

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

POSLIJEDIPLOMSKI MAGISTARSKI ZNANSTVENI STUDIJ
TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI SUSTAVI U PROMETU I TRANSPORTU

TOMO BAGARIĆ

**INTEGRACIJA OPERACIJA BESPOSADNIH
ZRAKOPLOVA U KONTROLIRANI ZRAČNI
PROSTOR**

MAGISTARSKI ZNANSTVENI RAD

ZAGREB, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

POSLIJEDIPLOMSKI MAGISTARSKI ZNANSTVENI STUDIJ
TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI SUSTAVI U PROMETU I TRANSPORTU

TOMO BAGARIĆ, dipl. ing.

**INTEGRACIJA OPERACIJA BESPOSADNIH
ZRAKOPLOVA U KONTROLIRANI ZRAČNI
PROSTOR**

MAGISTARSKI ZNANSTVENI RAD

ZAGREB, rujan 2012.

Predgovor

Integracija besposadnih zrakoplova u nacionalni zračni prostor predstavlja sljedeći veliki korak naprijed u evoluciji civilnoga zrakoplovstva.¹

Besposadni zrakoplovi, ili kako se u vojnoj frazeologiji najčešće nazivaju – bespilotne letjelice, u posljednjem su desetljeću zaživjeli značajnu ekspanziju u okružju vojnih operacija, neovisno o tome je li riječ o operacijama taktičkog, operativnog ili strateškog opsega. Trend rasta prisutnosti besposadnih zrakoplova kao elementa sustava vojnoga zapovijedanja i nadzora, usko prati razvoj više aspekata njihove operativne eksploatacije.

Prije svega, razvoj se usmjerava prema unaprjeđenju njihovih taktičkih značajki: radarskoga potpisa, izdržljivosti u letu, operativnih sposobnosti, - koje sve češće podrazumijevaju i sposobnost bojevoga djelovanja, ali i cijeloga niza drugih aspekata njihove integracije u vojni i civilni kontrolirani zračni prostor.

Međutim, evolucija koncepta navedene integracije napreduje ponešto bržim korakom nego što se tome otvara prostor u realnom okružju tehnologije upravljanja zračnim prometom, zatim postojeće zakonske regulative, te statusa tehničko-tehnoloških preduvjeta kako bi besposadni sustavi postali punopravan i legitiman sudionik zračnoga prometa.

Među objektivnim razlozima za takvo stanje, u prvom planu se nalazi činjenica kako se unutar upravljačkoga ciklusa, kad je riječ o besposadnim zrakoplovima, ljudski čimbenik izolirao u posredan odnos prema samom zrakoplovu, dok se najveći dio upravljačkih algoritama derivira iz tehničkih (pod)sustava, neovisno o tome jesu li ti sustavi sastavni dio zrakoplovne platforme ili zemaljske potporne infrastrukture. Složenost i brojnost tih algoritama predstavljaju funkciju autonomnosti (samostalnosti) tih zrakoplova pa je logično da se, u cilju povećanja te autonomnosti, upravljačka infrastruktura te tehnologija eksploatacije besposadnih zrakoplova mora razvijati u odnosu na realnost postojeće tehnologije upravljanja zračnim prometom.

Istovremeno, tehničko-tehnološka paradigma prometne discipline, također mora evoluirati, odnosno prilagoditi se toj novoj realnosti. A realnost integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor - bit će suočena s cijelim nizom društvenih, institucionalnih, tehničkih, tehnoloških izazova (...). U tom kontekstu, najveći ulog predstavlja sigurnost zračnoga prometa, a ovaj, u prvom redu znanstveno-tehnološki aspekt zračnoga prometa, u svojoj suštini ne trpi podbačaje – jer oni mogu rezultirati povećanjem rizika za živote ostalih sudionika u zračnom prometu.

¹ Kelly J. Hayhurst, Jeffrey M. Maddalon, Paul S. Miner, and George N. Szatkowski, Preliminary Considerations for Classifying Hazards of Unmanned Aircraft Systems, Langley Research Center, Hampton, Virginia, NASA, 2007.

Broj besposadnih sustava povećava se gotovo geometrijskom progresijom, kao posljedica cijeloga niza operativno-eksploatacijskih prednosti koje će biti elaborirane u nastavku ovoga rada. Ipak, njihovo korištenje je još uvijek najvećim dijelom prostorno ograničeno na izolirani, nekontrolirani zračni prostor, uglavnom svojstven vojnim operacijama. Međutim, u posljednje vrijeme je sve prisutnija inicijativa da se operativnoj eksploataciji besposadnih zrakoplova, a uglavnom je ovdje riječ o vojnim sredstvima, otvori nesmetan pristup kontroliranom zračnom prostoru, gdje će oni imati istovjetan tretman kao i zrakoplovi s ljudskom posadom. S druge strane, i zračni promet i transport rastu vrlo dinamičnim tempom, te se procjenjuje kako će do 2025. godine njegov opseg narasti od dva i pol do tri puta.

S druge strane, podaci ukazuju na relativno visoku stopu incidencije zrakoplovnih nezgoda u eksploataciji bespilotnih letjelica, u odnosu na konvencionalne zrakoplove s ljudskom posadom. Prema studiji² koju je 2004. godine objavio *Defense Science Boarda*, američkoga ministarstva obrane, postojeća stopa zrakoplovnih nesreća besposadnih zrakoplova iznosi 32 slučaja na 100.000 sati leta. Ova stopa kod zrakoplova s ljudskom posadom iznosi jedan slučaj na 100.000 sati leta, kad je riječ o zrakoplovima koji pripadaju kategoriji generalne avijacije, te 0.01 slučaj na jednak broj sati leta kod većih zrakoplova avio-prijevoznika. Drugim riječima, stopa nesreća je 3.200 puta veća kod besposadnih zrakoplova nego kod zrakoplova koji predstavljaju osnovicu prijevoza putnika i tereta u zračnom prometu.

Ovi podaci ukazuju na činjenicu kako u segmentu sigurnosti operativne eksploatacije besposadnih zrakoplova postoji ogroman prostor za napredak te kako, unatoč značajnom investiranju u razvoj tehničkih sustava i platformi, tehnološki aspekt nije dosegao razinu na kojoj više neće postojati razlozi za segregaciju takvih zrakoplova unutar zračnoga prostora. Ovo je istovremeno i neophodno, jer ako se uvažavaju prethodne pretpostavke o rastu volumena zračnoga prometa, uz dodatni prirast udjela besposadnih zrakoplova kao korisnika kontroliranoga zračnoga prostora, onda proizlazi kako ove odnose mora pratiti i odgovarajuća evolucija u kontekstu tehnologije zračnoga prometa, sa sigurnošću kao osnovnim ciljem svoga napretka.

Cilj ovoga rada je, koristeći širok opus znanstvenih metoda, ostvariti znanstvenu spoznaju o tehnološkim ograničenjima unutar okruženja besposadnih zrakoplova, kako bi se na taj način pokušalo doprinijeti znanstvenoj zajednici u iznalaženju optimalnoga puta u razvoju tehnološke paradigme, i konačno - podizanju sigurnosti zračnoga prometa u kojemu će besposadni zrakoplovi jednoga dana biti punopravan i legitiman sudionik.

² Defence Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles, Washington, SAD, veljača 2004.

I Sadržaj:

II Sažetak	VII
II Abstract	VIII
1. Uvod.....	1
1.1. Problem istraživanja.....	1
1.2. Svrha i ciljevi istraživanja	2
1.3. Ocjena dosadašnjih istraživanja.....	2
1.4. Znanstvena metodologija	3
1.5. Kompozicija rada.....	4
1.6. Očekivani rezultati istraživanja	5
1.7. Očekivani znanstveni doprinos.....	6
1.8. Očekivana primjena rezultata istraživanja.....	6
2. Pojam i definicija besposadnih zrakoplova.....	7
2.1. Terminologija.....	8
2.2. Povijesni razvoj vojnih besposadnih zrakoplova	9
2.3. Status trenutnoga razvoja i globalne prisutnosti besposadnih zrakoplova.....	13
2.4. Kategorije besposadnih zrakoplova prema doletu i profilu leta	15
2.4.1. HALE - Velika visina leta, visoka održivost u zraku.....	16
2.4.2. MALE – Srednja visina leta, visoka održivost u zraku.....	17
2.4.3. MAE – Srednja visina leta i održivost u zraku	18
2.4.4. SR i MR - Kratki i bliski dolet	19
2.4.5. <i>Micro</i> i <i>MINI</i> kategorija.....	19
2.5. Kategorizacija besposadnih zrakoplova prema namjeni	20
2.5.1. Vojne namjene.....	20
2.5.2. Civilne namjene	22
2.5.2.1. Tehnološki inducirane civilne aplikacije (A).....	23
2.5.2.2. Aplikacije koje su inducirane platformom (B)	23
2.5.2.3. Aplikacije koje su inducirane službom ili uslugom (C).....	23
2.6. Ostale kategorizacije besposadnih zrakoplova	25
3. Teorija autonomnosti kao tehnološki parametar eksploatacije besposadnih zrakoplova.....	26
3.1. Pojam autonomnosti besposadnih zrakoplovnih sustava.....	26

3.2. Razine autonomnosti i njihova hijerarhija.....	27
3.3. Aspekti autonomnosti besposadnih zrakoplova	28
3.3.1. Koncept ALFUS.....	29
3.3.2. Potrebna razina autonomnosti.....	31
3.4. Besposadni zrakoplovni sustavi kao inteligentni transportni sustavi	31
3.4.1. Sustavi neizrazite logike (Fuzzy Logic Systems)	32
3.4.2. Primjena neizrazite logike u upravljanju besposadnih zrakoplova	35
3.4.3. Pojednostavljeni simulacijski model upravljanja letom besposadnog zrakoplova na temelju neizrazite logike	37
3.4.3.1. Određivanje greške visine zrakoplova.....	37
3.4.3.2. Određivanje promjene greške visine zrakoplova.....	38
3.4.3.3. Određivanje brzine zrakoplova	39
3.4.3.4. Određivanje utjecaja napadnog kuta	39
3.4.3.5. Otklon kormila dubine	40
3.4.3.6. Snaga motora	41
3.4.3.7. Određivanje pravila za vrednovanje ulaznih veličina	41
3.4.3.8. Simulacija i vizualizacija uspostavljenih članskih funkcija i pravila	42
3.4.3.9. Primjenjivost neizrazite logike u ekspertnim sustavima i razvoju besposadnih zrakoplova	44
4. Postojeći institucionalni okviri.....	45
4.1. Eurocontrol	47
4.2. NATO	48
4.3. European Defence Agency (EDA).....	51
5. Regulatorni okviri za integraciju besposadnih zrakoplova.....	54
5.1. Plovidbenost	55
5.1.1. European Aviation Safety Agency (EASA).....	56
5.1.2. NATO.....	57
5.2. Certificiranje operatera i obuka	59
5.3. Ljudski čimbenik.....	61
5.4. Aerodromi.....	64
5.5. Zemaljske upravljačke stanice	65
5.6. Komunikacije i veze.....	67
6. „Sense and Avoid“ funkcije besposadnih zrakoplovnih sustava	69
6.1. „Sense and Avoid“ sposobnost kao podsustav	70
6.2. Zrakoplovne nesreće i okvir za određivanje sigurnosnih normi za SAA sustave.....	71

6.3. Ekvivalentna razina sigurnosti (ELOS).....	73
6.3.1. Kvantitativna mjerila za određivanje ekvivalentne razine sigurnosti	74
6.3.2. Vjerojatnost sudara u zraku.....	77
6.4. Zahtjevi za SAA sustave i okvir tehnološke eksploatacije prema NATO-u	79
6.4.1. Funkcionalni zahtjevi SAA sustava prema NATO specifikacijama.....	79
7. Integracija besposadnih zrakoplova s aspekta upravljanja zračnim prometom	84
7.1. Specifičnosti operacija besposadnih zrakoplova u ATM okružju.....	85
7.2. Budući sustav upravljanja zračnim prometom.....	86
8. Zaključak	89
III Popis literature	91
Životopis.....	99

II Sažetak

U posljednjem razdoblju sve je prisutniji trend ulaganja unutar aeronautičke industrije u zrakoplove bez ljudske posade, tzv. – besposadne zrakoplove ili sustave. Rastuća kompleksnost takvih zrakoplova te praktičnost sadašnjih i budućih misija za koje su namijenjene diktira potrebu osiguranja dostupnosti širih zračnih koridora, koji su tradicionalno pripadali zrakoplovima s ljudskom posadom i koji se nalaze u nadležnosti službi kontrole leta koje osiguravaju sigurnost odvijanja zračne plovidbe u tom prostoru.

