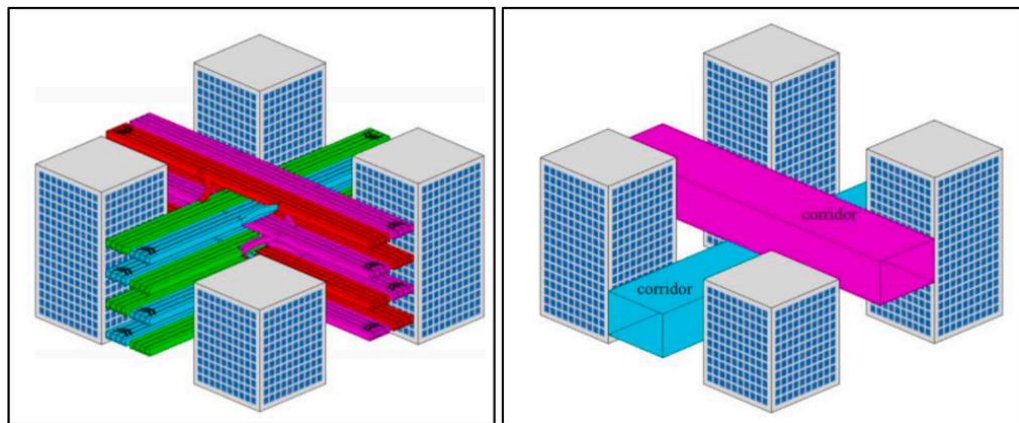
Veliki izazov pružateljima usluga u zračnom prostoru predstavlja integracija bespilotnih zrakoplova u zračni prostor. Pružatelji usluga u zračnom prostoru moraju imati napredniju tehnologiju koja bi omogućila funkcioniranje sustava u kojem bi bespilotni zrakoplovi mogli samostalno izabrati putanju, brzinu i visinu. Postoje dva pristupa upravljanja prometom sustava bespilotnih zrakoplova. Prvi je predložen od strane FAA i Državne civilne uprave SAD-a za zrakoplovna i svemirska istraživanja i

razvoj (engl. *National Aeronautics and Space Administration* – NASA). Smatraju da je potrebno razviti centralizirani sustav koji je dovoljno tehnološki napredan te će omogućiti bespilotnim zrakoplovima različitih performansi da obavljaju let u istom zračnom prostoru. Drugi pristup zastupa prvenstveno industrija bespilotnih zrakoplova. Smatraju da bi bespilotni zrakoplov trebao imati mogućnost izbora putanje koja njemu najviše odgovara te bi se razdvajanje samih bespilotnih zrakoplova obavljalo pomoću tehnologije kojom su opremljeni isti (sustav za otkrivanje i izbjegavanje sudara). Problem kod ovog drugog pristupa je što bespilotni zrakoplovi koji nemaju dovoljno naprednu tehnologiju ne bi mogli letjeti u tom zračnom prostoru [142].

Dizajn zračnog prostora prvenstveno ovisi o karakteristikama bespilotnih zrakoplova koji namjeravaju letjeti u tom zračnom prostoru. Neke od karakteristika su: veličina, brzina, manevarske sposobnosti letjelice, razina autonomije, itd.

Američka savezna uprava za zrakoplovstvo (FAA) i NASA razvili su projekt koji bi omogućio manjim bespilotnim zrakoplovima da obavljaju let u urbanim sredinama na manjim visinama izvan vidokruga udaljenog pilota. Pod tim se podrazumijeva let bespilotnim zrakoplovom do 122 m (400 ft). U tom zračnom prostoru let bi obavljali samo bespilotni zrakoplovi. Sustav za upravljanje prometom sustava bespilotnih zrakoplova razvijat će se kroz četiri faze. Prva faza podrazumijeva jednostavnije operacije te operacije izvan urbanih sredina dok četvrta faza podrazumijeva upotrebu bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama. U prvoj fazi koristile bi se postojeće tehnologije i razmaci između bespilotnih zrakoplova. Razvoj tehnologija poput otkrivanja i izbjegavanja sudara (engl. *detect-and-avoid*) omogućit će daljnje faze. Državna civilna uprava SAD-a za zrakoplovna i svemirska istraživanja i razvoj (NASA) planira uključiti bespilotne zrakoplove i u ostale klase zračnog prostora. Unutar kontroliranog zračnog prostora bespilotni zrakoplovi odvajali bi se od ostalog prometa na način da se kreiraju koridori ili blokovi koji su namijenjeni samo za bespilotne zrakoplove. Alternativno tome je da se bespilotni zrakoplovi integriraju u zračni prostor, a da se pritom ne kreiraju posebni blokovi ili koridori već je udaljeni pilot odgovoran za održavanje i poštivanje pravila koja se odnose na ostali promet. U tom slučaju udaljeni pilot odgovoran je za podnašanje plana leta te održavanje razmaka. Četvrta faza upravljanja prometom sustava bespilotnih zrakoplova podrazumijeva: geo-ograđivanje (engl. *geo-fencing*), upravljanje kapacitetima, zračne koridore, itd [142].

Državna civilna uprava SAD-a za zrakoplovna i svemirska istraživanja i razvoj (NASA) predlaže novi koncept u kojem bi zračni prostor bio podijeljen u nekoliko slojeva. Svaki sloj imao bi zračne koridore koji bi se nalazili iznad ulica te bi se protezali između zgrada. Razmatraju se tri različite strukture zračnog prostora: „sky-lane“, „sky-tube“ i „sky-corridor“. Kod „sky-lane“ strukture zračnog prostora bespilotni zrakoplovi značajno su ograničeni po pitanju visine, brzine, pozicije te kursa. Dok kod „sky-corridor“ strukture bespilotni zrakoplovi imaju puno veću slobodu prilikom izbora visine, brzine, itd. Na slici 53. lijevo prikazana je „sky-lane“ struktura zračnog prostora te je na desnoj strani prikazana „sky-corridor“ struktura zračnog prostora [142].



Slika 53. „Sky-lane“ i „sky-corridor“ struktura zračnog prostora

Izvor: [142]

U-space je projekt Europske komisije kojim se nastoji dopustiti bespilotnim zrakoplovima da obavljaju letove u zračnom prostoru na visinama do 150 metara. Na samom početku bespilotni zrakoplovi smiju letjeti samo u rezerviranom dijelu zračnog prostora. Razvojem tehnologije letovi bespilotnih zrakoplova bit će mogući i u ostalim dijelovima zračnog prostora. Integracija bespilotnih zrakoplova odvijat će se u četiri faze. Operacije bespilotnih zrakoplova u prvoj fazi prvenstveno će se odvijati iznad slabo naseljenih područja te će određene operacije biti dopuštene u urbanim sredinama, ali samo unutar vidokruga pilota. U drugoj fazi omogućit će se komunikacija između kontrole zračne plovidbe, pilota i operatora bespilotnih zrakoplova. Također, biti će dopušteni određeni letovi bespilotnog zrakoplova izvan vidokruga udaljenog

pilota. Treća faza podrazumijeva upotrebu bespilotnih zrakoplova u gusto naseljenim i vrlo zahtjevnim područjima. Pouzdani sustavi za komunikaciju te sustavi za otkrivanje i izbjegavanje sudara (engl. *detect-and-avoid*) omogućit će operacije u svim područjima. U četvrtoj fazi podrazumijeva se potpuna integracija bespilotnih zrakoplova u zračni prostor zahvaljujući autonomiji bespilotnih zrakoplova. Zračni prostor dijeli se na X, Y i Z zračni prostor. Zračni prostor X je zračni prostor s niskom razinom rizika. U tom zračnom prostoru pilot je odgovoran za sprječavanje sudara te su dopuštene operacije bespilotnih zrakoplova samo unutar vidokruga udaljenog pilota. Za let unutar zračnog prostora Y potrebno je predati plan leta te udaljeni pilot mora proći obuku kako bi mogao upravljati bespilotnim zrakoplovom u tom području. Unutar tog zračnog prostora dopuštene su operacije bespilotnog zrakoplova izvan vidokruga udaljenog pilota. Za zračni prostor Z potrebno je predati plan leta te koordinirati let s drugim zrakoplovima [142].

