

Analiza koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom

Fanjek, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:588139>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-09**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Fanjek

**ANALIZA KORISTI BESPILOTNIH LETJELICA ZA SUSTAV
UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA KORISTI BESPILOTNIH LETJELICA ZA SUSTAV
UPRAVLJANJA ZRAČNIM PROMETOM**

**ANALYSIS OF THE BENEFITS OF UNMANNED AERIAL
VEHICLES FOR THE AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM**

Mentor: nasl. doc. dr. sc. Zvonimir Rezo

Student: Ivan Fanjek
JMBAG: 0135232818

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 3. travnja 2024.

Predmet: **Diplomski rad**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7612

Pristupnik: **Ivan Fanjek (0135232818)**

Studij: **Promet**

Smjer: **Zračni promet**

Zadatak **Analiza koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu rada potrebno je opisati predmet istraživanja, te objasniti svrhu i ciljeve istraživanja. Uz navedeno, rad treba sadržavati pregled literature u području istraživanja te kratki pregled strukture diplomskog rada. U nastavku je potrebno opisati podjelu zračnog prostora, klasificirati i opisati osnovne značajke bespilotnih letjelica. Rad u nastavku treba sadržavati opis mogućnosti uvođenja bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor. U nastavku je potrebno provesti analizu koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom, artikuliranih kroz četiri ključna područja performansi sustava – kapacitet, sigurnost, troškovna učinkovitost i okoliš. Prije specifikacije korištene znanstvene i druge literature, potrebno je izvesti zaključno rezimiranje promatrane problematike i definirati smjernice daljeg istraživanja i razvoja u području istraživanja.

Mentor

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

nasl. doc. dr. sc. Zvonimir Rezo

Sažetak:

Bespilotne letjelice donose višestruke koristi različitim korisnicima, što je i razlog njihove sve veće prisutnosti i prihvaćenosti u različitim poslovnim sektorima. Pregled literature u području istraživanja ukazuje na to da je tematika integracije bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostorom podjednako relevantna sa znanstvenog i stručnog, odnosno s istraživačko-razvojnog, regulatornog i aplikativnog aspekta. Međutim, predmetno istraživanje radi odmak od postojeće literature tako da rad sadržajno definira i opisuje koristi integracije i primjene bespilotnih letjelica u odnosu na druge korisnike zračnog prostora, usluge u zračnoj plovidbi i općenito sustav upravljanja zračnim prometom. Na tragu navedenog, rad prikazuje ishode analize koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom, artikuliranih kroz četiri ključna područja performansi sustava - kapacitet, sigurnost, troškovna učinkovitost i okoliš. Na taj način istraživanje proširuje postojeću literaturu i pridonosi daljnjem istraživanju i razvoju u području istraživanja.

Ključne riječi: upravljanje zračnim prometom; bespilotne letjelice; analiza koristi

Summary:

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) bring multiple benefits to various users, which is why they are increasingly present and accepted across different business sectors. For instance, a review of the literature in the field of research indicates that the topic of integrating UAVs into controlled airspace is equally relevant from a scientific and professional standpoint, as well as from a research-developmental, regulatory, and applicative perspective. However, this study departs from the existing literature by defining and describing the benefits of UAV integration and application in relation to other Airspace Users (AUs), Air Navigation Services (ANS), and the overall Air Traffic Management (ATM) system. In line with this, the study presents the outcomes of an analysis of the benefits of UAVs for the ATM system, articulated through four Key Performance Areas (KPA) of system - capacity, safety, cost-efficiency, and environment. In this way, the research expands the existing literature and contributes to further Research and Development (R&D) in the field of study.

Key words: Air Traffic Management; Unmanned Aerial Vehicles; benefit analysis

SADRŽAJ

1.	Uvod	1
1.1.	Obrazloženje teme.....	1
1.2.	Kompozicija rada	2
2	Pojam i podjela zračnog prostora	4
2.1.	Definicija zračnog prostora	4
2.2.	Klase zračnog prostora.....	4
2.3.	Operativna podjela zračnog prostora	6
2.3.1	Kontrolirani zračni prostor.....	6
2.3.2	Zračni prostor posebno reguliranog letenja	10
2.3.3	Nekontrolirani zračni prostor	11
3	Bespilotne letjelice	12
3.1.	Terminologija i podjela.....	12
3.2.	Klasifikacija bespilotnih letjelica.....	13
3.2.1	Bespilotne letjelice civilne namjene	15
3.2.2	Bespilotne letjelice vojne namjene	18
3.3.	Konfiguracije bespilotnih letjelica	19
3.3.1	Konvencionalne bespilotne letjelice	19
3.3.2	Nekonvencionalne bespilotne letjelice	21
3.4.	Sustavi bespilotnih letjelica	24
3.4.1	Avionika letjelice	25
3.4.2	Letno računalo	26
3.4.3	Senzori	27
3.4.4	Navigacijski uređaji	29
3.4.5	Komunikacijska podatkovna veza	30
3.4.6	Kontrolna jedinica na zemlji i pomoćna oprema na zemlji	31
3.4.7	Korisni teret	32

4	Mogućnosti uvođenja bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor	33
4.1.	Uvođenje bespilotnih letjelica u nekontrolirani zračni prostor	33
4.1.1	Pravila letenja i sustav za prepoznavanje i izbjegavanje	34
4.1.2	Komunikacija sa službama kontrole zračnog prometa	37
4.2.	Uvođenje bespilotnih letjelica na području Sjeverne Amerike.....	39
4.2.1	Nadležna tijela i regulatorni okvir	39
4.2.2	Faze istraživanja bespilotnih letjelica	40
4.2.3	UTM ConOps.....	42
4.3.	Uvođenje bespilotnih letjelica na području Europe	48
4.3.1	Nadležnosti regulatornih tijela	48
4.3.2	Regulatorni okvir i standardi.....	49
4.3.3	Zakonski okviri i opseg odgovornosti.....	51
4.3.4	Proces integracije bespilotnih letjelica na području Europe	53
5	Koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom	61
5.1.	Kapacitet	61
5.1.1	Kontrola zračnog prometa.....	62
5.1.2	Optimizacija protoka prometa.....	63
5.2.	Sigurnost	65
5.2.1	Definiranje sigurnosnih događaja povezanih s operacijama UAS.....	67
5.2.2	Analiza sigurnosnih problema	68
5.2.3	Pregled sigurnosnih rizika bespilotnih letjelica	70
5.3.	Troškovna učinkovitost.....	72
5.4.	Okoliš.....	75
6	Zaključak	76
	LITERATURA	78
	POPIS KRATICA.....	83
	POPIS SLIKA.....	84

POPIS GRAFIKONA	85
POPIS TABLICA	86

1. Uvod

1.1. Obrazloženje teme

Predmet istraživanja ovoga rada jest opis bespilotnih letjelica do razine njihove funkcionalnosti i autonomnosti, a sve u cilju prikaza mogućnosti uvođenja istih u kontrolirani zračni prostor. Bespilotne letjelice upotrebljavaju se od prvog svjetskog rata, a ozbiljniji razvoj letjelica započinje drugim svjetskim ratom. U počecima razvoja bespilotnih letjelica vojna industrija određuje dinamiku te se koriste isključivo za obavljanje vojnih misija nadzora, izvještavanja u obliku fotografija ili uništavanje ciljeva eksplozivima. Smanjenjem jedinične cijene i masovnom proizvodnjom, bespilotne letjelice postaju dostupne civilnim korisnicima. Civilni korisnici koriste ih u privatne svrhe, ponajviše u vidu zabave i slikanja iz zraka. Sve većom primjenom i popularizacijom, komercijalni sektor uviđa potencijalne nove načine izvršavanja poslovnih zadataka, kao što su transport dobara, procjena štete uzrokovane prirodnim katastrofama, potraga i spašavanje, gašenje požara, mapiranje zemljišta, kontrola usjeva u poljoprivredi i dr. Primjena bespilotnih letjelica za izvršavanje prethodno nabrojanih zadataka uvelike ubrzava radni proces, sprječava mogućnost ozljede čovjeka i štedi novac. [1]

Obzirom na izuzetan rast potražnje i područja primjene bespilotnih letjelica potrebno je osigurati sve preduvjete njihove eksploatacije. Istovremeno, s porastom korištenja bespilotne tehnologije i rapidnog porasta globalnog zračnog prometa, razvoj sigurnog i efikasnog integriranog zračnog prostora predstavlja veliki izazov. Bespilotne letjelice morat će biti u mogućnosti komunicirati međusobno, s komercijalnim zrakoplovima i različitim sektorima kontrole zračnog prometa istovremeno.

Odvijanje leta u kontroliranom zračnom prostoru zahtjeva jasno definirana pravila i norme, a sve u cilju izbjegavanja potencijalnih nezgoda i ozbiljnih nesreća. Daljnji cilj rada je prikazati dosadašnja istraživanja i predložene norme, propise, pravila i inovativne projekte.

Autonomno upravljanje vozilima prisutno je u cestovnom, željezničkom, pomorskom i zračnom prometu. Iznimnu razliku između svih prethodno nabrojanih prometnih grana i zračnog je u trećoj dimenziji, koja znatno komplicira izradu propisa i regulatornog okvira. Zbog trenutno nejasno definirane regulative o bespilotnim letjelicama na međunarodnoj razini, države su primorane donositi vlastite nacionalne, što dodatno narušava međunarodni koordinirani pristup, a sve u cilju razvoja integriranog koordiniranog sustava upravljanja. [1]

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (ICAO) izdala je priručnik „*Remotely Piloted Aircraft System*“ koji sadržava smjernice za izradu relevantnog zakonskog okvira na nacionalnoj razini. FAA (*Federal Aviation Administration*) analizira pravila i propise za sigurno i pouzdano izvođenje operacija bespilotnih letjelica (UAV) u komercijalnom zračnom prometu u dokumentu „*Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems in The Nation Airspace System Roadmap*“. Na razini Europe međunarodne organizacije poput EASA-e igraju ključnu ulogu u kreiranju propisa UAS te u osiguravanju sigurne i učinkovite integracije UAV. Studijom na zahtjev Europskog Parlamenta „*Unmanned Aircraft Systems integration into European airspace and operation over populated areas*“ pruža se pregled istraživanja integracije UAV-a u kontrolirani zračni prostor na području Europe.

Predstoji još puno zakonskih okvira i različitih tumačenja navedene problematike, ali zasigurno postoji opći konsenzus da bespilotnim letjelicama mora biti dopušteno odvijanje operacija u kontroliranom zračnom prostoru bez izdvajanja od ostalog prometa. Informiranjem ljudi o prednostima ovakve tehnologije i svođenjem sigurnosnih rizika na minimum, postoji velika šansa da se navedeni ciljevi i ostvare. [1]

1.2. Kompozicija rada

Diplomski rad podijeljen je na nekoliko tematskih cjelina, kako slijedi:

- Uvod
- Pojam i podjela zračnog prostora
- Pojam i podjela bespilotnih letjelica
- Mogućnosti uvođenja bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor
- Koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom
- Zaključak

Drugo poglavlje opisuje pojam zračnog prostora i njegovu podjelu na kontrolirani, nekontrolirani i zračni prostor gdje je letenje posebno regulirano.

U trećem poglavlju razmotrit će se terminologija korištena u tehnologiji bespilotnih letjelica, odnosno opisati će se odrednice bespilotnih letjelica. Daljnja klasifikacija odnosi se ponajprije na onu prema vrsti korisnika, veličini, doletu, masi i dr. Isto tako prikazat će se i najzastupljeniji predstavnici svake opisne skupine. Generalno bespilotne letjelice možemo podijeliti prema konfiguraciji na one s fiksnim krilima i pokretnim rotorima, te će se prikazati njihove konvencionalne i nekonvencionalne izvedbe.

Pretposljednje poglavlje obuhvaća dosadašnje zakonske okvire i smjernice u cilju uvođenja bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor. Analizirati će se zakonski propisi s naglaskom na projekte razvoja kontroliranog zračnog prostora na razini Europske Unije i SAD-a.

Posljednje poglavlje obuhvaća koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom u odnosu na četiri ključna područja performansi sustava:

- Kapacitet;
- Sigurnost;
- Troškovna učinkovitost i
- Okoliš.

Istraživanje u sklopu diplomskog rada bit će usmjereno na prikupljanje i obradu podataka u cilju prezentiranja trenutno postojećih projekata koji se bave definiranjem modela za usuglašavanje tehnologije i zakonskih regulativa i propisa u cilju sigurnog odvijanja prometa bespilotnim letjelicama u kontroliranom zračnom prostoru.

2 Pojam i podjela zračnog prostora

2.1. Definicija zračnog prostora

Zračnim prostorom neke države smatra se prostor iznad kopna i mora koji se podudara s državnom granicom, a glede visine neograničen je od površine mora ili kopna. [2]

U međunarodnom pravu, suverenitet države proteže se od njenog zračnog prostora, te u tom prostoru ima potpun i nepovrediv suverenitet. Civilna i vojna kontrola leta nadležne su za kontrolu i sigurnost zračnog prometa, odnosno zaštitu suvereniteta.

2.2. Klase zračnog prostora

U ICAO Annex -u 11, opisuje se klasifikacija zračnog prostora, odnosno opisuju se zahtjevi za klasificiranjem zračnog prostora unutar sedam klasa od klase A do klase G. Cilj ICAO klasifikacije jest opisivanje korištenje pojedinih dijelova zračnog prostora, te da se osigura dovoljna razina informiranosti pilota unutar određenog dijela zračnog prostora. Svaka pojedina klasa definirana je točno određenim pravilima, ograničenjima, te zahtjevima pri komunikaciji između pilota i kontrole zračnog prometa.

Nakon što se ustvrdi potreba za uvođenjem zračnih usluga u određenom dijelu zračnog prostora ili u zračnom prostoru povezanom s određenim aerodromima, ti dijelovi zračnog prostora trebaju biti označeni u skladu sa prometnim uslugama koje će se pružati, prema ICAO Annex-u 11. Zahtjevi za letove unutar svake klase zračnog prostora definirani su u ICAO Dodatku 11, Dodatku 4, i obuhvaćaju tip dozvoljenog leta, osiguranu separaciju, pružene usluge, meteorološke uvjete, ograničenja brzine, zahtjeve za radijsku komunikaciju i potrebne ATC dozvole. Države su dužne odabrati odgovarajuće klase zračnog prostora. [3] Tablica 1 prikazuje klasifikaciju zračnog prostora prema ICAO.

Tablica 1 ICAO klasifikacija zračnog prostora [4]

Klasa	A	B	C	D	E	F	G
Vrsta leta	Samo IFR	IFR	IFR	IFR	IFR	IFR	VFR
			VFR	VFR	VFR	VFR	
Razdvajanje	Svih zrakoplova	Svih zrakoplova	IFR od IFR, IFR od VFR	IFR od IFR	IFR od IFR	Ne pruža se	Ne pruža se
Razina pružanja usluga	Usluga kontrole zračnog prometa	Usluga kontrole zračnog prometa	Usluga kontrole zračnog prometa	Usluga kontrole zračnog prometa, Informacija o VFR prometu	Usluga kontrole zračnog prometa i informacija o VFR prometu	Savjetodavne usluge	Usluga informiranja u letu
Ograničenje brzina	Nema	Nema	Nema	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL
Radio veza	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna
Odobrenje kontrole	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne
Vrsta leta	VFR	VFR	VFR	VFR	VFR	VFR	VFR
Razdvajanje	Svih zrakoplova	Svih zrakoplova	VFR od IFR	Ne	Ne	Ne	Ne
Razina pružanja usluga	Usluga kontrole zračnog prometa	Usluga kontrole zračnog prometa	Usluga kontrole zračnog prometa za razdvajanje od IFR, Informacija o prometu za VFR/VFR	Informacija o prometu za VFR/VFR, VFR/IFR	Informacija o prometu za VFR/IFR	Usluga informiranja u letu	Usluga informiranja u letu
Ograničenje brzina	VFR letovi nisu dozvoljeni	Nema	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL	Ne više od 250 kt IAS ispod 3050 m (10000 ft) AMSL
Radio veza	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna	Neprekidna dvosmjerna
Odobrenje kontrole	Da	Da	Da	Da	Da	Ne	Ne

Sve zemlje moraju klasificirati svoj zračni prostor prema svojim specifičnim potrebama, što znači da nije obavezno koristiti svih sedam klasa. Klasifikacija se određuje na temelju parametara kao što su veličina zračnog prostora i gustoća zračnog prometa. Neki dijelovi zračnog prostora mogu ostati neklasificirani ako zakonodavne vlasti smatraju da nema potrebe za njihovom klasifikacijom. Pri tome, dvije različite klase zračnog prostora mogu biti susjedne ili preklapajuće. Kada se zrakoplov nalazi na razini leta koja se podudara s granicom dviju različitih klasa zračnog prostora, primjenjuju se pravila manje restriktivne klase.

Prema ICAO Aneksu 11, zračni prostor primarno se dijeli na kontrolirani i nekontrolirani. U kontrolirani zračni prostor spadaju klase A, B, C, D i E, dok su klase F i G nekontrolirani zračni prostor. Trenutno se letovi UAS-ova najviše izvode u nekontroliranom zračnom prostoru, dok je u tijeku i integracija u kontrolirani zračni prostor. [2]

2.3. Operativna podjela zračnog prostora

Operativno, zračni prostor dijeli se na horizontalni i vertikalni zračni prostor, te kao takav mora biti u skladu s ICAO klasifikacijom zračnog prostora.

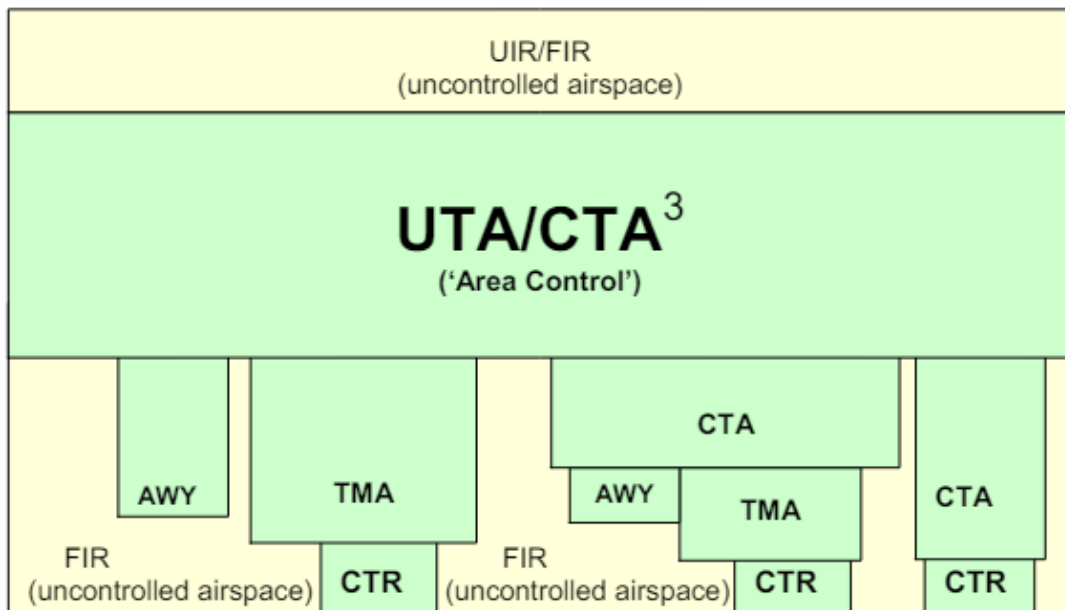
2.3.1 Kontrolirani zračni prostor

Horizontalni se zračni prostor dijeli na kontrolirani i nekontrolirani zračni prostor, te zračni prostor u kojem je letenje posebno regulirano. Kontrolirani zračni prostor, predstavlja dio zračnog prostora u kojem djeluje služba kontrole zračnog prometa u skladu s ICAO klasifikacijom zračnog prostora.

Kontrolirani zračni prostor dijeli se na:

- Područja letnih informacija (engl. Flight Information Region – FIR i Upper Flight Information Region – UIR);
- Kontrolirani zračni prostor (engl. Control Area – CTA);
- Kontrolirane zone zračne luke (engl. Control Zone - CTR);
- Završne kontrolirane oblasti (engl. Terminal Maneuvering Area – TMA);
- Zračne putove (engl. Airway);
- Granično ulazno izlazni koridori. [2]

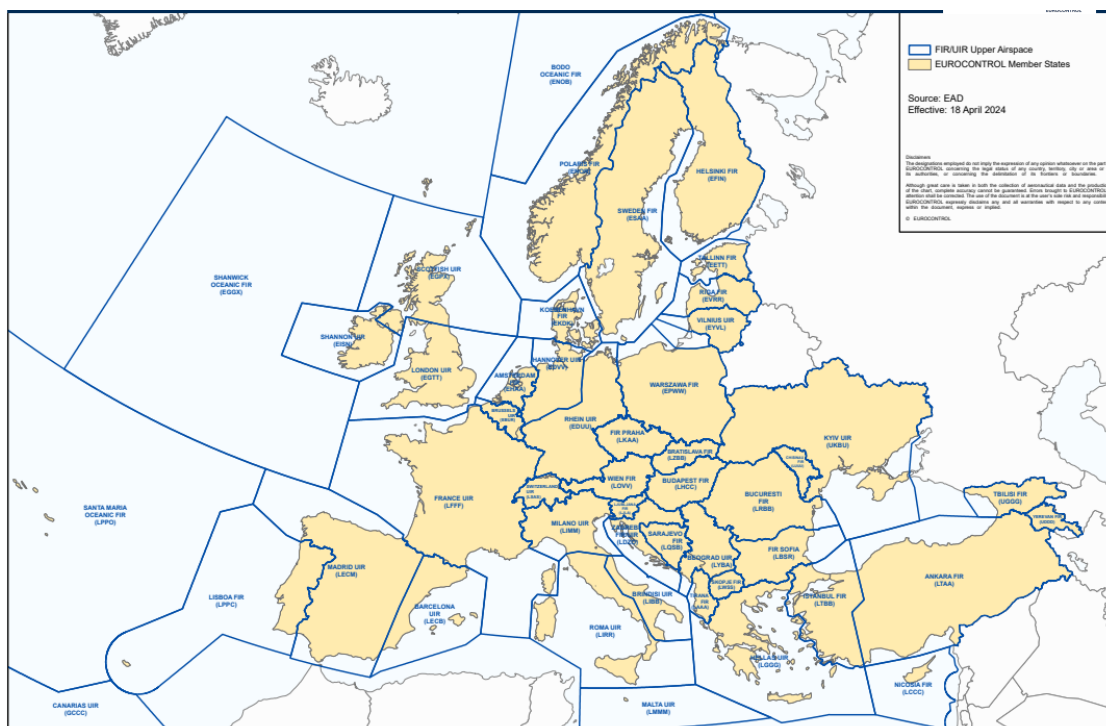
Slika 1 u nastavku prikazuje vertikalni presjek podjele zračnog prostora.



Slika 1. Vertikalna podjela zračnog prostora [5]

Prema ICAO Aneksu 11, kada se utvrdi da će se pružati usluge zračnog prometa u određenim dijelovima zračnog prostora, ti dijelovi moraju se označiti u skladu s vrstom usluga koje će se pružati.

Područja letnih informacija (*Flight Information Regions – FIR*, *Upper Information Regions – UIR*) su određeni dijelovi zračnog prostora gdje su zrakoplovima osigurane usluge informacija o letu i uzbunjivanja. FIR-ovi obuhvaćaju horizontalni zračni prostor u kojem se pružaju te usluge, osim onog koji pripada UIR-ovima, koji pokrivaju gornji zračni prostor. [2] Slika 2 prikazuje FIR-ove na području Europe.



Slika 2. FIR-ovi na području Europe [6]

Kontrolirani zračni prostor je određeni dio zračnog prostora koji se proteže do definirane visinske granice i u kojem djeluju službe kontrole zračnog prometa. Ova područja, poznata kao (*Control Area - CTA*) i (*Upper Control Area - UTA*), pružaju obavezne usluge kontrole zračnog prometa za sve instrumentne letove. Njihove donje granice su usklađene s gornjim granicama Terminalnih kontroliranih oblasti (TMA) i kontroliranih zona (CTR), unutar horizontalnih granica TMA i CTR, te slobodnog leta. Donja granica ne smije biti niža od 200 m (700 ft) iznad tla ili vode, a može varirati ovisno o specifičnostima područja. Gornja granica može biti ograničena prema potrebama zračnog prometa ili biti neograničena, uz mogućnost podjele na više slojeva prema visini leta. Oblik i dimenzije ovih područja ovise o zračnim rutama, aerodromskoj mreži i intenzitetu zračnog prometa, te se prilagođavaju lokalnim uvjetima i potrebama kontrole zračnog prometa. [2]

Završna kontrolirana oblast obuhvaća zračni prostor u koji se usmjeravaju viši zračni putevi te u kojem se nalazi jedna ili više glavnih zračnih luka. Parametri koji određuju oblik i veličinu TMA uključuju broj zračnih luka u tom području, broj ulaznih zračnih puteva, prometnu gustoću te raspored navigacijskih sredstava. Na granicama TMA nalaze se radio-navigacijska sredstva koja zrakoplovi koriste za prilaženje, s ciljem usmjerenja prema sredstvima za završno prilaženje unutar TMA i daljnjem usmjeravanju prema pisti za slijetanje.