Besposadni zrakoplovi će se nastojati integrirati u kontrolirani zračni prostor, a ta integracija neće biti niti jednostavan niti kratak proces. Postoji značajan broj tehničko-tehnoloških, ali i pravnih aspekata koji se neophodno moraju ispuniti prije nego što besposadni zrakoplovi podijele zračne rute s konvencionalnim zrakoplovima i postanu legitiman i dovoljno siguran sudionik u prometu. Suštinski, svi ti aspekti su uglavnom vezani uz modalitete pomoću kojih će besposadni zrakoplovi nadoknaditi manjak pilota i njegovih vještina i sposobnosti u vođenju zrakoplovne navigacije i odlučivanja u slučaju nastanka izvanrednih situacija. Prvo pitanje na koje treba odgovoriti stoga jest ono vezano uz pojam autonomnosti prihvatljivosti postojeće ili očekivane razine potrebne razine autonomnosti besposadnih zrakoplova da navedene funkcije izvršavaju na siguran način.

Najvažniji element aspekta autonomnosti u tom kontekstu jest njegova funkcija izbjegavanja sudara i održavanja razdvajanja od ostalih zrakoplova u zračnom prostoru. Ključni tehnološki čimbenik u tom smislu predstavljaju tzv. *Sense and Avoid* sustavi pred koje je potrebno postaviti odgovarajuće funkcionalne zahtjeve kako bi se postigla tzv. Ekvivalentna razina sigurnosti. Takve zahtjeve i norme je moguće kvantificirati, a kao polazišna osnova nameće se ekvivalentni broj zrakoplovnih nesreća koje su zabilježene u području generalne avijacije.

Zatim, potrebno je izvršiti analizu postojećih institucionalnih okvira i dostignute razine regulatornoga uređenja kao podloge za integraciju besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor. Pitanja na koja je potrebno odgovoriti u tom smislu, vezana su uz licenciranje plovidbenosti, obuke posada, zemaljskih upravljačkih stanica i dr.

Na kraju, potrebno je i sagledati na koji način će integracija besposadnih zrakoplova biti prihvaćena iz perspektive postojećeg sustava upravljanja zračnim prometom, kako bi se na taj način moglo odgovoriti na pitanje vezano uz daljnje korake u tehnološkom razvoju besposadnih zrakoplova kao inteligentnih transportnih sustava.

II Abstract

During recent period a significant investment has been made within the aeronautical industry into aircraft systems without human crew on-board, the so-called Unmanned Aircraft Systems (UAS). Increasing complexity of those aircraft and the practicality of their present and future missions imposes a need to insure availability of wider airspace corridors. Those that have traditionally belonged to manned aircraft which have flown under the jurisdiction of Air Traffic Control Service in its task of maintaining safety of air traffic within that airspace.

Unmanned aircraft will seek ways to integrate into controlled airspace, a task that will be neither simple, nor short process. There are a significant number of technical and technological aspects, but also legal ones, which need to be addressed before unmanned aircraft begin to share air routes with conventional aircraft and, ultimately, become legitimate and sufficiently safe air traffic participant. Essentially, all these aspects are mostly related to different modalities by which the unmanned aircraft will offset the lack of pilot and its skills of navigating the aircraft and making appropriate decisions in case of emergency. Principal question that needs to be answered is the one related to the term of autonomy of unmanned aircraft; the acceptability of present or anticipated level of unmanned aircraft autonomy level in execution of the aforementioned functions. The most important aspects of the autonomy in that context are its functions of collision avoiding and separation provision with other aircraft within the airspace. Sense and avoid systems will represent the key factor here and appropriate functional requirements need to be put before those systems in order to achieve the so-called equivalent level of safety. It is possible to reasonably quantify all of those requirements and the equivalent number of air accidents in general aviation seems to be the appropriate baseline for that task.

Furthermore, it is needed to perform an analysis of existing institutional framework and achieved level of regulatory coverage as a basis for integration of unmanned aircraft into controlled airspace. Addressed questions will relate to airworthiness licensing, crew and pilot training and licensing, Ground Control Stations licensing and other.

Ultimately, there is a need to review the acceptability of the integration of unmanned aircraft from the Air traffic Management's perspective, in order to answer which further steps need to be taken in technological development of unmanned aircraft as the intelligent traffic systems.

1. Uvod

1.1. Problem istraživanja

Predmet istraživanja ovoga znanstvenog magistarskog rada odnosi se na razinu primjenjivosti tehničko-tehnoloških značajki operativne eksploatacije naprednih besposadnih zrakoplova u suvremenom okružju civilnoga zračnog prometa. Uz pretpostavku kako će besposadni zrakoplovi postati legitimni sudionik zrakoplovnih operacija u okvirima civilnoga zračnog prometa, otvara se prostor u kojemu će postojeća tehnološka paradigma upravljanja zračnim prometom, ali i niz drugih relevantnih tehnoloških okvira, morati dati odgovor na pitanje jesu li dostignute tehničko – tehnološke pretpostavke da se integracija besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor izvrši sigurno, te na način koji neće imati negativne implikacije na tijek zrakoplovnih operacija postojećeg zračnog prometa. Odgovor na to pitanje je iznimno važno za struku, jednako kao i za znanstvenu zajednicu, jer o njemu ovisi primjenjivost postojećih tehnoloških normi u procesu planiranja zračnoga prometa, odnosno, ta spoznaja će signalizirati je li potrebno unaprijediti te iste norme kako bi se mogao planirati zračni promet u kojemu će sudjelovati i besposadni zrakoplovi na tehnološko prihvatljiv i siguran način.

S tim u vezi, istraživanje ovoga rada usmjereno je na cijeli niz aspekata integracije besposadnih zrakoplova u zračni prostor, od regulatornih preko tehničkih pa sve do dogmatskih aspekata koji se odnose na etičku dimenziju izdvajanja čovjeka iz njegove tradicionalne pozicije unutar upravljačke petlje zrakoplova. Ipak, naglasak će biti stavljen na tehnološke aspekte integracije besposadnih zrakoplova jer ti aspekti imaju potencijalno najveći utjecaj na tehnologiju i metodologiju upravljanja zračnim prometom.

Na temelju preliminarnih istraživanja otvoren je prostor za postavljanje niza radnih hipoteza među kojima najvažnije mjesto zauzima ona prema kojoj se tehnološka prilagodba zrakoplovnih operacija naprednih besposadnih zrakoplova u odnosu na postojeće prometno okružje može izvesti kroz aplikaciju postojećih tehnoloških procesa. Pritom je potrebno uvažiti sljedeće argumente:

- Tehničko – tehnološka razina eksploatacije naprednih besposadnih zrakoplova u stanju je zadovoljiti zahtjeve sigurnosti i zaštite zračnoga prometa,
- Razina autonomnosti relevantne klase besposadnih zrakoplova zadovoljava zahtjeve odvijanja procesa zrakoplovnih operacija koji

proizlaze iz činjenice da je upravljačka uloga čovjeka (pilota) dovedena u posredan odnos u odnosu na zrakoplovnu platformu.

- Tehnička prilagodba aerodroma u cilju provedbe aerodromskih operacija besposadnih zrakoplova neće imati negativni utjecaj na redovno odvijanje operacija civilnih zrakoplova s ljudskom posadom niti će imati degradirajući utjecaj na sigurnost tih operacija.

1.2. Svrha i ciljevi istraživanja

Svrha i cilj istraživanja usmjereni su na detektiranje pojedinih elemenata procesa unutar sustava upravljanja zračnim prometom u kojima postoji potreba za tehničko – tehnološkom prilagodbom u odnosu na realnost integracije besposadnih zrakoplova u taj sustav na razini rutinskih zrakoplovnih operacija.

Na temelju sustavne analize postojeće tehnološke razine i tehničkih sposobnosti sustava i podsustava besposadnih zrakoplova, potrebno je odgovoriti na niz pitanja kako bi se ciljevi istraživanja realizirali na aplikativan način. Neka od najvažnijih pitanja su:

- U kojoj se mjeri procedure u operacijama besposadnih zrakoplova razlikuju od procedura zrakoplova s ljudskom posadom u svakom pojedinom segmentu tih operacija?
- U kojoj mjeri su detektirane razlike kritične za odvijanje integriranih operacija, odnosno postoji li potreba prilagođavanja operacija besposadnih zrakoplova kako bi njihova integracija u kontrolirani zračni prostor bila provedena bez teškoća?
- Što je potrebno učiniti, u kontekstu daljnjega razvoja okruženja tehnološke eksploatacije besposadnih zrakoplova, kako bi se mogla provesti puna i sigurna integracija besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor.

1.3. Ocjena dosadašnjih istraživanja

U posljednjih pola desetljeća područje integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor sve više predstavlja predmet istraživanja što akademske zajednice, što aeronautičke struke. Ispravno bi bilo reći kako tehnološka rješenja u tom području ranije sazrijevaju u praksi, nego što

predstavljaju rezultate obuhvatnih znanstvenih istraživanja. Možda je i to razlog što se najveći broj radova na ovu temu generira od strane organizacija kao što su ICAO, EUROCONTROL i NATO.

Dosadašnja istraživanja vezana su uz mnoge pojedinačne aspekte potencijalne podjele zračnoga prostora između besposadnih i zrakoplova s ljudskom posadom. Međutim, rijetka su ona koja holistički promatraju ovu problematiku. Uglavnom je riječ o selektivnom pristupu u istraživanju koji može dati odgovore potrebne za razvoj ili certificiranje određenih podsustava besposadnih zrakoplova, ali ne može poslužiti kao znanstveni temelj struci ili akademskoj zajednici koja u kontekstu planiranja prometa besposadne sustave promatra kao sustave višega reda.

Jedan od takvih primjera sveobuhvatnoga pristupa jest knjiga Konstantinosa Dalamagkidisa, „*On integrating UAS into the National Airspace System*“ koja tretira širi spektar predmetne problematike, no izbjegava dati potpuni odgovor na pitanja vezana uz praktične aspekte upravljanja zračnim prometom, u kontekstu naslova knjige.

U Republici Hrvatskoj ova problematika do sada nije tretirana niti kroz znanstveno istraživački rad, niti kroz praksu.

1.4. Znanstvena metodologija

Problematika istraživanja ovoga magistarskoga rada te deklarirani cilj i svrha istraživanja otvaraju prostor korištenju niza metoda znanstveno-istraživačkoga rada. Pravilni odabir odgovarajuće metodologije pri izradi rada ima odlučujući utjecaj na uspjeh deriviranja njegovih zaključaka te potpore postavljene radne hipoteze. U odnosu na postavljenu hipotezu, cilj i svrhu istraživanja, u znanstvenom magistarskom radu koristit će se sljedeće metode:

- Metoda deskripcije, kojom će se opisati značajke elemenata sustava operativne eksploatacije besposadnih zrakoplova te njihova povezanost sa sustavom višega reda kroz aspekt upravljanja zračnim prometom.
- Metoda kompilacije, kojom će se sustavno predočiti relevantni skupovi podataka o tehničko-tehnološkoj prirodi besposadnih zrakoplovnih sustava te njihovom operativnom okružju.
- Metoda komparacije, kojom će se uspoređivati prethodno sustavno predočeni skupovi podataka, ponajprije u kontekstu regulatorne usuglašenosti i statusa integracije predmeta istraživanja u kontekstu upravljanja zračnim prometom.

- Metoda klasifikacije, koja ima važnu ulogu u potpori definiranja problema istraživanja te određivanju opsega i primjenjivosti rezultata istraživanja.
- Povijesna metoda, na temelju koje se predstavlja vremenski aspekt razvoja besposadnih zrakoplova kao aeronautičkoga fenomena te otvara prostor za izvođenje zaključaka o konzistentnosti trenda tehnološkoga razvoja besposadnih zrakoplova.
- Statistička i analitička metoda, pomoću kojih se iz kvantitativnih skupova podataka izvode zakonitosti vezane uz relevantne tehnološke sustave, ponajprije u kontekstu dostizanja traženih zahtjeva sigurnosti i zaštite zračnoga prometa.
- Metoda teorije sustava, ključna je za završni dio rada, u kojemu se zaključci vezani uz integraciju operacija besposadnih zrakoplova izvode na temelju promatranja sustava upravljanja zračnim prometom kao sustava višega reda.

1.5. Kompozicija rada

Rad je sadržajno koncipiran u osam poglavlja. Prvi, Uvodni dio rada je strukturiran u skladu sa zahtjevima metodologije izrade istraživačkoga rada i on pokriva teme: problem istraživanja s radnom hipotezom, svrhu i ciljeve istraživanja, osvrt na dosadašnja istraživanja, znanstvene metode koje su korištene u pripremi i izradi rada, obrazloženje strukture rada, očekivane rezultate istraživanja, zatim očekivani znanstveni doprinos u polju tehnologije prometa i transporta te primjena rezultata istraživanja.