Airbus je predložio četiri koncepta za dizajniranje zračnog prostora: „Basic Flight“, „Free Routes“, „Corridors“ i „Fixed Routes“. Kod modela „Basic Flight“ udaljeni piloti i piloti zrakoplova odgovorni su za održavanje razmaka između letjelica tijekom cijelog leta. Ukoliko se izabere „Free Routes“ zračni prostor, bespilotni zrakoplovi mogu letjeti putanjom kojom žele, no ista mora biti odobrena odnosno moraju biti riješeni svi konflikti do kojih bi eventualno moglo doći preklapanjem putanja. Kod modela „Corridors“ definiraju se zračni koridori unutar zračnog prostora u kojima se odvijaju letovi bespilotnih zrakoplova. Model „Fixed Routes“ koristi se kako bi se održala visoka razina sigurnosti u područjima u kojima lete bespilotni zrakoplovi različitih performansi te je gust promet. Rute se konstruiraju i mijenjaju ovisno o riziku, prometu i vremenu [142].



## 7 Zaključak

Bespilotni zrakoplovi u početku su se koristili samo u vojne svrhe dok se krajem 20.-tog stoljeća počinju koristiti i u civilne svrhe. Unatoč sve većoj primjeni u civilne svrhe ostaju i dalje vrlo zastupljeni u vojnom djelovanju. Nikola Tesla je 1898. godine napravio prvi značajan korak prema bespilotnim zrakoplovima. Naime, on je izumio brod kojim je bilo moguće upravljati na daljinu. Početkom 20.-tog stoljeća bespilotni zrakoplovi koristili su se za gađanje vojnih ciljeva. Nedovoljno razvijena tehnologija sprječavala je širu primjenu bespilotnih zrakoplova u Prvom svjetskom ratu. Tijekom Drugog svjetskog rata bespilotni zrakoplovi koristili su se u vježbama protuzračne obrane. Daljnjim razvojem bespilotni zrakoplovi počinju se koristiti u misijama izviđanja neprijateljskog teritorija. U navedenim misijama bili su korisni upravo zbog svojih dimenzija te mogućnosti leta bez posade. Bespilotni zrakoplovi izrađivali su se od materijala koji bi ih činili gotovo neprimjetnim na radaru. Zahvaljujući raznim poboljšanjima u području daljinskog upravljanja udaljenim pilotima je omogućeno da upravljaju bespilotnim zrakoplovima na većim udaljenostima. Noviji bespilotni zrakoplovi mogu biti opremljeni raznim naprednim sensorima, kamerama te oružjem. Određeni vojni bespilotni zrakoplovi opremljeni su sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara koji im omogućuje sigurno integriranje u civilni zračni prostor. Glavni razlog zbog kojeg su zrakoplovne vlasti usporavale razvoj i primjenu bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe je taj što bespilotni zrakoplovi nisu bili opremljeni sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara. Przybilla i Wester-Ebbinghaus bili su prvi koji su koristili bespilotni zrakoplov u civilne svrhe. Godine 1979. konstruirali su bespilotni zrakoplov s fiksnim krilima koji se upotrebljavao u svrhe fotogrametrije. Yamaha je 1985. godine počela s razvojem bespilotnih zrakoplova te je prva koja je dobila odobrenje zrakoplovnih vlasti za upotrebu u poljoprivredne svrhe. Kompanije AeroVironment i Qinetiq razvile su bespilotne zrakoplove koji su bili na solarni pogon odnosno baterije su se punile pomoću solarnih panela. Navedeni bespilotni zrakoplovi letjeli su na puno većim visinama nego što su prijašnji bespilotni zrakoplovi koji su bili namijenjeni za civilne svrhe. Također, bespilotni zrakoplov Zephyr postavio je rekord u istrajnosti leta (letio je 82 sata i 37 minuta). Kompanija Festo razvila je bespilotni zrakoplov koji leti mahanjem krila kao ptica. Godine 2013. kompanija DJI razvila je bespilotni zrakoplov Phantom 1 koji je namijenjen široj masi za snimanje ili

fotografiranje iz zraka. Kompanija AeroVironment razvila je bespilotni zrakoplov Ingenuity koji se testirao na Marsu.

Godine 2022. Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (EASA) izdala je Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems. Regulative Europske komisije koje se odnose na bespilotne zrakoplove su: 2019/945, 2020/1058, 2019/947, 2020/639, 2020/746, 2021/1166 te 2022/425. Bespilotni zrakoplovi svrstavaju se u pojedinu klasu na temelju mase, brzine, visine leta, pogona, opreme, itd. Postoji sedam klasa bespilotnih zrakoplova. Na bespilotnim zrakoplovima mora jasno biti istaknuta klasa bespilotnog zrakoplova kojoj isti pripada. Bespilotni zrakoplovi svrstavaju se u pojedinu kategoriju na temelju operacije koju isti izvode. Postoje tri kategorije bespilotnih zrakoplova, a to su: otvorena, posebna i certificirana. Otvorena kategorija ima tri potkategorije A1, A2 i A3. U otvorenoj kategoriji nije potrebno ishoditi odobrenje dok je za posebnu i certificiranu kategoriju odobrenje obavezno. U posebnoj kategoriji potrebno je provesti procjenu rizika i navesti mjere za ublažavanje rizika. Operator je dužan registrirati se u državi članici u kojoj ima boravište ili pretežito posluje. Nakon registracije operatori dobivaju jedinstveni digitalni registarski broj. Udaljeni pilot ne smije biti pod utjecajem psihoaktivnih tvari ili alkohola. Prije početka leta udaljeni pilot mora provjeriti bespilotni zrakoplov te se informirati o okruženju u kojem namjerava izvesti let. Tijekom izvođenja leta udaljeni pilot mora promatrati zračni prostor oko bespilotnog zrakoplova te imati dokaz o osposobljenosti.

Mogućnosti primjene bespilotnih zrakoplova u civilne svrhe su brojne. Područja u kojima se bespilotni zrakoplovi značajno koriste su: poljoprivreda, građevinarstvo, filmska industrija, marketing, itd. Također, zbog svojih dimenzija i mogućnosti leta bez posade vrlo su korisni prilikom izvođenja inspekcija dalekovoda, vjetroelektrana i turbina. Zahvaljujući naprednim kamerama i senzorima kojima su opremljeni u misijama potrage i spašavanja vrlo su koristan alat u pronalaženju unesrećenih osoba. Primjenom bespilotnih zrakoplova štedi se novac i vrijeme te se ne izlaže ljude nepotrebnom riziku. Trenutno se bespilotni zrakoplovi najviše upotrebljavaju u poljoprivredi gdje se koriste za prikupljanje podataka te za tretiranje pesticidima ili raspršivanje umjetnog gnojiva. Velika prednost bespilotnih zrakoplova prilikom tretiranja je što špricanje vrše sa nižih visina i pri manjim brzinama čime se sprječava nepoželjno širenje pesticida. Također, tome dodatno pridonose posebno konstruirane mlaznice te kontrola protoka. Usprkos brojnim prednostima bespilotnih

zrakoplova prilikom špricanja Europska unija je zabranila tretiranje biljaka iz zraka. Odnosno, dopušteno je samo u iznimnim slučajevima. Bepilotni zrakoplovi aktivno se koriste i za nadzor teritorija države. Na taj način sprječavaju se ilegalni prelasci ljudi te krijumčarenje droge. Također, mogu se koristiti za rano otkrivanje požara čime se sprječavaju požari velikih razmjera pogotovo u ljetnim mjesecima. Prikupljene snimke požara omogućuju zapovjednicima lakše donošenje odluka te se kasnije mogu koristiti za procjenu nastale štete. Bepilotni zrakoplovi koji se koriste u protupožarne svrhe opremljeni su naprednim sensorima i kamerama visoke rezolucije te pojedini bepilotni zrakoplovi i sustavima za gašenje požara. U građevinarstvu bepilotni zrakoplovi koriste se u fazi planiranja projekta, fazi izgradnje te prilikom inspekcija. U fazi planiranja koriste se za prikupljanje podataka o terenu i za izvođenje raznih mjerenja, a u fazi izgradnje koriste se za nadziranje radova i radnika. U filmskoj industriji bepilotni zrakoplovi počeli su se koristiti upravo zbog nižih troškova nabave i održavanja, malih dimenzija te kamera visoke rezolucije. Veliki filmski hitovi poput James Bond-a i Top Gun-a snimljeni su pomoću bepilotnih zrakoplova. Bepilotni zrakoplovi koriste se i za snimanje raznih promotivnih materijala, prenošenje događaja uživo, kreiranje raznih oblika, simbola i znakova na nebu.