Vertikalno, TMA se proteže od najmanje 700 ft (200 m) iznad površine zemlje do određene razine leta (FL). Prema ICAO smjernicama, donja granica TMA ne bi trebala biti niža od 200 m (700 ft) iznad tla ili vode, usklađena s gornjom granicom kontroliranih zona i slobodnog zračnog prostora. Ako je donja granica TMA iznad 900 m (3000 ft) Srednja razina mora (*Mean Sea Level* – MSL), tada bi trebala biti jedan od nivoa leta za letove po vizualnim pravilima letenja (*Visual Flight Rules* - VFR). Gornja granica TMA definira se ovisno o potrebama za kontrolom zračnog prometa ili može biti ujedno i donja granica kontroliranog zračnog prostora (CTA) u slučajevima kada TMA prelazi u to područje ili iznad njega se ne pružaju usluge kontrole zračnog prometa. [2]

Kontrolirana zona zračne luke (CTR) je dio zračnog prostora koji se širi horizontalno najmanje 5 NM od središnje točke zračne luke duž prilaznog smjera za slijetanje. Ova zona može obuhvaćati više zračnih luka koje su međusobno blizu. Oblik CTR-a može biti kružan, eliptičan ili kružan s dodatnim izbočinama sa strane koje olakšavaju prilaz slijetanju.

Vertikalno, zračni prostor CTR-a proteže se od površine zemlje do određene apsolutne visine, koja se specifično određuje za svaku zračnu luku ovisno o visinama i broju prepreka u okolini ili unutar završne kontrolirane oblasti. Ako se CTR nalazi unutar završne kontrolirane oblasti, gornja granica CTR-a podudara se s donjom granicom završne kontrolirane oblasti (700 ft). Ako je izvan granica završne kontrolirane oblasti, gornja granica CTR-a treba biti na odgovarajućoj razini leta za VFR letove. Ako je gornja granica CTR-a iznad 900 m MSL, ona se mora izjednačiti s najbližom razinom leta (Flight Level - FL) po pravilima vizualnog letenja. [2]

Zračni put (Airway - AWY) je definirani segment zračnog prostora pod kontrolom službi kontrole zračnog prometa, širok 10 NM sa dodatnim zaštitnim prostorom od 2,5 NM sa svake strane. Ovi putevi povezuju aerodrome ili granične ulazno-izlazne koridore međusobno.

Zračni putovi mogu biti definirani na temelju geografskih točaka (*Fix*) za RNAV navigaciju, radio-navigacijskih pomagala na zemlji (npr. VOR, NDB, DME), ulazno-izlaznih točaka i križanja radijala navigacijskih sredstava. Vertikalno, zračni putovi se protežu od 300 m iznad zemlje do neograničene visine, s donjom granicom određenom prema najvišoj prepreci ili terenu, uz dodatak sigurnosnog sloja od 150 m. Gornja granica sigurnosnog sloja određuje minimalnu IFR visinu. [2]

Grafični ulazno-izlazni koridori su dijelovi zračnog prostora iste širine i visine kao i ostali zračni putevi. Oni označavaju početak ili kraj određenog zračnog puta unutar nacionalnih granica. Svaki koridor je označen radionavigacijskim uređajima i geografskim koordinatama, koje su definirane međunarodnim sporazumima.

Svaki zračni put ima oznaku koja može biti jednosmjerna (A1) ili dvosmjerna (UA1). Donja granica zračnog puta se utvrđuje za svaki segment prema visini najviše prepreke u širini zračnog puta, s minimalnim vertikalnim razdvajanjem od terena ovisno o visini prepreke. Minimalna IFR visina je prvi nivo leta iznad donje granice zračnog puta, uz osiguranje signala i radio-veze. [2]

2.3.2 Zračni prostor posebno reguliranog letenja

Zbog potencijalnih prijetnji koje određene zračne aktivnosti mogu predstavljati za zračnu plovidbu, te potrebe za zaštitom određenih područja na tlu od mogućih smetnji zbog preleta, države članice Europske konferencije za civilno zrakoplovstvo (European Civil Aviation Conference – ECAC) obično uspostavljaju različita ograničenja zračnog prostora. Svaka zemlja, u skladu sa svojim suverenitetom unutar nacionalnih granica te u interesu nacionalne sigurnosti i sigurnosti zračnog prometa, ima pravo zabraniti ili ograničiti letenje na određenim dijelovima svoje teritorije. Prema međunarodnim propisima i prirodi tih ograničenja, definirane su zone u kojima se letenje posebno regulira. [2]

Zračni prostor u kojem je letenje posebno regulirano dijeli se na:

- Zabranjene zone (*Prohibited area - P*)
- Ograničene ili uvjetno zabranjene zone (*Restricted Area - R*)
- Opasne zone (*Danger Area - D*)
- Privremeno izdvojeno područje (*Temporary Segregated Area – TSA*)
- Privremeno rezervirano područje (*Temporary Reserved Area – TRA*) [2]

Zabranjene zone (P) predstavljaju dio zračnog prostora u kojem je letenje ili prelijetanje bilo kojim sredstvom strogo zabranjeno. Takve zone obično obuhvaćaju važne industrijske ili vojne komplekse od ključnog značaja za nacionalnu sigurnost, čije bi oštećenje uslijed pada zrakoplova moglo imati katastrofalne posljedice. Označene su oznakom "P" uz redni broj, a nepridržavanje ovih zabrana smatra se teškim prekršajem koji podliježe sankcijama.

Ograničene ili uvjetno zabranjene zone (R) su dijelovi zračnog prostora gdje je letenje zabranjeno u određenim vremenskim intervalima ili na određenim visinama. Kada su te zone aktivne i kada su vremenski intervali i visine zabrane leta prethodno objavljeni od strane nadležnih organa, letenje kroz te zone predstavlja značajan rizik za sigurnost zračnog prometa. Slično kao i kod zabranjenih zona, nepoštivanje ovih ograničenja može rezultirati sankcijama. Ove zone su označene slovom "R" i rednim brojem, uz nacionalni simbol ispred tog označavanja.

Opasne zone (D) su dijelovi zračnog prostora gdje je letenje zabranjeno radi sigurnosti samih zrakoplova. Ove zone su označene slovom "D" i rednim brojem.

Privremeno izdvojeno područje (TSA) predstavlja zračni prostor određenih dimenzija, pod nadzorom korisnika, najčešće vojnog, kojeg ovlasti Nacionalno povjerenstvo za upravljanje zračnim prostorom. Taj prostor se privremeno izdvaja za isključivu uporabu određenog subjekta, bez dozvole prolaza drugom zračnom prometu. Trenutno u Hrvatskoj ne postoji nijedna TSA zona.

Privremeno rezervirano područje (TRA) je zračni prostor određenih dimenzija pod nadzorom pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, privremeno rezerviran za specifičnu uporabu određenog subjekta ili korisnika. Ostalom zračnom prometu može biti dopušten prolazak kroz taj prostor, uz odobrenje kontrole zračnog prometa (ATC clearance). [2]

2.3.3 Nekontrolirani zračni prostor

Nekontrolirani zračni prostor obuhvaća sav zračni prostor jedne zemlje ili regije koji se nalazi izvan i ispod donjih granica kontroliranog zračnog prostora, kao što su zračni putovi, kontrolirane zone, završno kontrolirane oblasti, područja kontrole zračnog prometa, te izvan opasnih, zabranjenih i uvjetno zabranjenih zona.

Ovaj prostor naziva se slojem slobodnog letenja i prostire se od površine zemlje do visine od 900 metara iznad mora ili 450 metara iznad terena, ovisno o tome što je veće. U okolici nekontroliranih aerodroma, nekontrolirani zračni prostor može biti definiran kao aerodromska prometna zona (*Aerodrome Traffic Zone – ATZ*). [2]

3 Bepilotne letjelice

Razvoj i primjena bespilotnih letjelica povezani su s vojnom potrebom i inovacijama koje su potaknute ratnim zbivanjima. Prvi oblici bespilotnih letjelica mogu se pronaći već u 19. stoljeću, kada su Austrijanci koristili balone s eksplozivima tijekom napada na Veneciju. U 20. stoljeću, napredak u tehnologiji radio upravljanja omogućio je izgradnju prvih bespilotnih letjelica, poput britanskog Ruston Proctor Aerial Target-a iz 1916. godine. Tijekom Drugog svjetskog rata, razvijene su sofisticiranije bespilotne letjelice poput njemačkog V1, koji je imao značajan utjecaj na ratna zbivanja. Hladni rat potaknuo je daljnji razvoj bespilotnih letjelica, posebno u svrhu izviđanja i prikupljanja informacija. Uspjeh izraelskih bespilotnih letjelica 1982. godine doveo je do povećanog interesa za ovu tehnologiju u Sjedinjenim Američkim Državama. Od devedesetih godina prošlog stoljeća, bespilotne letjelice postaju sve popularnije, s naglaskom na razvoj manjih i učinkovitijih sustava. Komercijalizacija i daljnje unapređenje tehnologije, uključujući istraživanja alternativnih izvora energije, doveli su do široke primjene bespilotnih letjelica u različitim sektorima, što je kulminiralo izdavanjem prve dozvole za komercijalnu upotrebu dronova 2006. godine. Uvođenje bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor predviđa se kao sljedeći korak razvoja i integracije zračnog prostora. [7]

3.1. Terminologija i podjela

Termin bez posade (*crewless*) podrazumijeva transport bespilotnih letjelica (UV – *Unmanned Vehicle*), poznatiji kao dronovi. Mogu se razlikovati dvije vrste UV-a: [8]

- ROV (*Remotely Operated Vehicle*) ili RCV (*Remotely Controlled Vehicle*) i
- AV (*Autonomous Vehicle*) ili roboti.

Ovisno o grani prometa, možemo razlikovati:

- UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) ili bespilotne (*pilotless*),
- UGV (*Unmanned Ground Vehicles*) ili bez vozača (*driverless*) i
- UMV (*Unmanned Marine Vehicles*).

U zrakoplovstvu, terminologija koja se koristi za dron je sljedeća:

- UA (*Unmanned Aircraft*),
- UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*),

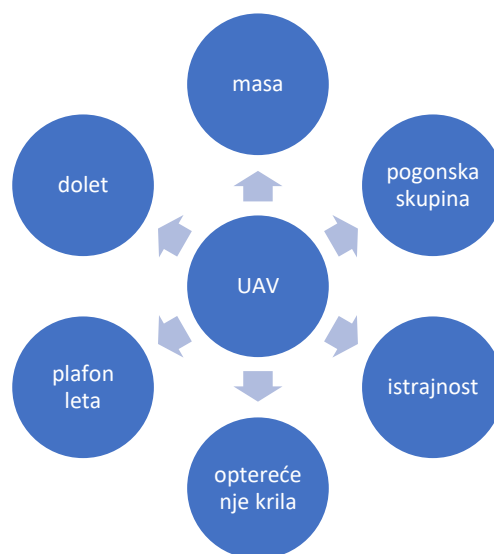
- UAS (*Unmanned Aircraft System*),
- Bepilotna letjelica (*Pilotless aircraft*),
- PAV (*Pilotless Aerial Vehicle*),
- ROA (*Remotely Operated Aircraft*),
- RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) i
- RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*).

Prema Čikaškoj konvenciji, osoba koja upravlja bespilotnom letjelicom se naziva pilot, a kontrolorom se smatra osoba koja razdvaja zrakoplove, odnosno kontrolor leta. [1]

3.2. Klasifikacija bespilotnih letjelica

Kako bi se što jasnije odredili korisnici određenih bespilotnih letjelica, odnosno njihove mogućnosti prema različitim parametrima, potrebno ih je svrstati u skupine kako slijedi u daljnjem dijelu rada. Klasifikacija nije bitna samo kako bi se razlikovali UAV međusobno, već je bitna isto tako s perspektive predlaganja novih regulatornih okvira, kao što je danas primjer gdje se primjenjuju određena pravila razdvajanja ovisno o MTOW (*Maximum Take Off and Weight*), pogonskoj skupini zrakoplova itd. [8]

Osnovna podjela prema namjeni je na vojne i civilne, dok se bespilotne letjelice civilne namjene mogu još podijeliti na one komercijalne i nekomercijalne namjene. Pri tome, sljedeća Slika 3 prikazuje klasifikaciju UAV u ovisnosti o performansama letjelica.



Slika 3 Klasifikacija UAV ovisno o performansama [8]

Tablica 2 prikazuje klasifikaciju UAV-a u ovisnosti o odabranim performansama.

Tablica 2 Klasifikacije prema zadanim parametrima [8]

Kategorija	Istrajnost	Dolet
Visoka	>24 h	>1500 km
Srednja	5 - 24 h	100 - 400 km
Niska	>5 h	<100 km

Kategorija	Masa
Super teški	>2000 kg
Teški	200 - 2000 kg
Srednji	50 - 200 kg
Laki	5 - 50 kg
Mikro	<5 kg

Kategorija	Plafon leta
Niski	<1000 m
Srednji	1000 - 10000 m
Visoki	>1000 m

3.2.1 Беспилотне летјелце цивилне намјене

Prema *Market Reports*, očekuje se da će složena stopa godišnjeg rasta komercijalnog segmenta UAV najviše rasti u periodu 2019. – 2025. godine. Ukoliko sagledamo civilno tržište UAV za 2019. godinu procijenjeno je na 19,3 milijardi USD, a očekuje se da će dosegnuti 45,8 milijardi USD u 2025. godini. Rapidan rast u civilnom sektoru projekcija je povećanog korištenja UAV u djelatnostima kao što su isporuka proizvoda, nadzor, istraživanje, mapiranje i sl. U daljnjem dijelu prikazat će se potencijali za buduću eksploataciju UAV-a.

Korištenje UAV u svrhe praćenja stanja na cestama u stvarnom vremenu, daljinsko istraživanje, potragu i spašavanje, agrikulturu i sl. moguće je zbog njihove lake nadogradnje, niske cijene održavanja i visoke mobilnosti. Klasifikaciju civilnih UAV možemo sagledati kroz značajke koje su im potrebne za izvršavanje određenih zadataka. Ukoliko se koriste kao zračna zračne bazne stanice za povećanje pokrivenosti, kapaciteta, pouzdanosti i energetske učinkovitosti bežičnih mreža, dijele se na: [8]

- LAP (*Low Alltitude Platform*),
- HAP (*Hight Altitude Platform*).

LAP predstavlja komunikacijsku platformu na kojoj VTOL (*Vertical Take Off And Landing*), mali zrakoplovi i baloni djeluju na visini do 10 km. Iznad 10 km operiraju беспилотне летјелце pripremljene za let na vrlo visokim visinama, kao što je prikazano u Tablici 2.

Civilne беспилотне летјелце некоммерцијалне намјене најчешће се користе у сврху фотографiranja i snimanja iz zraka. Za te operacije najčešće se koriste komercijalnim *quadcopterima* niske cijene, doleta 20-ak minuta opremljenim kamerama visoke rezolucije [8].

FPV (*First Person View*) utrka dronova danas predstavlja sport u kojem natjecatelji noseći VR (*Virtual Reality*) displeje upravljaju multirotorima, opremljene kamerama. Cilj je što prije proći stazu s raznim zaprekama. [8]

Korištenjem dronova u komercijalne civilne svrhe, korisnik plaća naknadu za izvršavanje usluge. Jedna od takvih usluga je potraga i spašavanje gdje se tradicionalno koriste helikopteri i zrakoplovi čija eksploatacija iziskuje pozamašan novac. Nadalje, iziskuju posebna školovanja, specijalne dozvole za slijetanje i polijetanje i dr. Upotreba UAV znatno smanjuje cijenu usluge, odnosno resursa i rizik za ljude. Postoji nekoliko koraka u procesu, a oni su: [8]

1. Definiranje prostora koje će se pretraživati,
2. Pretraživanje željenog područja vizualnim ili termalnim kamerama,

3. Prikazivanje slike u realnom vremenu na GCS,
4. Analiza video uradaka od strane stručnjaka,
5. Pronalazak unesrećene osobe.

Postoji i tehnika u kojoj se koristi više UAV, kojima se nakon utvrđivanja prostora pretrage softverski ucrtavaju putanje kretanje u cilju što ranijeg pronalaska cilja. Nakon što jedan od dronova pronađe cilj, nastavlja lebdjeti iznad njega, a ostali se vraćaju u bazu. Dok spasilačka služba ne dođe do cilja, UAV može biti opremljen hranom i pićem koje će poslužiti unesrećenom do njihova dolaska. Ukoliko se riješi problem podizanja velikog tereta, odnosno unesrećene osobe s mjesta pronalaska, operacije potrage i spašavanja mogle bi se potpuno automatizirati. [8]

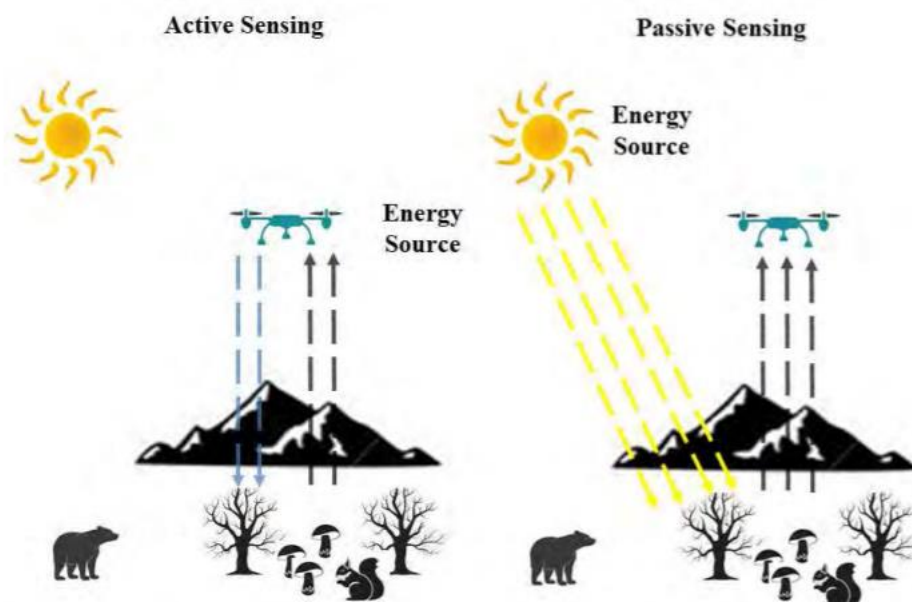
Neka od ograničenja za njihovo korištenje su:

- Regulativa koja bi odobravala korištenje potpuno automatiziranih sustava u svrhe potrage i spašavanja,
- Vremenski uvjeti koji bi mogli utjecati na putanju UAV ili njihovo uništenje i
- Ograničenja vezana uz potrošnju energije (kapacitet baterije).

Remote označava nešto što je upravljano na daljinu, odnosno bez fizičkog kontakta, dok termin *Sensing* podrazumijeva dobivanje informacija kao što su temperatura, fotografija ili tlak od određenih izvora. Najpopularnija tehnologija u kojoj se koristi je ona satelitska u kojoj sateliti u orbiti skeniraju zemljanu površinu i šalju je u obliku slike zemljanoj stanici. Precizna definicija glasi: *Remote Sensing* je proces mjerenja ili nabavke informacija određenog objekta ili fenomena uređajem za snimanje koji nije u fizičkom kontaktu s istim. [8]

UAV se mogu koristiti za prikupljanje podataka od skenera na zemljanoj površini i dalje ih procesuirati prema GCS. Isto tako i oni mogu poslužiti kao senzori u praćenju promjena stanja okoliša, a sve u cilju pravovremenog upravljanja u slučaju katastrofa. Znanstvenici se koriste UAV za praćenje uspješnosti usjeva, suše, nadzor kvalitete vode, otkrivanje bolesti biljaka i dr. U načelu postoje aktivni i pasivni remote sensing. Aktivni koristi senzore kao izvor energije potrebnog za otkrivanje objekata, a pasivni koristi senzore za otkrivanje prirodnog zračenja koje emitira ili reflektira ciljani objekt. Većina sustava koja koristi aktivni oblik služi se mikrovalovima elektromagnetskog spektra sposobnim da prođu kroz atmosferski sloj, kao što su radari, LIDAR (Light Detection And Ranging), instrumenti za mjerenje udaljenosti i dr. Sustavi koji se koriste pasivnim oblikom operiraju u vidljivom spektru infracrvenog dijela elektromagnetskog spektra kao što su brzinomjer, radiometar itd.

Razliku između aktivnog i pasivnog oblika prikazana je na Slici 4. [8]



Slika 4. Aktivni i pasivni remote sensing [9]

Upotreba UAV sveprisutna je u raznim civilnim komercijalnim djelatnostima od dostave paketa do skeniranja nepristupačnih područja. Njihova učinkovitost najizraženija je u kritičnim situacijama gdje postoji mogućnost ugrožavanja ljudskog života. Neki od ostalih primjena su:

- infrastrukturne i konstrukcijske inspekcije,
- precizna agrokultura,
- dostava paketa,
- kontrola i nadzor,
- protupožarna zaštita i sl. [9]

3.2.2 Беспилотне летјелце војне нампјене

U овоме одломку приказати ће се „*Unmanned Aerial Systems*“ укључујући и неке старије моделе који су утјецали на изглед данашњих. Величине варирају од беспилотних летјелца довољно ситних да слете на длан руке до великих летјелца лакших од зрака. U почетцима војна индустрија диктирала је величину летјелца оvisно о мисijama и потребama. Iако се стандардизација често мијенја због раста тржишта и самим тиме развоја технологије, надалје ће се приказати стандардне величине које се тренутно користе. Величина летјелца је увелике оvisила о захтевима и потребama војних корисника, али с порастом комерцијалних корисника тај тренд се полако мијенја.

Iако постоји више разних подјела беспилотних летјелца према величини, а слjedeћа подјела сlijеди „*Unmanned Vehicle, The Concise Global Industry Guide*“ дефинирane према Ian Kemp-u. Почетком осамдесетих година беспилотне летјелце су се производиле тако да могу превозити сензоре и електроникa коja је захтијеvala одређени простор, а он се смањивао развојем технологије. Такве летјелце биле су реда величине 2-3 м. Развојем технологије тај се простор све више смањивао, јер су и електроничке компоненте биле све мање. Исто тако идеја о смањивању летјелца започиње потребом да оне буду преносиве како би је војник лако довео до жељене позиције, лансирао и контролирао у одређене сврхе надзора и сл. Дaљње смањивање величине долази због потребе уласка у просторе и пријеноса слике у тактичке сврхе, величине птице, а понекад и мање. Подручје врло малих беспилотних летјелца је специфично и високо растуће јер нема конкретну конкуренцију. Тренутно не постоји боље рјешенје од беспилотних летјелца врло малих димензија које преносе слику и лако се контролирају посадом са земље, те дају јасну слику о простору у којем се налазе тјеком више сати, а исто тако постоји могућност враћања у базу.

Осим UAV врло малих димензија данас се све више наговјештавају летјелце које ће замјенити комерцијалне теретне зракоплове, програмирane тако да превозе терет без посаде, управљане тимом pilota са земљане станице. [10]

3.3. Konfiguracije bespilotnih letjelica

Općenito zrakoplove možemo dijeliti na lakše i teže od zraka. U ovome naslovu obraditi će se UAV teže od zraka koje se dijele na:

- HTOL (*Horizontal Take Off And Landing*) – horizontalno polijetanje i slijetanje,
- VTOL (*Vertical Take Off and Landing*) – vertikalno polijetanje i slijetanje,
- Konvertibilni (*Hybrids*) – kombinacija HTOL i VTOL.

3.3.1 Konvencionalne bespilotne letjelice

Bespilotne letjelice s fiksnim krilima uvelike su aerodinamičniji zbog svoje jednostavne strukture, te se koriste pri operacijama koje zahtijevaju dugu istrajnost pri srednjim brzinama. Napretkom tehnologije smanjuje im se staza potrebna za uzlijetanje, a sve češće se koriste i stanice na zemlji za ispaljivanje istih. U daljnjem dijelu teksta opisati će se konstruktivna rješenja s fiksnim krilima.

Primjena dronova drastično se povećava iz godine u godinu, a osim multirotora koriste se i oni s fiksnim krilima. Većina manjih UAV lansiraju se iz ruke korisnika, dok oni veći zahtijevaju pripremljenu površinu za uzlijetanje. Takve letjelice krstare na visokim visinama, izbjegavajući loše vremenske uvjete, te se koriste za prikupljanje podataka. Njihova konstrukcija ima oblik tradicionalnih zrakoplove s klipnim motorima napravljenih od trupa i krila s obje strane. [11]

Nakon višegodišnjeg razvoja bespilotnih letjelica s fiksnim krilima, proizašla su tri generalna tipa konstrukcije kako slijedi: [11]

- *Tailpane aft* – horizontalni stabilizator nalazi se na izlaznoj strani krila,
- *Tailplane forward* – horizontalni stabilizator nalazi se na napadnoj ivici krila,
- *Tailless* – konstrukcije bez repa.

Slika 5 prikazuje primjere bespilotnih letjelica sa horizontalnim polijetanjem i slijetanjem.