Drugi dio rada, Pojam i definicija besposadnih zrakoplova određuje terminološki, povijesni i kategorizacijski okvir predmeta istraživanja te postavlja osnovne definicije besposadnih zrakoplova kao sustava višega reda.

U trećem dijelu rada, Teorija autonomnosti kao tehnološki parametar eksploatacije besposadnih zrakoplova, tretira se fenomen autonomnosti besposadnih zrakoplova i njene relevantnosti u kontekstu problematike rada.

U četvrtom dijelu rada, Postojeći institucionalni okviri, daje se prikaz trenutnoga institucionalnog okružja i odgovarajućih napora u području integracije besposadnih zrakoplova u nacionalni zračni prostor.

U petom dijelu, Regulatorni okviri za integraciju besposadnih zrakoplova, raščlanjuju se elementi operativnoga okružja i sustava besposadnih zrakoplova

koji zahtijevaju regulatorno uređivanje kao pretpostavku njihove certifikacije u suvremenom zračnom prometu.

Šesti dio rada, „Sense and Avoid“ funkcije besposadnih zrakoplova,“ ciljano detaljizira funkcije sustava za autonomno izbjegavanje sudara u zraku te sustavno predočava postojeće tehničko-tehnološko okruženje u tom kontekstu. Te funkcije imaju poseban značaj jer, sukladno zaključcima ovoga rada, one predstavljaju kritičan aspekt konačne integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni promet.

Sedmi dio rada, Integracija besposadnih zrakoplova s aspekta upravljanja zračnim prometom, raščlanjuje predmet istraživanja iz pozicije mikro i makro upravljanja zračnim prometom, na razini dnevnih operacija.

U osmom dijelu, sintetiziraju se rezultati istraživanja i donose zaključci i prijedlozi za potrebne korake za ostvarivanje tehnoloških pretpostavki za uspješnu integraciju naprednih besposadnih zrakoplova, s aspekta planiranja i upravljanja zračnim prometom.

1.6. Očekivani rezultati istraživanja

U skladu s opsegom i sadržajem postavljenih radnih hipoteza, te deklariranim ciljevima i svrhom istraživanja, očekivani rezultati istraživanja su sljedeći:

- Identifikacija kritičnih elemenata tehnološkoga okruženja zrakoplovnih operacija u kojima sudjeluju besposadni zrakoplovi,
- Utvrđivanje postojećeg statusa u razvoju relevantnih aspekata letenja besposadnih zrakoplova s pozicije sigurnosti zračnog prometa,
- Sistematizacija i valorizacija postojećih regulativnih okvira,
- Koncipiranje okvirnoga modela integracije besposadnih zrakoplova u okruženje civilnoga prometa, u Republici Hrvatskoj i na globalnoj razini.

1.7. Očekivani znanstveni doprinos

Očekivani znanstveni doprinos magistarskoga rada očekuje se ponajprije kroz znanstveno-metodološko unapređenje teorijskoga postuliranja i definiranja tehnološkoga okružja operacija besposadnih zrakoplova te proširenje postojećih mehanizama upravljanja i planiranja zračnog prometa. Unapređenje tih mehanizama se derivira kroz nekoliko aspekata tehnologije prometa i transporta i to kao:

- Određivanje tehnoloških kriterija za modeliranje operativnoga okružja upravljanja zračnim prometom.
- Kvantificiranje tehnoloških zakonitosti i operativnih značajki besposadnih zrakoplova kao ulaznih veličina u procesu planiranja zračnoga prometa.
- Definiranje i klasifikacija značajki sustava kao potpora unapređenju regulatornog i pravnog okružja letenja besposadnih zrakoplova te certificiranju besposadnih zrakoplovnih sustava i posada.

1.8. Očekivana primjena rezultata istraživanja

Rezultati istraživanja primjenjivi su u procesu izrade strategije razvoja zračnoga prometa, zatim kao ulazni podatci u procesu planiranja zračnoga prometa te za proširivanje spoznaja o sustavima upravljanja sigurnošću letenja. Također, pojedini zaključci i rezultati mogu se izravno primijeniti u budućim izmjenama i dopunama postojeće zakonske i podzakonske regulative iz područja istraživanja ovoga rada.

2. Pojam i definicija besposadnih zrakoplova

Besposadni zrakoplovi definiraju se kao zrakoplovne platforme na kojima nema ljudske posade, a zrakoplovom upravlja pilot sa zemlje putem radijske veze, ili računalo koje se nalazi na samom zrakoplovu. Ovo je ujedno i najjednostavnija definicija besposadnih zrakoplova. U realnosti, definiranje besposadnoga zrakoplova je kompleksnije, i ono mora uvažiti cijeli niz značajki svakog pojedinog tipa, a pored toga i činjenicu kako je besposadni zrakoplov samo podsustav sustava višeg reda, što nije toliko izražena značajka konvencionalnih zrakoplova s ljudskom posadom. Ipak, definicija koja daje široku sliku pojma besposadnih zrakoplova, a ne trpi od previše detaljnoga raščlanjivanja njihovih značajki, u svojoj publikaciji postavlja NATO R&T organizacija (RTO)³ i ona glasi:

Besposadni zrakoplovi su motorne letjelice bez ljudske posade i ponovno upotrebljive, koje mogu biti upravljane na daljinu, polu-autonomne i autonomne, ili mogu predstavljati kombinaciju prethodnih značajki, te mogu nositi različite vrste tereta, što ih čini sposobnim provoditi specifične zadaće unutar zemljine atmosfere, u trajanju koje je u odnosu s vrstom zadaće.

Kako bi pojam besposadnih zrakoplova bio do krajnosti jasan, nužno je pojasniti elemente tehničko-tehnološkoga sustava u kojima oni čine samo jedan dio. Ukratko, eksploatacija besposadnih zrakoplova nije moguća bez:

- Kontrolne stanice u kojoj se nalazi operator, uključujući i sučelje između operatora, stanice i ostalih podsustava,
- Zrakoplovne platforme, sa i bez tereta u funkciji njene misije,
- Komunikacijskoga sustava pomoću kojega operator odašilje upravljačke naredbe prema zrakoplovu i pomoću kojega kontrolna stanica prima povratni signal s podacima koje generira oprema i teret tog zrakoplova (najčešće je riječ o radijskoj vezi),
- Potporne opreme koja može služiti održavanju ili transportu opreme.

Besposadni zrakoplov je konstruiran na istim tehničkim principima kao i konvencionalni zrakoplov, uvažavajući iste zakonitosti aerodinamike i mehanike leta. Razlika se odnosi na činjenicu kako je upravljačko sučelje na samom zrakoplovu zamijenjeno inteligentnim elektroničkim sustavom. Razina inteligencije upravljačkoga sustava predstavlja funkciju autonomnosti besposadnoga zrakoplova. Ona se nalazi u neposrednom odnosu s

³ NATO Research and Technology Organization, compilation of edited proceedings of the „Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications,“ course, April 2000.

kompleksnošću okruženja i profila misije za koju je zrakoplov dizajniran. Besposadni zrakoplovi, u širem kontekstu ovoga rada, predstavljaju inteligentne transportne sustave, a upravljački sklopovi na njima – ekspertne sustave.⁴

2.1. Terminologija

Formalna frazeologija vezana uz zrakoplove bez ljudske posade još uvijek nije jasno i/ili univerzalno definirana. Naziv koji se tijekom razvoja tih zrakoplova najčešće koristio, posebno u stranim stručnim publikacijama, bio je **Unmanned Aerial Vehicle (UAV)**, što bi u neposrednom prijevodu značilo – zračno vozilo bez posade. Struktura ovoga termina nije slučajna jer su zrakoplovi bez ljudske posade u početku svoga razvoja bili tek dio širega tehnološkog koncepta besposadnih vozila, među kojima su se istovremeno razvijala i zemaljska te podvodna vozila.

Jedan od učestalih termina koji se susreće u stručnoj literaturi je i **Remotely Piloted Aircraft (RPA)** te istovremeno i **Remotely Piloted Aircraft System**. Ovdje nije riječ o alternativnom terminu već se radi o pokušaju distinkcije između besposadnih zrakoplova kod kojih pilot, ili DUO⁵, u svakom trenutku ima upravljačku kontrolu nad zrakoplovom, te drugih besposadnih sustava kod kojih se zrakoplov u određenim ili svim segmentima leta ponaša potpuno autonomno. Zapravo, može se reći kako RPA predstavlja podgrupu besposadnih zrakoplova.

U Republici Hrvatskoj najčešće se koristio izraz **bespilotna letjelica (BL)**, odnosno, kad je bila riječ o vojnim namjenskim letjelicama, i izraz **izvidnička bespilotna letjelica (IBL)**. Ovaj naziv se ne čini optimalno terminološko rješenje iz više razloga; prije svega, takvim letjelicama upravlja pilot, koji se ne nalazi na samoj platformi, već na zemlji. Ipak, interakcija između pilota i letjelice u smislu davanja ulaznih vrijednosti za aerodinamičke upravljačke površine te izlaznu snagu motora i potisak – postoji te se ne može govoriti o nepostojanju pilota u upravljačkoj petlji. S druge strane, termin letjelica je više kolokvijalan nego stručan način, koji je nastao najvjerojatnije kao pokušaj diferencijacije platformi bez ljudske posade od konvencionalnih platformi s posadom ili – zrakoplova. Termin zrakoplov nije određen postojanjem posade na samoj platformi te predstavlja širok okvir u odnosu na način ostvarivanja uzgona i pogonsku skupinu platforme, što istovremeno u

⁴ O tome više u poglavlju 3.4.

⁵ DUO, Designated UAV Operator

potpunosti odgovara i tehničko-tehnološkoj prirodi zrakoplova bez ljudske posade.

Prvu formaliziranu definiciju susrećemo u izmjenama i dopunama Zakona o zračnom prometu,⁶ gdje se u stavku 2a članka 2 definira **bespilotni zrakoplov**, kao **zrakoplov namijenjen izvođenju operacija bez pilota u zrakoplovu**. U istome članku Zakona, u stavku 76a, definira se i **Sustav bespilotnog zrakoplova** kao **bespilotni zrakoplov s pripadajućim uređajima**.

Tijekom posljednjih godina, ponajprije uvažavajući nedostatke dotad korištene terminologije, postepeno se usvojila i nova terminološka praksa. U tom smislu, najvažniju ulogu imale su regulatorne institucije kao što su ICAO, FAA, Eurocontrol, NATO i druge, te je po tom pitanju ovdje vidljiv određeni konsenzus između struke i akademske zajednice. Umjesto termina *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), prihvaćen je termin **Unmanned Aircraft (UA)**, odnosno **Unmanned Aircraft System (UAS)**. Pod pojmom prihvaćanja podrazumijeva se korištenje takvoga izraza u stručnim publikacijama navedenih institucija. Značaj novoga termina reflektira se i u činjenici što se sada besposadni zrakoplov precizno smatra zrakoplovom pa na taj način podilazi pod obvezu reguliranja kriterija za certifikaciju, kao npr. plovibnosti⁷, na isti način koji vrijedi za konvencionalne zrakoplove.

Najbliži hrvatski prijevod termina *Unmanned Aircraft* bio bi „**besposadni zrakoplov**“ te je dojam kako takav termin u potpunosti zadovoljava kriterije struke i akademije u kontekstu usvojene tehničke frazeologije. Navedeni izraz će se koristiti u nastavku ovoga rada. Kad je riječ o širom tehnološkom kontekstu, gdje su primjenjivi principi teorije sustava, koristit će se izraz **besposadni zrakoplovni sustav**.

2.2. Povijesni razvoj vojnih besposadnih zrakoplova

Od samih početaka ratnih sukoba u ljudskoj povijesti, ratni zapovjednici osjećali su potrebu da spoznaju veličinu, snagu i raspored neprijatelja s kojim se moraju suočiti i prije nego što do samog sukoba dođe. Kako bi došli do takvih spoznaja, služili su se raznim jednostavnim, ali dostatno učinkovitim metodama. Najčešće su slali vojnike na uzvisine ili gradili tornjeve, s kojih bi ovi golim okom promatrali događaje na bojišnici.

⁶ Zakon o zračnom prometu, *Narodne novine*, broj 69/09 i 84/11.

⁷ Airworthiness (eng.)

Nekoliko stoljeća kasnije, na nebu su se pojavili prvi zrakoplovi lakši od zraka, te je ovaj događaj omogućio da i izvidničko zrakoplovstvo zabilježi svoje prve korake. Izviđanje iz balona obilježilo je ponajviše I. svjetski rat, a provodilo se na način da se izvidnika naoružanoga optičkim pomagalicama, padobranom i opremom za uzbunjivanje, pomoću užeta podigne balonom ispunjenim helijem na visinu od nekoliko stotina metara u neposrednoj blizini crte razdvajanja zaraćenih strana. Zadaća izvidnika bila je pratiti kretanje neprijateljskih postrojbi, broj i opremljenost neprijatelja, dovlačenje novih snaga i sredstava, te sve ostalo što bi moglo pružiti dostatnu obavještajnu potporu ratnim stratezima. Padobran je služio za brzo napuštanje balona u slučaju nailaska neprijateljskog zrakoplovstva, koje u pravilu ne bi propustilo prigodu da ih obori⁸.