U svijetu trenutno prevladava urbanizacija odnosno smanjuje se broj seoskih i mješovitih naselja te raste broj manjih, srednjih i velikih urbanih središta. Posljedica navedenog je da u gradovima nastaje oko 70% emisija ugljikovog dioksida te se u njima potroši preko 60% resursa. U Europi oko 75% stanovništva živi u gradovima te se predviđa da će taj postotak i dalje rasti. Porast broja stanovnika u gradovima rezultira sve većim gužvama na prometnicama. Navedeno se može smanjiti zamjenom dostavnih kombija s bepilotnim zrakoplovima čime će se smanjiti negativan utjecaj na okoliš, troškove dostave, vrijeme dostave te prometne gužve. Bepilotnim zrakoplovima dostavljali bi se manji paketi te bi se koristili na samom kraju logističkog lanca odnosno za „last mile delivery“. Kako bi se nastavio razvoj bepilotnih zrakoplova namijenjenih za dostavu potrebno je donijeti temeljitu i preciznu pravnu regulativu. SkyDrop kompanija dostavljala je pizze pomoću bepilotnih zrakoplova na Novom Zelandu. Amazon Prime Air razvio je bepilotni zrakoplov koji je namijenjen za dostavljanje paketa unutar jednog sata od narudžbe proizvoda. Kompanija Wing koristi bepilotne zrakoplove za dostavu na 10 lokacija na 3 kontinenta te imaju sklopljeno partnerstvo s KFC-om, Walmart-om, Crunch Brunch-om, itd. Kompanija Zipline

prisutna je u 7 država na tri kontinenta, a započeli su s radom u 2016. godini u Ruandi. Matternet je prva kompanija koja je za svoj bespilotni zrakoplov dobila certifikat tipa od strane FAA. Navedeni bespilotni zrakoplovi koriste se za dostavljanje kućanskih potrepština, hrane, medicinskih potrepština te transportiranje medicinskih uzoraka između bolnica. Bespilotni zrakoplovi koji se koriste za dostavljanje potpuno su autonomni te su opremljeni sustavom za otkrivanje i izbjegavanje sudara. Navedeno im omogućuje sigurnu integraciju u civilni zračni prostor. Bespilotnim zrakoplovima upravlja softver koji sprječava sudare, rješava potencijalna zagušenja te optimizira njihov let. Udaljeni piloti tijekom cijelog leta nadziru bespilotni zrakoplov te u svakom trenutku mogu prekinuti let i prisilno prizemljiti bespilotni zrakoplov. Daljnjim razvojem bespilotnih zrakoplova nastoje se povećati kapaciteti namijenjeni za dostavljanje proizvoda.

Bespilotni zrakoplovi zbog svojih dimenzija, praktičnosti te raznih senzora i kamera počinju se značajno koristiti za nadziranje i prikupljanje podataka u urbanim sredinama. Veliku primjenu imat će u nadziranju prometa te će moći na vrijeme informirati stanovnike o gužvama ili prometnim nesrećama. Također, ponudit će stanovnicima alternativne rute kako bi izbjegli gužve i skratili vrijeme putovanja. Bespilotni zrakoplovi su se u Arlington-u, Dubai-u, Lyon-u i Ateni koristili za prikupljanje prometnih podataka. Osim za nadziranje prometa mogu se koristiti i za povećanje razine sigurnosti u urbanim sredinama. Na način da će pratiti ukradena vozila, kriminalce te provoditi inspekciju javne rasvjete. Mogućnost bespilotnog zrakoplova da se postavi i da bude operativan u svega nekoliko minuta čini ga idealnim alatom u kriznim situacijama poput poplava, potresa, terorističkih napada, itd. Pomoću njih moguće je detektirati otrovne plinove, mjeriti kvalitetu zraka, tražiti nestale osobe te dostavljati prvu pomoć.

Primjenom bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama ostvaruju se prednosti poput mogućnost operativnog rada 24/7, ekološki su prihvatljiviji, otvaraju se nova radna mjesta, itd. Iz razloga što su bez posade eliminiraju se troškovi školovanja posade te se mogu koristiti za riskantnije zadaće poput izvođenja inspekcija na velikim visinama. Uspoređujući bespilotni zrakoplov i helikopter, bespilotni zrakoplov je daleko jeftinija opcija što se tiče održavanja, skladištenja te školovanja osoblja. Zabrinutosti koje se pojavljuju prilikom primjene bespilotnih zrakoplova u urbanim sredinama su: kibernetička sigurnost, regulativa, pad bespilotnog zrakoplova, privatnost građana te

ograničen let zbog baterije. Buka rotora predstavlja problem i za ljude i za životinje. Navedeni problem moguće je riješiti letom bespilotnih zrakoplova na većim visinama te zabranom letenja iznad određenih područja. Zbog letova bespilotnih zrakoplova na nižim visinama postoji vjerojatnost da će dolaziti do čestih sudara s pticama. Postoje dvije vrste napada kojima se nastoji onemogućiti rad bespilotnog zrakoplova, a to su Spoofing i Jamming napad. Pomoću softvera SkyJack moguće je preuzeti kontrolu nad bespilotnim zrakoplovom. Kriptiranjem podataka moguće je zaštititi prikupljene podatke od neovlaštenog korištenja. Neovlaštene bespilotne zrakoplove moguće je detektirati pomoću radara, optičkih senzora, zvučnih senzora, radio-frekvencijskih analizatora, itd. Nakon detektiranja šalje se bespilotni zrakoplov koji će ga uhvatiti ili se onemogućava udaljenom pilotu upravljanje neovlaštenim bespilotnim zrakoplovom te se preuzima kontrola nad bespilotnim zrakoplovom. Proizvođač bespilotnog zrakoplova može ugraditi sustav geo-ograđivanja koji sprječava ulazak bespilotnog zrakoplova u zabranjena područja.

Porast broja bespilotnih zrakoplova predstavlja veliki problem pružateljima usluga u zračnom prometu budući da oni lete na visinama manjim od 150 m gdje se do sada nije odvijao značajan promet. U-space je projekt Europske komisije. Uredbe koje se odnose na U-space zračni prostor su: 2021/664, 2021/665 i 2021/666. Letovi bespilotnih zrakoplova unutar U-space zračnog prostora dopušteni su samo uz potporu U-space usluga. Usluge koje se pružaju unutar U-space zračnog prostora su: mrežna usluga identifikacije, usluga geoinformiranja, usluga odobravanja leta, usluga prometnih informacija, usluga meteorološkog informiranja te usluga praćenja usklađenosti. Ukoliko se odredi U-space zračni prostor unutar kontroliranog zračnog prostora potrebno je primjenjivati dinamičku rekonfiguraciju zračnog prostora. Razdvajanje bespilotnih zrakoplova moguće je provoditi održavanjem fiksnog razmaka, dinamičkim razdvajanjem i takozvanim ne standardnim odvajanjem. Geo-ograđivanje je vrlo koristan sustav budući da je njime moguće ograničiti ili potpuno zabraniti ulazak svima ili određenim bespilotnim zrakoplovima u specifičan zračni prostor.

## Popis literature

- [1] Kozera C. *Military Use of Unmanned Aerial Vehicles – A Historical Study*. Poland: Faculty of National Security, War Studies University; 2018. Preuzeto s: <https://www.sd-magazine.eu/index.php/sd/article/view/4/4> [Pristupljeno: 1. prosinca 2023.].
- [2] Marinčić A, Budimir D. *Tesla's Multi-frequency Wireless Radio Controlled Vessel*. London: University of Westminster; 2008. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/224347364\\_Tesla's\\_multi-frequency\\_wireless\\_radio\\_controlled\\_vessel](https://www.researchgate.net/publication/224347364_Tesla's_multi-frequency_wireless_radio_controlled_vessel) [Pristupljeno: 1. prosinca 2023.].
- [3] Govorčin M, Kovačić F, Žižić I. Bepilotne letjelice SenseFly Swinglet CAM. *Ekscentar*. 2012;(15): 62-68. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/file/121452> [Pristupljeno: 1. prosinca 2023.].
- [4] Cuemo-Rejado C, Garcia-Hernandez L, Sanchez-Carmona A, Carrio A, Sanchez-Lopez JL, Campoy P. *Evolution Of the unamanned aerial vehicles until present*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid; 2015. Preuzeto s: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/140304/1/Cuerno\\_Historical\\_DYNA\\_91\\_2\\_016.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/140304/1/Cuerno_Historical_DYNA_91_2_016.pdf) [Pristupljeno: 1. prosinca 2023.].
- [5] Garcia Carrillo LR, Dzul A, Lozano R, Pegard C. *Quad Rotorcraft Control. Vision-Based Hovering and Navigation*. 2012. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/278745381\\_Quad\\_Rotorcraft\\_Control\\_Vision-Based\\_Hovering\\_and\\_Navigation#pf13](https://www.researchgate.net/publication/278745381_Quad_Rotorcraft_Control_Vision-Based_Hovering_and_Navigation#pf13) [Pristupljeno: 3. prosinca 2023.].
- [6] National museum of the United States Air Force. *Kettering Aerial Torpedo „Bug“*. Preuzeto s: <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/> [Pristupljeno: 3. prosinca 2023.].
- [7] Imperial War Museums. *A Brief History of Drones*. Preuzeto s: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones> [Pristupljeno: 4. prosinca 2023.].
- [8] O'Malley D. *The mother of all drones*. Preuzeto s: <https://www.vintagewings.ca/stories/mother-of-all-drones> [Pristupljeno: 4. prosinca 2023.].