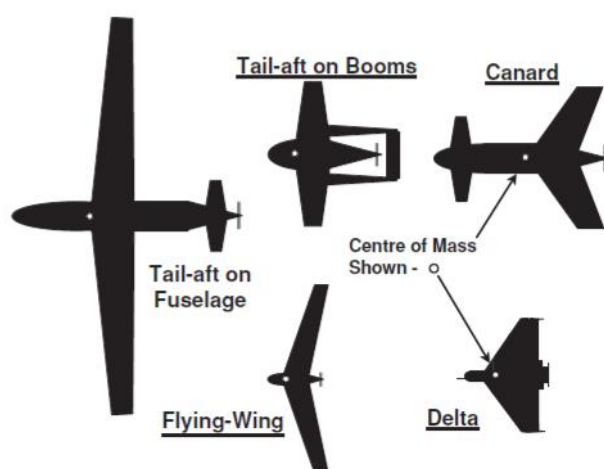


Figure 3.7 HTOL aircraft configurations

Slika 5. HTOL konfiguracije [12]

Glavno krilo prema naprijed s kontrolnim površinama na stražnjem dijelu predstavlja daleko najprisutniji oblik UAV s fiksnim krilima - kao što je prikazano na slici 5. Centar mase nalazi se ispred krila, što je uravnoteženo s opterećenjem na stražnjoj strani kako bi se dobila stabilnost vodoravnog položaja. Ovakva konfiguracija smatra se dogovorno konvencionalnom, te se prema njoj izvode sve druge. Repna površina može biti na jednom ili dva nosača, te može biti pogonjen s jednim ili više motora. Trenutno izvedbe ovakve koncepcije dugog doleta imaju nešto duži trup, s upravljačkim površinama na kraju. Nešto duži trup izvodi se kako bi se uklopile sve željene elektroničke komponente. [8]

Izvedbe s dva repna nosača koriste se za UAV kratkog do srednjeg doleta, kod kojeg se motori za pogon montiraju odmah uz krilo. Rezultati aerodinamičkih istraživanja dokazali su smanjenje inercije pri zakretanju i poniranju/uspinjanju. Najpopularniji predstavnici ove skupine su:

- MQ-1 Predator,
- RQ-4 Global Hawk.
- RQ-5 Hunter.

3.3.2 Nekonvencionalne bespilotne letjelice

Canard, leteće krilo i delta predstavnici su nekonvencionalnih UAV. *Canard* predstavlja konstrukciju u kojoj je horizontalni stabilizator postavljen u ravnini ispred krila. Centar mase nalazi se na sredini letjelice, odnosno ispred krila, a horizontalna stabilnost se postiže horizontalnim stabilizatorom na čelu koji generira pozitivni uzgon.

Canard krilca se najčešće koriste kako bi se smanjilo opterećenje na glavnom krilu, bolju kontrolu protoka zraka na glavnom krilu ili povećanje okretnosti pri visokim napadnim kutovima, kao najveći nedostatak konstrukcije navodi se loša pravocrtna stabilnost, što se nadoknađuje zaokretanjem glavnih krila. [8]

Rotirajući UAV ne zahtijevaju pripremljenu površinu za polijetanje već koriste tehniku vertikalnog polijetanja/slijetanja VTOL (*Vertical Take Off and Landing*), što je ujedno i njihova najveća prednost. Zbog male brzine kretanja, mehaničke kompleksnosti i kratkog doleta, idealni su za izvršavanje zadataka koji zahtijevaju nagle promjene kretanja. UAV s pokretnim krilima možemo podijeliti na one s jednim ili više rotora. UAV s više rotora dijelimo na: [8]

- *Bicopter*,
- *Tricopter*,
- *Quadcopter*,
- *Octocopter*.

Na koncepcije helikoptera utječu broj i položaj rotora, pa ih prema tome dijelimo na rotore u tandemu, koaksijalne i rotore na bokovima. Za potrebe ovoga rada opisati će se UAV s rotorima u tandemu. Konstrukcija se sastoji od trupa sa stajnim organima i dva rotora. Glavni rotor služi za postizanje sile uzgona i pravocrtnog kretanja, a repni rotor služi za uravnoteženje okretnog momenta glavnog rotora.

Kod ovakvih izvedbi najveći je nedostatak asimetričnost u svim ravninama, što komplicira izvedbu računalnog programa za upravljanje letom. Isto tako kao jedna od mana navodi se krhkost manjeg rotora pri izvedbama manjih dimenzija. [8]

Multirotori predstavljaju skupinu UAV s više funkcionalnih rotora. Trikopteri su podvrsta multirotora koji koriste tri rotora, a oni se nadalje mogu podijeliti u dvije skupine. Prva skupina opremljena je s tri koaksijalna rotora, što znači svaki od njih rotira suprotno od drugoga kako bi se poništio susjedni tzv. jaw moment. Druga skupina koristi servo motor koji okreću letjelicu oko okomite osi ovisno o smjeru vrtnje motora. U obje konfiguracije glavni je cilj otkloniti okretni moment oko y osi. Kao što je vidljivo na sljedećoj skici. Okvir tijela nalazi se na sjecištu uzdužnih osi rotora. [8]

Figure 1 Tri-rotor top view

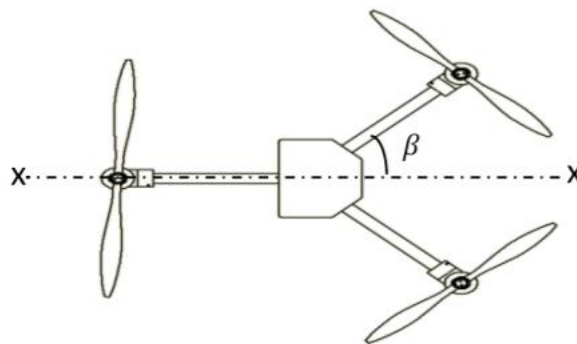
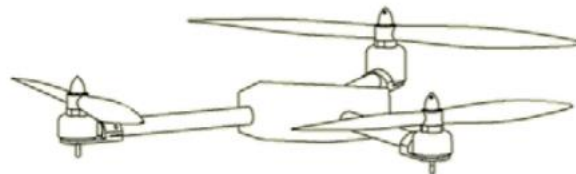


Figure 2 Tri-rotor front view



Slika 6. shematski prikaz trikoptera [13]

U centralnom dijelu letjelice nalaze se baterija i kontroler koji je programiran tako da komunicira sa svakim od rotora. Dva rotora konfigurirana su kao prednja koji rotiraju u istom smjeru, a stražnji u suprotnom. Avionika sustava je podešena tako da upravljanjem brzine vrtnje svakog od rotora zasebno omogućava bočno kretanje, kao i promjena visina. Ukoliko se promjeni brzina vrtnje jednog od prednjih rotora letjelica se okreće, dok se mijenjanjem brzine stražnjeg rotora letjelica naginje. Stražnji rotor mora biti konstruiran tako da ima dvostruko veći okretni moment od prednjeg, kako bi se postigao tražena ravnoteža. [13]

Najpopularnija izvedenica multirotora zasigurno je quadcopter zbog jednostavnosti konstrukcije i održavanja, sposobnosti lebdenja i mogućnosti VTOL. Glavna uloga propelera rotora je postizanje zadovoljavajućeg okretnog momenta i potiska. Quadcopter je predstavnik multirotra koji koristi četiri rotora s ciljem letenja. Potisak ovisi o dinamici leta letjelice, a za njezino kretanje mora biti veći od težine letjelice. Kako bi se otklonile posljedice okretnog momenta rotora, jedna skupina rotora okreće u smjeru kazaljke na satu, dok druga rotira obrnuto od kazaljke na satu. Dubina navoja na propelerima utječe na brzinu kretanja, točnije što je dubina navoja veća, to je i brzina letjelice veća. Ovisno o broju lopatica generirati će se i veći potisak, a u praksi najisplativije su se pokazali propeleri s dvije lopatice. Za kretanje se često koriste BLDC (Brushless Direct Current) motori, koji predstavljaju istosmjerne motore s trajnim magnetom. Motori moraju biti takvi da osiguravaju dvostruko veću silu potiska od težine drona, ukoliko je motor pre slab, letne karakteristike biti će loše. Preostale komponente koje su bitne za funkcioniranje drona su ESC (Electronic speed controller) koji služi za promjenu brzine vrtnje i smjera propelera, FC (Flight controller) koji predstavlja elektroničku pločicu povezanu sa svim sensorima i napajanje u obliku baterije. U današnje vrijeme komercijalni quadcopter-i koriste se univerzalnim mikro kontrolerima koji komuniciraju s motorima ovisno o tome kako su isprogramirani, dok se za upravljačke sustave osim joysticka koriste i mobilni uređaji s adekvatnim aplikacijama. [14]

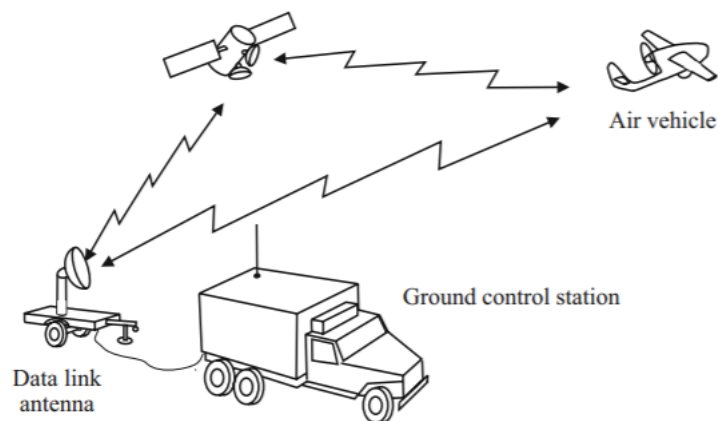
3.4. Sustavi bespilotnih letjelica

Prema definiciji „sustav je skup elemenata povezanih u funkcionalnu cjelinu kojima se nastoji ostvariti cilj“. [15] Predmetna definicija primjenjiva je i u kontekstu bespilotnih letjelica.

Letjelica je svaka letjelica koja je bez pilota, upravljana radio ili nekim drugim signalom. Prema literaturi možemo ih podijeliti na manualno kontrolirane i automatizirane. Automatizirani sustavi su unaprijed navigacijski programirani, točnije koriste autopilot koji kontrolira vertikalno odstojanje (*attitude*), visina u odnosu na srednju razinu mora (*altitude*) i putanju kretanja, dok manualno kontrolirani „ručno“ podešava korisnik putem sučelja. Osnovni dijelovi sustava UAV-a su: [16]

- letjelica - AV (*Air Vehicle*),
- kontrolna stanica na zemlji - GCS (*Ground Control Station*),
- korisni teret (*Payload*),
- komunikacijski link (*Data Link*) [16].

Prikaz generičkog UAV sistema prikazan je na sljedećoj slici 7.



Slika 7. Prikaz generičkog UAV sustava [16]

Iz sheme je moguće vidjeti da je za uspješno funkcioniranje UAV sustava potrebna letjelica s adekvatnom avionikom za dvostranu komunikaciju sa zemljanom stanicom u kojoj se nalazi pilot ili više njih. [16]

3.4.1 Avionika letjelice

Avionika je naziv za elektroničke komponente koje se nalaze u zrakoplovu, satelitima ili svemirskim letjelicama, a oni uključuju sustave za komunikaciju, navigaciju, radari i ostale komponente koje služe za izvođenje pojedinih operacija. [17]

Bespilotne letjelice koriste gotovo istu avioniku kao i zrakoplovi, samo što je ta oprema fizički smanjena kako bi bila adekvatna za manje letjelice, te postoji još nekoliko drugih komponenata koje se koriste kako bi se osigurala autonomnost bespilotnih letjelica. Vrlo često zbog posebnosti komponenti, pogotovo kod jako malih letjelica, one nisu izrađene prema standardiziranim propisima. Vrlo male civilne letjelice u velikom postotku bivaju izgubljene ili uništene, te je od velike važnosti da njihovi dijelovi budu što jeftiniji.

Ugradnja avionike u bespilotne letjelice predstavlja veliki izazov jer zbog skučenosti prostora može biti ugrađena blizu motora oko kojeg djeluje elektromagnetsko polje koje može negativno utjecati na rad senzora. Uobičajeno je da se za takve sustave koristi akronim COTS (*Commercial Off The Shelf Systems*). [18]

Neki od dijelova avionike u bespilotnim letjelicama su: [18]

- sustav za komunikaciju i prijenos podataka,
- autopilot,
- sustav za izviđanje i nadzor,
- sustav za napajanje (baterije, solarni paneli i dr.),
- sustav za kontrolu naoružanja (*Arms control*),
- sustav za navigaciju i dr.

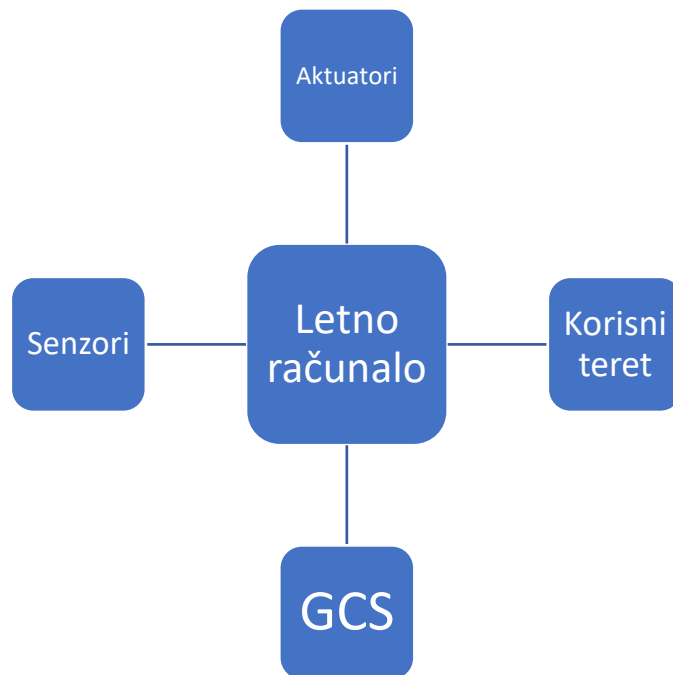
3.4.2 Letno računalo

Letno računalo predstavlja glavni elektronički sklop u dronu. Ovisno o kompleksnosti izvedbe i području primjene izvedbe ovisiti će i konfiguracija letnog računala. U najprimitivnijoj izvedbi letno računalo čine elektronička pločica, procesor, navigacijska jedinica s osnovnim sensorima navigacije, napajanje (baterija), modem za prijenos podataka između kontrolera i upravljačke pločice. [18]

Neki od ostalih elektroničkih uređaja su:

- IMU (*Inertial Measurment Unit*) kombiniran s GPS prijemnikom,
- Micro-PNT (*Micro Technology for Positioning, Navigation and Timing*),
- EO/IR (*Elctro-Optical/Infra-Red*),
- radari i dr. [19]

Sljedeća slika 8 prikazuje interakciju letnog računala i ostale avionike u UAV-a.

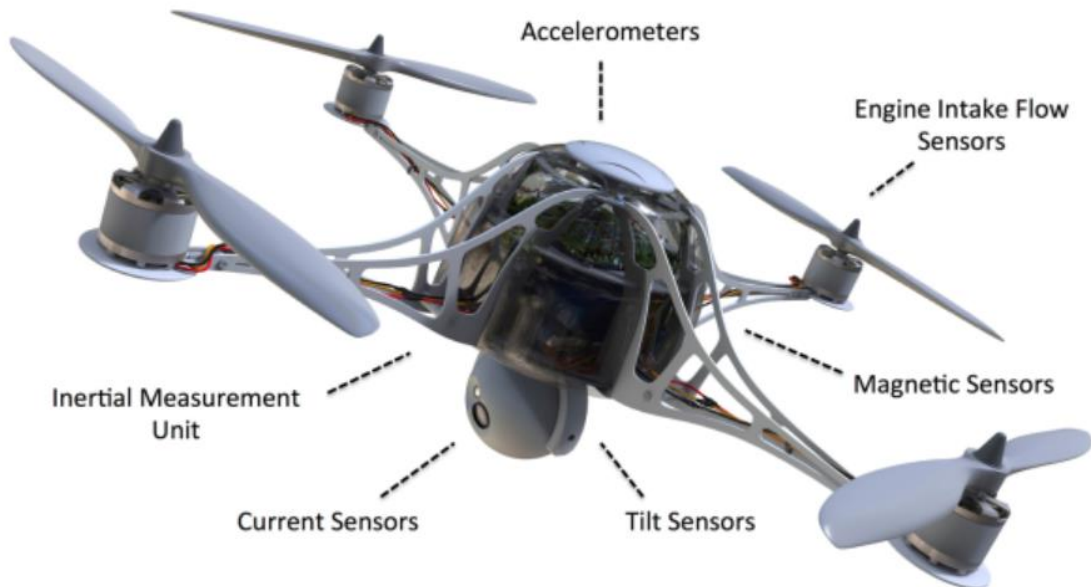


Slika 8. Jednostavna arhitektura avionike [19]

3.4.3 Senzori

Senzori predstavljaju uređaje koji se koriste u vrhu otkrivanja događaja ili promjena u svom okruženju i slanje informacija drugoj elektronici, najčešće računalnom procesoru. Slika 9 prikazuje najčešće senzore koje koriste današnji bespilotnih letjelica:

- akcelerometar (*Accelerometers*),
- senzor protoka (*Engin Intake Flow Sensors*),
- magnetski senzori (*Magnetic Sensors*),
- senzor nagiba (*Tilt Sensors*),
- strujni senzor (*Current Sensors*) i
- senzor za mjerenje inercije (*Inertial Measurement Unit*). [20]



Slika 9. Prikaz senzora koje koriste moderni dronovi [20]

Akcelerometar je uređaj za mjerenju ubrzanja (akceleracije) tijela, a koristi se u navigaciji, aeronautici i seizmologiji. Služi kao uređaj za određivanje pozicije i orijentacije u letu. MEMS (*Micro Electro Mechanical System*) akronim označava tehnologiju izrade sićušnih integriranih uređaja ili sustava kombiniranjem mehaničkih i elektroničkih komponenti. Postoje dva tipa MEMS akceloratora od kojih jedni vrše mjerenja kretanjem, a drugi termičkim očitavanjem. Prvi tip uređaja se sastoji od mase, zavojnica i fiksnih pločica. Kada se pojavi određena akceleracija, masa se pomiče i stvara se promjena kapaciteta između mase i fiksnih pločica, ovisno o razini akceleracije, mijenjati će se i iznos kapaciteta. [20]

Druga tehnologija akcelormetra je termičko mjerenje, odnosno promjene kretanja molekula plina koje prolaze kroz mali integrirani krug. Zbog toga što nemaju pokretnih dijelova, akcelormetri koji koriste termička mjerenja pružaju veću stabilnost i točnost podataka. MEMS senzori idealni su za korištenje u dronovima jer su iznimno otporni na vibracije generiranih od pogonske skupine. Kako bi dronovi održavali određeni smjer i pridržavali se letne putanje koristi se sustav za mjerenje inercije u kombinaciji s GPS prijemnikom. Sustavi za mjerenje inercije koriste se više osnim magnetima, koji su zapravo kompasi. Senzor mjeri promjene smjera i unosi podatke u središnji procesor što u konačnici ukazuje na smjer. Jedan od najvećih izazova u industriji dronova je nedostatan izvor napajanja. Kako bi se što bolje optimizirala potrošnja energije, optimalno i sigurno punila baterija, te detektirale moguće pogreške sustava/motora koriste se strujni senzori. Oni mjere električnu struju i pružaju električnu izolaciju kako bi se smanjila nepotrebna potrošnja, te smanjuju mogućnost oštećenja sustava. Senzori s brzim odzivom su visoke točnosti i produžuju životni vijek baterije.

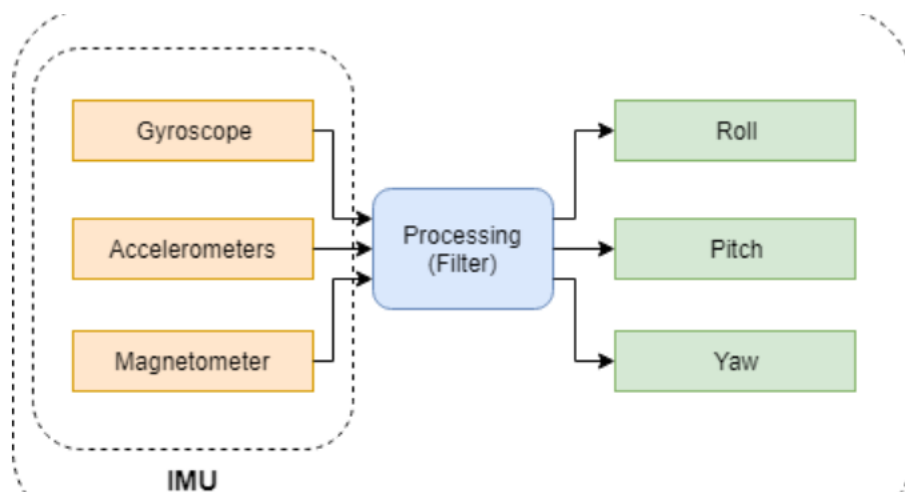
Elektromagnetski kompasi pružaju ključne informacije o usmjerenju za sustave navigacije. AMR (*Anisotropic Magneto Resistance*) su precizni uređaji bez kontakta koji mjere promjene u kutu magnetskog polja kao što ih vidi senzor. [21]

Senzori protoka pomažu procesoru CPU odrediti pravilan omjer smjese goriva i zraka pri određenoj brzini motora. Pravilnom smjesom poboljšava se snaga motora i smanjuju emisije plinova.

Posljednji u nizu senzora je sensor nagiba koji zajedno sa žiroskopima i akcelerometrima otvara vrata održavanja nivoa letu ukoliko se u budućnosti dronovi uvedu u kontrolirani zračni prostor. Sensor nagiba proizvodi električne impulse koji su proporcionalni stupnju nagiba u više osi, pružajući tako podatke o vertikalnom i horizontalnom nagibu letjelice. [22]

3.4.4 Navigacijski uređaji

Inercijalni navigacijski sustavi sastoje se od senzora koji se nazivaju IMU (*Inertial Measure Units*). Za potrebe navigacije koriste se akcelerometri i žiroskopi koji zajedno s procesorom čine inercijalni navigacijski sustav, kojim se mjere i prikazuju informacije o položaju, brzini, promjenama brzine i gravitacijskim silama koje djeluju na zrakoplov. Akcelerometar služi za mjerenje linearne akceleracije u odnosu na fiksni koordinatni sustav, a žiroskopi za mjerenje kutnog pomaka pomoću kojih stabiliziramo sustav. IMU sustav koristi još i jednostavne magnetometre koji predstavljaju jednu vrstu kompasa za mjerenje smjera zemaljskog polja u dvije dimenzije. Prikaz primjera IMU sustava moguće je vidjeti na Slici 10. [16]



Slika 10. Navigacijski uređaji bespilotne letjelice [22]

3.4.5 Komunikacijska podatkovna veza

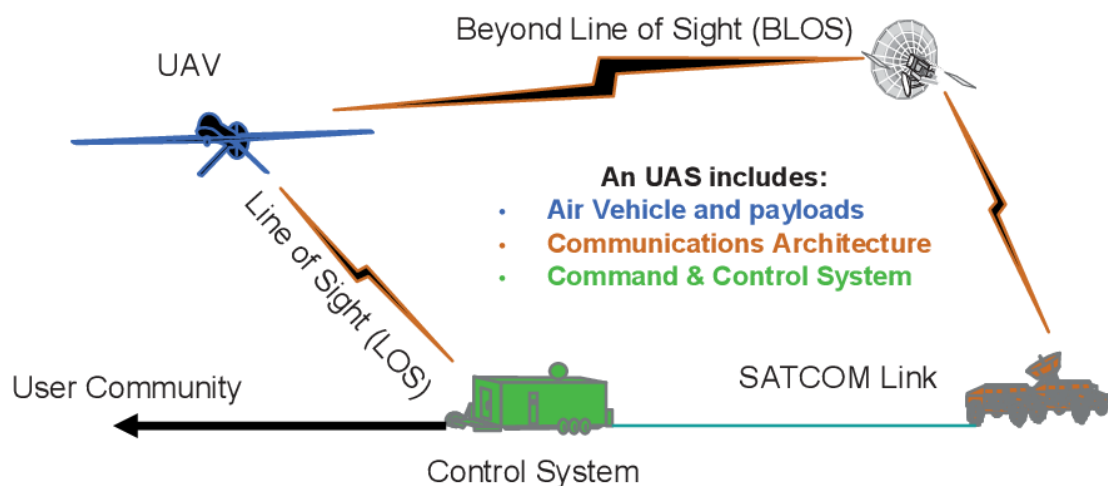
Podatkovna veza jedan je od najvažnijih podsustava i služi za povezivanje drona i kontrolne stanice na zemlji, tj. uređaja korisnika. Signal za komunikaciju je dvosmjernan i sastoji se od tzv. uplinka i downlinka. Uplink sadrži informacije potrebne za kontrolu letne putanje i po potrebi kontrolu korisnog tereta, a downlink služi za potvrdu naredbi i slanje informacija o stanju letjelice dobivenih od senzora. [22]

Općenito, operacije sustava UAV-a možemo podijeliti na one koje se odvijaju:

- LOS - *Line of sight*
- BLOS - *Beyond line of sight*

LOS operacije odnose se na letjelice upravljane putem izravnih radio valova. Ovisno o snazi odašiljača, prijammnika i prepreka, ovakva vrsta komunikacije može se odvijati i na nekoliko kilometara. Usmjerene antene koriste se kako bi se pojačao signal koja koristi lokaciju RPA, te se pomiče u ovisnosti o njezinim kretanjima kako bi signal ostao što jači.