Slika 1. Britanski izvidnički balon iz 1. Svjetskoga rata

Izvor: <http://digital.nls.uk/first-world-war-official-photographs>

U to vrijeme, opisane metode su bile učinkovite u dovoljnoj mjeri, jer tadašnja doktrina ratovanja nije predviđala dostatno brz razmještaj postrojbi koji bi omogućio veća iznenađenja. S vremenom je i obavještajno prikupljanje podataka o neprijatelju dobilo na važnosti i postalo jedan od najvažnijih elemenata potpore u vojnom odlučivanju i kreiranju strategija te doktrina ratovanja, neovisno o tome je li taj neprijatelj bio stvaran ili potencijalan. Imajući u vidu da se s vremenom razvijala i vještina ratovanja, složenost ratnih operacija i pokretljivost ratnih postrojbi i tehnike, razumljivo je da su izvidničke postrojbe morale slijediti, te čak i biti ispred mogućnosti neprijatelja, kako bi se

⁸ Tomo Bagarić, *Bespilotne letjelice - od izvidničkog sredstva do borbenog zrakoplova strateške važnosti*, Hrvatski vojnik, broj 94, travanj 2003. Zagreb.

ostvarila i održala vojna premoć. Izvidničko zrakoplovstvo uvijek je nastojalo pratiti ove zahtjeve, a i samo je predstavljalo najučinkovitiji i najfleksibilniji sustav za izviđanje. Podatak dobiven izviđanjem iz zraka predstavljao je najpouzdaniji i najneposredniji izvor obavještajnih informacija. Imajući to u vidu, posve je razumljivo što su se zadaće izviđanja iz zraka smatrale punopravnim borbenim zadaćama te su posjedovale visoku razinu prioriteta pri planiranju zračnih operacija.

Zrakoplovne platforme kojima se izviđalo iz zraka nisu uvijek bile svojom namjenom i konstrukcijom usko specijalizirane za ovaj tip zadaća. U počecima borbenoga zrakoplovstva, piloti su vizualno izviđali teren dok su letjeli na planiranim borbenim zadaćama u potpuno naoružanim avionima. Drugi svjetski rat ponudio je namjenske izvidničke avione opremljene raznim optičkim sustavima i kamerama. Ipak, ti avioni su još uvijek predstavljali samo prilagođene inačice lovačkih, jurišnih ili transportnih aviona koji su se u to vrijeme rabili. Američki izvidnički avion tipa U-2, koji nerijetko nosi i pridjev "špijunski", pravi je predstavnik jedne specijalizirane zrakoplovne platforme, koja se u upotrebi zadržala i do danas. Naravno, takvi avioni koji posjeduju tzv. "strategijski dolet", lete na visinama većim od 20.000 metara i posjeduju iznimno skupe sustave za izviđanje, nisu optimalno rješenje za svaku vojnu silu. Mnogi će se zadovoljiti i jednostavnijim rješenjima među kojima je najpopularnije bilo osnovati izvidničku eskadrilu. Takva eskadrila bi se opremila određenim brojem konvencionalnih, najčešće jurišnih aviona na koje su se ugrađivali podvjesni spremnici sa sustavima za izviđanje. Po potrebi, ovi avioni su mogli odraditi i jurišne zadaće ili iste kombinirati s izvidničkim, a njihov dolet je odgovarao potrebama koje su bile uvjetovane područjem interesa.

Iako je učinkovitost opisanih platformi u taktičkom smislu neupitna, istodobno se nameće jedan važan problem s kojim su planeri zračnih operacija moraju računati; Izvidnički zrakoplovi su izloženi stalnom i visokom riziku od obaranja. S obzirom na to kako su zadaće obavještajnoga prikupljanja neprekidan proces, oni ne lete samo u ratnim već i u mirnodopskim uvjetima. Pored toga, sustavi za izviđanje koji se ugrađuju na zrakoplov uzeli su mjesto sustavima naoružanja i samozaštite pa su posljedično takvi zrakoplovi i ranjiviji ako se otkriju. Gubitak posade i zrakoplova u slučaju neuspjeha misije u stanju je nanijeti golemu štetu bojnoj spremnosti i, ništa manje važno - moralu neke vojne sile. Zbog svega toga, s vremenom su se razvijale namjenske vrlo određene, a konstrukcijski vrlo jednostavne inačice zrakoplova bez ljudske posade. Ti zrakoplovi dobili su i svoj univerzalni naziv - besposadni zrakoplovi.

Kad je riječ o počecima vojnih besposadnih zrakoplova, oni su svoje pionirske dane zabilježili u Vijetnamskom ratu, a njihova prvenstvena namjena je bila aero-foto izviđanje iza neprijateljskih položaja. Njihove najvažnije prednosti u odnosu na zrakoplove s ljudskom posadom, a koje su uvjetovale

njihovu kasniju implementaciju u borbeni arsenal vojnih sila, bile su nepostojanje rizika za gubitak pilota, smanjena mogućnost obaranja zbog malih dimenzija zrakoplova, te isplativost uporabe u smislu odnosa cijene pojedine letjelice i broja letova prije mogućeg (vjerojatnog) obaranja. Putanje leta ovih letjelica bile su unaprijed programirane i obilježavala ih je vrlo niska razina autonomnosti. Sustavi koji su se rabili za izviđanje uglavnom su podrazumijevali aero-foto kamere visoke razlučivosti, a snimke bi se razvijale nakon prizemljenja zrakoplova.

U prvim desetljećima upotrebe besposadnih zrakoplova, tehnologija izrade optičkih sustava nije bilježila bitan napredak, a tadašnji su bili karakteristični po velikoj masi koja je bila jedan od kritičnih izazova u konstruiranju besposadnih zrakoplova, koji su morali, pored ostalih zahtjeva, posjedovati što manje dimenzije. Neovisno o tome na koji način su ti zrakoplovi bili navođeni na cilj, iznimno je zahtjevna zadaća bila locirati ga u relativno kratkom vremenu leta, a ukoliko se u tome i uspije, atmosferske prilike znatno su utjecale na kvalitetu podataka dobivenih na ovaj način. Konvencionalni zrakoplovi su u većini slučajeva zadržali primat zbog veće količine tereta koji su mogli ponijeti i šireg dijapazona zadaća koje su na taj način mogli provoditi. Osim aero-foto izviđanja, konvencionalni zrakoplovi s ljudskom posadom su imali i mogućnost elektroničkoga izviđanja te nošenja dodatnoga naoružanja za djelovanje po slučajnim i vremenski kritičnim ciljevima. Zbog svega ovoga, besposadni zrakoplovi su dugo imali status tek pričuvnoga izvidničkog sredstva, čija upotreba bi bila opravdana samo u slučaju iznimno visokoga rizika od obaranja (najčešće izviđanje na taktičkoj razini) ili zbog druge specifičnosti zadaće.



Slika 2. Američki besposadni zrakoplov AQM-34, korišten u Vijetnamskome ratu

Izvor: <http://usafhpa.org>

Ipak, u posljednja dva desetljeća besposadni zrakoplovi bilježe izniman napredak. Razlog za to leži u činjenici kako je tehnologija izrade izvidničkih sustava i računalna, odnosno procesorska snaga dostigle potrebnu razinu i omogućila razvoj besposadnih zrakoplova koji će moći ujediniti zahtjeve za dostatno kvalitetnim izviđanjem s jedne, i visok stupanj autonomnosti s druge strane. Što to zapravo znači? Razvoj digitalne tehnologije omogućio je ugrađivanje foto i video-uređaja visoke razlučivosti, a relativno male težine. Vrijeme potrebno kako bi se dobio snimak načinjen digitalnom tehnologijom bitno je kraće nego što je potrebno za razvijanje klasičnoga filma, a omogućuje i prijenos u realnom vremenu. Bitno je istaknuti da digitalna fotografija ili *videostream* još ne posjeduju razlučivost foto-osjetljivog filma (bar ne u operativnoj uporabi), ali mogućnost prijenosa video ili foto zapisa u realnom vremenu, ključna je za ostvarivanje mrežne povezanosti između korisnika obavještajne potpore. Ovo predstavlja preduvjet za smanjivanje vremena reakcije, što je opet jedan od osnovnih zahtjeva suvremene doktrine ratovanja. Oni manji zrakoplovi koje pripadaju u kategoriju taktičkoga, odnosno kratkoga i bliskoga doleta danas su u stanju ponijeti veliku količinu opreme i pored toga ostati dugo u zraku.

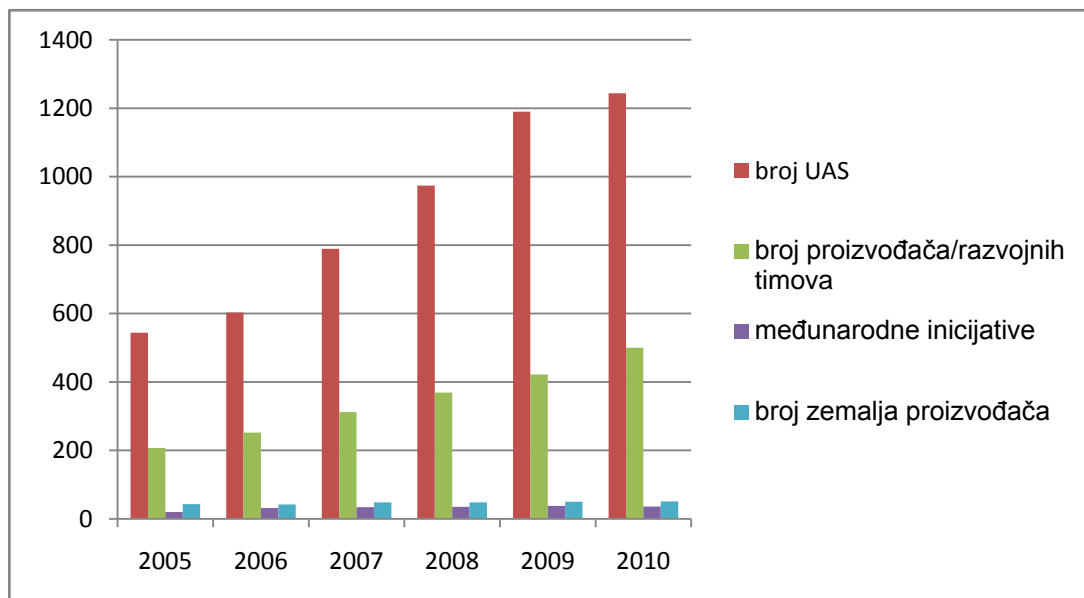
Ovaj trend koji podrazumijeva smanjenje dimenzija i težine sustava, te njihova optimizacija i implementacija na platforme ovog tipa, nastavlja se te je pitanje vremena kada će se potpuno eliminirati potreba za većim i snažnijim konvencionalnim avionima kao što je ranije spomenuti U-2. Iako je sposobnost ovoga aviona da ponese teret veći od 2 tone u odnosu na 860 kg tereta, koliko nosi najveća bespilotna letjelica danas, RQ-4 *Global Hawk*, odlučujuća da 35 komada tih aviona još ostane u operativnoj uporabi, izgledno je kako će u bliskoj budućnosti *Global Hawk* preuzeti gotovo sve zadaće izviđanja iz zraka na strateškoj razini.

2.3. Status trenutnoga razvoja i globalne prisutnosti besposadnih zrakoplova

Razvoj besposadnih zrakoplovnih sustava predstavlja najprogressivniji segment globalnoga zrakoplovstva. Ne bez razloga, mnogi predstavnici industrije, zrakoplovnih vlasti i regulatornih agencija, ali i znanstvene zajednice, slažu se u tome kako koncept besposadnoga zrakoplova koji dijeli zračni prostor s drugim civilnim zrakoplovima predstavlja revolucionarni korak i značajan pomak u evoluciji zrakoplovstva. Kao što je vidljivo iz grafikona 1, samo u posljednjih pola desetljeća broj besposadnih zrakoplova se gotovo

udvostručio, a vidljiv je u istom razdoblju i prirast zemalja, globalnih proizvođača te inicijativa koji su usmjerili svoje razvojne kapacitete u ovaj segment zrakoplovne industrije. Određene pretpostavke kazuju kako će se ulaganje u predmetni segment industrije, tijekom sljedećega desetljeća gotovo utrostručiti.⁹ Zbog svojih jedinstvenih taktičko-tehničkih svojstava, velika većina modernih svjetskih obrambenih sustava se u jednom dijelu taktičkih sposobnosti oslanja na besposadne zrakoplovne sustave.