- [9] de HAVILLAND AIRCRAFT MUSEUM. *DE HAVILLAND DH82B QUEEN BEE*. Preuzeto s: <https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/> [Pristupljeno: 4. prosinca 2023.].
- [10] Dekoulis G. *Introductory Chapter: Drones*. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/Launch-of-a-DH82-Queen-Bee-mother-of-drones-target-drone-1941\\_fig1\\_326050429](https://www.researchgate.net/figure/Launch-of-a-DH82-Queen-Bee-mother-of-drones-target-drone-1941_fig1_326050429) [Pristupljeno: 4. prosinca 2023.].
- [11] Northrop Grumman. *BQM-34 Firebee High Performance Aerial Target System*. Preuzeto s: <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/air/bqm-34-firebee> [Pristupljeno: 6. prosinca 2023.].
- [12] AVIONS Legendaires. *Northrop BQM-74 CHUKAR*. Preuzeto s: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.avionslegendaires.net%2Favion-militaire%2Fnorthrop-bqm-74-chukar%2F&psig=AOvVaw3dtTjfErez8Bd9n7Pmb6hL&ust=1719400449944000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBEQjRxqFwoTCJiOyoLQ9oYDFQAAAAAdAAAAABAK> [Pristupljeno: 6. prosinca 2023.].
- [13] National Air and Space Museum. *Gyrodyne QH-50C Drone Anti-Submarine Helicopter (DASH)*. Preuzeto s: [https://airandspace.si.edu/collection-objects/gyrodyne-qh-50c-drone-anti-submarine-helicopter-dash/nasm\\_A20090023000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/gyrodyne-qh-50c-drone-anti-submarine-helicopter-dash/nasm_A20090023000) [Pristupljeno: 7. prosinca 2023.].
- [14] National Museum of the United States Air Force. *Boeing YQM-94A Compass Cope B*. Preuzeto s: <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/195743/boeing-yqm-94a-compass-cope-b/> [Pristupljeno: 7. prosinca 2023.].
- [15] Global Security. *Compass Cope R-Tern-YQM-98A Ryan*. Preuzeto s: [https://www.globalsecurity.org/intell/systems/compass\\_cope-r.htm](https://www.globalsecurity.org/intell/systems/compass_cope-r.htm) [Pristupljeno: 7. prosinca 2023.].
- [16] AviaDejaVu. *Ryan YQM-98 Compass Cope*. Preuzeto s: <https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Faviadejavu.ru%2FSite%2FCrafts%2FCraft34051.htm&psig=AOvVaw1013sxUPNJsXenYwEdyr&ust=1705412203743000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBiQjRxqFwoTCODSk-vB34MDFQAAAAAdAAAAABAD> [Pristupljeno: 7. prosinca 2023.].
- [17] Belgian Wings. *MBLE Epervier*. Preuzeto s: <https://www.belgian-wings.be/mble-epervier> [Pristupljeno: 9. prosinca 2023.].

- [18] IAI. *IAI and the Security of Israel*. Preuzeto s: <https://www.iai.co.il/about/history> [Pristupljeno: 10. prosinca 2023.].
- [19] History of Information. *The Tadiran Mastiff: The First Modern Surveillance UAV or Drone*. Preuzeto s: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3790> [Pristupljeno: 10. prosinca 2023.].
- [20] National Air and Space Museum. *Pioneer RQ-2A UAV*. Preuzeto s: [https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm\\_A20000794000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000) [Pristupljeno: 12. prosinca 2023.].
- [21] Estrella Warbirds Museum. *General Atomics 750 GNAT*. Preuzeto s: <https://www.ewarbirds.org/uav/gnat750.shtml> [Pristupljeno: 12. prosinca 2023.].
- [22] Army Technology. *Watchkeeper Tactical UAV*. Preuzeto s: <https://www.army-technology.com/projects/watchkeeper/?cf-view&cf-closed> [Pristupljeno: 13. prosinca 2023.].
- [23] General Atomics Aeronautical. *MQ-9A Reaper*. Preuzeto s: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9a> [Pristupljeno: 13. prosinca 2023.].
- [24] General Atomics Aeronautical. *MQ-9B SkyGuardian*. Preuzeto s: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b-skyguardian> [Pristupljeno: 13. prosinca 2023.].
- [25] General Atomics Aeronautical. *MQ-9B SeaGuardian*. Preuzeto s: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mq-9b-seaguardian> [Pristupljeno: 14. prosinca 2023.].
- [26] General Atomics Aeronautical. *Mojave STOL*. Preuzeto s: <https://www.ga-asi.com/remotely-piloted-aircraft/mojave> [Pristupljeno: 14. prosinca 2023.].
- [27] Tehnički leksikon. *Radar sa sintetskim otvorom*. Preuzeto s: <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/radar-sa-sintetskim-otvorom> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.].
- [28] Colomina I, Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014; (92): 79-97. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271614000501> [Pristupljeno: 1. lipnja 2024.].
- [29] Yamaha. *Development of the R-50 Industrial-Use Unmanned Helicopters*. Preuzeto s: <https://global.yamaha-motor.com/stories/history/stories/0028.html> [Pristupljeno: 18. prosinca 2023.].



- [30] NASA. *Where Are They Now: Pathfinder Plus*. Preuzeto s: <https://www.nasa.gov/image-article/where-are-they-now-pathfinder-plus/> [Pristupljeno: 5. lipnja 2024.].
- [31] agtecher. *Yamaha Unmanned Helicopter R-Max*. Preuzeto s: <https://agtecher.com/product/yamaha-helicopters/> [Pristupljeno: 18. prosinca 2023.].
- [32] CATUAV. *Custom UAS Development*. Preuzeto s: <https://www.catuav.com/research-development/custom-uav-development/> [Pristupljeno: 5. lipnja 2024.].
- [33] CATUAV. *ATMOS*. Preuzeto s: <https://www.catuav.com/research-development/featured-projects/atmos/> [Pristupljeno: 6. lipnja 2024.].
- [34] Barnard Microsystems. *Yamaha RMAX Type 2 G unmanned helicopter*. Preuzeto s: [https://barnardmicrosystems.com/UAV/uav\\_list/yamaha\\_rmax.html](https://barnardmicrosystems.com/UAV/uav_list/yamaha_rmax.html) [Pristupljeno: 19. prosinca 2023.].
- [35] Silva de Mattos B, Secco NR, Salles EF. Optimal Design of a High-Altitude Solar-Powered Unmanned Airplane. *Journal of Aerospace Technology and Management*. 2013;5(3): 349-361. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/287064916\\_Optimal\\_Design\\_of\\_a\\_High-Altitude\\_Solar-Powered\\_Unmanned\\_Airplane](https://www.researchgate.net/publication/287064916_Optimal_Design_of_a_High-Altitude_Solar-Powered_Unmanned_Airplane) [Pristupljeno: 10. lipnja 2024.].
- [36] Aerial Robotix. *Asctec Falcon 8*. Preuzeto s: <https://aerial-robotix.com/asctec-falcon-8/> [Pristupljeno: 11. lipnja 2024.].
- [37] FESTO. *SmartBird*. Preuzeto s: [https://www.festo.com/us/en/e/about-festo/research-and-development/bionic-learning-network/highlights-from-2010-to-2012/smartbird-id\\_33686/](https://www.festo.com/us/en/e/about-festo/research-and-development/bionic-learning-network/highlights-from-2010-to-2012/smartbird-id_33686/) [Pristupljeno: 14. lipnja 2024.].
- [38] SwissDrones. *Swiss aerospace quality for unmanned aerial intelligence*. Preuzeto s: <https://www.swissdrones.com/product> [Pristupljeno: 16. lipnja 2024.].
- [39] DJI. *DJI releases All-in-One Solution, Read-to-Fly „Phantom“ Quadcopter*. Preuzeto s: [https://www.dji.com/newsroom/news/dji-releases-all-in-one-solution-read-to-fly-phantom-quadcopter?as=0001&clickaid=XdfwJI-Y1Aezh1IAFBo3MvMGjxI47mE&clickpid=770167&clicksid=9de25e1fb2ce21f958ae1cadb889793d&from=dap\\_unique&pm=custom](https://www.dji.com/newsroom/news/dji-releases-all-in-one-solution-read-to-fly-phantom-quadcopter?as=0001&clickaid=XdfwJI-Y1Aezh1IAFBo3MvMGjxI47mE&clickpid=770167&clicksid=9de25e1fb2ce21f958ae1cadb889793d&from=dap_unique&pm=custom) [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.].
- [40] DJI. *DJI released Phantom 2 Vision, your flying camera*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/newsroom/news/dji-released-phantom-2-vision-your-flying->