BLOS operacije odnose se na upravljanje RPA putem satelitske komunikacije. Civilni korisnici mogu pristupiti BLOS-u putem Iridium satelitskog sustava, dok vojni korisnici koriste signale satelita u šifriranom Ku pojasu. Na sljedećoj slici moguće je vidjeti karakteristike LOS i BLOS. [22]



Slika 11. Prikaz LOS i BLOS [23]

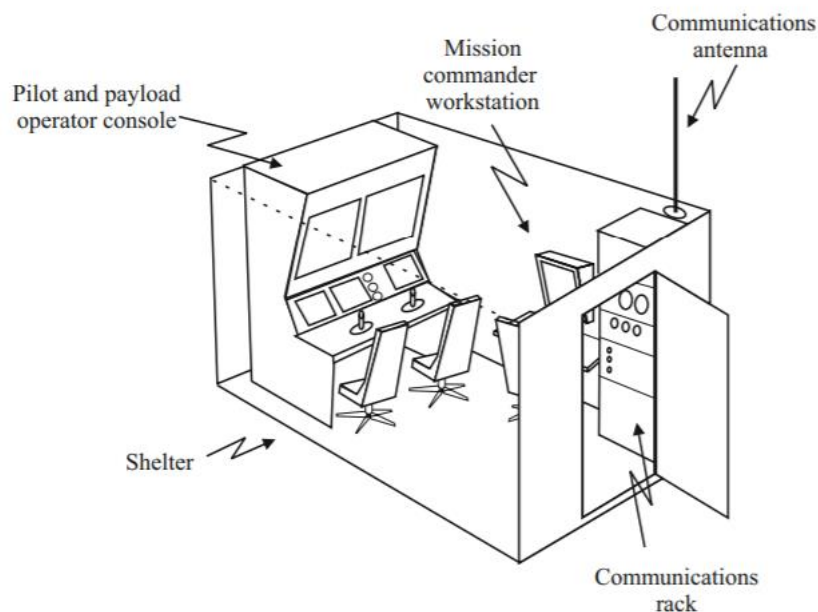
3.4.6 Kontrolna jedinica na zemlji i pomoćna oprema na zemlji

Ovisno o namjeni bespilotna letjelica može biti kontrolirana mobitelom, daljinskim upravljačem ili u slučaju vojnih korisnika operativna prostorija na zemlji ili pripremljenoj površini na vodi iz koje se upravlja letjelicom i podacima dobivenih od nje. Informacije koje se odašilju iz GCS prenose se putem zemaljskog terminala koji je osnovni dio podatkovne veze.

MPCS (*Mission Planning and Control Station*) predstavlja kontrolnu sobu za vojne bespilotne letjelice koja se u minimalnom obliku sastoji od pilotske i senzorske stanice. Pilotska stanica služi isključivo samo za upravljanje bespilotnom letjelicom od strane pilota. Razvijeniji MPCS uključuju objekte za: [22]

- planiranje misije,
- kontrolu letjelice,
- instrumente za video i telemetriju,
- podatkovni terminal,
- komunikacijsku opremu i
- opremu za preživljavanje.

Sljedeća slika prikazuje objekte od kojih se sastoji MPCS-a.



Slika 12. Prikaz kontrolne prostorije za vojne svrhe [22]

Kako se tehnologija razvija iz dana u dan, tako i sustavi za upravljanje bespilotnim letjelicama postaju sve sofisticiraniji te se javlja potreba za uvođenjem pomoćnom opremom na zemlji, koja može uključivati:

- opremu za testiranje i održavanje,
- zamjenske i potrošne dijelove,
- zalihe goriva i baterija,
- opremu za rukovanje bespilotnih letjelica na zemlji i
- generatore za napajanje ostale potporne opreme. [22]

Ukoliko je GCS potpuno mobilan, pomoćna oprema se može još sastojati od vozila za prijevoz GCS i eventualno spavaćih soba za korisnike.

3.4.7 Korisni teret

Ovisno o namjeni bespilotne letjelice mogu biti opremljene različitim korisnim teretom. Korisni teret označava svaki onaj koji letjelica prevozi u cilju nadzora, isporuke oružja, komunikacije, snimanja iz zraka ili prijevoza tereta. Vrlo često letjelice su konstruirane prema korisnom teretu kojeg prevoze, dok isto tako određene letjelice imaju i nekoliko različitih korisnih tereta.

Kada govorimo o civilnoj namjeni, većina letjelica je konstruirana tako da može prenositi maksimalan korisni teret od 2 kilograma, te da se može lako skinuti i zamijeniti, najčešće su to kamere za snimanje i fotografiranje. Za vojne potrebe u počecima su se koristile film kamere, koje su zamijenile one s elektroničkim prikupljanjem i pohranjivanjem slika. Ukoliko misije zahtijevaju prepoznavanje cilja, uz uređaj za obradu slike nadodaje se laser. U misijama nadzora i snimanja iz zraka koriste se elektro-optičke kamere, infra-crvene kamere, SAR (*Synthetic-aperture radar*) radari za prikaz 2D slike i laserski daljinomjer i označivači meta. Elektro-optičke kamere dobile su naziv jer koriste elektroniku za okretanje, zumiranje i fokus slike, dok su ga infracrvene kamere dobile jer koriste infracrvena zračenja za dobivanje termalne slike. Gimbal je sofisticirana izvedba koja omogućava kameri smireno kretanje zahvaljujući motorima i sensorima kojima je opremljena. [22]

Pored navedenog, naoružane bespilotne letjelice prenose različite vrste eksploziva za izbacivanje u cilju uništenja mete. Postoje još i izvedbe koje se koriste kao odašiljači signala na udaljenosti, kako bi se proširila pokrivenost za letjelice koje operiraju u LOS području.

4 Mogućnosti uvođenja bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor

U sljedećem poglavlju istražuje se sigurnosna, regulativna i operativna strana integracije bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor. Opisat će se tehnički aspekti s pregledom komunikacijskih sustava između UAV-ova i kontrole zračnog prometa (Air Traffic Control - ATC). Također, pružen je pregled i uloga tehnologije poput ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance Broadcast*) koje omogućuju prijenos podataka o poziciji, brzini i visini UAV-ova u realnom vremenu, pospješujući sigurnost zračnog prometa.

Nadalje, prikazat će se potencijalni sigurnosni rizici integracije UAV-ova, kao što su tehnički kvarovi i ljudske pogreške. U cilju otklanjanja mogućih sigurnosnih ugroza, važno je pratiti upute i smjernice međunarodnih i nacionalnih propisa. Sve prethodno navedeno vodi ka definiranju operativnih postupaka u cilju uspješne integracije UAV-ova u postojeće operativne postupke kontrole zračnog prometa, te samim time obuke kroz programe osposobljavanja operatera bespilotnih letjelica u skladu s pozitivnim praksama i važećim propisima.

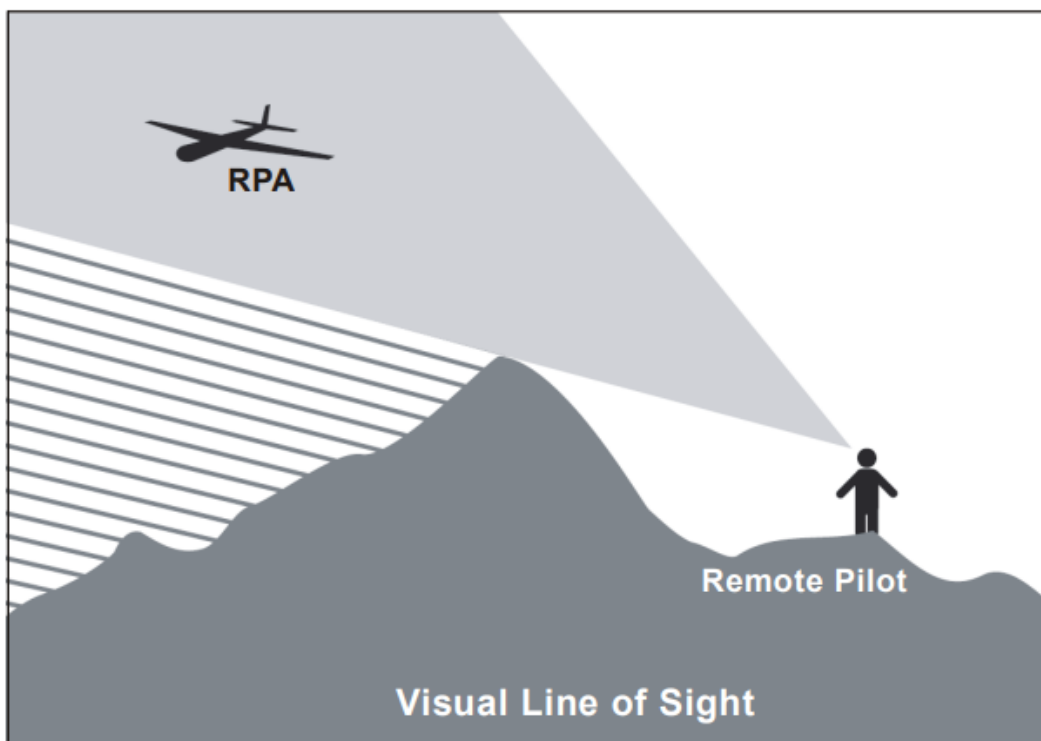
4.1. Uvođenje bespilotnih letjelica u nekontrolirani zračni prostor

Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva pruža smjernice razvoja i implementacije regulative kako bi se omogućila integracija bespilotnih letjelica u kontrolirani zračni prostor. Uvođenje bespilotnih letjelica u zračni prostor zahtijeva usklađivanje s nekoliko ključnih regulatornih okvira koji osiguravaju sigurnost, efikasnost i pouzdanost operacija. Nadalje će se opisati smjernice prema ICAO Circular 328, tzv. *Unmanned Aircraft Systems*.

Svrha ICAO Circulara 328 je sljedeća:

- upoznati države članice s novim perspektivama ICAO-a o integraciji bespilotnih letjelica u nekontrolirani zračni prostor i na aerodromima;
- razmotriti temeljne razlike u odnosu na zrakoplovstvo s posadom koje će takva integracija uključivati;
- potaknuti države članice da pomognu u razvoju politike ICAO-a o bespilotnim letjelicama pružanjem informacija o vlastitim iskustvima povezanim sa bespilotnim letjelicama. [24]

Nadalje, uvodi se pojam *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), kako bi se bolje odrazio status ovih letjelica kao upravljanih. RPA je letjelica kojom upravlja licencirani „daljinski pilot“ smješten u "daljinskoj pilotskoj stanici" koja se nalazi izvan letjelice (npr. na zemlji, brodu, drugom zrakoplovu, u svemiru) koji nadzire letjelicu u svakom trenutku i može odgovarati na upute izdane od strane kontrolora zračnog prometa, komunicirajući glasom ili podatkovnom vezom u skladu s prostorom ili operacijom, te ima izravnu odgovornost za sigurnu operaciju letjelice tijekom cijelog leta. Iako pilot može uključiti autopilot kako bi mu pomogao izvršiti određene dužnosti, u niti jednom slučaju tehnologija ne smije zamijeniti odgovornost koja je dana operateru letjelice. [24] Slika 13 prikazuje RPA i daljinski upravljano pilota unutar VLOS-a.



Slika 13. Prikaz RPA i daljinski upravljano pilota unutar VLOS-a [24]

4.1.1 Pravila letenja i sustav za prepoznavanje i izbjegavanje

U skladu s Člankom 12 ICAO Aneksom 2, zapovjednik zrakoplova odgovoran je za rad zrakoplova u skladu s pravilima zračnog prometa. Također uključuje, konačnu ovlast za raspored zrakoplova dok je na zapovjedništvu, bez obzira na to je li pilot u zrakoplovu ili je smješten na daljinu.

Svaki zrakoplov ugovorne države, koji se bavi međunarodnom navigacijom, mora nositi sljedeće dokumente u skladu s uvjetima propisanim u ovoj Konvenciji:

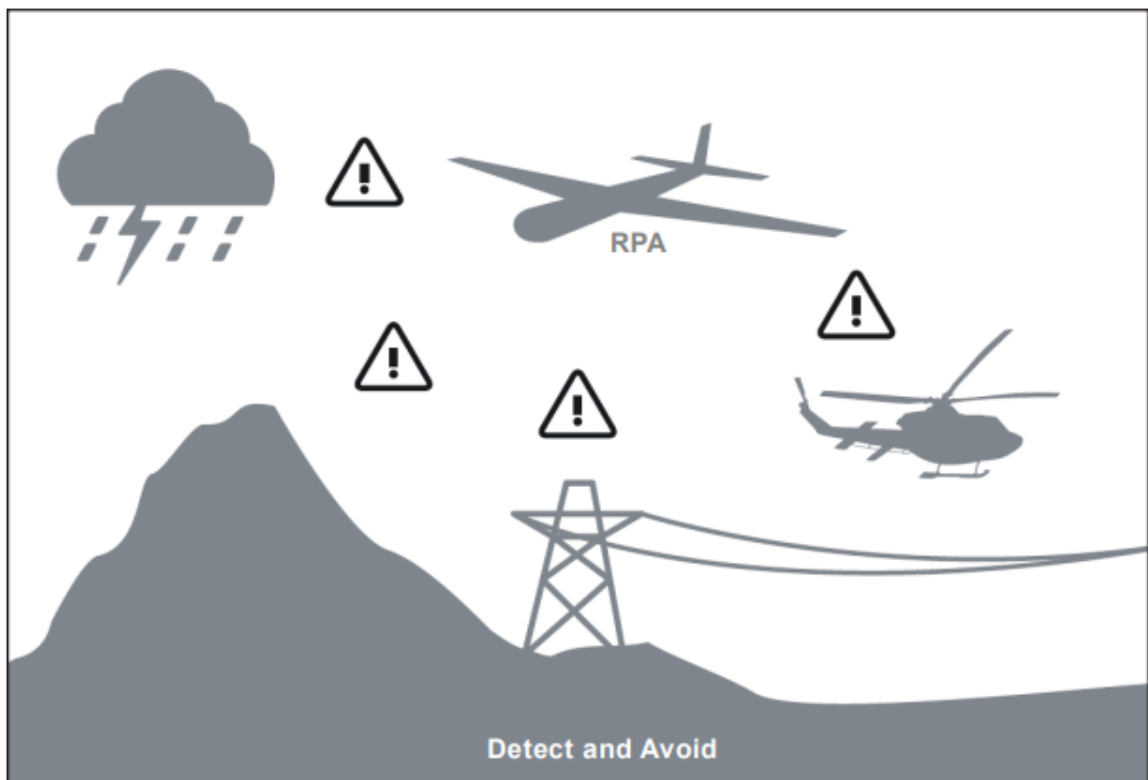
- Certifikat o registraciji;
- Certifikat o plovidbenosti;
- odgovarajuće licence za svakog člana posade;
- dnevnik putovanja;
- ako je opremljen radiouređajem, dozvolu za radio stanicu zrakoplova;
- ako prevozi putnike, popis njihovih imena i mjesta ukrcaja i odredišta;
- ako prevozi teret, manifest i detaljne izjave o teretu. [24]

Za RPA nošenje ovakvih dokumentira u papirnatom obliku može biti nepraktično, te se može razmotriti opcija u digitalnom obliku.

Zapovjednik leta letjelice odgovoran je za otkrivanje i izbjegavanje potencijalnih sudara i ostalih opasnosti. Isti zahtjev će postojati i za udaljenog pilota bespilotnih letjelica. Tehnologija koja će udaljenom pilotu omogućiti dovoljno znanje o okruženju letjelice kako bi ispunio tu odgovornost mora biti ugrađena u letjelicu s odgovarajućim komponentama smještenim na udaljenoj pilotskoj stanici. [24]

Piloti letjelica moraju promatrati, interpretirati i poštovati raznolike vizualne signale namijenjene privlačenju njihove pažnje i prijenosu informacija. Takvi signali mogu varirati od svjetala i pirotehničkih signala za promet na aerodromu do signala koji se koriste kod presretanja letjelica. Udaljeni piloti bit će podvrgnuti istim zahtjevima unatoč tome što nisu na brodu letjelice, što zahtijeva razvoj i odobrenje alternativnih načina usklađivanja s ovim zahtjevom. [24]

Temeljni princip pravila letenja jest da pilot može vidjeti druge letjelice i tako izbjeći sudare, održavati dovoljno udaljenosti od drugih letjelica kako ne bi stvorio opasnost od sudara i poštivati pravila prednosti kako bi izbjegao druge letjelice. Integracija RPA možda neće zahtijevati promjenu standarda, međutim, kako tehnologija RPAS napreduje, bit će potrebno razviti alternativne načine identifikacije opasnosti od sudara s odgovarajućim usvajanjem standarda i preporučenih praksi (Standards and Recommended Practices – SARPs). Bez obzira, pravila prednosti ostaju ključna za sigurnu operaciju letjelica, s ili bez pilota na brodu. Isto tako, za površinsko kretanje RPA u aerodromskom okruženju, potrebno je da se operacije RPA provode sigurno i učinkovito bez ometanja drugih operacija letjelica. [24] Slika 14 prikazuje primjer sustava za prepoznavanje i izbjegavanje.



Slika 14. Prikaz sustava za prepoznavanje i izbjegavanje [24]

S obzirom na sve navedeno, RPAS rješenja za detekciju i izbjegavanje bit će potrebna kako bi se ispunili određeni zahtjevi performansi povezani s odgovornostima posade leta. I letjelica i udaljena pilotska stanica morat će uključiti aspekte ove funkcionalnosti kako bi postigli potpuno tehničko rješenje potrebno za odobrenje operacija RPA. Ovisno o vrsti i lokaciji operacija koje će RPA provoditi, to može uključivati sposobnost:

- prepoznavanja i razumijevanja znakova, oznaka i osvjetljenja na aerodromu;
- prepoznavanja vizualnih signala (npr. presretanja);
- identifikacije i izbjegavanja terena;
- identifikacije i izbjegavanja jakog vremena;
- održavanja odgovarajuće udaljenosti od oblaka;
- osiguranja "vizualne" udaljenosti od drugih zrakoplova ili vozila;
- izbjegavanja sudara. [24]

4.1.2 Komunikacija sa službama kontrole zračnog prometa

Pružanje ATS-a trebalo bi biti jednako bez obzira da li je letjelica pilotirana ili je letjelica daljinski upravljana. Uvođenje RPA ne smije povećati rizik za druge zrakoplove ili treće strane te ne smije ograničiti pristup zračnom prostoru. ATM procedure za RPA trebale bi oponašati one za pilote na letu, uzimajući u obzir razlike u reakcijama daljinskih pilota. [24]

Procedure za pružanje usluga u zračnoj plovidbi (*Procedures for Air Navigation Services - PANS-ATM, Doc 4444*) predstavlja sveobuhvatan dokument koji publicira ICAO. Navedeni dokument pruža detaljne procedure i smjernice za upravljanje zračnim prometom, koje uključuju kontrolu zračnog prometa, upravljanje zračnim prostorom i upravljanje tokovima prometa. Jedan od osnovnih elemenata PANS-ATM-a jesu procedure kontrole zračnog prometa koje uključuju standarde razmaka između zrakoplova kako bi se osigurala sigurnost u zraku i na tlu, kao i procedure koordinacije između različitih jedinica kontrole zračnog prometa. Prvenstveno radi neometanog i sigurnog prijenosa zrakoplova iz jednog zračnog prostora u drugi. Osim toga, standardizirana frazeologija za komunikaciju između pilota i kontrolora od suštinske je važnosti kako bi se izbjegla nesporazuma, te upute o načinu podnošenja i obrade planova leta, uključujući potrebne informacije i vrijeme podnošenja. [25]

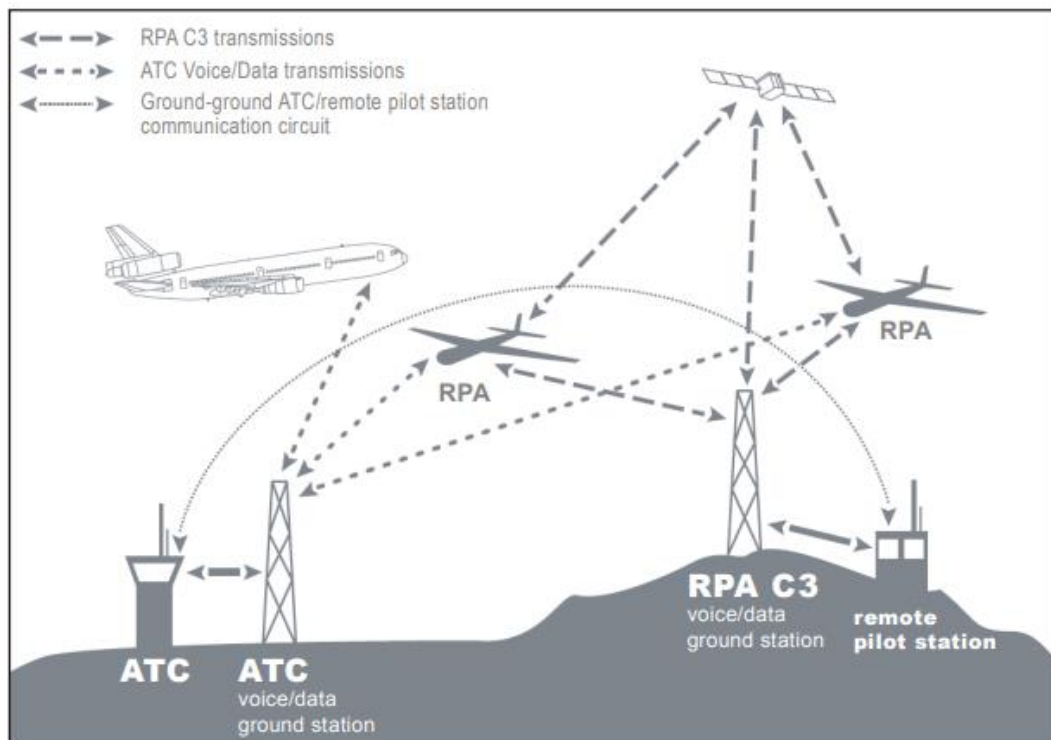
Uvođenjem RPA biti će potrebno pregledati kategorije turbulencije vrtložnih struja zrakoplova i povezane standarde ili postupke razdvajanja. S obzirom da ATC mora primiti prethodnu obavijest u slučaju daljinski upravljanih zrakoplova, PANS-ATM, Dok 4444 vjerojatno će biti izmijenjeni kako bi se uključila posebna bilješka u letnom planu za RPA. Oznake vrsta zrakoplova (Doc 8643) bit će izmijenjene za uključivanje oznaka RPA. [24]

Nadalje potrebno je uskladiti zahtjeve za komunikacijom između daljinski udaljenog pilota i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi u kontekstu funkcije upravljanja zračnim prometom (ATM), uzimajući u obzir ljudske interakcije, procedure i okolišne karakteristike. Trenutne telekomunikacijske procedure osiguravaju da su glasovne i podatkovne poruke sastavljene u standardiziranom formatu kako za komunikaciju zrak-zemlja tako i za komunikaciju zemlja-zemlja. Za RPA, procedure komunikacije vjerojatno će se temeljiti na trenutnim praksama primjenjivim u klasama zračnog prostora u kojima RPA operiraju. [24]

Povezanost između pružatelja usluga u zračnoj plovidbi i operatora bespilotnih letjelica zahtijeva stabilne komunikacijske veze poput (Controller-Pilot Data Link Communications – CPDLC) sustava, koji omogućuje automatizirani prijenos podataka između letjelice i kontrole zračnog prometa. CPDLC sustav vrlo je atraktivan za korištenje u ovome sustavu zbog stabilne podatkovne veze za Command and Control (C2), koja se koristi za razmjenu podataka, te omogućuje automatski prijenos kontrole drugoj kontroli zračnog prometa. Tehnička i operativna interoperabilnost s pilotoiranim zrakoplovima mora se održavati u skladu s propisima Annex 10 - *Aeronautical Telecommunications*. [24]

Ključni uvjet je da letjelicom upravlja samo jedan pilot u bilo kojem trenutku. Uvođenje više daljinskih pilotskih stanica za jedan let zahtijevat će tehničke protokole i operativne postupke za podršku prijenosa kontrole nad letjelicom između stanica.

Kontrola zračnog prometa može izravno komunicirati s bespilotnom letjelicom putem glasovnih ili tekstualnih poruka. Dron je povezan izravno sa satelitom i upravljačkom stanicom putem podatkovne veze za komandu, kontrolu i komunikaciju (*Command, Control, and Communication* – C3). Ključna komponenta sustava su zemaljske stanice koje omogućuju prijenos podataka, odnosno prikupljaju informacije od kontrole zračnog prometa ili upravljačke stanice putem zemlja-zemlja komunikacijskog sustava i prosljeđuju ih odgovarajućim sustavima. [24] Slika 15 prikazuje sustav za komunikaciju RPA, ATC i stanica za upravljanje.



Slika 15. Sustav za komunikaciju RPA, ATC i stanica za upravljanje [24]

4.2. Uvođenje bespilotnih letjelica na području Sjeverne Amerike

4.2.1 Nadležna tijela i regulatorni okvir

U zračnom prostoru Sjeverne Amerike, odnosno na području ICAO regije NAM (North America), nadležna su vladine organizacije *Federal Aviation Administration* (FAA), koja predstavlja glavno tijelo za regulaciju zračnog prometa i zrakoplovnih operacije, te *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) koja ima ključnu ulogu u razvoju tehnologije, infrastrukture i istraživačkih projekata. [26]

Prema dokumentu FAA-a pod nazivom „*Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap*” uspostavljen je sljedeći regulatorni okvir integracije bespilotnih letjelica zračni prostor u nadležnosti Sjedinjenih Američkih Država: [26]

- **CFR Part 107: Upravljanje i certifikacija malih bespilotnih letjelica**

Pružajući temeljni regulatorni okvir za rad malih UAS (težine manje od 25kg) za ne-rekreativne i ne-hobističke svrhe, ključne odredbe navedene uredbe su:

- Zahtjev za certifikatom daljinskog pilota;
- Maksimalna visina od 400ft iznad razine tla (*Above Ground Level - AGL*);
- Operacije tijekom dana (ili u sumrak s protusudarim svjetlima);
- Rad unutar vizualne linije vidljivosti (*Visual line-of-sight - VLOS*);
- Ograničenje letenja iznad ljudi bez odobrenja;
- Odobrenje za zračni prostor potrebno za operacije u kontroliranom zračnom prostoru (klase B, C, D i E).