U ovome trenutku, većina besposadnih zrakoplova predstavlja vojnu opremu ili eksperimentalne koncepte, dok su njihove operacije ograničene na izdvojeni zračni prostor (*Segregated Airspace*). Prema podacima godišnjega zbornika *UAS International*, 8. izdanje (2010. – 2011.) u svijetu se proizvodi 1245 različitih tipova besposadnih zrakoplova svih kategorija i namjena, u ukupno 51 zemlji. Od ukupnoga broja, Republika Hrvatska sudjeluje s dva besposadna zrakoplova kratkoga doleta koje razvija tvrtka SOKO Z.I.



Slika 3. Prirast broja besposadnih zrakoplova u razdoblju između 2005. i 2010.

Izvor: UAS, Unmanned Aircraft Systems, The Global Perspective, 2010/2011.

⁹ Konstantinos Dalamagkidis, On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System, 2008.

2.4. Kategorije besposadnih zrakoplova prema doletu i profilu leta

Osnovne kategorije besposadnih zrakoplova su pojašnjene u nastavku. Ipak, nužno je naglasiti kako trenutno ne postoje standardi oko kategorizacije besposadnih zrakoplova, a postojeća kategorizacija je izvedena na temelju arbitrarne podjele na temelju njihovih operativnih sposobnosti i/ili dimenzija. Jednu od detaljnijih postavlja NATO *Research & Technology Organization* (RTO) i ona se odnosi na klasifikaciju koja uvažava dolet zrakoplova, radnu visinu leta i maksimalno trajanje leta. Pritom, dolet zrakoplova se odnosi na radijus u kojemu postoji kontinuirana komunikacijska veza pomoću koje se u potpunosti upravlja zrakoplovom (linija pogleda – *Line of Sight* i/ili SAT/COM komunikacija). Kategorizacija prema RTO-u je vidljiva u tablici 1. Pored toga, besposadne zrakoplove je moguće podijeliti i na temelju njihova letnog profila, odnosno potiska i načina na koji se ostvaruje uzgon.

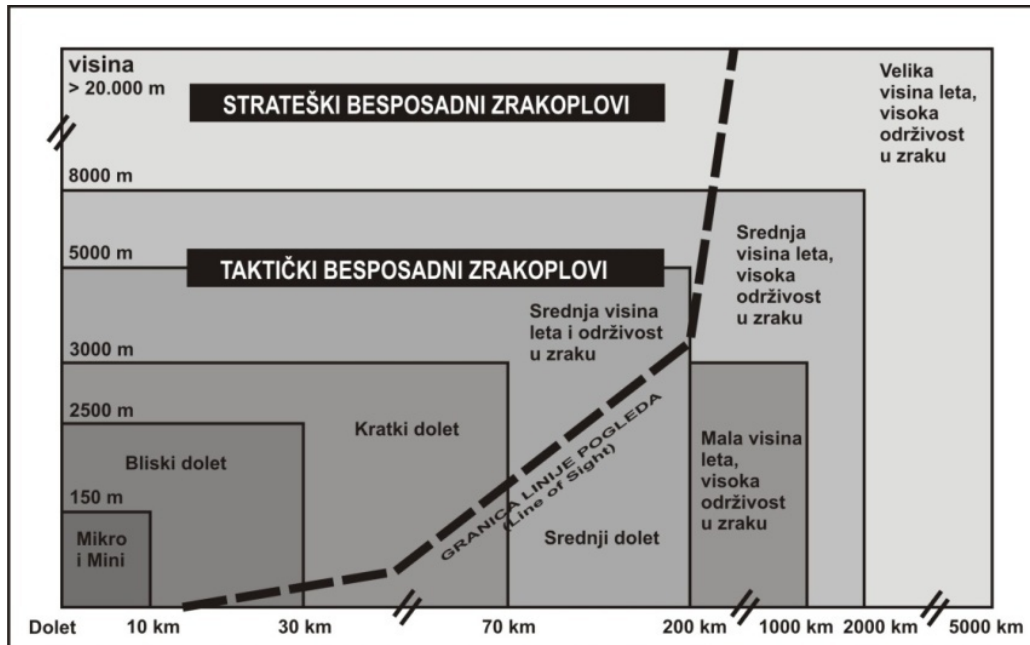
Tablica 1: Klasifikacija besposadnih zrakoplova prema NATO RTO-u.

Kategorije besposadnih zrakoplova				
Kategorija:	Međ. skraćenica:	Dolet (km):	Visina leta (m):	Letna izdržljivost (h):
Taktički dolet				
Micro	μ	<10	250	1
Mini	MINI	<10	350	<2
Close Range	CR	10 - 30	3.000	2 - 4
Short Range	SR	30 - 70	3.000	3 - 6
Medium Range	MR	70 - 200	3/5.000	6 - 10
MR Endurance	MRE	>500	5 - 8.000	10 - 18
Low altitude deep penetration	LADP	>250	50 - 9.000	0.5 - 1
Low alt. endurance	LAE	>500	3.000	>24
Medium altitude long endurance	MALE	>500	5 - 8.000	24 - 48
Strateški dolet				
High altitude long endurance	HALE	>1000	15 - 20.000	24 - 48
Uninhabited combat aerial vehicle	UCAV	+/- 400	<20.000	+/- 2
Specijalne zadaće				
Ofenzivne besposadne letjelice	LETH	300	3 - 4.000	3 - 4
Mamci (decoys)	DEC	0 - 500	50 - 5.000	<= 4

Izvor: NATO Research and Technology Organization

Međusobni odnos operativnih raspona osnovnih kategorija moguće je predočiti grafički te je taj odnos vidljiv na slici 4. Na slici je naznačen i odnos prostora u kojemu je komunikacijska veza s pojedinim kategorijama izvedena dominantno putem radijske veze, i onoga u kojemu se ta komunikacija dominantno oslanja na satelitsku vezu. Prostor je razgraničen linijom pogleda (*Line of Sight*), na koju u realnosti mogu utjecati optička svojstva radio valova,

kao i orografija terena. Podjela prema načinu ostvarivanja upravljačke veze, u velikoj se mjeri poklapa s podjelom između kategorija taktičkog i strateškog doleta.



Slika 4. Kategorizacija besposadnih zrakoplova prema doletu i visini

Izvor: Podaci iz tablice 1.

U svrhu definiranja pojedinih kategorija besposadnih zrakoplova, moguće ih je sustavno predočiti kroz nekoliko osnovnih grupa prema taktičkim značajkama i to su: 1) **High Altitude Long Endurance (HALE)** – Velika visina leta, visoka održivost u zraku, 2) **Medium Altitude Long Endurance (MALE)** – Srednja visina leta, visoka održivost u zraku, 3) **Medium Range Endurance (MRE)** – Srednji dolet i održivost u zraku, 4) **Short Range (SR)** – Kratki dolet, 5) **Close Range (CR)** – Bliski dolet, 6) **Micro i Mini (μ, MINI)** – Mikro i minijaturni dolet.

2.4.1. HALE - Velika visina leta, visoka održivost u zraku

Besposadni zrakoplovi koji pripadaju kategoriji HALE odražavaju visoke operativne sposobnosti; lete na visinama od 15.000 do 20.000 metara te mogu ostati u zraku preko 24 sata. Ovakve letjelice su gotovo isključivo u vlasništvu ratnih zrakoplovstava i sve češće nose određeni ubojni teret koje im omogućuju provedbu vojnih zadataka unutar strateškoga (globalnog) radijusa djelovanja. Komunikacijska veza se ostvaruje i preko satelitske veze (SAT/COM) pa im je

operativni dolet u tom kontekstu neograničen. Koriste se uglavnom za zadaće izviđanja i motrenja iz zraka. Najpoznatiji, i ujedno najnapredniji zrakoplov ove kategorije je američki RQ-4A/B (*Northrop Grumman*), raspona krila preko 35 metara¹⁰.

Zrakoplovi kategorije HALE imaju snažnu interakciju s drugim sudionicima zračnoga prometa u kontroliranom zračnom prostoru i bit će posebno razmatrani u okviru ovoga rada.



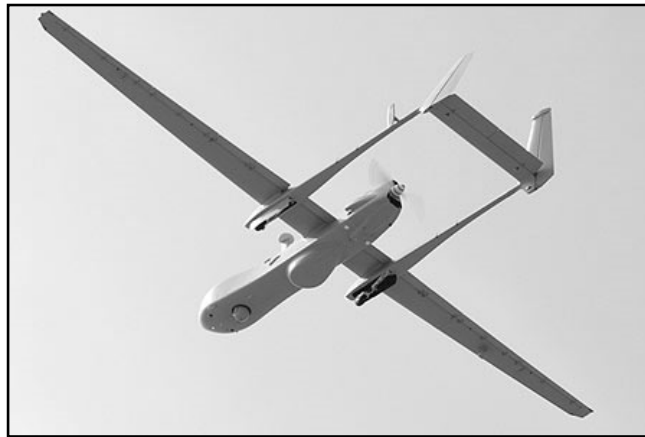
Slika 5. Besposadni zrakoplov HALE kategorije, Global Hawk, RQ-4A/B

Izvor: www.airforce-technology.com

2.4.2. MALE – Srednja visina leta, visoka održivost u zraku

Besposadni zrakoplovi koji pripadaju kategoriji MALE imaju vrlo dinamičan raspon operativnih sposobnosti i lete na visinama od 5 do 8.000 metara, dok u zraku mogu ostati jednako kao i zrakoplovi kategorije HALE, odnosno preko 24 sata. Ova kategorija je ujedno i najkompleksnija u kontekstu operativne upotrebe, u nju se najviše ulaže te je ujedno i najinteresantnija za korisnike. Naime, iako ovi zrakoplovi ne provode tzv. strateške zadaće, njihov operativni dolet koji premašuje 500 km - za veliku većinu zemalja korisnika takvih letjelica zapravo predstavlja strateško sredstvo. S druge strane, zbog raspona radnih visina leta, karakteristični profil leta zrakoplova kategorije MALE, u velikoj se mjeri poklapa s letnim profilom konvencionalnih turbo-elisnih zrakoplova te zrakoplova generalne avijacije, i to u onom dijelu zračnoga prostora gdje je upravljanje zračnim prometom najsadržajnije i posljedično najkompleksnije (prijelazne visine i nivoi leta, zone čekanja, terminalne manevarske zone...).

¹⁰ Izvor: www.airforce-technology.com



Slika 6. Besposadni zrakoplov MALE kategorije, Eagle (EADS)

Izvor: www.flightglobal.com

2.4.3. MAE – Srednja visina leta i održivost u zraku

Ova kategorija se jednako odnosi na besposadne zrakoplove koji lete na srednjim visinama i imaju relativno kratak dolet od 70 km, i na zrakoplove koje lete na istim visinama ali imaju visoku održivost u zraku te uz određene preuvjete (SAT/COM komunikacijska veza), mogu se koristiti u radijusu do 1000 km, izvan tzv. *Line of Sight* područja. Ove letjelice su u pravilu manje i jednostavnije od onih koji pripadaju HALE ili MALE kategorijama, u oružanim snagama imaju široku primjenu, a koriste se podjednako u zrakoplovstvu, mornarici i kopненоj vojsci. Uglavnom je riječ o zadaćama izviđanja, motrenja iz zraka i obavještajnoga prikupljanja.



Slika 7. Besposadni zrakoplov srednjeg doleta s vertikalnim polijetanjem, Bell TR918 Eagle Eye

Izvor: www.flightglobal.com

2.4.4. SR i MR - Kratki i bliski dolet

Zrakoplovi SR i MR kategorija se gotovo isključivo oslanjaju na radijsku vezu kao upravljački komunikacijski kanal između samoga zrakoplova i kontrolne stanice, odnosno operatera. Dolet ovih zrakoplova ne prelazi 30 km u kategoriji bliskoga radijusa, odnosno 70 do 100 km u kategoriji kratkoga radijusa operativnog djelovanja. Podjednako se koriste u svim granama oružanih snaga, najčešće u zadaćama izviđanja i obavještajnoga prikupljanja, a sve češće se pojavljuju i u civilnim inačicama pa ukupno gledajući zrakoplovi ove kategorije pokrivaju najširi dijapazon zadaća. Neke od civilnih zadaća uključuju nadzor sigurnosti aerodromskih zona, protupožarni nadzor, nadzor energetske postrojenja i visokonaponskih dalekovoda, zaprašivanje usjeva i dr.

Također, zrakoplovi ovih kategorija po svojoj operativnoj namjeni rijetko zalaze u kontrolirani zračni prostor, a najčešće se zadržavaju u zoni slobodnoga letenja (G sloj), ili u posebnim, razdvojenim zonama rezerviranim za vojno letenje.