- [camera?as=0001&clickaid=Qu6p7fT8lVFEqW2rDIBHwD3ojtHV8d7A&clickpid=770167&clicksid=9de25e1fb2ce21f958ae1cadb889793d&from=dap\\_unique&pm=custom](https://www.dji.com/hr/phantom) [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.].
- [41] DJI. *Phantom*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/phantom> [Pristupljeno: 17. lipnja 2024.].
- [42] YAMAHA. *An Unmanned Industrial-use Helicopter Bringing Together Three Types of Technology*. Preuzeto s: [https://global.yamaha-motor.com/design\\_technology/technology/electronic/008/](https://global.yamaha-motor.com/design_technology/technology/electronic/008/) [Pristupljeno: 20. prosinca 2023.].
- [43] CATUAV. *Firefighting Drone*. Preuzeto s: <https://www.catuav.com/research-development/featured-projects/firefighting-drone/> [Pristupljeno: 19. lipnja 2024.].
- [44] AeroVironment. *Mars Helicopter Ingenuity*. Preuzeto s: <https://www.avinc.com/macreedy-works/mars-helicopter> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.].
- [45] NASA. *Ingenuity Mars Helicopter*. Preuzeto s: <https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/ingenuity-mars-helicopter/> [Pristupljeno: 20. lipnja 2024.].
- [46] Europska komisija. *Delegirana Uredba komisije (EU) 2019/945 od 12. ožujka 2019. o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945> [Pristupljeno: 10. siječnja 2024.].
- [47] Europska komisija. *Provedbena Uredba komisije (EU) 2019/947 od 24. svibnja 2019. o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947> [Pristupljeno: 10. siječnja 2024.].
- [48] Europska komisija. *Delegirana Uredba komisije (EU) 2020/1058 od 27. travnja 2020. o izmjeni Delegirane uredbe (EU) 2019/945 u pogledu uvođenja dviju novih klasa sustava bespilotnih zrakoplova*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R1058> [Pristupljeno: 14. siječnja 2024.].
- [49] LBA. *UAS-Classification*. Preuzeto s: <https://lba-openuav.de/en/air-law/uas-classification/> [Pristupljeno: 5. veljače 2024.].
- [50] EASA. *Drone Incident Management at Aerodromes*. Preuzeto s: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone\\_incident\\_management\\_at\\_aerodromes\\_part1\\_website\\_suitable.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone_incident_management_at_aerodromes_part1_website_suitable.pdf) [Pristupljeno: 25. veljače 2024.].

- [51] UAV Navigation. *Civil uses for UAVS: A brief overview*. Preuzeto s: <https://www.uavnavigation.com/sites/default/files/docs/2020-12/civil-uses-uav-dec-2020.pdf> [Pristupljeno: 25. veljače 2024.].
- [52] Croptracker. *Drone Technology In Agriculture*. Preuzeto s: <https://www.croptracker.com/blog/drone-technology-in-agriculture.html> [Pristupljeno: 27. veljače 2024.].
- [53] onedrone. *Poljoprivreda*. Preuzeto s: <https://onedrone.hr/podrocja/kmetijstvo/> [Pristupljeno: 27. veljače 2024.].
- [54] Vukadinović V. *Dronovi u poljoprivredi*. Osijek; 2016. Preuzeto s: [https://tlo-i-biljka.eu/Gnojdba/Zanimljivosti/Zanimljivosti\\_06-2016.pdf](https://tlo-i-biljka.eu/Gnojdba/Zanimljivosti/Zanimljivosti_06-2016.pdf) [Pristupljeno: 27. veljače 2024.].
- [55] Brewis H. *Tree-planting drones could help restore the world's forests*. Preuzeto s: <https://www.standard.co.uk/news/world/treeplanting-drones-could-help-restore-world-s-forests-a4116376.html> [Pristupljeno: 28. veljače 2024.].
- [56] Interface. *Biocarbon engineering*. Preuzeto s: [https://interfaceinc.scene7.com/is/content/InterfaceInc/Interface/Americas/WebsiteContentAssets/Documents/CaseStudies/CTB/BioCarbon%20Engineering/wc\\_am-biocarbonengineeringctb.pdf](https://interfaceinc.scene7.com/is/content/InterfaceInc/Interface/Americas/WebsiteContentAssets/Documents/CaseStudies/CTB/BioCarbon%20Engineering/wc_am-biocarbonengineeringctb.pdf) [Pristupljeno: 28. veljače 2024.].
- [57] Wolf T. *The Challenges of Spraying by Drone*. Preuzeto s: <https://sprayers101.com/challenges-drone/> [Pristupljeno: 1. ožujka 2024.].
- [58] DJI Agriculture. *What does agricultural drone spraying of 66.7 million hectares mean to the planet?* Preuzeto s: <https://ag.dji.com/newsroom/dji-ag-news-en-greener> [Pristupljeno: 2. ožujka 2024.].
- [59] DJI. *AGRAS MG-1S*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/mg-1s/info#specs> [Pristupljeno: 2. ožujka 2024.].
- [60] DJI. *AGRAS T10*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/t10?site=ag&from=nav> [Pristupljeno: 2. ožujka 2024.].
- [61] DJI. *AGRAS T20P*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/t20p?site=ag&from=nav> [Pristupljeno: 2. ožujka 2024.].
- [62] DJI. *AGRAS T30*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/t30?site=ag&from=nav> [Pristupljeno: 4. ožujka 2024.].
- [63] DJI. *AGRAS T40*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/t40?site=ag&from=nav> [Pristupljeno: 4. ožujka 2024.].

- [64] DJI Agriculture. *Agricultural Drone Industry Insight Report (2021)*. Preuzeto s: <https://ag.dji.com/newsroom/ag-news-en-ag2022> [Pristupljeno: 7. ožujka 2024.].
- [65] Europski parlament i vijeće. *Direktiva 2009/128/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 21. listopada 2009. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u postizanju održive upotrebe pesticida*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0128-20190726> [Pristupljeno: 7. ožujka 2024.].
- [66] JOUAV. *Security & Surveillance*. Preuzeto s: <https://www.jouav.com/industry/security-surveillance> [Pristupljeno: 9. ožujka 2024.].
- [67] Durgut M. *Enhancing Border Security and Surveillance with UAV Technology: A Game-Changer in Homeland Defense*. Preuzeto s: <https://www.aviationfile.com/enhancing-border-security-and-surveillance-with-uav-technology/> [Pristupljeno: 9. ožujka 2024.].
- [68] RH Ministarstvo obrane. *Predstavljen besposadni zrakoplovni sustav „Orbiter 3“*. Preuzeto s: <https://www.morh.hr/predstavljen-besposadni-zrakoplovni-sustav-orbiter-3/> [Pristupljeno: 10. ožujka 2024.].
- [69] Inspired Flight. *Ultimate Guide To Firefighting Drones: Everything You Need To Know In 2023*. Preuzeto s: <https://www.inspiredflight.com/news/firefighting-drones.php> [Pristupljeno: 12. ožujka 2024.].
- [70] UAV for Drone. *Fire fighting drone UAVs with dry powder fire extinguishing agent boom launcher*. Preuzeto s: <https://www.uavfordrone.com/product/fire-fighting-drone-with-dry-powder-fire-extinguishing-boom/> [Pristupljeno: 12. ožujka 2024.].
- [71] McNeil Engineering. *The use of drones in civil engineering surveys and inspections*. Preuzeto s: <https://www.mcneilengineering.com/the-use-of-drones-in-civil-engineering-surveys-and-inspections/> [Pristupljeno: 14. ožujka 2024.].
- [72] Downey R, Ros C, Devereux M. *'What's all the buzz?' Drones in the construction industry*. Preuzeto s: <https://www.ibanet.org/clint-june-2023-feature-3> [Pristupljeno: 14. ožujka 2024.].
- [73] Pauleth LP. *Drones in Hollywood: How Have Drones Changed the Film & Movie Industry*. Preuzeto s: <https://www.adorama.com/alc/drones-hollywood-film-movie-industry/> [Pristupljeno: 16. ožujka 2024.].