- **14 CFR Part 91: Opća pravila letenja i operativna pravila**

Utvrđuje opća pravila letenja koja se primjenjuju na sve zrakoplovne operacije, uključujući i one s posadom i bespilotne zrakoplove. Određene UAS operacije koje ne spadaju pod Dio 107 mogu se provoditi prema Dijelu 91, što često zahtijeva dodatna odobrenja ili iznimke. Uključuju pravila vezana za operacije letenja, održavanje i plovitbenost, koja se mogu primijeniti na UAS ovisno o vrsti operacije i klasifikaciji zračnog prostora.

- **14 CFR Part 135: Certifikacija zračnih prijevoznika i operatera**

Regulira operacije zračnih prijevoznika, uključujući one koje uključuju UAS za komercijalne svrhe, kao što su dostava paketa i druge usluge na zahtjev. Operateri UAS moraju zadovoljiti stroge sigurnosne i operativne standarde slične onima za operatere zrakoplova s posadom kako bi dobili certifikat prema Djelu 135.

Ključne odredbe ove uredbe su:

- Zahtjevi za certifikat za rad,
- Standardi plovidbenosti i operativne sigurnosti,
- Zahtjevi za održavanje i obuku pilota,
- Usklađenost s težinskim i performansnim standardima za UAS.

Preostali propisi koji predstavljaju ključne elemente regulatornog uključuju:

- CFR Part 61: Certifikacija: Piloti, Instruktori leta i Instruktori na tlu,
- 14 CFR Part 91.113(b): Pravila prednosti,
- Pravilo o udaljenosti i identifikaciji UAV (*Remote ID*).

4.2.2 Faze istraživanja bespilotnih letjelica

NASA-in istraživački tim (*Research Transition Team – RTT*) započeo je s razvojem platforme namijenje za upravljanje bespilotnim letjelicama na nižim razinama leta zajedno s ostalim korisnicima zračnoga prostora, poznatiji kao *UAS Traffic Management - UTM*. Platforma ima za cilj sigurno i učinkovito itegriranje dronova u niže razine leta komercijalnog zračnog prostora. Time će se omogućiti primjerice paketna dostava bez ometanja helikoptera, komercijalni zrakoplova, zračnih luka i sigurnosnih dronova koji pomažu u operacijama službe spašavanja. [26]

Navedeni sustav razlikuje se od tradicionalnog ATM sustava. UTM koncepcija funkcionira na način dijeljenja digitalnih planova leta svakog individualnog korisnika, omogućujući svima podjednaku svijest o situaciji u zračnom prostoru, što nije slučaj u tradicionalnom uređenju ATM sustava. NASA-in istraživački centar Amer, smješten u Silicijskoj dolini specijaliziran je za primjenu novih tehnologija i istraživačkih platformi. U kontekstu UTM-a, Ames je proveo istraživanje, razvoj i testiranje koje se sada primjenjuje u praksi. Također, NASA je vodila UTM projekt u suradnji s više partnera iz industrije, akademske zajednice i vladinih agencija, gdje su svi bili posvećeni istraživanju i razvoju ove platforme. [26]

U načelu, istraživanje UTM-a dijeli se u četiri faze pod nazivom (*Technical Capability Level* - TCL), pri čemu je svaka od faza sve složenija u tehničkom smislu:

- TCL1: Završen 2015. godine, ovaj stupanj je bio početna točka platforme. Istraživači su provodili terenska ispitivanja kako bi istražili primjenu UAV u poljoprivredi, gašenju požara i nadzoru infrastrukture. Radili su na integraciji različitih tehnologija za sigurno letenje dronova, kao što su raspoređivanje letova i *geofencing*, što ograničava let unutar dodijeljenog područja.
- TCL2: Završen 2016. godine, fokus ovog stupnja bio je na praćenju UAV koji lete u rijetko naseljenim područjima gdje operatori ne mogu izravno vidjeti UAV koje upravljaju. Istraživači su testirali tehnologije za dinamično prilagođavanje područja u kojima se smiju letjeti dronovi te za oslobađanje zračnog prostora zbog potrage i spašavanja ili gubitka komunikacije s malim zrakoplovima.
- TCL3: Proveden 2018. godine, ovaj stupanj se fokusirao na razvoj i testiranje tehnologija koje omogućuju sigurno pomicanje UAV i njihovo letenje u određenim zonama. Tehnologija omogućuje UAS-ima da detektiraju druge UAV i izbjegnu ih nad umjereno naseljenim područjima.
- TCL4: Od svibnja do kolovoza 2019., posljednja faza demonstrirala je integraciju UTM sustava s UAV u urbanim područjima. Testirani su novi pristupi za prevladavanje tih prepreka pomoću UTM sustava i tehnologija kako na UAV tako i na zemlji. Novi pristup uključuje integraciju lokalnih prognoza vremena u planiranje leta, korištenje mobilnih mreža za poboljšanje komunikacije između dronova te korištenje kamera, radara i drugih senzora za navigaciju oko zgrada i sigurno slijetanje - sve to uz komunikaciju s drugim dronovima i korisnicima UTM sustava. [27]

4.2.3 UTM ConOps

Sve veća potražnja za niskim letovima malih bespilotnih letjelica ukazuje na potrebu za organiziranim pristupom koji omogućava letne operacije, uravnotežujući učinkovitost i sigurnost. Trenutno, u niskim visinama nekontroliranog zračnog prostora klase G leti uglavnom opće zrakoplovstvo, jedrilice i helikopteri. [27]

Kao što je u prethodnom dijelu rada navedeno, UAS koriste se za operacije unutar vidnog polja VLOS i izvan vidnog polja BLOS. Kako bi se sigurno omogućile sve operacije s ljudskom posadom, VLOS i BVLOS u donjem zračnom prostoru, potreban je sustavni pristup za buduće zahtjeve i raznolikost. NASA je predvidjela ovu budućnost i započela istraživanje UAS prometnog upravljanja (UTM). Za upravljanje VLOS većih razmjera i autonomnih BLOS UAV nedostaju koncepti i operativni zahtjevi, tehnologije te nove zakonske regulive. Bilo koji koncept za omogućavanje velikim UAS operacije u donjem zračnom prostoru treba bi uzeti u obzir:

Osiguranje regionalne i nacionalne sigurnosti: Važno je osigurati nacionalnu i regionalnu sigurnost prilikom operacija dronova u donjem zračnom prostoru, što uključuje zaštitu ključnih objekata.

Sigurne operacije u zračnom prostoru: Važno je omogućiti dronovima operacije na način da sigurno djeluju u prisutnosti drugih bespilotnih letjelica.

Ekonomska vrijednost primjene u donjem zračnom prostoru: Korištenje zračnog prostora za komercijalne, javne, sigurnosne i osobne svrhe, prikupljanjem podataka ili transportom objekata, donijet će veliku ekonomsku korist. [27]

Prihvatanje novih tehnologija ili operacija obično uključuje različite aspekte, temeljni zahtjevi za izvođenjem operacija dronova unutar najnižih slojeva letenja uključuju:

- **Odobranje zahtjeva za zračne operacije i integraciju:** Uključuje zahtjeve za praćenje vozila; zapovijedanje, kontrolu i komunikaciju; upravljanje sudarima; predikciju i integraciju vremenskih uvjeta/vjeha; ukupnu sigurnost dizajna i operacija; te potrebe temeljene na upotrebi i geografskim razmatranjima koja odražavaju rizike u zraku i na tlu.
- **Poštivanje privatnosti:** Sposobnost nošenja raznih vrsta snimajućih ili senzorskih uređaja, također mogu izazvati pitanja privatnosti.

- **Regionalna i nacionalna sigurnost:** Tri su vrste sigurnosnih razmatranja sa sigurnošću: nekooperativni sustavi namijenjeni nanošenju štete, sustavi koji se nenamjerno ili namjerno približavaju kritičnim područjima bez odobrenja, te hakirani sustavi koji se koriste za nanošenje štete.
- **Ekološka razmatranja:** Buka koju stvaraju UAV svojim operacijama.
- **Javno prihvaćanje:** S obzirom da su UAS u fazi razvoja, javnost mora biti uključena i informirana o njihovim prednostima i sigurnosnim mjerama. [27]

Operativno okruženje UTM-a razlikuje se prvenstveno u pogledu interakcije s komercijalnim zračnim prostorom, odnosno kontroliranim zrakoplovima. U tom pogledu mogu se razmatrati tri različita operativna okruženja unutar zračnog prostora:

- **Operacije UAS-a unutar nekontroliranog zračnog prostora (klasa G):**
U ovom okruženju ne dolazi do interakcije s kontroliranim zračnim prometom jer su operacije UAS-a odvojene od operacija u kontroliranom zračnom prostoru. Međutim, UAS dijele zračni prostor s drugim korisnicima zračnog prostora, poput općeg zrakoplovstva, helikoptera, jedrilica, balona i padobranaca.
- **Operacije UAS-a unutar kontroliranog zračnog prostora, ali odvojene od kontroliranog zračnog prometa:**
Kako bi mnogi slučajevi uporabe UAS-a imali koristi od rada u blizini zračnih luka i unutar kontroliranog zračnog prostora, postoji mogućnost uvođenja segregiranih područja unutar kontroliranog zračnog prostora koja bi bila dostupna za operacije UAS-a. Izdvojena područja predstavljaju blokove zračnog prostora koji su dostupni ovisno o trenutnim konfiguracijama zračnih luka i zračnog prostora te drugim kriterijima vezanim uz operacije u kontroliranom zračnom prostoru.
- **Operacije UAS-a integrirane u kontrolirane zračne tokove:**
Kada su UAS integrirani u kontrolirane zračne tokove, očekuje se da će se ponašati točno kao opće zrakoplovstvo i zadovoljiti sve zahtjeve postavljene za operacije u klasama kontroliranog zračnog prostora. [27]

Kako bi UAS sigurno i neometano koristili kontrolirani i nekontrolirani zračni prostor, u različitim uvjetima bez ljudske intervencije, koristiti će se sustavima *Detect and Avoid* (DAA) kako bi uz prepreke, mogli izbjeći i preostali promet. UTM (*Concept of Operations - ConOps*) usmjeren je na sigurno izvođenje operacija manjih UAS na nižim visinama, počevši od zračnog prostora klase G. Koristi kombinaciju dizajna zračnog prostora, pravila letenja, operativnih procedura, sustava automatizacije na zemlji i sposobnosti vozila kako bi omogućio sigurno korištenje NAS-a od strane ovih novih vozila. Nadalje UTM ConOps identificira procedure i sposobnosti koje omogućuju povećanje UAS operacija, kao i proširenje prostora za izvođenje operacija. [27]

Trenutno su omogućene operacije UAS u slabo naseljenim područjima s minimalnom interakcijom između preostalih bespilotnih letjelica. Postojeća tehnologija omogućuje operacije UAS sa minimalnom interakcijom između preostalih UAS-a, također koriste se operativne procedure za sigurno razdvajanje između UAS. S napretkom tehnologije očekuje se napredna sense and avoid tehnologija koja će omogućiti interakciju s gustim prometom UAS i preostalim sudionicima u zračnom prostoru. [27]

Glavna načela UTM ConOps-a možemo svrstati u tri sljedeća područja:

1. načela za ubrzanje pristupa zračnom prostoru;
2. operativna načela UAS;
3. temeljne smjernice operativnih karakteristika. [27]

Postoji pet ključnih načela za ubrzanje pristupa UAS zračnom prostoru:

- sigurno ubrzavanje BVLOS UAS operacija u klasi G zračnog prostora;
- osiguravanje transparentnosti tih operacija;
- prilagodba raznolikom inventaru UAS-a;
- omogućavanje različitim UAS operaterima pristup klasi G zračnog prostora;
- omogućavanje novih vrsta budućih misija. [27]

Danas se operacije BLOS unutar zračnog prostora klase G često odvijaju na ad-hoc način, s nekoliko udaljenih lokacija. NOTAM-i se koriste a obavještanje pilota o mogućem UAS prometu u zračnom prostoru. S obzirom da se ovakve obavijesti moraju izdati 48-72 sata prije operacija, što onemogućava izvođenje operacija na zahtjev. S obzirom da nisu svim operaterima dostupni NOTAM-i, često koriste komuniciraju međusobno elektroničkom poštom, dijeleće osnovne informacije području rada, putanji leta, te ostalim parametrima leta. Ovakva ograničavaju koordinacija i komunikacija, čini gotovo nemoguće izvođenje operacija u zračnom prostoru kojeg već koriste upravljani zrakoplovi. [27] Stoga, pristup informacijama potrebno je organizirati tako da je jednostavan, no isto tako treba zaštititi privatnost i sigurnost operatera zaštitom podataka.

Nadalje, očekuje se da će raznolike konfiguracije uključivati zrakoplove s fiksnim krilima, helikoptere, multi-koptere i hibridne koji mogu polijetati i slijetati kao zrakoplovi s rotacijskim krilima, ali letjeti kao vozila s fiksnim krilima. Kao izvore energije koristiti će tradicionalne motore na fosilna goriva, motore na baterije i druge sustave. Ova vozila imati će različite sposobnosti u smislu svojih autopilota, navigacijskih sustava, sustava za otkrivanje i izbjegavanje, veza za zapovijedanje i kontrolu, performansi i nosivosti. [27]

UTM bit će dizajniran s fokusom na operacije UAS-a, u smislu povećanje performansi sustava, a ne na specifičnosti dizajna računalnog sučelja. UAS operateri bit će u mogućnosti provoditi više operacija istovremeno na primjer dostava paketa, nadalje jedan daljinski pilot može upravljati jednim UAS ili može koristiti automatiziranu platformu za upravljanje s više UAS-ova. UTM koristiti će informacije od operacija drugih UAS-ova, te se kao ključna karakteristika UTM ConOpsa navodi dijeljenje informacija o prometu, vremenu i terenu potrebnih za mapiranje. Minimizirati će se regulatorni utjecaji utjecaji na postoje korisnike nekontroliranog zračnog prostora, dakle bez predlaganja za stvaranje nove klase zračnog prostora. UAS operacije uvoditi će se postupno, prvo dopuštene u područjima gdje su interakcije s zrakoplovima rijetke i potrebne su samo ograničene usluge i infrastruktura. Zatim se UAS operacije proširuju na područja s većim brojem zrakoplova uvođenjem sve većeg broja usluga i infrastrukture. U konačnici, UTM će postati operativan za potrebe budućih operacija s fokusom na kratkotrajne operacije na zahtjev. [27]

Povećanje operacija UAS u zračnom prostoru moguće je uz pomoć sljedećih načela:

- samo validirani bespilotni zrakoplovi i operateri smiju operirati u zračnom prostoru;
- bespilotni zrakoplovi izbjegavaju međusobne sudare;

- bespilotni zrakoplovi i pilotirana zrakoplovi izbjegavaju međusobne sudare;
- bespilotni zrakoplovi, njihovi operateri ili sustavi podrške imaju svijest o svim ograničenjima u zračnom prostoru;
- javno dostupni bespilotni zrakoplovi imaju prednost nad drugim bespilotnim zrakoplovima i pilotiranim letjelicama. [27]

Na osnovu dokumenta „UTM ConOps“, usuglašena je temeljna arhitektura UTM-a temeljena na raspodjeli uloga i odgovornosti s tri glavne komponente u središtu sustava:

- Operatori UAS-a;
- Davatelji usluga UAS-a (USS);
- Pružatelji usluga u zračnoj plovidbi (Air Network Service Provider - ANSP). [27]

Prva osnovna razlika je u pitanju raspodjele uloga i odgovornosti između ANSP-a i operatera bespilotnih letjelica. S gledišta ANSP-a, Sustav za upravljanje UAS-om smatra se dijelom odgovornosti operatera UAS-a, sljedeća tablica prikazuje uloge i odgovornosti UAS operatera i ANSP-a. Tablica 3 prikazuje uloge i odgovornosti UAS operatera i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.

Tablica 3. Uloge i odgovornosti UAS operatera i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi [27]

ANSP - Odgovornost	UAS Operater - Odgovornost
<ul style="list-style-type: none"> • Postavljanje regulativnog okruženja temeljenog na performansama • Definiranje i ažuriranje ograničenja zračnog prostora • Poticanje suradnje među UAS-ovima uspostavom arhitekture za razmjenu podataka i informacija • Definiranje specifikacija za razmjenu podataka i informacija za suradnju među više dionika / operatera • Kontrola zračnog prostora u stvarnom vremenu ako se očekuje neravnoteža potražnje i kapaciteta • Pružanje obavijesti UAS operaterima i javnosti • Postavljanje statičkih i dinamičkih geo-ograničenja • Pružanje fleksibilnosti koliko god je moguće i struktura (rute, koridori, visina za smjer, restrikcije prijevoza) samo ako je potrebno • Upravljanje pristupom kontroliranom zračnom prostoru i operacijama ulaska/izlaska 	<ul style="list-style-type: none"> • Registracija UAS-a • Obuka i kvalifikacija operatera • Izbjegavanje drugih zrakoplova, terena i prepreka • Ne ugrožavati ljude i životinje • Poštivanje ograničenja zračnog prostora • Izbjegavanje opasnih i nekompatibilnih vremenskih uvjeta • Poštivanje regulative temeljene na performansama • Emitiranje identiteta – nema anonimnog letenja • Emitiranje namjere • Pružanje pristupa planovima operacija • Detekcija i izbjegavanje pilotiranih zrakoplova temeljenih na pravilima prvenstva prolaza • Razmjena statusa i namjera prema standardima ANSP-a • Sudjelovanje u donošenju odluka • Planiranje i odgovor u slučaju kontingencija (veliki prekidi – mobilna mreža, GPS, sigurnost, neočekivano teško vrijeme)

4.3. Uvođenje bespilotnih letjelica na području Europe

4.3.1 Nadležnosti regulatornih tijela

U Europi, mnoge međunarodne organizacije imaju ključnu ulogu u kreiranju propisa za UAS te u osiguravanju sigurne i učinkovite integracije dronova u zračni prostor, pri čemu se vodi računa o poštivanju sigurnosnih, operativnih i zaštitnih standarda. [28] Iz mnogih moguće je izdvojiti nekoliko njih od regionalnog značaja.

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (*European Union Aviation Safety Agency - EASA*): Razvoj propisa i osiguranje sigurnosti u civilnom zrakoplovstvu diljem Europske unije povjereni su Europskoj agenciji za sigurnost zračnog prometa (EASA). U kontekstu dronova, od strane EASA-e uspostavljaju se zajednička pravila i standardi, izdaju certifikati te nadzire provedba propisa kako bi se omogućila sigurna integracija dronova u europski zračni prostor.

Nacionalne zrakoplovne vlasti europskih zemalja (*European National Aviation Authorities - NAAs*): Provođenje i primjena zrakoplovnih propisa u okviru pojedinačnih jurisdikcija zadatak je nacionalnih zrakoplovnih vlasti (NAAs) europskih zemalja. U suradnji s EASA-om, osigurava se usklađenost s europskim standardima i propisima, uključujući one koji se odnose na dronove.

Europska organizacija za civilnu zrakoplovnu opremu (*European Organisation for Civil Aviation Equipment - EUROCAE*): Standardi za zrakoplovnu opremu i sustave, uključujući one vezane uz dronove, razvijaju se kroz Europsku organizaciju za civilnu zrakoplovnu opremu (EUROCAE). Njihovi standardi pružaju smjernice i tehničke specifikacije koje doprinose sigurnosti i interoperabilnosti dronova, od dizajna do proizvodnje i uporabe.

EUROCONTROL: Za koordinaciju upravljanja zračnim prometom (ATM) unutar europskog zračnog prostora zadužena je paneuropska organizacija EUROCONTROL. U suradnji s EASA-om i nacionalnim vlastima, omogućava se sigurna i učinkovita integracija dronova u postojeći ATM sustav, uz održavanje kapaciteta zračnog prostora i sigurnosnih standarda.

Zajedničke vlasti za izradu propisa o bespilotnim sustavima (*Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems - JARUS*): Međunarodna skupina stručnjaka poznata kao JARUS, koja uključuje oko 66 regulatornih tijela i regionalnih organizacija za sigurnost zračnog prometa iz 64 zemlje, kao i EASA-u i EUROCONTROL, radi na razvoju usklađenih tehničkih, sigurnosnih i operativnih standarda za regulaciju bespilotnih zrakoplovnih sustava (UAS). Smjernice koje JARUS pruža omogućuju nacionalnim vlastima izradu vlastitih zahtjeva, uz izbjegavanje udvostručavanja napora.

Istraživanje za jedinstveno europsko nebo i upravljanje zračnim prometom, zajednički pothvat (*Single European Sky ATM Research - SESAR, SJU*): SESAR, JU predstavlja europsko javno-privatno partnerstvo posvećeno modernizaciji i usklađivanju ATM-a u Europi putem istraživanja i inovacija. Osnovano 2007. godine, SJU upravlja definicijom, istraživanjem, razvojem i validacijom SESAR projekta, doprinoseći razvoju inovativnih tehnologija i procedura za integraciju dronova unutar šireg ATM okvira.

Europska obrambena agencija (*European Defence Agency - EDA*):

Iako primarno usmjerena na obrambena pitanja, Europska obrambena agencija (EDA) sudjeluje i u regulaciji dronova, posebno u vezi s vojnim operacijama dronova i njihovom integracijom s civilnim zračnim prostorom. EDA osigurava koordinaciju i kompatibilnost između vojnih i civilnih operacija dronova, promičući sigurnost i sigurnosne standarde.

4.3.2 Regulatorni okvir i standardi

Regulative za dronove u Europi obuhvaćaju okvir koji se sastoji od relevantnih materijala, standarda, smjernica i najboljih praksi, s ciljem osiguravanja sigurne, učinkovite i usklađene integracije dronova u europski zračni prostor. Ovi elementi zajednički djeluju na uspostavljanje zahtjeva, pružanje smjernica i promicanje kulture sigurnosti i usklađenosti među operatorima dronova, proizvođačima i regulatorima. Ovaj regulatorni okvir upravlja dizajnom, operacijom, administrativnim zahtjevima, kao i zahtjevima za sigurnost i zaštitu podataka dronova. [28]

Regulative EASA-e: EASA uspostavlja zajednička pravila i standarde za sigurnost civilnog zrakoplovstva diljem država članica EU, uključujući dronove od 2018. godine. Ove regulative pokrivaju certifikaciju, operativne zahtjeve i sigurnosne standarde za dronove.

Nacionalne regulative: Svaka država članica EU i Europskog udruženja za slobodnu trgovinu (EFTA) može imati dodatne ili komplementarne regulative specifične za svoju jurisdikciju, koje moraju biti usklađene s regulativama EASA-e.

Različiti primjenjivi materijali u pravilima o UAV:

- Provedbena pravila: EASA razvija provedbena pravila koja detaljno opisuju specifične zahtjeve za operacije dronova, kao što su certifikacija, licenciranje i operativna ograničenja.
- Materijali za smjernice: EASA objavljuje materijale za smjernice, kao što su savjetodavne brošure, priručnici i dokumenti o najboljim praksama, kako bi pomogla operatorima, proizvođačima i vlastima u tumačenju i primjeni regulativa.
- Materijali za promicanje sigurnosti: EASA stvara materijale poput videozapisa i letaka te organizira kampanje za podizanje svijesti i informiranje zainteresiranih strana o različitim praktičnim aspektima sigurnosti dronova i usklađenosti s pravilima.
- Tehnički standardi: Tehnički standardi koje razvijaju organizacije poput EUROCAE-a ili Međunarodne organizacije za civilno zrakoplovstvo (ICAO) pružaju specifikacije za dizajn, opremu i sustave dronova kako bi se osigurala interoperabilnost, sigurnost i učinkovitost.

Sljedeći su propisani standardi:

- EUROCAE (*European Organization for Civil Aviation Equipment*) standardi: EUROCAE razvija standarde za opremu civilnog zrakoplovstva, uključujući UAV. Ovi standardi pokrivaju područja poput komunikacije, navigacije, nadzora i integracije sustava, kako bi se osigurala kompatibilnost i interoperabilnost.
- Međunarodni standardi (npr. ISO): Međunarodne organizacije za standardizaciju, poput ISO-a, također razvijaju standarde relevantne za operacije dronova, uključujući one povezane s upravljanjem kvalitetom i sigurnošću, procjenom rizika i operativnim postupcima.
- Standardi UAS-a (*Standardisation for Highly Effective Procedures and Equipment for Remotely Piloted Aircraft - SHEPHERD*): Predstavlja specifičan istraživački projekt koji se odnosi na pružanje komplementarne tehničke analize standarda za UAS u pogledu tehničkog sadržaja, kako bi se odredilo jesu li standardi adekvatni za ispunjavanje sigurnosnih ciljeva odredbi povezanih regulativa.