2.4.5. *Micro* i MINI kategorija

Ovoj kategoriji pripadaju, uvjetno govoreći – minijaturni zrakoplovi čija ukupna masa u pravilu ne prelazi 20 kg. Prema Austinu¹¹ *Micro* kategorijom se nazivaju oni zrakoplovi čiji raspon krila ne prelazi 150 mm. Skupina autora¹² u okviru RTO-ove studije definira mikro kategoriju kao letjelice čiji se Reynoldsov broj kreće u rasponu od 10^4 do 10^5 , na temelju relevantnih skala po dužini (tipično je riječ o dužini osi aero-profila krila) i brzini (tipična brzina leta), što je moguće prevesti u raspon ukupnih dimenzija takvih letjelica između 10 i 30 cm (...).

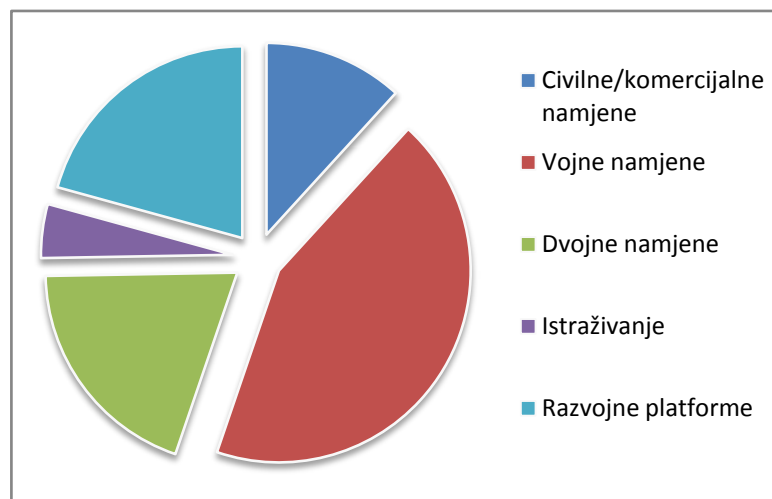
Zrakoplovi *Micro* i MINI kategorije posjeduju zanemarljivu interakciju s tehnologijom zračnoga prometa, suštinski ne podliježu potrebi kontrole, nadzora i navođenja unutar kontroliranog zračnog prostora pa neće biti dalje razmatrani u okviru ovoga rada.

¹¹ Austin, Reg: Unmanned Aircraft Systems, UAVS design, development and deployment, 2010, John Wiley and sons Ltd

¹² Grupa autora, Unsteady Aerodynamics for Micro Air Vehicles, Final Report of Task Group AVT-149, Research and Technology Organisation, NATO, BP 25, F-92201 Neuilly-sur-Seine Cedex, Francuska, 2010.

2.5. Kategorizacija besposadnih zrakoplova prema namjeni

Desetljećima su besposadni zrakoplovi imali uglavnom vojnu namjenu, najčešće u području taktičkog i strateškog izviđanja iz zraka. Do sredine prošloga desetljeća više od 90% svih ulaganja u razvoj besposadnih sustava direktna su posljedica državnih ulaganja za vlastite potrebe u okviru vojnih i obrambenih programa modernizacije¹³. Međutim, iako je tržište vojnih aplikacija tih sustava kontinuirano raslo, te je danas doseglo brojku od preko 630 različitih modela zrakoplova, koji se nalaze u inventaru preko 40 država, tržište civilnih aplikacija nije pratilo taj korak. Ponajprije je to posljedica regulatornih i pravnih okolnosti koje su još uvijek naklonjene isključivo vojnim zrakoplovima koji lete pod posebnim uvjetima. Na slici 8 vidljivi su međusobni omjeri ukupnih besposadnih sustava u upotrebi u odnosu na njihovu namjenu.



Slika 8. Međusobni omjeri ukupnih besposadnih sustava u upotrebi u odnosu na namjenu

Izvor: UAS, Unmanned Aircraft Systems, The Global Perspective, 2010/2011.

2.5.1. Vojne namjene

Trenutno, vojne namjene besposadnih zrakoplova se svode na četiri osnovne potkategorije:

¹³ The Joint JAA/EUROCONTROL Initiative on UAVs: UAV TASK Force Final report, A concept for European regulations for unamnned Aerial vehicles, 2004.

- Izviđanje,
- Nadzor,
- Označavanje ciljeva,
- Borbene zadaće (upotreba naoružanja)

Zadaće izviđanja i motrenja iz zraka (nadzora) predstavljaju veliku većinu osnovnih namjena besposadnih zrakoplova koji se nalaze u vojnim inventarima. Takve zadaće su toliko bile dominantne tijekom dosadašnjega razdoblja, da su besposadni zrakoplovi u mnogim zemljama bili nazivani – izvidničke bespilotne letjelice. Vremenom, zbog iskazanih taktičkih prednosti takvih zrakoplova, a ponajprije je riječ o njihovoj sposobnosti da budu bliže vojnom protivniku bez postojanja ugroze za vojnika koji njima upravlja, razvile su se i razne neposredne jurišne aplikacije. Isprva su senzorske platforme služile pronalaženju i označavanju ciljeva na zemlji, te pasivno navođenje vatre na te iste ciljeve, a razvojem tehnologije omogućeno je da se na takve zrakoplove postavi i naoružanje za neposredno i autonomno napadanje ciljeva na zemlji i u zraku. Jedan od primjera takvih zrakoplova je američka besposadna letjelica tipa *General Atomics MQ-1 Predator*, naoružana navođenim protuoklopnim projektilima *AGM-114 Hellfire*.



Slika 9. Besposadni zrakoplov kategorije UCAV u zajedničkom razvojnom programu američke agencije DARPA te američkog zrakoplovstva i mornarice

Izvor: www.airforce-technology.com

Isključivo borbeni besposadni zrakoplovi, koji se u pravilu označavaju skraćenicom UCAV (*Unmanned/Uninhabited Combat Aerial Vehicle*) još uvijek se ne nalaze u operativnoj upotrebi, ali dinamika njihova razvoja daje naslutiti kako će u budućnosti zrakoplovi te kategorije imati vrlo bitnu ulogu u planiranju vojnih zrakoplovnih operacija. Iako njihove zadaće još uvijek nisu precizno definirane, na temelju taktičkih specifičnosti može se sa sigurnošću pretpostaviti kako će se ponajprije koristiti u zadaćama napada na protivnički PZO (SEAD –

Suppression of Enemy Air Defences) te napadi na utvrđene ciljeve duboko u protivničkom zaleđu.

Tablica 2: Prikaz sadašnjih i mogućih budućih vojnih namjena besposadnih zrakoplova

Vojne zadaće besposadnih zrakoplova
sadašnje: <ul style="list-style-type: none">• izviđanje• nadzor, motrenje iz zraka• pronalaženje ciljeva• leteći mamci
buduće: <ul style="list-style-type: none">• pronalaženje mina iz zraka• navođenje vatre topništva• procjena borbenog učinka• komunikacije• relej za zapovijedanje i nadzor• digitalno mapiranje terena• elektronička borba• izviđanje rute leta• RBK izviđanje• psihološko ratovanje• ometanje radara• obavještajno prikupljanje kroz nadzor i obradu signala (SIGINT)• označavanje ciljeva• ofenzivne zadaće:

Izvor: NATO Research and Technology Organization

2.5.2. Civilne namjene

Za značajniji upliv civilnih besposadnih zrakoplova na tržište, a posljedično i u operativnu upotrebu, JAA i EUROCONTROL procjenjuju kako će se ono događati unutar tri okvira ili kategorije aplikacija, od kojih će svaka pojedinačno inducirati specifičan odziv tržišta¹⁴. Riječ je o **a) Aplikacijama koje su tehnološki inducirane, b) Aplikacijama koje su inducirane samom platformom te c) Aplikacijama koje su inducirane službom ili uslugom.**

¹⁴ The Joint JAA/EUROCONTROL Initiative on UAVs: UAV TASK Force Final report, A concept for European regulations for unmanned Aerial vehicles, 2004.

2.5.2.1. Tehnološki inducirane civilne aplikacije (A)

Razvoj civilnih besposadnih zrakoplova bit će u određenoj mjeri induciran tehnološkim napretkom višenamjenske opreme koja se trenutno ponajviše koristi u vojne namjene. Riječ je o optičkim sensorima za nadzor terena iz zraka na manjim platformama te radarski nadzor i relejna komunikacija na većim platformama. Razvoj tehnologije u kontekstu minijaturizacije, poboljšanja performansi i smanjenja energetske zahtjeva u velikoj mjeri će voditi razvoj civilnih aplikacija.

2.5.2.2. Aplikacije koje su inducirane platformom (B)

Aplikacije će u određenoj mjeri biti inducirane postojećim vojnim platformama i pripadajućom opremom kojoj će se pronaći ekvivalentna civilna namjena. Riječ je uglavnom o zrakoplovima MALE (MAE) kategorije koje u ovome kontekstu mogu provoditi nadzor gospodarske i energetske infrastrukture ili sl. Ovdje će veliku ulogu imati namjenska industrija te vladine organizacije kao glavni korisnici takvih usluga.

2.5.2.3. Aplikacije koje su inducirane službom ili uslugom (C)

Telekomunikacijski servisi i službe koje se koriste satelitima u nižim orbitama bit će zainteresirani za nove elemente infrastrukture koji su jeftiniji, lakše se moderniziraju i prilagođavaju realnosti tehničke eksploatacije. Posljedično, industrija će tržištu ponuditi odgovarajuće aplikacije.

2.6. Ostale kategorizacije besposadnih zrakoplova

Besposadne zrakoplove je, osim po doletu i karakterističnom profilu leta te namjeni, moguće podijeliti i na druge kategorije, i to uvažavajući:

a) **tip konstrukcije**, prema kojemu se zrakoplovi mogu dalje podijeliti na **zrakoplove s fiksnim krilima** i klasičnim profilom polijetanja/slijetanja te na **zrakoplove s rotirajućim krilima** s vertikalnim polijetanjem/slijetanjem.

b) **njihovu masu**, prema kojoj zrakoplove dijelimo na one **teže od zraka** i one koji su **lakši od zraka** (baloni).

c) **pogonske skupine**, koje mogu biti **klipni motori**, **turbo-elisni**, **turbo-vratilni** i **turbo-mlazni motori**, te **elektro-motori** (napajanje putem solarnih panela ili gorivih ćelija).

Podjela prema tim kriterijima je vidljiva i u tablici 3.

Tablica 3: Kategorije besposadnih zrakoplova u odnosu na tip konstrukcije i pogonsku skupinu

UAS categories	Airframe types				Optionally piloted	Propulsion						
	Rotary Wing	Fixed Wing	Others	Lighter-than-air		AVGas	Piston Diesel	Piston Turbo	Jet-Turbine	Electric/Solar	Others	
Tactical												
Nano	■		■D,E							■		
Micro	■	■	■D,E			■				■	■M	
Mini	■	■	■D,K	■		■				■		
Close Range	■	■	■D,F,K	■		■				■		
Short Range	■	■	■G,K	■	■	■					■	
Medium range	■	■	■H,T		■	■	■Y		■			
Medium Range Endurance	■	■			■	■	■Y		■			
Low Altitude Deep Penetration		■				■			■			
Low Altitude Long Endurance		■				■					■Hy	
Medium Altitude Long Endurance	■	■				■	■	■	■		■Hy	
Strategic												
High Altitude Long Endurance		■		■	■	■			■	■	■Hy	
Special Purpose												
Unmanned Combat Aerial Vehicle	■	■							■			
Offensive		■				■						
Decoy	■	■				■			■			
Stratospheric		■		■								
Exo-stratospheric		■										
Space	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	TBD	
D = Shrouded Fan H = Rotor Wing TBD = To Be Decided E = Flapping Wing K = Motorised Parafoil Y = Desired			F = Gyroplane M = Chemical Muscle Hy = Hydrogen G = Tilt Rotor T = Tilt Body									

Izvor: 2010-2011 UAS Yearbook – UAS: The Global Perspective – 8. izdanje

3. Teorija autonomnosti kao tehnološki parametar eksploatacije besposadnih zrakoplova

3.1. Pojam autonomnosti besposadnih zrakoplovnih sustava

Dinamika integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor, između ostaloga, ovisit će o razini njihove autonomnosti. Autonomnost nekog sustava uopće, označava njegovu sposobnost da samostalno upravlja fazama tehnološkog procesa u kojemu sudjeluje, bez vanjskog utjecaja.

U kontekstu materije ovoga rada, a posebno su ovdje jasne implikacije na sigurnost zračnoga prometa, autonomnost besposadnoga zrakoplova označavat će njegova sposobnost da predviđa, prepoznaje i podređuje se događajima koji se pojavljuju u kontroliranom zračnom prostoru, te da u realnom vremenu generira upravljačke naredbe s ciljem izvršenja unaprijed programirane misije i izbjegavanja situacija koje mogu ugroziti sigurnost ostalih sudionika zračnog prometa, ali i sam besposadni zrakoplov.