- [74] DJI. *Support for Matrice 600 Pro*. Preuzeto s: <https://www.dji.com/hr/support/product/matrice600-pro> [Pristupljeno: 16. ožujka 2024.].
- [75] Sapkota R. *Using UAS imagery and computer vision to support site-specific weed control in corn*. Diplomski rad. Graduate Faculty of the North Dakota State University, Agriculture and Applied Science; 2021. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/DJI-Matrice-600-Pro-with-a-Sony-Alpha-7R-II-424-megapixel-RGB-camera-mounted-on-it-The\\_fig2\\_361135208](https://www.researchgate.net/figure/DJI-Matrice-600-Pro-with-a-Sony-Alpha-7R-II-424-megapixel-RGB-camera-mounted-on-it-The_fig2_361135208) [Pristupljeno: 16. ožujka 2024.].
- [76] Kia Worldwide. *New Logo Unveiling Show*. [Video] 2021. Preuzeto s: [https://www.youtube.com/watch?v=s61\\_IsiqLzc&t=118s](https://www.youtube.com/watch?v=s61_IsiqLzc&t=118s) [Pristupljeno: 20. ožujka 2024.].
- [77] Dronisos. *Drones and Drone Shows in the Marketing & Advertising industry*. Preuzeto s: <https://www.dronisos.com/post/drones-and-drone-shows-in-the-marketing-advertising-industry#Oreo> [Pristupljeno: 20. ožujka 2024.].
- [78] Hrvatska enciklopedija. *Urbanizacija*. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/urbanizacija> [Pristupljeno: 28. ožujka 2024.].
- [79] UIC2 – UAM Initiative Cities Community, EU's Smart Cities Marketplace. *Urban Air Mobility and Sustainable Urban Mobility Planning – Practitioner Briefing*. Preuzeto s: [https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/urban\\_air\\_mobility\\_and\\_sump.pdf](https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/urban_air_mobility_and_sump.pdf) [Pristupljeno: 30. ožujka 2024.].
- [80] Dai Huu Nguyen P, Dung Nguyen D. Drone Application in Smart Cities: The General Overview of Security Vulnerabilities and Countermeasures for Data Communication. U: Krishnamurthi R, Nayyar A, Ella Hassanien A. *Development and Future of Internet of Drones (IoD): Insights, Trends and Road Ahead*. 2021. pp. 185-210.
- [81] Aestus Group. *Koncept pametnog grada*. Preuzeto s: <https://aestus.hr/koncept-pametnog-grada/> [Pristupljeno: 1. travnja 2024.].
- [82] Grobenski S, Hardt A, Jakopović E. *Problematika pravne regulative bespilotnih zrakoplova i njihova upotreba u civilne svrhe*. Osijek; 2017. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/file/277701> [Pristupljeno: 1. travnja 2024.].
- [83] Serrano-Hernandez A, Ballano A, Faulin J. *Selecting Freight Transportation Modes in Last-Mile Urban Distribution in Pamplona (Spain): An Option for Drone*

- Delivery in Smart Cities*. Španjolska; 2021. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/16/4748> [Pristupljeno: 1. travnja 2024.].
- [84] Domino's. *Domino's Drone Delivery FAQs*. Preuzeto s: <https://www.dominos.co.nz/landing-pages/domino-s-drone-delivery-faqs> [Pristupljeno: 3. travnja 2024.].
- [85] Matthew M. *Country's first drone delivered pizzas to make landfall in Huntly*. Preuzeto s: <https://www.stuff.co.nz/national/300850645/countrys-first-drone-delivered-pizzas-to-make-landfall-in-huntly> [Pristupljeno: 3. travnja 2024.].
- [86] Amazon. *Amazon is launching ultra-fast drone deliveries in Italy, the UK, and a third location in the U.S.* Preuzeto s: <https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-prime-air-drone-delivery-updates> [Pristupljeno: 5. travnja 2024.].
- [87] Amazon. *Drone Delivery FAQs*. Preuzeto s: <https://www.amazon.com/gp/help/customer/display.html?nodeId=T3jxhuvPfQ629BOIL4> [Pristupljeno: 5. travnja 2024.].
- [88] Wired. *Amazon's Drone Delivery Dream Is Crashing*. Preuzeto s: <https://www.wired.com/story/crashes-and-layoffs-plague-amazons-drone-delivery-pilot/> [Pristupljeno: 5. travnja 2024.].
- [89] Amazon. *Amazon Prime Air prepares for drone deliveries*. Preuzeto s: <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/amazon-prime-air-prepares-for-drone-deliveries> [Pristupljeno: 6. travnja 2024.].
- [90] Wing. *Your goods delivered in minutes*. Preuzeto s: <https://wing.com/partner/#signup> [Pristupljeno: 6. travnja 2024.].
- [91] Wing. *We're back in Helsinki for 2021, and now partnering with Fazer to deliver more tasty treats than ever before*. Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2021/05/were-back-in-helsinki-for-2021-and-now.html> [Pristupljeno: 6. travnja 2024.].
- [92] Wing. *Wing's new model for drone delivery makes service possible in major U.S. metros*. Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2021/10/wings-new-model-for-drone-delivery.html> [Pristupljeno: 6. travnja 2024.].
- [93] Wing. *KFC Takes Flight With Australian-First Drone Delivery*. Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2022/02/kfc-takes-flight-with-australian-first.html> [Pristupljeno: 8. travnja 2024.].

- [94] Wing. *Dispatches from Australia: Supermarket drones; a delivery every 25 seconds; 200,000 deliveries.* Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2022/03/dispatches-from-australia-supermarket.html> [Pristupljeno: 8. travnja 2024.].
- [95] Wing. *Wing and Apian partner to create medical drone delivery service in Ireland and explore opportunities in the UK.* Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2023/08/wing-apian-partnership.html> [Pristupljeno: 8. travnja 2024.].
- [96] Clark M. *Alphabet's Wing drones will soon be delivering DoorDash orders in Australia.* Preuzeto s: <https://www.theverge.com/2022/11/8/23447502/alphabet-wing-drones-door-dash-air-logan-australia> [Pristupljeno: 9. travnja 2024.].
- [97] Wing. *Wing's multi-layered approach to detect & avoid.* Preuzeto s: <https://blog.wing.com/2024/02/wings-multi-layered-approach-to-detect.html> [Pristupljeno: 9. travnja 2024.].
- [98] Blain L. *Wing shows off AutoLoaders for its drone delivery network.* Preuzeto s: <https://newatlas.com/drones/wing-autoloaders/> [Pristupljeno: 9. travnja 2024.].
- [99] Zipline. *About Zipline.* Preuzeto s: <https://www.flyzipline.com/about> [Pristupljeno: 12. travnja 2024.].
- [100] Zipline. *Building the future of autonomous delivery.* Preuzeto s: <https://www.flyzipline.com/technology> [Pristupljeno: 12. travnja 2024.].
- [101] Callaghan B. *Zipline: Revolutionising Remote Medical Deliveries with Drones.* Preuzeto s: <https://www.linkedin.com/pulse/zipline-revolutionising-medical-deliveries-drones-billy-callaghan/> [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].
- [102] Crider A. *Zipline unveils P2 cargo drone delivery system.* Preuzeto s: <https://cargofacts.com/allposts/drones-uavs/zipline-unveils-p2-cargo-drone-delivery-system/> [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].
- [103] Matternet. *Matternet Launches Drone Delivery Operations at Labor Berlin in Germany.* Preuzeto s: [https://www.mtrr.net/images/Matternet\\_Press\\_Release-Labor\\_Berlin\\_Drone\\_Program-2020.11.17.pdf](https://www.mtrr.net/images/Matternet_Press_Release-Labor_Berlin_Drone_Program-2020.11.17.pdf) [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].
- [104] Matternet. *Matternet M2 Drone Delivery System First to Achieve FAA Type Certification.* Preuzeto s: [https://www.mtrr.net/images/Matternet\\_Press\\_M2\\_Type\\_Certificate\\_20220907.pdf](https://www.mtrr.net/images/Matternet_Press_M2_Type_Certificate_20220907.pdf) [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].