4.3.3 Zakonski okviri i opseg odgovornosti

Implementacija integracije UAS u zračni prostor na području Europe odvija se postupno, iako UAV imaju puno sličnosti s letovima drugih letjelica, činjenica da su integrirani sustavi, imaju različite karakteristike leta i operiraju bez pilota na letu, zahtijeva mnoga nova rješenja za integraciju u zračni prostor. Kao rezultat toga, postoje određeni sigurnosni problemi koji se odnose na neprijavlivanje incidenata (što znači detaljan opis sigurnosnih problema), izbjegavanje sudara i tehnologiju protiv-UAS-a gdje je potrebno daljnje istraživanje. Ekonomski potencijal tržišta UAS-a je značajan, no još uvijek postoji potreba za razvojem specifičnih programa koji će se baviti usvajanjem ovih tehnologija u velikom mjerilu, kao i operativnim i regulatornim mehanizmima potrebnim za njihovu podršku. [29]

Regulativa (EU) 2018/1139, poznata i kao osnovna EASA regulativa, ključan je zakonodavni akt u Europskoj uniji (EU) koji uspostavlja zajednička pravila u području civilnog zrakoplovstva, uključujući sveobuhvatan okvir za regulaciju svih UAS-ova ili UAV koji obavljaju vladine ili javne usluge unutar EU. Ova regulativa temelji se na sigurnosnim standardima, regulaciji na temelju rizika te koordinaciji između EU i NAA država članica (*Member States* - MS). Osnovna regulativa jasno razlučuje odgovornosti između EASA-e i država članica te sadrži odredbe za uključivanje specifičnih kategorija UAS-ova. Godine 2018. regulativa je proširena s novim opsegom nadležnosti, uključujući proširenje ovlasti EU na sve UAS-ove. [28]

Uz navedeno, EASA je uspostavila okvir za integraciju UAS-a na temelju dvije regulative:

- Delegirana uredba (EU) 945/2019 koja definira zračnu vrijednost UAS-a i također određuje vrstu UAS-a podložnu certifikaciji;
- Uredba Komisije (EU) 947/2019 o provedbi koja definira zahtjeve za operaciju UAS-a: temelji se na procjeni rizika i definira tri kategorije civilnih operacija bespilotnih letjelica: 'Open' (Otvorena), 'Specific' (Specifična) i 'Certified' (Certificirana) kategorija.

Tablica 4 prikazuje EASA-ine kategorizaciju operacija UAS prema uredbi (EU) 947/2019.

Tablica 4. EASA kategorije operacija UAS prema uredbi (EU) 947/2019 [30]

Kategorija	Vrsta operacija	Ključni zahtjevi
Open	<p>Za rekreativne aktivnosti s dronovima i aktivnosti s niskim rizikom:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visina leta: <120 m/400 ft.; • Domet leta: operacije u vidnom polju (VLOS). 	<p>Bespilotne letjelice s maksimalnom poletnom masom do 25 kg (MTOM)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nije potrebna dozvola za letenje; • Operator drona može biti obavezan registrirati se; • Daljinski pilot može biti obavezan proći obuku.
Specific	<p>Kada se bespilotna letjelica (UAS) koristi izvan ograničenja 'Open' operacija, kao što su:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Visina leta >120 m/400 ft.; • Operacije izvan vidnog polja (BVLOS), kada se UAS koristi u urbanoj okolini s MTOM > 4 kg, itd. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operator bespilotne letjelice mora biti registriran u svojoj državi članici prebivališta ili glavnom mjestu poslovanja; • Zahtijeva se operativna autorizacija; • Operatoru bespilotne letjelice zahtijeva se provođenje procjene rizika (u skladu s standardnim scenarijima, Predefined Risk Assessments ili Specific Operation Risk Assessment (SORA) za specifične operativne uvjete kao što su noćne operacije, itd.); • Može biti potrebno dobivanje dozvole za letenje izdanje od nadležnog tijela odgovornog za geografsku zonu, ako je potrebno; • Daljinski pilot mora završiti obuku ovisno o operaciji koja se provodi.
Certified	<p>UAS operacije s najvišim stupnjem rizika.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebna je certifikacija UAS-a od strane EASE (tip kategorije i certifikat zračne vrijednosti); • Potrebna je certifikacija operatora UAS-a; • Potrebna je licenca za daljinskog pilota.

Prije implementacije EU regulative, operateri UAS-a morali su se oslanjati na nacionalna pravila država članica o operacijama i zračnoj vrijednosti. Sada se to promijenilo kako slijedi:

- Kategorija 'Open' trenutno je najrazvijenija: od 2023. sve operacije UAS-a u kategoriji 'Open' moraju se pridržavati Uredbi (EU) 2019/947 i (EU) 2019/9;
- Od 2024. godine, EASA-ino okvirno postavljanje zamijenit će nacionalne regulative za kategoriju 'Specific'. Manje je razvijena od 'Open', ali funkcionalna je za neke operacije manjeg rizika;
- Kategorija 'Certified' je najmanje razvijena zbog nedostatka definicije ključnih tehničkih omogućivača i proporcionalnih smjernica za certifikaciju dronova. Ova kategorija uključuje eVTOL. [29]

No i dalje za sve druge aspekte, države članice još uvijek moraju postaviti nacionalne regulative koje se odnose na, primjerice, kazne za kršenje propisa, konverzije certifikata, geografske zone, zahtjeve za osiguranje, minimalnu dob za operaciju, odobrenja modelarskih klubova i udruga.

4.3.4 Proces integracije bespilotnih letjelica na području Europe

Nadalje, potrebno je integrirati UAS u kontrolirani zračni prostor. U-space predstavlja određeni zračni prostor u kojem su dopuštene operacije UAS-a. U-space može biti „segregiran“, što znači da je dopušten samo bespilotni zračni promet, ili „integriran“, u kojem slučaju UAS i upravljani zrakoplovi koegzistiraju. U-space također može podržavati „smještaj“ kao rani oblik integracije. Smještaj implicira postavljanje privremenih mjera koje mogu ograničiti upravljanje zrakoplove tijekom hitnih manevara UAS-a. [29]

Kako bi podržao različite vrste operativnih kategorija u EASA okviru, četiri razine U-space usluga definirane su od strane SESAR-JU, ali samo prve dvije uključene su u postojeću U-space Implementacijsku Uredbu (EU) 2021/664. Tablica 5 prikazuje usluge U-space-a unutar kategorija prema uredbi (EU) 947/2019.

Tablica 5. Usluge U-space unutar kategorija prema uredbi (EU) 947/2019 [29]

	Vrsta UAS operacija	Opis	Usluge prema EU Regulaciji 2021/664
U1	Open u segregiranom U-prostoru	Osnovne usluge pružaju e-registraciju, e-identifikaciju i geofencing. Geofencing je tehnologija drona koja koristi virtualne granice kako bi ograničila kretanje UAS-a.	<ul style="list-style-type: none"> • Mrežna identifikacija • Geo-svijest • Usluga odobrenja leta • Usluga informiranja o prometu
U2	Specific u segregiranom U-prostoru	Početne usluge za podršku upravljanju operacijama UAS-a. Mogu uključivati planiranje leta, odobrenje leta, praćenje, dinamičke informacije o zračnom prostoru i proceduralna sučelja s kontrolom zračnog prometa.	<ul style="list-style-type: none"> • Mrežna identifikacija • Geo-svijest • Usluga odobrenja leta • Usluga informiranja o prometu • Informacije o vremenu • Usluga praćenja usklađenosti
U3	Certified u segregiranom U-prostoru	Napredne usluge za podršku složenijim operacijama u gustim područjima mogu uključivati upravljanje kapacitetom i pomoć pri otkrivanju sukoba. Dostupnost funkcionalnosti "otkrivanja i izbjegavanja" (DAA) s pouzdanijim sredstvima komunikacije trebala bi dovesti do značajnog povećanja operacija u svim okruženjima.	<ul style="list-style-type: none"> • Nije definirano
U4	Certified u segregiranom U-prostoru	Potpune usluge, posebno usluge koje nude integrirana sučelja s upravljanim zrakoplovstvom. Oslanjaju se na vrlo visok nivo automatizacije, povezanosti i digitalizacije za oba, UAS i U-space sustave.	<ul style="list-style-type: none"> • Nije definirano

U-space razine 1 i 2 potvrđene su kao dio SESAR JU ispitivanja i istraživanja, kako je definirano u EASA regulativama, i implementiraju se diljem Europe. U-space razine 3 i 4 ključne su za podršku pune integracije; međutim, one još trebaju biti razvijene, potvrđene i regulirane. Trenutna istraživanja i inovacije na U-space razinama 3 i 4 podržavat će potrebni razvoj, validaciju i implementaciju.

UAS će djelovati drugačije od komercijalnog zrakoplovstva i zahtijevaju promjene kako u pravilima letenja tako i u tehničkim zahtjevima kako bi se podržala njihova integracija u zračni prostor. Sigurnosne teme kao što su automatsko izbjegavanje sudara, izvještavanje o incidentima, ublažavanje vremenskih uvjeta i protiv-UAS zahtijevaju jasne smjernice i procese.

Sigurnosni rizici povećavaju se s napretkom UAS tehnologije. Kibernetička sigurnost je posebno zabrinjavajuća, zajedno s mogućnošću upotrebe civilnih UAS za kriminalne aktivnosti, poput ometanja kritične infrastrukture. Postoji značajan ekonomski potencijal za UAS tržište zbog različitih mogućih primjena, ali dodatne tehničke i regulatorne mjere, poput procjena rizika, licenciranja, osiguranja ili upravljanja s više dronova od strane jednog pilota, potrebne su za ostvarenje tih prednosti. [29]

Ključno pitanje za integraciju dronova su zahtjevi za komunikaciju, navigaciju i nadzor. CNS sustavi u upravljanoj zrakoplovstvu temelje se na radiofrekvencijskom spektru koji je bio prikladan prije više od 50 godina. Međutim, ovaj spektar i povezane tehnologije manje su pogodne za UAS, posebno u slučaju vrlo visokofrekventnih (VHF) glasovnih i podatkovnih komunikacija te Mode S radarskih frekvencija, koje fizički ne mogu podnijeti značajan porast zračnih vozila.

Kao odgovor na ovu zastarjelu CNS infrastrukturu, SESAR je razvio koncept integriranog CNS-a (*Integrated* CNS - ICNS) za nove tehnologije koje će se integrirati u sustav upravljanja zračnim prometom i za dekomisiju starih tehnologija. Ovaj razvoj trebao bi uključivati i tehnologije kraćeg dometa koje bi bolje podržavale samo-odvajanje u urbanim sredinama.

SESAR je također identificirao potrebu za jedinstvenom referentnom visinom. Upravljanje zrakoplovstvom koristi barometrijsku visinu i zahtijeva da pilot i kontrolor postave isti referentni tlak, dok UAS koriste geometrijsku visinu temeljem Globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS). Korištenje dvaju različitih sustava stvara probleme oko pozicioniranja i mogućih različitih očitavanja visine. [29]

Buduća povezanost zrakoplovstva i potreba za nadogradnjama rezultirale su zajedničkom inicijativom suradnje između EASA-e, Savezne uprave za zrakoplovstvo (FAA), Airbusa te Boeinga. Posebno je 5G područje od interesa za korisnike zračnog prostora zbog moguće interferencije s radiofrekvencijama koje se koriste za zrakoplovne sustave. Spektar dodijeljen 5G prepoznat je kao sigurnosni problem za zrakoplove zbog konkurentnih potreba različitih korisnika, poput pružatelja telekomunikacijskih usluga i zrakoplovstva. Ovo je trenutno problem s kojim se suočava SAD i potencijalni budući problem za Europu. Prijelaz s naslijeđenih sustava na modernizirani CNS smatra se rješenjem za rješavanje ovih problema. [31]

4.3.4.1 Koncept uspostave U-space-a

Tehnološki razvoj bespilotnog zrakoplovstva trenutno napreduje mnogo brže nego kod komercijalnog zrakoplovstva. Ovaj brzi rast upotrebe dronova (kako civilnih tako i vojnih) povećao je potražnju za pristupom nesegregiranom zračnom prostoru. Posebno je izražen pritisak na operacije na vrlo niskim visinama (VLL) gdje tržište pokreću nove poslovne prilike (npr. podatkovne usluge i mobilnost).

U-space je skup novih usluga koje se oslanjaju na visoku razinu digitalizacije i automatizacije funkcija te specifičnih procedura dizajniranih za podršku sigurnom, učinkovitom i sigurnom pristupu zračnom prostoru za velik broj dronova. Kao takav, U-space je okvir koji omogućuje provedbu bilo koje rutinske misije, u svim klasama zračnog prostora i svim vrstama okruženja - čak i u najprometnijim područjima - dok osigurava odgovarajuće sučelje s komercijalnim zrakoplovstvom i kontrolom zračnog prometa. [31]

Bespilotne letjelice koje operiraju između 150 m (500 ft) i 19 000 m (60 000 ft) biti će integrirane u konvencionalno upravljanje zračnim prometom koristeći IFR propise. Standardi i preporučene prakse (Standard and Recommended Practices - SARPs) za takve operacije razvijaju se od strane ICAO-a, a očekuje se da će biti usvojeni do 2020. godine, što će omogućiti operacije od 2023. godine.

Vizija je omogućena uspostavom novog okvira, U-prostora, koji se temelji na visokim razinama automatizacije i povezivosti. U-prostor će podržavati upravljanje sigurnim i učinkovitim operacijama bespilotnih letjelica [31].

RPAS bi trebali sigurno operirati uz ostali promet, poštujući ključne principe ICAO-a:

- RPAS operacije ne smiju narušavati trenutnu razinu sigurnosti zračnog prometa niti ugrožavati sigurnost ili učinkovitost bemanog zračnog prometa. Ovo se jednako odnosi na sve operatore i sve dronove.
- kako bi se bez poteškoća integrirali u zračni prostor, RPAS moraju, koliko je to moguće, pridržavati se operativnih postupaka koji postoje. Letne operacije ne smiju predstavljati nepotrebne opasnosti ili teret za osobe, imovinu ili druge zrakoplove.
- RPAS bi trebali što je više moguće zadovoljavati standarde bemanog zračnog prometa. Kada ovi principi nisu ostvarivi (zbog jedinstvenih dizajna ili karakteristika leta RPAS-a), a ne identificiraju se alternativni načini usklađivanja, operacije takvih RPAS-a mogu biti podložne smanjenju sigurnosnih rizika, kao što je ograničavanje operacija unutar segregiranog zračnog prostora. [31]

Putem dokumenta „*Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace*“, ICAO definira faze ka potpunoj integraciji UAS-a:

- Faza 1: (IFR dronovi u klasama A-C): RPAS će moći operirati u zračnim prostorima razreda A-C pod IFR-om, s DAA sustavom koji omogućuje izbjegavanje sudara i situacijsku svijest u odnosu na kooperativni promet. RPAS će moći komunicirati s ATC-om. Oprema za navigaciju i nadzor bit će primjerena zračnom prostoru u kojem dron operira. Potrebne su posebne odredbe za operacije na zemlji na većini zračnih luka. Bit će uvedene procedure i tehnologija za postupanje u kontingentnim situacijama.
- Faza 2: (IFR dronovi u klasama A-C): RPAS koji lete pod IFR-om imat će sposobnost DAA, što im omogućuje integraciju s IFR i VFR prometom, kako kooperativnim tako i nekooperativnim, u zračnim prostorima razreda A-G. Komunikacija s ATC-om koristit će odgovarajuću arhitekturu, uz poštivanje zahtjeva za integritet i sigurnost.
- Faza 3: (dronovi u klasama A-G IFR i VFR): RPAS će moći operirati u kontroliranom/nekontroliranom zračnom prostoru, kako pod IFR-om tako i pod VFR-om, te se sigurno integrirati s kooperativnim i nekooperativnim prometom. Povećana upotreba datalinka za komunikaciju s ATC-om je očekivana. [31]

Prema ICAO-u faze 1 i 2 odgovaraju razdoblju "prilagodbe", dok faza 3 odgovara razdoblju "integracije". Razdoblje "Prilagodba" odnosi se na stanje kada RPAS može operirati uz određenu razinu prilagodbe ili podrške koja kompenzira njegovu nesposobnost pridržavanja postojećih operativnih konstrukcija. Razdoblje "Integracija" odnosi se na budućnost kada se očekuje da će RPAS rutinski ulaziti u zračni prostor bez potrebe za posebnim odredbama.

RPAS opremljen odgovarajućom opremom stoga se može "integrirati" čim zrakoplov i podržavajuće ATM okruženje omoguće takvu integraciju. Faza "Integracije" predviđa vrijeme kada će svi europski ATM-ovi moći podržavati rutinske operacije RPAS-a.

Vojni zahtjevi bit će uključeni u tehničke, operativne i regulatorne domene. Navedeno će biti omogućeno razvojem tehnologije dvostruke upotrebe i usvajanjem zajedničkih standarda i postupaka. Gdje državne agencije imaju operativnu potrebu, bit će im dodijeljena razina prioriteta primjerena operativnoj potrebi, kao što je slučaj s pilotiranim sredstvima. Specifične obuke bit će osigurane prema potrebi putem rezervacije zračnog prostora, izvedene prema odredbama napredne fleksibilne upotrebe zračnog prostora (*Advanced Flexible Use of Airspace* - AFUA). [31]

Planira se postupno uvođenje U-space-a na način da će svaka nova faza predložiti novi set usluga uključujući nadograđenu verziju usluga koje već postoje iz prethodne faze. Uvođenje svake nove faze trebalo bi se promatrati kao visoko razinu sekvencu za harmonizaciju na razini EU-a, no implementacije se mogu ubrzati paralelno na lokalnoj razini. Tijekom vremena, U-space usluge će se razvijati kako se razina automatizacije drona povećava, te se tako omogućuju napredni oblici interakcije s okolinom uglavnom putem digitalnih razmjena informacija.

4.3.4.2 Koraci integracije U-space-a

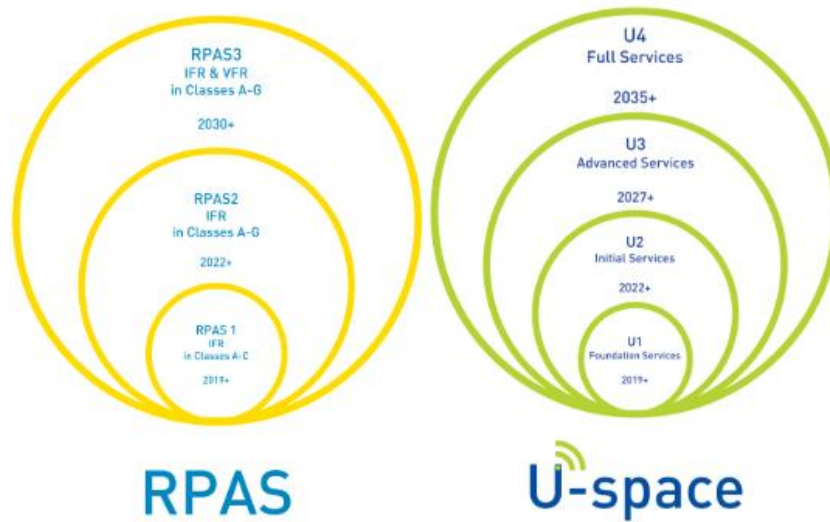
Integracija koncepta U-space temelji se na četiri koraka; U1, U2, U3 i U4. Prvi, U1 korak, predstavlja temeljne usluge poput e-registracije, e-identifikacije i pred-taktičkog geofencinga. Njegovi glavni ciljevi su identifikacija dronova i operatera te obavještanje operatera o poznatim ograničenim područjima. Implementacija U1 temeljnih usluga omogućit će veći broj operacija dronova, posebno u područjima s manjom gustoćom zračnog prometa. Administrativni postupci za dobivanje dozvola za let i autorizacija za specifične misije bit će pojednostavljeni. Raspon rutinskih VLOS operacija bit će proširen kako bi podržao produžene letove izvan vidokruga, uključujući operacije u urbanim područjima. BVLOS operacije će i dalje biti ograničene, ali će postupno postajati sve više izvedive.

Drugi, tzv. U2 korak, odnosi se na početni skup usluga koje podržavaju sigurno upravljanje operacijama dronova i prvi nivo sučelja i povezanosti s ATM/ATC i pilotiranim zračnim prometom. Gdje je to prikladno, U2 će koristiti postojeću infrastrukturu iz ATM-a, ali nove mogućnosti za operacije dronova omogućit će se kroz iskorištavanje tehnologija iz drugih sektora (npr. long-term evolution - LTE - za podatkovnu komunikaciju). Raspon operacija na niskim visinama bit će proširen, uključujući neke operacije u kontroliranom zračnom prostoru. Letovi dronova više neće nužno biti razmatrani slučaj po slučaj, te će neki primjeri BVLOS operacija postati rutinski (iako s određenim ograničenjima).

Treći, tzv. U3 korak nastaviti će razvijati iskustva stečeno u U2 i otključati nove i poboljšane primjene i vrste misija u područjima visoke gustoće i složenosti. Nove tehnologije, automatizirane funkcionalnosti za izbjegavanje sudara (DAA) i pouzdaniji načini komunikacije omogućit će značajan porast operacija u svim okruženjima te ojačati sučelja s ATM/ATC i pilotiranim zračnim prometom. Očekuje se najznačajniji rast operacija dronova upravo u urbanim područjima, s pokretanjem novih vrsta operacija, kao što je urbana zračna mobilnost.

Posljednji, U4 korak fokusira se na usluge koje nude integrirana sučelja s ATM/ATC i komercijalnim zračnim prometom, te podupire punu operativnu operativnost U-prostora temeljenu na vrlo visokoj razini automatizacije. [32]

Sljedeća slika 16 prikazuje grafički prikaz uvođenja dronova u kontrolirani zračni prostor na području Europe iz koje se vide očekivanja prema pojedinim fazama. [32]



Slika 16. Faze integracije bespilotnih letjelica kroz koncept U-space [31]

5 Koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom

5.1. Kapacitet

Implementacija bespilotnih letjelica u funkciji sustava upravljanja zračnim prometom donosi niz koristi koje mogu povećati kapacitet kontrole zračnog prometa. Integracija novih tehnologija i infrastrukture ključna je za ostvarivanje tih koristi. Unapređenje postojećih sustava upravljanja zračnim prometom u svrhu efikasne obrade potrebnih podataka uključuje ulaganja u mrežu senzora koja omogućuje učinkovit rad letjelica i centara za kontrolu zračnog prometa. Sustav upravljanja dronovima (*Digital Terrain Model* - DTM) predstavlja digitalni prikaz terena Zemlje, koji uključuje informacije o nadmorskoj visini površine, isključujući vegetaciju, zgrade i druge objekte. Ovaj model ima ključnu ulogu u operacijama UAV-a, jer pomaže u zadacima poput planiranja leta, navigacije i održavanja sigurne visine letjelica u odnosu na teren. Projekcije se obično izrađuju na temelju podataka prikupljenih tehnologijama daljinskog očitavanja, kao što su (*Light Detection and Ranging* – LiDAR) ili fotogrametrija, te su od esencijalne važnosti za sigurno i učinkovito upravljanje UAV-ovima, posebno u složenim ili nepoznatim terenima. DTM-ovi koriste se u UAV aplikacijama za izbjegavanje prepreka, planiranje rute, nadzor i kartiranje. U području upravljanja zračnim prostorom, upravo ova tehnologija daje znatan prostor za daljnje unapređenje kapaciteta i vrste zračnog prostora. [33]

Zaštita kritičnih infrastrukture, poput zračnih luka i vladinih zgrada, od uljeza uključuje postavljanje radara i sustava za suzbijanje dronova. Takva oprema omogućuje UAS-ovima da ne ometaju osjetljiva područja, čime se povećava sigurnost i omogućuje veća upotreba UAS-ova u drugim dijelovima zračnog prostora.

Poboljšanja i rekonfiguracija postojećih telekomunikacijskih mreža te postavljanje satelita u niskoj orbiti (LEO) podržavaju široku primjenu UAS-ova. Pouzdana komunikacija između dronova i zemaljske kontrole ključna je za upravljanje povećanim prometom, čime se dodatno povećava kapacitet zračnog prostora. Komunikacijski kanali su od vitalne važnosti za upravljanje zračnim prostorom, a proširenje kapaciteta ima izravan pozitivan učinak na ukupne radne procese kontrole zračnog prometa. [33]

5.1.1 Kontrola zračnog prometa

EUROCONTROL-ov projekt pod nazivom IRINA (*IFR RPAS Integration into European Airspace*) bavi se integracijom bespilotnih zračnih sustava (RPAS) u europski zračni prostor po pravilima instrumentalnog letenja. U fokusu su izazovi i rješenja vezana uz integraciju ovih sustava u postojeći zračni prostor kojim upravljaju kontrolori zračnog prometa, gdje se provode operacije s posadom. Glavni cilj projekta je omogućiti sigurno i učinkovito integriranje RPAS-ova u zračni prostor s ciljem održavanja visoke razine sigurnosti i interoperabilnosti s ostalim zrakoplovima. Na taj način, RPAS-ovi će moći provoditi misije unutar kontroliranog zračnog prostora bez narušavanja sigurnosnih standarda ili utjecaja na protok konvencionalnog zračnog prometa, čime se neće narušavati kapacitet zračnog prostora. Projekt obuhvaća različite faze, uključujući razvoj i validaciju operativnih koncepata, te suradnju sa zrakoplovnim vlastima i industrijskim partnerima kako bi se osiguralo da su svi aspekti integracije RPAS-a usklađeni s postojećim pravilima i procedurama. U sklopu tehnološke integracije, projekt teži ugradnji naprednih tehnologija poput sustava za detekciju i izbjegavanje (DAA), komunikacijskih sustava i navigacijskih alata u RPAS, što je ključno za sigurnu interakciju s posadama zrakoplova i ispunjavanje uputa zračnog prometa, a da pri tome ne ugroze sigurnost ostalih sudionika u zračnom prometu, odnosno zadrži potreban kapacitet zračnog prostora. [34]

Jedna od ključnih prednosti automatizacije u okviru U-space operacija je smanjenje potrebnog razmaka između letova. Automatizacija omogućuje precizniju kontrolu nad letjelicama, uključujući održavanje sigurnih razmaka između njih. To rezultira smanjenjem potrebe za velikim razmacima između letova, što omogućuje povećanje broja operacija unutar istog vremenskog okvira. Suradnja između različitih sustava, poput UAS-a i ATM-a, može dovesti do bolje optimizacije zračnog prostora i efikasnije alokacije resursa. Ova suradnja podrazumijeva razmjenu podataka u stvarnom vremenu, što značajno poboljšava upravljanje zračnim prometom. Razmjena podataka omogućuje brzu i preciznu reakciju na promjene u prometu, što dodatno doprinosi povećanju kapaciteta i sigurnosti. Razvoj koncepta U-space igra ključnu ulogu u upravljanju velikim brojem UAS operacija. U-space omogućuje korištenje definirane procedure i automatizirane usluge, što omogućuje upravljanje s većim brojem letjelica nego što je to moguće s trenutnim ATM sustavima. Korištenjem U-space sustava, značajno se povećava kapacitet zračnog prostora, istovremeno održavajući visoku razinu sigurnosti i učinkovitosti. [35]

5.1.2 Optimizacija protoka prometa

Razvijanje kontinuirano ažurirane baze podataka o restrikcijama u zračnom prostoru omogućuje poštivanje zabrana letenja i drugih ograničenja. Time se osigurava da UAS-ovi operiraju unutar dopuštenih zona, smanjujući rizik od incidenata i omogućujući sigurniji i efikasniji promet. Pružanje specifičnih aeronautičkih informacija za dronove, poboljšane vremenske prognoze i dijeljenje informacija u stvarnom vremenu među svim sudionicima ekosustava omogućava koordinirane i informirane operacije UAS-ova. Ova poboljšanja povećavaju učinkovitost i kapacitet ATM sustava jer omogućuju bolje planiranje i upravljanje prometom.