Prema Huangu,¹⁵ Autonomnost je vlastita sposobnost nekog besposadnog sustava da koristi integrirano osjećanje, percipiranje, analiziranje, komuniciranje, planiranje, donošenje odluka i djelovanje u cilju postizanja rezultata kako ih je postavio ljudski operator (ili operatori) kroz posebno dizajnirano sučelje robot – čovjek (*HRI, Human – Robot Interface*).

Cilj postizanja prihvatljive razine autonomnosti nije odvajanje ljudskoga čimbenika iz upravljačke petlje besposadnoga sustava, već omogućavanje odgovarajuće reakcije u trenutku kada se odnos između operatera i zrakoplova izgubi, odnosno kada je zbog specifičnosti misije ljudski utjecaj redundantan.

Recentna tehnička dostignuća, vezana uz razvoj autonomnosti besposadnih zrakoplova, idu u tom smjeru da upravljački sustav na zrakoplovnoj platformi bude sposoban koristiti kompleksne i napredne situacijske algoritme (umjetna inteligencija) kako bi donosio najprihvatljivije odluke, radije nego da se ponašanje tih sustava temelji na jednostavnim, automatskim logičkim sklopovima.

¹⁵ Huang, Hui-Min, *Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) Framework: Safety and Application Issues*, National Institute of Standards and Technology, SAD, 2007.

3.2. Razine autonomnosti i njihova hijerarhija

Svi besposadni zrakoplovi nemaju istu razinu autonomnosti pa posljedično i ne mogu u istoj mjeri sudjelovati u zračnom prometu. U pravilu, razina autonomnosti, kao neposredna funkcija kompleksnosti upravljačkih sustava na samoj platformi, raste s kategorijom kojoj zrakoplov pripada. Može se stoga pojednostavljeno reći kako besposadni zrakoplovi kategorije HALE i MALE posjeduju višu razinu autonomnosti od onih kategorije MR, SR, CR i manjih. U realnosti, razina autonomnosti će ovisiti o razini kompleksnosti karakterističnoga profila misija za koju su zrakoplovi namijenjeni.

Pitanje koje se postavlja i koje je u neposrednoj vezi s radnom hipotezom ovoga rada jest: koja je razina autonomnosti potrebna i prihvatljiva za besposadne zrakoplove? Kako bi se odgovorilo na ovo pitanje, ono se mora razlučiti u tri aspekta¹⁶:

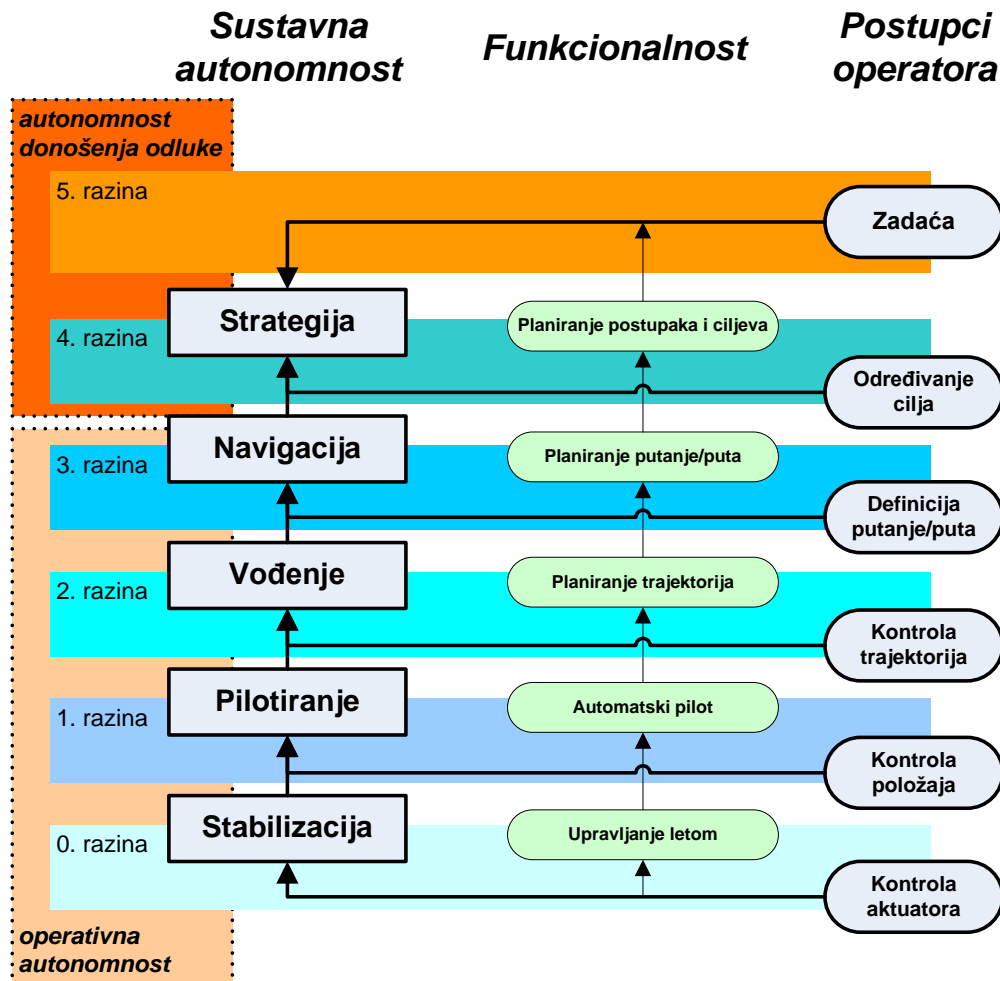
- 1) Koje funkcionalne sposobnosti besposadnih zrakoplova trebaju biti autonomne, uvažavajući specifične zadaće koje taj sustav treba izvršiti?
- 2) Koja razina autonomnosti je potrebna za te funkcionalne sposobnosti?
- 3) Koja je prihvatljiva ravnoteža između upravljačkoga ponašanja koji nadgleda čovjek i onoga koji je autonoman?

Funkcionalne sposobnosti, s druge strane, predstavljaju raznorodan niz u kojima postoje različiti prioriteti kad je riječ o ponašanju besposadnih zrakoplova u kontroliranom, civilnom zračnom prometu, odnosno kad je riječ o taktičkim manevrima tih zrakoplova u vojnim operacijama. S tim u vezi, u prvom slučaju visoka autonomnost zrakoplova će se očitavati u njegovoj sposobnosti da samostalno održava horizontalnu, lateralnu i vertikalnu separaciju od ostalih sudionika zračnoga prometa, a u drugom slučaju, da sudjeluje u kompleksnim združenim vojnim operacijama i da, u posebnim slučajevima, sam odlučuje o tome hoće li upotrijebiti naoružanje protiv nekog cilja na zemlji ili u zraku.

U svakom slučaju, svi besposadni zrakoplovi neće imati istu razinu autonomnosti, koja će se prije svega očitovati kroz spektrum dostignutih funkcionalnih sposobnosti. Na temelju tih kriterija, moguće je odrediti hijerarhijski ustroj funkcionalnih razina sposobnosti, odnosno segmenata eksploatacije u kojima besposadni sustav može biti potpuno autonoman. Takav ustroj je prikazan na slici 12, gdje je po istom načelu prikazan i međusobni

¹⁶ Grupa autora, UAV Autonomy – Which level is desirable? – Which level is acceptable?, Alenia Aeronautica Viewpoint, 2007.

odnos sustavnih segmenata autonomnosti te pripadajućega sklopa upravljačkih postupaka operatora.



Slika 12. Hijerarhija razina autonomnosti

Izvor: NATO RTO, UAV: From Autonomous Navigation to Multi Platform Cooperation

3.3. Aspekti autonomnosti besposadnih zrakoplova

Kako bi se jasnije postavile odrednice razina autonomnosti besposadnih zrakoplova, nužno je ranije definirati okružje u kojemu će određene funkcionalnosti, a posljedično i autonomni upravljački sklopovi koji ih kontroliraju, imati veći prioritet nad ostalim funkcionalnostima, ali unutar kompletnog i integralnog upravljačkoga ciklusa. S tim u vezi, moguće je te prioritete kvantificirati i uobličiti u matricu koja će predstavljati prosječnu razinu

autonomnosti nekoga besposadnog sustava, a istovremeno i osnovnu smjernicu u njihovu razvoju.

3.3.1. Koncept ALFUS

Jedan od odgovarajućih alata u pokušaju određivanja karakterističnoga spoja integralnih funkcionalnosti besposadnih sustava (ne samo zrakoplovnih) te prihvatljive razine autonomnosti s kojom će čimbenik rizika u izvršenju svake pojedinačne funkcionalnosti biti sveden na minimum – predstavlja koncept ALFUS,¹⁷ zamišljen kao pomoćni mehanizam za smanjenje proizvodnih troškova u razvoju naprednih besposadnih sustava.

Koncept ALFUS razlučuje operativno okružje u tri različita aspekta¹⁸: ovisnost o ljudskom čimbeniku – *Human Independence* (HI), složenost misije u kojoj zrakoplov sudjeluje – *Mission Complexity* (MC) te složenost okružja ili okoliša – *Environment Complexity* (EC). Svaki od ova tri aspekta postavlja nezavisan zahtjev pred svaku pojedinačnu funkcionalnost sustava. Dobivena rezultanta predstavlja razinu potrebne autonomnosti pri kojoj će svaka funkcionalnost odgovoriti na zahtjeve operativnog okružja uz minimum rizika. Grafički se ovi aspekti mogu prikazati kao na slici 13.



Slika 13. Aspekti koncepta ALFUS

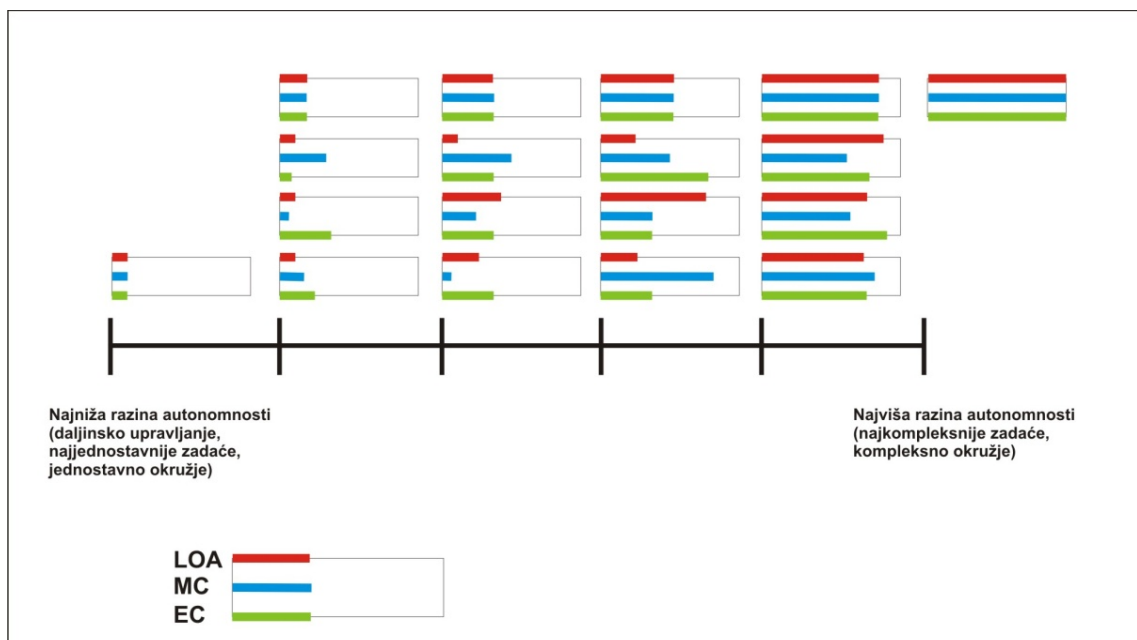
Izvor: podaci iz teksta

¹⁷ ALFUS – Autonomy Levels for Unmanned Systems

¹⁸ Hui-Min Huang, Autonomy Levels for Unmanned Systems, Framework: Terminology, Version 1.1., National Institute of Standards and Technology, SAD, 2004.

Aspekt ovisnosti o čovjeku istovremeno predstavlja i projekciju razine autonomnosti besposadnoga zrakoplova (*Level of Autonomy* - LOA). Složenost misije se odnosi na brojnost i složenost svakog elementa profila leta, a značajne razlike proizlaze iz različitih priroda civilnih i vojnih zadaća. Održavanje separacije od drugih sudionika u zračnom prometu jedan je od bitnih elemenata koji će se pobliže istražiti u ovom radu. Složenost okružja proizlazi iz prisustva svih pojava i okolnosti koje su vezane uz stanje atmosfere, temperaturu, karakteristike terena, radarsku i radijsku vidljivost, doba dana i godine i dr., a koje imaju mjerljiv utjecaj na planiranje profila misija.