- [105] Matternet. Matternet Receives FAA Production Certificate for its M2 Drone Delivery System. Preuzeto s: [https://www.mtrr.net/images/Matternet\\_FAA\\_Production\\_Certificate\\_20221130.pdf](https://www.mtrr.net/images/Matternet_FAA_Production_Certificate_20221130.pdf) [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].
- [106] Matternet. *Matternet Launches World's Longest Urban Drone Delivery Route Connecting Hospitals and Laboratories in Zurich, Switzerland*. Preuzeto s: [https://www.mtrr.net/images/matternet\\_launches\\_worlds\\_longest\\_urban\\_drone\\_delivery\\_route\\_zurich.pdf](https://www.mtrr.net/images/matternet_launches_worlds_longest_urban_drone_delivery_route_zurich.pdf) [Pristupljeno: 13. travnja 2024.].
- [107] Matternet. *Product*. Preuzeto s: <https://www.mtrr.net/product> [Pristupljeno: 14. travnja 2024.].
- [108] Businesswire. *Matternet Partner UPS Flight Forward Receives FAA Authorization to Operate Matternet M2 Delivery Drones Beyond Visual Line of Sight*. Preuzeto s: <https://www.businesswire.com/news/home/20230906895698/en/Matternet-Partner-UPS-Flight-Forward-Receives-FAA-Authorization-to-Operate-Matternet-M2-Delivery-Drones-Beyond-Visual-Line-of-Sight> [Pristupljeno: 14. travnja 2024.].
- [109] Matternet. *Matternet Unveils the New Matternet Station*. Preuzeto s: [https://www.mtrr.net/images/Matternet.New\\_Station\\_Unveil.2020.03.10.pdf](https://www.mtrr.net/images/Matternet.New_Station_Unveil.2020.03.10.pdf) [Pristupljeno: 14. travnja 2024.].
- [110] sUAS News. *Matternet Announces Commercial Deployment of the Matternet Station*. Preuzeto s: <https://www.suasnews.com/2021/09/matternet-announces-commercial-deployment-of-the-matternet-station/> [Pristupljeno: 14. travnja 2024.].
- [111] Mohd Noor N, Abdullah A, Hashim M. *Remote sensing UAV/drones and its application for urban areas: a review*. IOP Publishing; 2018. Preuzeto s: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/169/1/012003/pdf> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.].
- [112] Beg A, Rahman Qureshi A, Sheltami TR, Yasar AUH. *UAV-enabled intelligent traffic policing and emergency response handling system for the smart city*. 2021. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/339538723\\_UAV-enabled\\_intelligent\\_traffic\\_policing\\_and\\_emergency\\_response\\_handling\\_system\\_for\\_the\\_smart\\_city](https://www.researchgate.net/publication/339538723_UAV-enabled_intelligent_traffic_policing_and_emergency_response_handling_system_for_the_smart_city) [Pristupljeno: 15. travnja 2024.].
- [113] Alkaabi K, Rhman El Fawair A. Drones applications for smart cities: Monitoring palm trees and street lights. *Open Geosciences*. 2022; (14): 1650-1666. Preuzeto



- s: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/geo-2022-0447/html?lang=en> [Pristupljeno: 15. travnja 2024.].
- [114] Airobotics. *Company*. Preuzeto s: <https://www.airoboticsdrones.com/company/> [Pristupljeno: 16. travnja 2024.].
- [115] Airobotics. *Optimus*. Preuzeto s: <https://www.airoboticsdrones.com/optimus/> [Pristupljeno: 16. travnja 2024.].
- [116] Eshel T. *Optimus Drones Set to Safeguard Cities*. Preuzeto s: [https://defense-update.com/20170907\\_airobotics.html](https://defense-update.com/20170907_airobotics.html) [Pristupljeno: 16. travnja 2024.].
- [117] Flykit Blog. *Drone in a Box : The Autonomous Solution*. Preuzeto s: <https://blog.flykit.app/drone-in-a-box-autonomous-solution/> [Pristupljeno: 16. travnja 2024.].
- [118] Airobotics. *Iron Drone*. Preuzeto s: <https://www.airoboticsdrones.com/iron-drone/> [Pristupljeno: 16. travnja 2024.].
- [119] ElistAIR. *Khronos*. Preuzeto s: <https://elistair.com/solutions/tethered-dronebox-khronos/> [Pristupljeno: 18. travnja 2024.].
- [120] ElistAIR. *LIGH-T 4 Tether Station*. Preuzeto s: <https://elistair.com/solutions/tethering-station-ligh-t/> [Pristupljeno: 18. travnja 2024.].
- [121] National League of Cities. *Cities and Drones*. 2016. Preuzeto s: <https://www.nlc.org/resource/cities-and-drones/> [Pristupljeno: 18. travnja 2024.].
- [122] Inspired Flight. *Emergency Response Drones: The Ultimate Guide*. Preuzeto s: <https://www.inspiredflight.com/news/emergency-response-drones.php> [Pristupljeno: 18. travnja 2024.].
- [123] Zahir H, Fathi MS, Tharima AF. Strategic framework of using drone in cities disaster response. U: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022.
- [124] DJI. *Drone Rescues Around the World*. Preuzeto s: <https://enterprise.dji.com/drone-rescue-map/?site=enterprise&from=nav#map1712490149567> [Pristupljeno: 19. travnja 2024.].
- [125] Menouar H, Guvenc I, Akkaya K, Uluagac AS, Kadri A, Tuncer A. UAV-Enabled Intelligent Transportation Systems for the Smart City: Applications and Challenges. *IEEE Communications Magazine*. 2017;55(3):22-28. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7876852> [Pristupljeno: 19. travnja 2024.].

- [126] EASA. *Urbana zračna mobilnost*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/hr/light/topics/urban-air-mobility-uam> [Pristupljeno: 19. travnja 2024.].
- [127] EASA. *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*. 2021. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-short-report.pdf> [Pristupljeno: 19. travnja 2024.].
- [128] Mohammed F, Idries A, Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I. UAVs for Smart Cities: Opportunities and Challenges. U: *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. Orlando;2014. pp. 267-273.
- [129] Mordor Intelligence. *UAV Market Size – Industry Report on Share, Growth Trends & Forecasts Analysis (2024-2029)*. Preuzeto s: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/uav-market> [Pristupljeno: 15. lipnja 2024.].
- [130] Drones.gov.au. *Transport and logistics*. Preuzeto s: <https://www.drones.gov.au/drones-australia/benefits-drones-australia/transport-and-logistics> [Pristupljeno: 20. travnja 2024.].
- [131] Drones.gov.au. *Economic benefits*. Preuzeto s: <https://www.drones.gov.au/drones-australia/benefits-drones-australia/economic-benefits> [Pristupljeno: 20. travnja 2024.].
- [132] Unmanned Life. *Environmentally Friendly Drone Technology*. Preuzeto s: <https://unmanned.life/environmentally-friendly-drone-technology/> [Pristupljeno: 20. travnja 2024.].
- [133] European Environment Agency. *Delivery drones and the environment*. Preuzeto s: <https://www.eea.europa.eu/publications/delivery-drones-and-the-environment> [Pristupljeno: 20. travnja 2024.].
- [134] Gržin M, Marić A, Osterman D. Bepilotne letjelice – Novi izazov policijskom postupanju. U: Cajner Mraović I (ur.), Kondor-Langer M (ur.) *Istraživački dani Visoke policijske škole u Zagrebu*. Zagreb: 2020. pp. 123-141.
- [135] Vattapparamban E, Guvenc I, Yurekli AI, Akkaya K, Uluagac S. Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. U: *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. Paphos;2016. pp. 210-221.
- [136] Federal Aviation Administration. *Drones by the Numbers (as of 5/31/24)*. Preuzeto s: <https://www.faa.gov/node/54496> [Pristupljeno: 22. travnja 2024.].

- [137] Konert A, Dunin T. A Harmonized European Drone Market? – New EU Rules on Unmanned Aircraft Systems. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2020; 5(3): 93-99. Preuzeto s: <https://aviation.lazarski.pl/wp-content/uploads/2022/06/a-harmonized-european-drone-market-new-eu-rules-on-unmanned-aircraft-systems.pdf> [Pristupljeno: 22. travnja 2024.].
- [138] Foina AG, Sengupta R, Lerchi P, Liu Z, Krainer C. Drones in smart cities: Overcoming barriers through air traffic control research. U: *Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED-UAS)*. Cancun; 2015. pp. 351-359.
- [139] Europska komisija. *Provedbena Uredba komisije (EU) 2021/665 od 22. travnja 2021. o izmjeni Provedbene uredbe Komisije (EU) 2017/373 u pogledu zahtjeva za pružatelje usluga upravljanja zračnim prometom i pružatelje usluga u zračnoj plovidbi i drugih mrežnih funkcija za upravljanje zračnim prometom u U-space zračnom prostoru koji je određen u kontroliranom zračnom prostoru*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0665> [Pristupljeno: 24. travnja 2024.].
- [140] Europska komisija. *Provedbena Uredba komisije (EU) 2021/664 od 22. travnja 2021. o regulatornom okviru za U-space*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664> [Pristupljeno: 24. travnja 2024.].
- [141] Europska komisija. *Provedbena Uredba komisije (EU) 2021/666 od 22. travnja 2021. o izmjeni Uredbe (EU) br. 923/2012 u pogledu zahtjeva za zračni promet s posadom u U-space zračnom prostoru*. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0666> [Pristupljeno: 24. travnja 2024.].
- [142] Bauranov A, Rakas J. Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches. *Progress in Aerospace Sciences* 2021;125. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042121000312> [Pristupljeno: 25. travnja 2024.].