Prema izvješću "Interaction between ATM and UAS Operators in U-space Operations and Potential Automation Benefits," povećanje kapaciteta ATM-a s UAS-ima može se ostvariti kroz nekoliko ključnih mehanizama. Prije svega, automatizacija operacija omogućuje bolju koordinaciju i brže donošenje odluka. Automatizirani sustavi smanjuju potrebu za ljudskom intervencijom, što rezultira manjim opterećenjem za kontrolore zračnog prometa. Ovim pristupom omogućava se veća propusnost i učinkovitost u upravljanju zračnim prometom, budući da se procesi odvijaju brže i preciznije.

Optimizacija korištenja zračnog prostora predstavlja još jedan bitan aspekt u povećanju kapaciteta ATM sustava. UAS-i imaju mogućnost korištenja dijelova zračnog prostora koji su tradicionalno manje iskorišteni, primjerice, niže visine ili specifične zone unutar kontroliranog zračnog prostora. Korištenjem ovih područja, stvara se prostor za komercijalne letove, čime se značajno povećava iskoristivost kapacitet zračnog prostora. [35]

Projekt DACUS (*Drone DCB Concept and Process*) razmatra različite mjere za upravljanje zračnim prometom (DCB) u kontekstu U-space-a, s ciljem optimizacije kapaciteta i učinkovitosti operacija dronova. Mjere se analiziraju u smislu njihovog potencijalnog utjecaja na ispunjenje ciljeva misije, pri čemu se posebno naglašavaju različite strategije za dugoročno i kratkoročno upravljanje prometom. [36]

Povećanje CNS infrastrukture: Dugoročna mjera uključuje povećanje kapaciteta komunikacijsko-navigacijskih sustava (CNS) kako bi se omogućilo upravljanje većim brojem dronova u određenom zračnom prostoru. Ova mjera zahtijeva značajna ulaganja i dugotrajnu implementaciju, te stoga nije obuhvaćena trenutnim opsegom DACUS-a. Povećanje CNS infrastrukture omogućuje povećanje broja dronova koji se mogu učinkovito pratiti i upravljati unutar zračnog prostora.

Propisivanje U-space servisnih sposobnosti: Kako bi se povećala gustoća dronova na manjim visinama, može se zahtijevati pružanje visokokvalitetnih meteoroloških i topografskih usluga. Ova dugoročna mjera obuhvaća pružanje usluga mikro vremenskih prognoza i visokokvalitetnog mapiranja terena kako bi se poboljšala sigurnost i učinkovitost operacija dronova na nižim visinama.

Izmjena zona s kontroliranom brzinom može poboljšati organizaciju prometa te može imati manji utjecaj na ispunjenje ciljeva misije za mnoge poslovne modele u urbanim sredinama, poboljšanja u kapacitetu trebaju se dodatno istražiti, no svakako postoji logičan slijed povećanja kapaciteta u slučaju da se UAS-ovi kreću manjim brzinama. Smanjena brzina kretanja letjelica u prostoru smanjuje složenost vođenja prostora.

Izmjena organizacije prometa prema letnim slojevima može se primijeniti u strateškim i pre-taktičkim fazama. Ova mjera može imati manji utjecaj na ispunjenje ciljeva misije u urbanim sredinama. Primjerice, projekt METROPOLIS kvantificirao je poboljšanja kapaciteta analizom smanjenja stope konflikta u širenju prometa.

Povećanje zahtjeva za operativne performanse dronova bi optimiziralo iskorištenost zračnog prostora jer se mogu postaviti viši zahtjevi za performanse pojedinih dronova. Povećanje zahtjeva može uključivati uvođenje preciznijeg praćenja i navigacije, što omogućuje bliže razmakne letove između dronova. Također, uvođenje ljudskog nadzora može omogućiti reakciju u izvanrednim situacijama, posebno u složenijim zračnim prostorima. Ova mjera može značajno poboljšati ispunjenje ciljeva misije.

Rezervacija volumena zračnog prostora: Neke misije dronova mogu zahtijevati rezervaciju specifičnih volumena zračnog prostora kako bi se ispunili ciljevi misije. Proces DCB može nametnuti ograničenje veličine rezerviranog volumena, kako bi se osigurala učinkovitost, ali i dovoljno velik prostor za ostvarivanje ciljeva misije.

Povećanje operativne granice U-space-a: U-space zračni prostor povezan je s VLL (Very Low Level) granicama koje se protežu do 400 stopa iznad razine tla. Kako bi se povećao kapacitet zračnog prostora, može se razmotriti povećanje operativnih visina ako uvjeti i infrastruktura to omogućavaju. Ovo stvara dodatni prostor u kojem normalno ne bi bilo letova, ali može omogućiti bolju iskorištenost zračnog prostora.

Nametanje preusmjeravanja ili kašnjenja na tlu: Ove mjere mogu značajno utjecati na ispunjenje ciljeva misije i mogu predstavljati rizik za neke misije. Preusmjeravanje ili kašnjenje dronova može se primijeniti kako bi se smanjila opterećenja u zračnom prostoru, ali može ugroziti pravovremeno izvršenje misija.

Odbijanje planova misije: Ako nema drugih sredstava za smanjenje rizika, može se razmotriti odbijanje dodatnih operacija u određenom području kao mjera posljednjeg izbora. Ova mjera je usmjerena na smanjenje ukupnog rizika operacija i trebala bi se primjenjivati samo kada su druge opcije iscrpljene. [37]

5.2. Sigurnost

Integracija bespilotnih zračnih sustava u sustav upravljanja zračnim prometom donosi niz popratnih sigurnosnih prednosti. Ove prednosti uključuju poboljšanu sposobnost praćenja i reagiranja na promjene u zračnom prostoru, smanjenje opterećenja za kontrolore zračnog prometa, te unapređenje sposobnosti reagiranja u hitnim odnosno žurnim situacijama.

Jedna od ključnih prednosti je mogućnost kontinuiranog nadzora zračnog prostora. UAS-ovi opremljeni naprednim senzorima mogu kontinuirano prikupljati podatke o zračnom prostoru, uključujući vremenske uvjete, prisutnost drugih zrakoplova i potencijalne prijetnje. Ovi podaci mogu se koristiti za izradu preciznih i pravovremenih informacija koje se dijele s kontrolorima zračnog prometa i drugim relevantnim akterima. Ova razina nadzora omogućuje bržu identifikaciju i reagiranje na potencijalne sigurnosne probleme, čime se smanjuje rizik od nastanka zrakoplovne nezgode ili nesreće.

Upotreba UAS-ova može značajno smanjiti opterećenje kontrolora zračnog prometa. Trenutno, kontrolori zračnog prometa moraju upravljati velikim brojem zrakoplova, što može dovesti do stresa i povećanja mogućnosti pogreške. Integracija UAS-ova potencijalno može automatizirati mnoge rutinske zadatke, poput praćenja letova i upravljanja rutama, što omogućuje kontrolorima da se fokusiraju na značajne situacije koje zahtijevaju ljudsku intervenciju. Ova distribucija zadataka smanjuje rizik od ljudske pogreške i poboljšava ukupnu sigurnost sustava. Ljudski potencijal, odnosno ljudske performanse, od velikog su značaja u održavanju prihvatljive razine sigurnosti kod upravljanja zračnim prostorom. Unapređenje sposobnosti reagiranja u hitnim situacijama od izuzetnog značaja je za kontrolore zračnog prometa. Svako unapređenje metodologije rada, postupaka i procesa s utjecajem na sigurnost nužno se očituje u smanjenju rizika u sustavu upravljanja zračnim prometom.

Kod praktičnih primjena UAS-ova, značajna je prednost što se mogu brzo rasporediti u prostoru za svrhe nadzora i prikupljanje informacija u slučaju nesreće ili druge hitne situacije. Na primjer, u slučaju pada zrakoplova, ili neke druge letjelice, UAS-ovi mogu veoma brzo pružiti kritične informacije o mjestu nesreće, vremenskim uvjetima i drugim faktorima koji mogu pomoći u spašavanju života. Brza i točna informacija omogućuje hitnim službama da brže i učinkovitije reagiraju, čime se povećava šansa za spašavanje života i minimiziranje štete. Dodatno, integracija UAS-ova može unaprijediti sigurnost kroz bolje upravljanje zračnim prostorom u blizini aerodroma. Aerodromi su mjesta s velikom prometnom opterećenosti i vrlo složenim operacijama, a UAS-ovi u ovim slučajevima mogu pomoći u praćenju i upravljanju prometom i kretanjem svih dionika zračnog prostora.

UAS-ovi mogu nadzirati prilazne rute i uzletno-sletne staze kako bi osigurali da su slobodne od prepreka i drugih prijetnji. Visoka razina nadzora može spriječiti potencijalne nesreće i osigurati sigurnije operacije na aerodromima. Upotreba UAS-ova može poboljšati sigurnost kroz edukaciju i obuku. Također, UAS-ovi se mogu koristiti za simulacije i obuku kontrolora zračnog prometa, omogućujući im da simuliranjem raznih složenih situacija, naročito u području vizualnog zračnog prostora, upravljanjem složenim situacijama u sigurnom i kontroliranom okruženju. Tako složene situacije u praktičnoj primjeni zasigurno pružaju izazovno okruženje za unaprjeđivanje vještina kontrolora zračnog prometa te ih pripremaju za stvarne situacije, čime se smanjuje rizik od pogreške u stvarnim operacijama. [38]

5.2.1 Definiranje sigurnosnih događaja povezanih s operacijama UAS

Prema EASA-inom izvještaju *UAS Safety Risk Portfolio and Analysis* glavnim sigurnosnim rizicima povezuju se sljedeći događaji:

- **Konflikti u zraku** (*Airborne Conflict*)

U posljednjih nekoliko godina znatno je porastao broj situacija bliskih sudara između dronova i zrakoplova. Iako je bilo samo nekoliko stvarnih sudara između dronova i općeg zrakoplovstva, srećom bez smrtonosnih posljedica ili ozljeda, važno je napomenuti da mnoge prijave bliskih susreta s UAS-om nisu potvrđene i mogu uključivati druge objekte poput ptica. Neki od izvještaja o bliskim susretima s UAS-om zabilježeni su na visinama na kojima dronovi obično ne operiraju.

- **Gubitak kontrole nad zrakoplovom** (*Aircraft Upset*)

Drugo ključna područje rizika uključuje poremećaje u kontroli zrakoplova, koji obuhvaća sve situacije gubitka kontrole i može predstavljati rizik za ljude na tlu.

- **Kvarovi u sustavu** (*System Failures*)

Neuspjesi sustava ili komponenti, uključujući one koji nisu povezani s pogonskim sustavom, također su uključeni u ključna područja rizika. Ovi neuspjesi mogu dovesti do ozljeda osoba na tlu, posebno u određenim vrstama operacija dronova.

- **Konflikti s trećim stranama** (*Third Party Conflict*)

Posljednje ključna područje rizika odnosi se na sukobe dronova s ljudima ili imovinom (ne uključujući zrakoplove), što može uzrokovati ozljede ili štetu. Iako nije bilo prijavljenih slučajeva štete ili ozljeda, stručnjaci su identificirali ovo područje kao ključan rizik koji može nastati zbog nesreća koje nisu povezane s gubitkom kontrole ili tehničkim kvarom, poput slučajnog letenja drona u ljude ili imovinu. [39]

5.2.2 Analiza sigurnosnih problema

Mali UAS za civilnu upotrebu postaju sve dostupniji komercijalnim subjektima za razne svrhe, kao i široj javnosti, nudeći mogućnosti koje nadmašuju sva predviđanja. Ovi sustavi uvode nove rizike za ljude i imovinu na tlu, kao i za druge dijelove zrakoplovstva, gdje potencijalni sudari u zraku predstavljaju prijetnju, posebno za putničke zrakoplove. EASA-in izvještaj obuhvaća sve aspekte upotrebe UAS-a s gledišta sigurnosnih rizika, s posebnim naglaskom na rizik od sudara UAS-a s drugim zrakoplovima. [39]

Cilj studije je bolje uočiti sigurnosne rizike povezane s rastućom upotrebom UAS-a u civilnom zračnom prometu i za ljude na tlu koristeći podatke iz Europskog središnjeg repozitorija (*European Central Repository*) (događaji prijavljeni nacionalnim agencijama (CAA) država članica EASA, uključujući nesreće) i izvještajima zrakoplovnih kompanija, što konkretno uključuje:

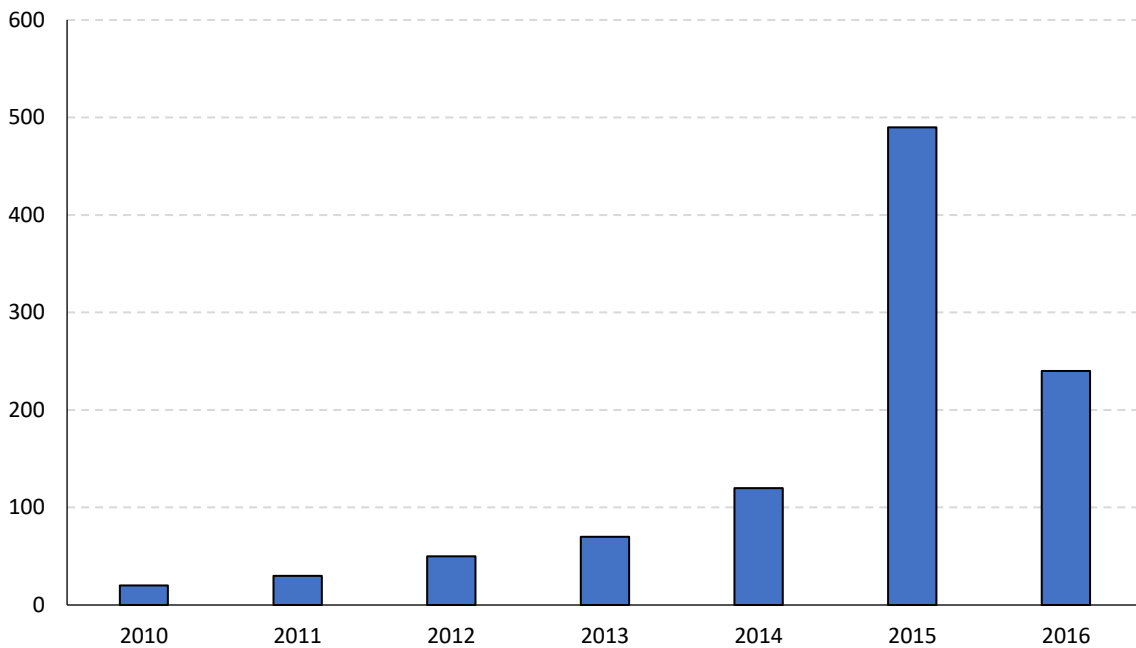
- detaljno razumijevanje karakteristika događaja "konflikte u zraku".
- identificiranje glavnih sigurnosnih pitanja koja doprinose rizicima sukoba u zraku.

Nadalje, analiza uključuje:

1. lokaciju događaja.
2. informacije o tipu zrakoplova i drona gdje je to moguće.
3. tip operacije ukoliko je poznat.
4. klasu događaja (ozbiljnost – npr. nesreće / ozbiljan incident / incident).
5. identificirana ključna područja rizika (ishodi).
6. analizu vrsta događaja za omogućavanje identifikacije sigurnosnih pitanja.
7. specifične informacije o sudarima u zraku između zrakoplova i dronova. [39]

Sljedeći grafikoni prikazuju rastući trend broja prijavljenih događaja s UAS-om (uključujući nesreće i incidente) po godinama od 2010. do lipnja 2016., s jasnim i značajnim skokom u 2014. godini. Pri tome, može se izdvojiti da je do 31. svibnja 2016. godine, broj događaja u 2016. godini dosegao je 50% broja događaja iz 2015. godine. U nastavku, grafikon 1. prikazuje distribuciju prijavljenih slučajeva sigurnosnih ugroza povezanih sa bespilotnim letjelicama.

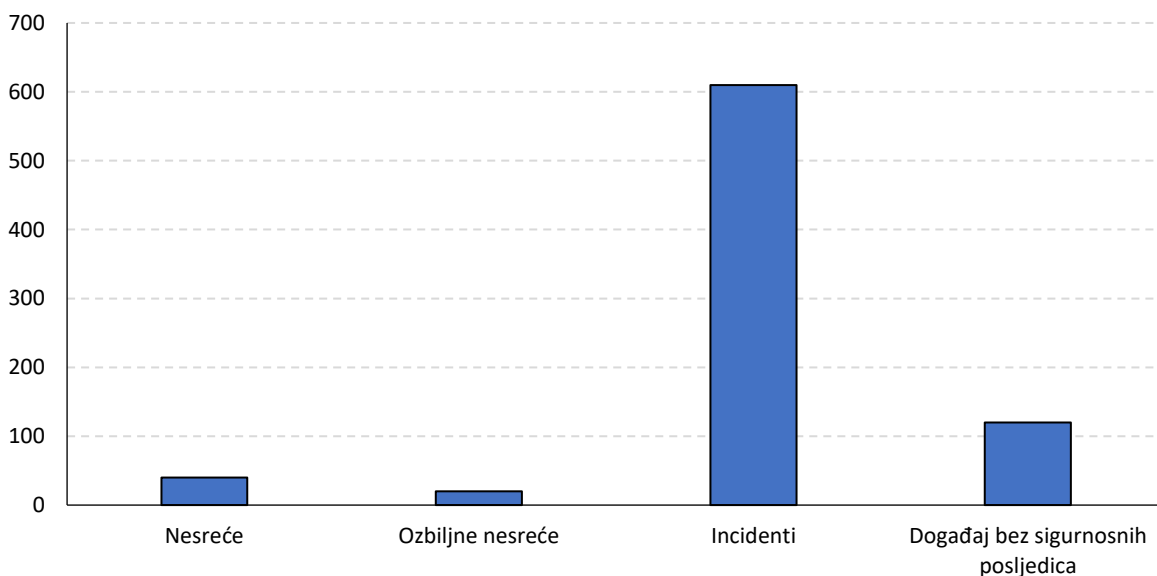
Prijavljeni slučajevi s UAS-om



Grafikon 1. Prijavljeni slučajevi s UAS-om [39]

Od svih događaja, zabilježeno je 42 nesreće, od kojih su se većina dogodile zbog pada drona uslijed tehničkih problema ili gubitka kontrole. Pri tome, nijedna od tih nesreća nije uključivala smrtne slučajeve ili ozljede. [39] U nastavku, grafikon 2. prikazuje distribuciju kategorija svih prijavljenih slučajeva sigurnosnih ugroza povezanih sa bespilotnim letjelicama.

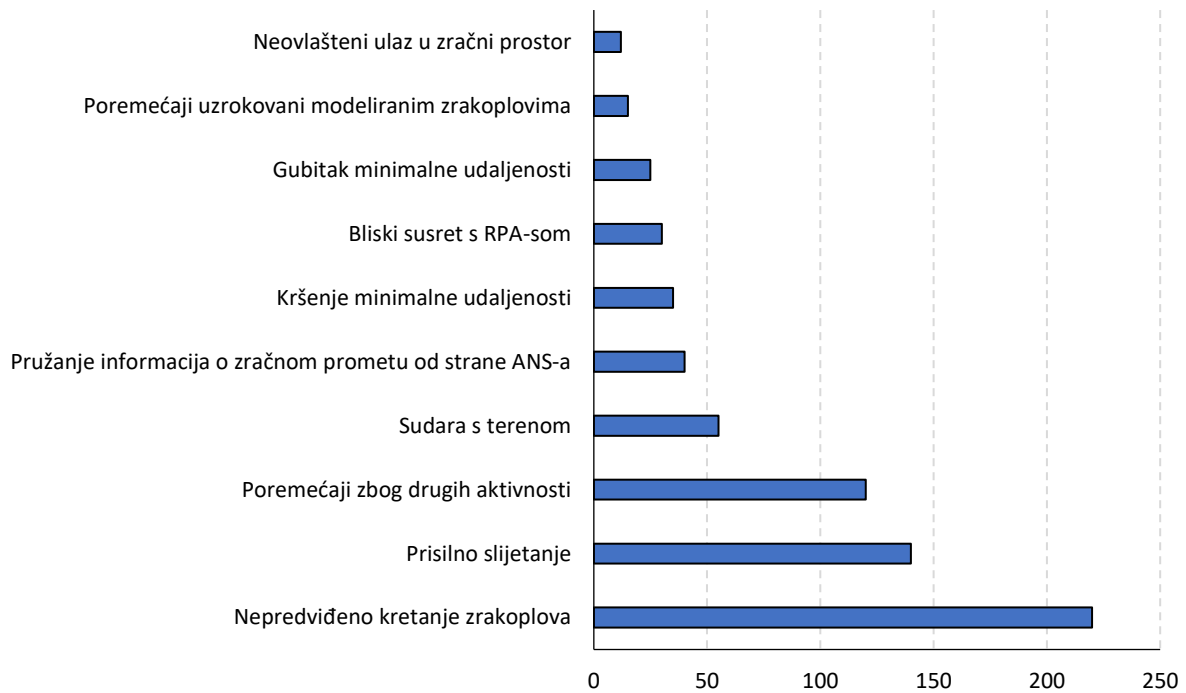
Kategorije događaja 2010-2016



Grafikon 2. Kategorije događaja 2010-2016 [39]

Drugi dio analize za razvoj sigurnosnih rizika uključuje identifikaciju sigurnosnih incidenata povezanih s različitim ključnim rizicima. Iako bi normalno uključivao kvantitativnu analizu, zbog nedostatka detalja u nekim podacima o UAS-ima, analiza vrsta događaja može samo naznačiti moguće sigurnosne probleme. U nastavku, grafikon 3. prikazuje distribuciju vrsta sigurnosnih incidenata povezanih sa bespilotnim letjelicama.

Vrste sigurnosnih incidenata bespilotnih letjelica



Grafikon 3. Vrste sigurnosnih incidenata UAS-a [39]

Može se primijetiti kako je za više od 60% zabilježenih događaja vezano uz konflikte u zraku, što je glavno područje ključnih rizika (*Key Risk Area*). To znači da povrede zračnog prostora i blizina dronova drugim zrakoplovima uzrokuju značajan broj događaja. Važno je napomenuti da je povećana medijska pažnja na mogućnost sudara s bespilotnim letjelicama (UAS) dovela do povećanja broja nepotvrđenih incidenata bliskih sudara s UAS-om. U prošlosti bi mnogi od ovih nepotvrđenih izvještaja bili klasificirani kao bliski sudari s pticama.

5.2.3 Pregled sigurnosnih rizika bespilotnih letjelica

Europska agencija za sigurnost zračnog prometa identificirala je različite sigurnosne prijetnje vezane uz bespilotne letjelice (*Safety Issues*) te su one sažete u nastavku rada.

- **Otkrivanje, prepoznavanje i korekcija nepravilnosti u radu**

Ovaj sigurnosni problem najčešće se javlja u slučajevima nesreća i povezan je s ključnim područjem rizika izgubljena kontrola zrakoplova. Konkretno, odnosi se na sposobnost operatera da prepozna i oporavi se od abnormalnih položaja zrakoplova.

- **Upravljanje UAS-om i planiranje leta**

Ova sigurnosna prijetnja povezana je s konfliktom u zraku, izgubljenom kontrolom zrakoplova i konfliktom s trećim stranama. Odnosi se na normalno upravljanje dronom i planiranje te upravljanje putanjom leta. Postoji i povezanost s planiranjem i pripremom operacija s dronovima.

- **UAS povreda kontroliranog zračnog prostora i bliski susreti UAS-a s drugim zrakoplovima u nekontroliranom zračnom prostoru**

Ovaj sigurnosni problem odnosi se na rizik od povrede kontroliranog zračnog prostora od strane UAS ili rizik od sudara s drugim zrakoplovima u nekontroliranom zračnom prostoru. Već se istražuje potencijalne koristi *Geo-Fencinga* kako bi se spriječilo da dronovi ulaze u kontrolirani zračni prostor. Ovaj sigurnosni problem također je povezan s ljudskim faktorima (*Human Factors* - HF), konkretno s poznavanjem zrakoplovnog sustava od strane operatera dronova.