## Popis kratica i akronima

ADS-B	(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) Nadzorna tehnologija koja odašilje informacije o zrakoplovu
BDP	Bruto domaći proizvod
CAAS	(Civil Aviation Authority of Singapore) Nacionalna zrakoplovna uprava Singapur
CCD	(Charge – Coupled Device) Kamera
CE	(Conformite Europeenne) Oznaka sukladnosti
COVID	(Corona Virus Disease) Korona virus
DAA	(Detect and Avoid) Sustav za otkrivanje i izbjegavanje sudara
DEA	(Drug Enforcement Administration) Američka agencija za borbu protiv droge
DEEC	(Digital Electronic Engine Control) Elektronika koja poboljšava performanse motora te smanjuje potrošnju goriva
EASA	(European Union Aviation Safety Agency) Europska agencija za sigurnost zračnog prometa
EO/IR	(Electro-optical/infrared) Elektro-optički/infracrveni senzori
eVTOL	(Electric Vertical take-off and landing) Električni zrakoplovi s mogućnošću vertikalnog polijetanja i slijetanja
FAA	(Federal Aviation Administration) Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FRONTEX	(European Border and Coast Guard Agency) Agencija za europsku graničnu i obalnu stražu
GCAA	(General Civil Aviation Authority) Nacionalna zrakoplovna uprava Ujedinjenih Arapskih Emirata
GMTI	(Ground Moving Target Indicator) Način rada radara

GIS	(Geographic Information System) Geografski informacijski sustav
GPS	(Global Positioning System) Globalni položajni sustav
HALE	(High Altitude Long Endurance) Bespilotni zrakoplov koji može letjeti na velikim visinama te ima veliku istrajnost leta
ICT	(Information and Communication Technology) Digitalne i komunikacijske tehnologije
IEEE	(Institute of Electrical and Electronics Engineers) Institut inženjera elektrotehnike i elektronike
IFR	(Instrument Flight Rules) Pravila instrumentalnog letenja
ITS	(Intelligent Transportation System) Inteligentni transportni sustavi
LED	(Light-emitting diode) Svjetleća dioda
LiDAR	(Light Detecting and Ranging) Optički radar
LoRa	(Long Range) Bežična tehnologija za komunikaciju na velike udaljenosti, uz minimalnu potrošnju energije i osiguran prijenos podataka
LTE	(Long Term Evolution) Mobilna mreža 4. generacije
LUC	(Light UAS operator Certificate) Certifikat operatora lakog bespilotnog zrakoplova
MATLAB	(Matrix Laboratory) Program za rješavanje različitih matematičkih problema
NASA	(National Aeronautics and Space Administration) Državna civilna uprava SAD-a za zrakoplovna i svemirska istraživanja i razvoj
NATO	(North Atlantic Treaty Organization) Sjevernoatlantski savez
QNH	(Barometric pressure adjusted to sea level) Barometarski tlak zraka prilagođen razini mora
QR	(Quick-response) Dvodimenzionalni bar kod
RF	(Radio Frequency) Radijska frekvencija

RTK	(Real Time Kinematic) Tehnika kinematičkog pozicioniranja u stvarnom vremenu
SAR	(Synthetic Aperture Radar) Radar sa sintetskim otvorom
SESAR	(Single European Sky ATM Research) Zajedničko poduzeće za istraživanje o upravljanju zračnim prometom na jedinstvenom europskom nebu
SIGINT	(Signal Intelligence) Dobivanje obavještajnih podataka od neprijatelja presretanjem komunikacije
UAM	(Urban Air Mobility) Urbana zračna mobilnost
USAF	(United States Air Force) Zračne snage Sjedinjenih Američkih Država
VFR	(Visual Flight Rules) Pravila vizualnog letenja
YACS	(Yamaha Attitude Control System) Sustav za upravljanje bespilotnim zrakoplovom

## Popis slika

Slika 1. Bespilotni zrakoplov Aerial Torpedo.....	5
Slika 2. Bespilotni zrakoplov Kettering Bug.....	6
Slika 3. Bespilotni zrakoplov Aerial Target.....	6
Slika 4. Bespilotni zrakoplov LARNYX.....	7
Slika 5. Bespilotni zrakoplov DH.82B Queen – bee.....	8
Slika 6. Bespilotni zrakoplov Ryan Firebee.....	9
Slika 7. Bespilotni zrakoplov Chukar.....	10
Slika 8. Bespilotni helikopter QH – 50 D.A.S.H.....	10
Slika 9. Bespilotni zrakoplov YQM – 94 Gull.....	11
Slika 10. Bespilotni zrakoplov Teledyne Ryan YQM – 98 (Cope-R).....	12
Slika 11. Bespilotni zrakoplov MBL Epervier.....	13
Slika 12. Bespilotni zrakoplov IAI Scout.....	13
Slika 13. Bespilotni zrakoplov Pioneer RQ – 2A.....	14
Slika 14. Bespilotni zrakoplov GNAT 750.....	15
Slika 15. Bespilotni zrakoplov Watchkeeper.....	16
Slika 16. Bespilotni zrakoplov MQ – 9A Reaper.....	17
Slika 17. Bespilotni zrakoplov MQ – 9B SkyGuardian.....	18
Slika 18. Bespilotni zrakoplov Mojave.....	19
Slika 19. Bespilotna letjelica Yamaha R-50 Aero Robot.....	21
Slika 20. Bespilotni zrakoplov Pathfinder-Plus.....	21
Slika 21. Bespilotna letjelica Rmax.....	22
Slika 22. Bespilotni zrakoplov Atmos 1.....	23
Slika 23. Bespilotni zrakoplov Zephyr.....	24

Slika 24. Беспилотни зракоплов Asctec Falcon 8.....	25
Slika 25. Беспилотни зракоплов SmartBird.....	25
Slika 26. Беспилотни зракоплов SDO 50.....	26
Slika 27. Беспилотни зракоплов Phantom 1.....	27
Slika 28. Беспилотна летjelica Yamaha Fazer R.....	28
Slika 29. Firefighting drone.....	28
Slika 30. Беспилотна летjelica Yamaha Fazer R G2.....	29
Slika 31. Беспилотна летjelica Ingenuity.....	30
Slika 32. Plan leta беспилотног зракоплова.....	47
Slika 33. Proces sadnje biljaka.....	48
Slika 34. Беспилотни зракоплов Agras MG-1.....	49
Slika 35. Orbiter 3B.....	54
Slika 36. Беспилотни зракоплов за protupožarne svrhe.....	55
Slika 37. Беспилотни зракоплов DJI Matrice 600 Pro.....	58
Slika 38. Trenutak lansiranja vatrometa.....	60
Slika 39. Oznaka za беспилотни зракоплов.....	64
Slika 40. Беспилотни зракоплов MK27-2.....	64
Slika 41. Беспилотни зракоплов MK30.....	65
Slika 42. Wing-ov беспилотни зракоплов.....	66
Slika 43. <i>AutoLoader</i> .....	67
Slika 44. Беспилотни зракоплов Platform 1.....	69
Slika 45. Беспилотни зракоплов Platform 2.....	70
Slika 46. M2 Drone.....	71
Slika 47. Земалјска станца Matternet M2.....	72



Slika 48. Беспилотни зракоплов Platform.....	75
Slika 49. Земалјска станица Airobotics.....	76
Slika 50. Систав Iron Drone.....	77
Slika 51. Беспилотни зракоплов Khronos.....	78
Slika 52. Земалјска станица Light – T4.....	78
Slika 53. „Sky-lane“ i „sky-corridor“ структура зрачног простора.....	96

## **Popis tablica**

Tablica 1. Usporedba Single Squirrel AS350 i DJI Agras T30.....	51
Tablica 2. Razredi zračnog prostora i U-space usluge koje se pružaju u pojedinim razredima.....	92

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

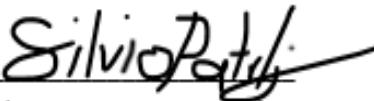
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega 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 urbanim sredinama, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 1.7.2024.

Student/ica:

  
\_\_\_\_\_  
(ime i prezime, potpis)