- **Tehnički sigurnosni problemi**

Identificirana su tri tehnička sigurnosna problema iz analize događaja, a pokrivaju kvarove sustava navođenja i kontrole, pogonskog sustava i izvora napajanja.

- **Planiranje i priprema prije leta**

Prvi HF sigurnosni problem za dronove odnosi se na potrebu za dobrom pripremom i planiranjem prije leta kako bi operater drona proveo let na siguran način. Budući da operacije s dronovima uključuju mnoge ljude koji nisu upoznati sa zrakoplovnim sustavom, promocija sigurnosti bit će važna kako bi se operateri upoznali s dobrim praksama koje mogu lako slijediti.

- **Poznavanje zrakoplovnog sustava od strane operatera dronova**

Drugi prioritetni HF sigurnosni problem je osigurati da svatko tko upravlja dronom, a nov je u zrakoplovstvu, lako može naučiti o regulatornom okviru zrakoplovstva koji se primjenjuje na operacije s dronovima.

- **Održavanje i proizvodnja**

Posljednji sigurnosni problem odnosi se na održavanje i proizvodnju UAS, a potrebno je provesti daljnju analizu kako bi se ovaj problem detaljnije razmotrio, s obzirom da je analiza pružila minimalne informacije. [39]

5.3. Troškovna učinkovitost

Integracija bespilotnih zračnih sustava u sustav upravljanja zračnim prometom donosi značajne prednosti u smislu troškovne učinkovitosti. Prednosti obuhvaćaju smanjenje operativnih troškova, optimizaciju resursa, te unapređenje učinkovitosti kroz automatizaciju i inovacije. Jedna od ključnih prednosti uvođenja UAV-ova u ATM sustav je smanjenje operativnih troškova.

Tradicionalni zrakoplovi zahtijevaju značajne resurse za održavanje, gorivo te obuku posada. S druge strane, UAV-ovi, posebno manji modeli, imaju znatno niže operativne troškove. Njihovo održavanje je manje složeno, troškovi goriva su niži, a potreba za ljudskom posadom je eliminirana. Time se smanjuju ukupni troškovi operacija, što omogućava zračnim prijevoznicima i drugim korisnicima zračnog prostora da uštede značajna financijska sredstva. Optimizacija resursa je još jedna važna prednost. UAV-ovi omogućuju precizno planiranje i korištenje resursa. Na primjer, UAV-ovi se mogu koristiti za nadzor i inspekciju infrastrukture, poput piste i drugih kritičnih dijelova aerodroma, bez potrebe za angažiranjem timova i opreme. To omogućava brže i učinkovitije preglede, smanjujući vrijeme zastoja i povezane troškove. Također, UAV-ovi mogu pomoći u optimizaciji ruta letova, što smanjuje potrošnju goriva i emisije štetnih plinova, donoseći dodatne uštede i ekološke benefite. Automatizacija je ključna komponenta koja doprinosi troškovnoj učinkovitosti. UAV-ovi, opremljeni naprednim softverom i senzorima, mogu preuzeti mnoge zadatke koji su tradicionalno zahtijevali ljudsku intervenciju.

Automatizirani sustavi za upravljanje zračnim prometom mogu prikupljati, analizirati i dijeliti podatke u realnom vremenu, što smanjuje potrebu za ljudskim resursima i povezanom administracijom.

Time se smanjuju troškovi rada i povećava učinkovitost operacija. Inovacije povezane s UAV-ovima također doprinose troškovnoj učinkovitosti. Na primjer, razvoj novih tehnologija za upravljanje dronovima, poput sustava za izbjegavanje sudara i naprednih komunikacijskih mreža, može unaprijediti sigurnost i pouzdanost operacija.

Ove tehnologije omogućuju efikasnije upravljanje zračnim prometom, smanjujući rizik od nesreća i povezanih troškova. Nadalje, integracija dronova u ATM sustav potiče razvoj novih poslovnih modela i usluga, otvarajući nove izvore prihoda i dodatne financijske mogućnosti. Konačno, integracija UAV-ova može smanjiti kapitalne troškove povezane s infrastrukturom.

Tradicionalni sustavi za nadzor i upravljanje zračnim prometom zahtijevaju značajna ulaganja u fizičku infrastrukturu, poput radara i kontrolnih tornjeva. S druge strane, UAV-ovi mogu koristiti napredne senzorske mreže i softverske platforme koje su fleksibilnije i manje skupe za implementaciju i održavanje. To smanjuje početne investicije i operativne troškove, dok istovremeno omogućava skalabilnost i prilagodljivost sustava. Ukratko, integracija UAV-ova u ATM sustav donosi značajne troškovne prednosti, uključujući smanjenje operativnih troškova, optimizaciju resursa, unapređenje učinkovitosti kroz automatizaciju, inovacije, te smanjenje kapitalnih troškova. Ove prednosti omogućuju učinkovitije i ekonomičnije upravljanje zračnim prometom, što je ključno za dugoročnu održivost i konkurentnost zrakoplovne industrije. [38]

Sljedeća Tablica 6 pruža pregled analize troškova i ukupnog budžeta FAA za UAS prema Nacionalnom planu istraživanja zrakoplovstva (*National Aviation Research Plan - NARP*).

Tablica 6. Analiza troškova implementacije UAS za razdoblje 2022. - 2025. [40] [41]

Godina	Ukupni FAA budžet	Troškovi povezani s UAS
2022	\$18.5 milijardi	\$700 milijuna
2023	\$19.1 milijardi	\$750 milijuna
2024	\$20.3 milijardi	\$800 milijuna
2025	\$21.6 milijardi	\$850 milijuna

Analiza se fokusira na razdoblje od 2022. do 2025. godine, ispitujući troškove i očekivane koristi povezane s istraživanjem i razvojem tehnologije UAS, a rezultati analize su sljedeći:

Troškovi (*Costs*):

- **Rast ulaganja**

U razdoblju od četiri godine, ulaganja u UAS tehnologije i integraciju unutar Nacionalnog zračnog prostora (NAS) porasla su sa 700 milijuna dolara u 2022. godini na 850 milijuna dolara u 2025. godini.

- **Ukupni trošak**

Ukupno je za UAS uloženo 3,1 milijarda dolara tijekom četverogodišnjeg razdoblja, što predstavlja značajan dio FAA budžeta, čiji je iznos porastao sa 18,5 milijardi dolara u 2022. na 21,6 milijardi dolara u 2025.

Koristi (*Benefits*):

Pregled ekonomsko-socijalnih koristi:

- **Rast tržišta**

Očekuje se da će komercijalno tržište UAS-a generirati značajne prihode, uz predviđanja o doprinosu milijardi dolara ekonomiji SAD-a do 2025. godine.

- **Kreiranje radnih mjesta**

UAS sektor stvorit će oko 100.000 novih radnih mjesta, uključujući područja proizvodnje, operacija i analize podataka.

Pregled tehničko-tehnoloških koristi:

- **Smanjenje rizika za ljude**

UAS se može koristiti u opasnim okruženjima, kao što su područja pogođena katastrofama i inspekcija infrastrukture, čime se smanjuje rizik za ljudske živote.

- **Poboljšano upravljanje zračnim prometom**

Integracija UAS-a poboljšava ukupnu sigurnost zračnog prostora, smanjujući incidente povezane s letjelicama.

- **Inovacije u području umjetne inteligencije, digitalizacije i automatizacije**

Ulaganja u UAS potiču napredak u područjima umjetne inteligencije, autonomije i senzorskih tehnologija.

- **Unaprjeđenje mogućnosti provedbe daljinskih istraživanja i nadzora**

Istraživanja vezana uz UAS doprinose napretku u različitim znanstvenim područjima, kao što su meteorologija, fizika, astronomija, telekomunikacije, logistika i slično.

5.4. Okoliš

Jedna od najznačajnijih ekoloških prednosti uvođenja UAV-ova u ATM sustav je smanjenje emisija stakleničkih plinova korištenjem direktnih ruta i kraćim zadržavanjem u operativnim procedurama. Trenutno zrakoplovi koriste velike količine fosilnih goriva, što rezultira visokim emisijama CO₂ i drugih štetnih plinova. UAV-ovi, posebno oni na električni pogon, imaju znatno manji utjecaj na okoliš. Električni dronovi ne ispuštaju štetne plinove, čime direktno smanjuju zagađenje zraka. Osim toga, optimizacija ruta letova koju omogućuju UAV-ovi može dodatno smanjiti potrošnju goriva i emisije, što pridonosi smanjenju ukupnog ugljičnog otiska zračnog prometa.

Uz prednost smanjenja onečišćenja zraka, tradicionalni zrakoplovi proizvode značajnu razinu buke koja može negativno utjecati na životnu sredinu i kvalitetu života ljudi. Naročito onih u blizini aerodroma. UAV-ovi, a posebice manji modeli, proizvode znatno manje buke upređeno sa zrakoplovima. Ovo je posebno važno za operacije u urbanim područjima i oko osjetljivih ekosustava gdje je smanjenje buke od značajne važnosti. Smanjena razina buke također može olakšati noćne operacije i smanjiti pritužbe stanovništva, što pospješuje integraciju UAV-a u lokalne zajednice. [38]

6 Zaključak

Analiza koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom pruža dublje razumijevanje utjecaja nove tehnologije na četiri ključna područja performansi sustava: kapacitet, sigurnost, troškovnu učinkovitost i okoliš. Iako UAV nude značajan potencijal za optimizaciju ATM-a, njihova integracija u postojeće sustave zahtijeva daljnje razmatranje i prilagodbu kako bi se osigurala njihova sigurna i učinkovita primjena.

U kontekstu kapaciteta, korištenje UAS znatno povećava kapacitet zračnog prostora kroz unapređenje ATM-a. Uvođenje UAS-a omogućuje bolju optimizaciju protoka prometa, osobito u područjima velike gustoće prometa. Korištenjem naprednih tehnologija za nadzor i kontrolu, UAS imaju potencijal pridonijeti raspodjeli prometa na način koji smanjuje zagušenja i povećava učinkovitost cjelokupnog sustava. Uz UAS-ove, potrebno je razviti sofisticirane algoritme i sustave koji će omogućiti koordinaciju između UAS-a i ostalih sudionika u zračnom prometu. Nadalje, potrebno je razviti odgovarajuće standarde i smjernice koji će omogućiti sigurno upravljanje povećanim kapacitetom bez ugrožavanja sigurnosti.

Bespilotne letjelice donose nove izazove u pogledu sigurnosti, posebno u kontekstu izbjegavanja sudara i koordinacije s postojećim zračnim prometom. Tehnički problemi, poput kvarova u komunikacijskim sustavima ili neispravnosti senzora, mogu dovesti do ozbiljnih sigurnosnih incidenata. Stoga je ključno razviti sustave za otkrivanje i izbjegavanje koji će omogućiti UAV da sigurno djeluju u kontroliranom zračnom prostoru. Osim toga, potrebna je regulativa koja će jasno definirati odgovornosti svih sudionika u zračnom prometu, uključujući operatore UAS, kako bi se osigurala zadovoljavajuća razina sigurnosti. Bez odgovarajućih sigurnosnih mjera, postoji rizik da bi uvođenje UAV-a moglo dovesti do povećanja broja nesreća i incidenata u zračnom prometu.

Korištenje UAS-a u upravljanju zračnim prometom smanjuje operativne troškove, kako za operatore UAS, tako i za cjelokupni sustav upravljanja zračnim prometom. Troškovi održavanja, goriva i ljudskih resursa znatno su niži u usporedbi s komercijalnim zrakoplovima. UAS omogućuju izvršavanje kompliciranih zadataka s manjim troškovima, uključujući nadzor, inspekcije i transport, bez obzira na visoka početna ulaganja, dugoročne uštede mogu opravdati visoke početne investicije.

Okoliš je ključno područje u kojem UAV mogu pružiti značajne koristi. UAS može doprinijeti smanjenju emisija štetnih plinova, posebice CO₂ emisija, s obzirom da su UAV često pogonjene električnom energijom ili drugim alternativnim izvorima energije koji su ekološki prihvatljiviji u usporedbi s zrakoplovima. Smanjenje emisija može pozitivno utjecati na okoliš, posebno u kontekstu globalnih napora za smanjenje klimatskih promjena. Uz to, UAV smanjuju razinu buke, što je važno u urbanim sredinama gdje buka zrakoplova može predstavljati značajan problem za lokalne zajednice. Rastom zračnog prometa, uvođenjem UAS u kontrolirani zračni prostor, znatno se utječe na stvaranje održivog sustava zračnog prometa manje štetnog za okoliš.

Postoje također i izazovi koje je potrebno riješiti kako bi se u potpunosti iskoristio potencijal UAV-a u zračnom prometu. Jedan od ključnih izazova je osiguranje interoperabilnosti između UAS-a i postojećeg sustava upravljanja zračnim prometom. Potrebno je razviti nove protokole i tehnologije koji će omogućiti UAV-u učinkovitu komuniciraju s ostalim sudionicima u zračnom prometu. Potrebno je riješiti pitanja vezana uz regulativu i standardizaciju kako bi se osiguralo da svi sustavi rade prema istim pravilima i smjernicama.

Kako bespilotne letjelice postaju sve prisutnije i dostupnije, tako se povećava i rizik od kibernetičkih napada i neovlaštenog pristupa podacima. U budućnosti postoji potreba za sigurnosnim mjerama koje će zaštititi podatke i osigurati sigurno upravljanje bespilotnim letjelicama. Također, potrebno je osigurati da svi operateri UAV-a budu educirani i osposobljeni kako bi se smanjio rizik ljudskih pogrešaka.

Integracija bespilotnih letjelica u ATM sustav predstavlja značajan korak naprijed u modernizaciji zračnog prometa. Prvenstveno jer to omogućuje brojne prednosti, uključujući povećanje kapaciteta, poboljšanje sigurnosti, smanjenje troškova i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. Istodobno, kako bi se u potpunosti iskoristile sve prednosti, potrebno je riješiti veliki niz tehničkih, sigurnosnih i regulativnih izazova. Stoga, uspješna integracija bespilotnih letjelica u zračni prostor zahtijeva i ponajviše ovisi o usklađenosti i koordinaciji napora regulatornih tijela, zrakoplovne industrije i znanstvene zajednice. Samo tako, kroz sveobuhvatan pristup i kontinuiranu suradnju osigurat će se svi preduvjeti sigurne integracije bespilotnih letjelica u odnosu na druge korisnike zračnog prostora, usluge u zračnoj plovidbi i općenito sustav upravljanja zračnim prometom.

LITERATURA

- [1] Beenauw K. *Drones, The Emerging Era of Unmanned Civil Aviation*. University of Gent; 2015. p. 161-160.
- [2] International Civil Aviation Organization. *Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation: Air Traffic Services*. Montreal, Canada: ICAO; 2016.
- [3] EUROCONTROL. *EUROCONTROL Specification for the European Route Network Improvement Plan - Part 1, Version 2.6*. July 2022. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-07/eurocontrol-ernip-part-1-v2-6.pdf>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [4] European Commission. *Uredba Komisije (EU) br. 923/2012 od 26. rujna 2012. o utvrđivanju zajedničkih pravila leta i operativnih odredbi u vezi sa zrakoplovnim uslugama i postupcima te o izmjeni provedbenih uredbi (EU) br. 1035/2011 i (EU) br. 1265/2011 te uredaba (EZ) br. 1794*. EUR-Lex; 2012.
- [5] EUROCONTROL. *Manual for Airspace Planning*. 2003. Preuzeto s: <https://www.icao.int/safety/pbn/Documentation/EUROCONTROL/Eurocontrol%20Manual%20for%20Airspace%20Planning.pdf>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [6] Flight Information Region. Preuzeto s: <http://harekatmemuru.com/resimler/fir/fir1.png>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [7] Kashyap V. *A brief history of drones*. Interesting Engineering. Preuzeto s: <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [8] Arjomandi M. *Classification of Unmanned Aerial Vehicles*. Adelaide; 2008.

- [9] Shakhathreh AH, Al-Fagih Z, Dabaon ES, Khan S, Ogundipe K, Marzouk M, et al. *Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges*. IEEE Access. 2019;7:48572-634.
- [10] Doyle PD, D. L., I. K. *Unmanned Vehicles*. 2007.
- [11] Haddock F. *Army's tactical UAVs*. Asia-Pacific Defence Reporter. 2009;35:20-23.
- [12] Konfigurasi Airframe. Aero Engineering. Preuzeto s: <https://www.aeroengineering.co.id/2016/08/konfigurasi-airframe>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [13] Sababha BM. *A Rort-Tilt Tricopter UAV*. Princess Sumaya University for Technology; Amman, Jordan.
- [14] Bata T. *Faculty of Applied Informatics, University*. Zlín, Czech Republic; 2018.
- [15] Hrvatska enciklopedija. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/sustav>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [16] Fahlstrom TJ, Gossling MH. *Introduction to UAV Systems*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons; 2022.
- [17] H. enciklopedija. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/zrakoplov>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [18] Szczepanski C. *UAVs and Their Avionic Systems*. 2015. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/277657062_UAVs_and_their_avionic_systems_development_trends_and_their_influence_on_Polish_research_and_market. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [19] Gupta SG, M., G., and P. M. *Review of unmanned aircraft system*. 2013. Preuzeto s: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3451039. [Pristupljeno: Travanj 2024.]

- [20] Winkler C. *How Many Sensors are in a Drone*. 2016. Preuzeto s: <https://www.fierceelectronics.com/components/how-many-sensors-are-a-drone-and-what-do-they-do>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [21] Winker CH. *Sensor Insight*. 2016. Preuzeto s: <https://www.fierceelectronics.com/components/how-many-sensors-are-a-drone-and-what-do-they-do>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [22] Fahlstrom TJ, Gossling MH. *Introduction to UAV Systems*. 2022. Preuzeto s: <https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=s8Z6EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=Introduction+to+UAV+Systems,+P.+G.+Fahlstrom&ots=E67rhcfk>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [23] Veerman HC. *Preliminary multi-mission UAS design*. 2012. Preuzeto s: <https://www.semanticscholar.org/paper/Preliminary-multi-mission-UAS-design-Veerman/baeaf3fb5158b2a873c8aeece444ac3773ef782d>. [Pristupljeno: Travanj 2024.]
- [24] International Civil Aviation Organization. *Unmanned Aircraft Systems (UAS), Cir 328 AN/190*. Montreal, Canada: ICAO; 2011.
- [25] International Civil Aviation Organization. *Procedures for Air Navigation Services - Air Traffic Management (PANS-ATM, Doc 4444)*. Montreal, Canada: ICAO; 2007.
- [26] Kopardekar P. *Unmanned Aerial System (UAS) Traffic Management (UTM)*. Moffett Field, California: NASA; 2014.
- [27] Federal Aviation Administration. *Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operations (ConOps)*. Washington, DC: FAA; 2020.
- [28] European Union Aviation Safety Agency. *Understanding European Drone Regulations and the Aviation Regulatory System*. 2023. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System>. [Pristupljeno: Kolovoz 2024.]

- [29] European Parliament. *Unmanned Aircraft Systems integration into European airspace*. 2023. Preuzeto s: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL_STU\(2023\)733124_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL_STU(2023)733124_EN.pdf). [Pristupljeno: Svibanj 2024.]
- [30] European Union Aviation Safety Agency. *Drones and air mobility*. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones>. [Pristupljeno: Svibanj 2024.]
- [31] SESAR. *European ATM Master Plan: Roadmap for the Safe Integration of Drones into All Classes of Airspace*. 2023. Preuzeto s: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL_STU\(2023\)733124_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733124/IPOL_STU(2023)733124_EN.pdf). [Pristupljeno: Svibanj 2024.]
- [32] EUROCONTROL. *U-Space Concept of Operations, CORUS, Grant: 763551, Call: 2016 SESAR 2020 RPAS Exploratory Research Call (H2020 – SESAR -2016-1), Topic: SESAR UTM Concept Definition, Consortium*. 2019.
- [33] SESAR Joint Undertaking. *European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace*. 2018. Preuzeto s: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/Eu>. [Pristupljeno: Lipanj 2024.]
- [34] EUROCONTROL. *IFR RPAS Integration into European Airspace*. 2024. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/project/ifr-rpas-integration-european-airspace>. [Pristupljeno: Kolovoz 2024.]
- [35] Schwach TJ, L., M. S., and G. V. *Interaction between ATM and UAS Operators in U-space Operations and Potential Automation Benefits*. Herndon, VA, USA; 2024.
- [36] Escalonilla PJ, D., F., C. B., and T. H. *Drone DCB concept and process*. Brussels, Belgium: SESAR JU; 2021.
- [37] SESAR Joint Undertaking. *Drone DCB concept and process*. Brussels, Belgium; 2021.

[38] Weiland LV. *Implications Between UAV and ATM Systems in Commercial Airspace Incorporation*. 2021. Preuzeto s: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2801&context=publication>.

[Pristupljeno: Lipanj 2024.]

[39] European Union Aviation Safety Agency. *UAS Safety Risk Portfolio and Analysis*. Köln, Germany; 2016.

[40] Federal Aviation Administration. *Budget Estimates Fiscal Year 2022-2025*. Washington, D.C.: FAA; 2022-2025.

[41] Federal Aviation Administration. *National Aviation Research Plan (NARP) FY 2023–2027*. Washington, DC: FAA; 2023.

POPIS KRATICA

UAV	Bespilotna letjelica (Unmanned Aerial Vehicle)
UAS	Sustav bespilotne letjelice (Unmanned Aircraft System)
GCS	Zemaljska kontrolna stanica (Ground Control Station)
AV	Zrakoplov (Air Vehicle)
COTS	Komercijalno dostupni sustavi (Commercial Off The Shelf Systems)
IMU	Jedinica za inercijsko mjerenje (Inertial Measurement Unit)
GPS	Globalni pozicijski sustav (Global Positioning System)
PNT	Pozicioniranje, navigacija i vremensko usklađivanje (Positioning, Navigation, and Timing)
EO/IR	Elektro-optički/infracrveni (Electro-Optical/Infra-Red)
CTR	Kontrolirana zona (Control Zone)
AWY	Zračni put (Airway)
FLix	Točka rute za RNAV navigaciju (Waypoint for RNAV navigation)
VOR	VHF višesmjerni domet (VHF Omnidirectional Range)
NDB	Nedirekcijski radiofar (Non-Directional Beacon)
DME	Oprema za mjerenje udaljenosti (Distance Measuring Equipment)
RNAV	Područna navigacija (Area Navigation)
IFR	Pravila letenja po instrumentima (Instrument Flight Rules)
ATZ	Aerodromska prometna zona (Aerodrome Traffic Zone)
ICAO	Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (International Civil Aviation Organization)
RPA	Daljinski upravljana letjelica (Remotely Piloted Aircraft)
RPAS	Sustav daljinski upravljanih letjelica (Remotely Piloted Aircraft System)
LOS	Vidno polje (Line of Sight)
BLOS	Iznad vidnog polja (Beyond Line of Sight)
MPCS	Stanica za planiranje i kontrolu misija (Mission Planning and Control Station)
TSA	Privremeno izdvojeno područje (Temporary Segregated Area)
TRA	Privremeno rezervirano područje (Temporary Reserved Area)
PAV	Letjelica bez pilota (Pilotless Aerial Vehicle)
ROA	Daljinski upravljana letjelica (Remotely Operated Aircraft)

POPIS SLIKA

Slika 1. Vertikalna podjela zračnog prostora	7
Slika 2. FIR-ovi na području Europe	8
Slika 3 Klasifikacija UAV ovisno o performansama	13
Slika 4. Aktivni i pasivni remote sensing	17
Slika 5. HTOL konfiguracije	20
Slika 6. shematski prikaz trikoptera	22
Slika 7. Prikaz generičkog UAV sustava	24
Slika 8. Jednostavna arhitektura avionike	26
Slika 9. Prikaz senzora koje koriste moderni dronovi	27
Slika 10. Navigacijski uređaji bespilotne letjelice	29
Slika 11. Prikaz LOS i BLOS	30
Slika 12. Prikaz kontrolne prostorije za vojne svrhe	31
Slika 13. Prikaz RPA i daljinski upravljano pilota unutar VLOS-a	34
Slika 14. Prikaz sustava za prepoznavanje i izbjegavanje	36
Slika 15. Sustav za komunikaciju RPA, ATC i stanica za upravljanje	38
Slika 16. Faze integracije bespilotnih letjelica kroz koncept U-space	60

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Prijavljeni slučaji s UAS-om	69
Grafikon 2. Kategorije događaja 2010-2016	69
Grafikon 3. Vrste sigurnosnih incidenata UAS-a.....	70

POPIS TABLICA

Tablica 1. ICAO klasifikacija zračnog prostora	5
Tablica 2. Klasifikacije prema zadanim parametrima.....	14
Tablica 3. Uloge i odgovornosti UAS operatera i pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.....	47
Tablica 4. EASA kategorije operacija UAS prema uredbi (EU) 947/2019.....	52
Tablica 5. Usluge U-space unutar kategorija prema uredbi (EU) 947/2019	54
Tablica 6. Analiza troškova implementacije UAS za razdoblje 2022. - 2025.	73

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

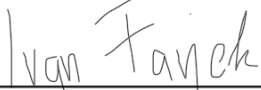
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Analiza koristi bespilotnih letjelica za sustav upravljanja zračnim prometom, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 10. rujna 2024.

Student:

Ivan Fanjek