U odnosu na integralni sklop funkcionalnosti na svakom besposadnom sustavu, moguće je odrediti njegovu **kontekstualnu autonomnu sposobnost**,¹⁹ (*Contextual Autonomous Capability* – CAC) koja je karakterizirana zadaćama koje je besposadni sustav u stanju izvršavati, okruženjem u kojem će te zadaće provoditi te dozvoljenom razinom utjecaja operatera u upravljačkom ciklusu. Svaki od navedena tri aspekta može se detaljnije razlučiti u sklop matrica na temelju kojih će se specificirati, analizirati, testirati i mjeriti kontekstualna autonomna sposobnost svakog pojedinačnog besposadnog zrakoplova. Ukupni postignuti rezultat u sve tri osi (LOA – utjecaj čovjeka, MC – složenost misije i EC – složenost okružja) još se naziva CAC index. Na slici 14 prikazani su pojednostavljeni CAC modeli u kojima najniži rezultati odgovaraju zrakoplovima najniže razine autonomnosti, i obrnuto.



Slika 14. Ilustrativne kombinacije CAC modela

Izvor: National Institute of Standards and Technology, SAD

¹⁹ Hui-Min Huang, *Autonomy Levels for Unmanned Systems, Framework: Safety and Application Issues*, National Institute of Standards and Technology, SAD, 2007.

3.3.2. Potrebna razina autonomnosti

Određene studije²⁰ su pokušale dati odgovor na pitanje koja razina autonomnosti je zaista potrebna kako bi besposadni zrakoplov mogao izvršavati zadaće za koje je dizajniran. Stoga, ukupnu autonomnost je potrebno razlučiti u više funkcionalnih segmenata, odnosno više konceptualnih razina ovisnosti određene platforme o čovjeku, a u odnosu na upravljačke zadaće. U tom smislu, prva razina se odnosi na kontrolu sustava tzv. unutarnje petlje, odnosno na kontrolu položaja zrakoplova u odnosu na sve tri osi. Ovdje je dovoljna rudimentarna upravljačka petlja i autonomnost zrakoplova je gotovo potpuna. Druga razina se odnosi na upravljanje sustavima tzv. vanjske petlje, odnosno kontrola trajektorija zrakoplova. U tom slučaju, ljudski utjecaj će biti veći i autonomnost zrakoplova će u odgovarajućem omjeru biti kompenzirana. Najviša, treća razina se odnosi na upravljanje misijom, gdje će autonomnost zrakoplova biti najmanja, a utjecaj čovjeka – najveći.

Pritom, na međusobnu distribuciju navedenih razina utjecaj će imati i tip misija, odnosno omjer razina sposobnosti zrakoplovnih sustava i razine neizvjesnosti misije. Ondje gdje je neizvjesnost najveća, bit će potrebno više autonomnosti, dok će manje autonomnosti biti potrebno kod misija gdje su operativne okolnosti izvjesnije. Primjer takvih besposadnih sustava su krstareći projektili i istraživačke sonde koji slijede predvidive uzorke upravljanja, a istovremeno su izrazito neovisni o vanjskim utjecajima.

3.4. Besposadni zrakoplovni sustavi kao inteligentni transportni sustavi

Već je pojašnjeno kako se autonomnost besposadnoga sustava može predstaviti kao svojevrsna projekcija razine umjetne inteligencije koju takav sustav koristi u svom radu. Svaki umjetni sustav je inteligentan ako u rješavanju spoznajnih zadataka postiže iste rezultate kao i čovjek.²¹ Besposadni zrakoplovi su, uvažavajući navedene odrednice – sastavni elementi inteligentnih transportnih sustava (ITS) i u sljedećim poglavljima će se pobliže odrediti njihove perspektive i položaj u danom kontekstu suvremenoga prometa.

²⁰ J.T. Platts et al., A human-Centric design process for highly autonomous Unmanned Air Systems, NATO RTO, 2008.

²¹ H. Gold: Transportna logistika i inteligentni transportni sustavi, Presentacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

Prema hrvatskoj Udruzi ITS Croatia, inteligentne transportne sustave možemo definirati kao upravljačku i informacijsko-komunikacijsku nadogradnju klasičnoga prometnog i transportno-logističkog sustava s bitnim poboljšanjima za mrežne operatore, davatelje usluga, korisnike i društvo u cjelini. Temeljno razumijevanje kibernetike te ovladavanje metodama i alatima sustavskog inženjerstva nužno je za definiranje, razvoj i implementaciju ITS-a.²² S tim u vezi, nužno je naglasiti kako se besposadni zrakoplovi kvalificiraju kao inteligentni transportni sustavi u slučaju kada se promatraju kao funkcionalni elementi širega sustava, te kada posjeduju odgovarajuću razinu umjetne inteligencije da se uspješno, i u realnom vremenu, prilagođavaju zakonitostima prometnoga sustava u kojemu se nalaze.

U razvoju ITS-a moguće je primijeniti cijeli niz aplikativnih znanja iz područja umjetne inteligencije, no u nastavku ćemo skrenuti pozornost na jedno specifično područje koje se temelji na metodama približnog računanja (umjetne neuronske mreže, genetski algoritmi, neizrazita logika, neuro-neizrazito upravljanje...). Ove metode su izuzetno prihvatljive u dizajnu upravljačke kontrole besposadnih zrakoplova, te su vidljivi jasni naponi da se upravo na takvim linearnim upravljačkim algoritmima (pod pojmom linearnih algoritama podrazumijevaju se oni kod kojih su izlazne vrijednosti direktno proporcionalne ulaznim) baziraju istraživanja u tom kontekstu. Konkretnije, značajan broj istraživanja ide u smjeru razvoja tzv. hibridnih sustava umjetne inteligencije (neuro-neizrazita kontrola), gdje se neuralne mreže promatraju kao tehnički sustav za imitaciju učenja pilotovih vještina upravljanja, a neizrazita logika u kontroli manevarskih površina, odnosno dinamičkog upravljanja letom, ili rada pogonske skupine zrakoplova. Sustav neizrazite logike je favorizirani sustav umjetne inteligencije za automatsko upravljanje jer izbjegava kompleksne nelinearne jednadžbe (u pravilu kompleksne diferencijalne jednadžbe) i u stanju je koristiti najbolje dostupno iskustvo pilota izraženo u obliku pravila zaključivanja.²³

3.4.1. Sustavi neizrazite logike (Fuzzy Logic Systems)

Upravljački sustav koji funkcionira na temelju neizrazite logike predstavlja matematičko-logički sustav kod kojega vrijednosti sudova prikazanih logičkim varijablama poprimaju realne vrijednosti u intervalu realnih brojeva od uključivo 0 do uključivo 1. Suprotno tome u klasičnoj, izrazitoj logici sudova logičke

²² Udruga Inteligentni transportni sustavi Croatia, internet portal, <http://www.its-croatia.hr>

²³ Bickraj, K. et al.: Fuzzy logic based integrated controller for unmanned aerial vehicles, Florida conference on recent advances in robotics, Miami, SAD, 2006.

varijable (sudovi) poprimaju vrijednosti laž ili istina (*false* ili *true*) što se može iskazati diskretnim i to binarnim vrijednostima 0 ili 1.

Neizrazita logika se široko koristi u upravljačkim sklopovima raznih strojeva i uređaja. Pojam neizrazitost se ne odnosi na eventualnu nedorečenost logike, već se odnosi na činjenicu kako se korištena logika odnosi na koncepte ili sudove koji se ne mogu izraziti kao „točni“ ili „netočni“, već kao djelomično točni. U praksi je to povezano s netočnošću ili nepreciznošću raspoloživih podataka, npr. kod upravljanja sustava. Iako postoje i drugi algoritmi i sustavi umjetne inteligencije, kao što su neuralne mreže, koji mogu funkcionirati u mnogim slučajevima jednako „neizrazito“ kao i sustavi neizrazite logike, prednost potonjih se ogleda u tome što njihova rješenja mogu biti predstavljena na način razumljiv čovjeku, što opet omogućava da se iskustvo čovjeka, operatera može koristiti u dizajniranju upravljačkih sklopova koji rade na principu neizrazite logike. Zbog toga je lakše mehanizirati zadaće koje već uspješno izvršava čovjek.²⁴

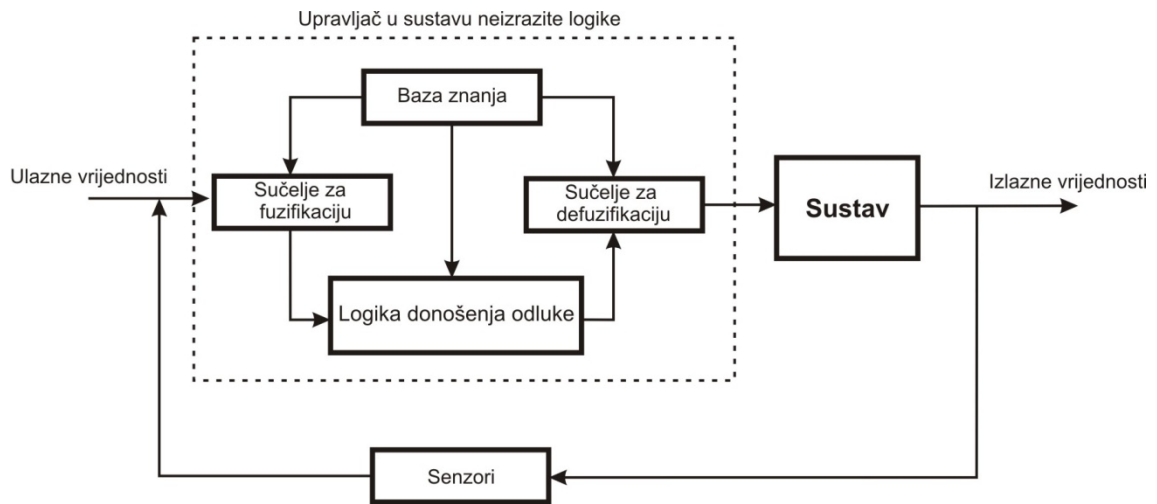
Odnos odluka i posljedičnih akcija upravljačke kontrole besposadnih zrakoplova i ljudskih reakcija, vještina i sposobnosti donošenja odluke predstavlja kritični element definiranja autonomnosti besposadnih zrakoplova. Već je nekoliko puta implicitno naglašeno kako će autonomnost takvog zrakoplova zadovoljiti sigurnosne zahtjeve operacija onoga trenutka kada će odluke i akcije koje će biti posljedica umjetne inteligencije, maksimalno imitirati one koje donosi pilot zrakoplova. Pored očigledne prednosti da takve akcije ujedno predstavljaju i svojevrsnu projekciju najboljih iskustava i znanja u vođenju zrakoplovnih operacija, prednost se ogleda i u činjenici da na taj način njihovo ponašanje postaje predvidljivo za ostale sudionike u prometu, ali i za sustav upravljanja zračnim prometom u cjelini. Odabir neizrazite logike u dizajnu sustava umjetne inteligencije za upravljanje besposadnim zrakoplovom se stoga nameće kao logičan, s obzirom na to da je prikaz znanja odnosno iskustva moguće izraziti sudovima iskazanim u obliku pravila ako/onda (*if/then*). To znanje se unutar sustava neizrazite logike u pravilu konvertira u izlazne vrijednosti kroz tri faze: „fuzifikacija“, zatim postupak neizrazitog zaključivanja, u kojemu će se ulazne vrijednosti vrednovati u odnosu na set pravila ako/onda, te „defuzifikacija“.²⁵

Proces fuzifikacije predstavlja postupak pridruživanja realnih vrijednosti ulaznih varijabli odgovarajućem skupu realnih vrijednosti u intervalu od 0 do 1, a na temelju pripadnosti ulazne vrijednosti nizu odgovarajućih funkcija, tzv. funkcija pripadnosti. Funkcija pripadnosti predstavlja odnos i grafički prikaz distribucije razine istinitosti pojedinih ulaznih vrijednosti. Zatim nastupa proces

²⁴ Wikipedia: Fuzzy Control System

²⁵ Sabo, Ch., Cohen, K.: Fuzzy logic unmanned air vehicle motion planning, University of Cincinnati, SAD

donošenja odluke (*inferencing*) na temelju ako/onda logike u skladu s nizom pravila koja su određena upravo na iskustvenom znanju. Na kraju, u procesu defuzifikacije, vrijednosti takvih odluka, dobivene postupkom neizrazitog zaključivanja, se preobražavaju u precizne izrazite vrijednosti koje će se iskoristiti kao upravljačka naredba u odgovarajućem upravljačkom sustavu. Pojednostavljeni prikaz upravljačke petlje u sustavu neizrazite logike prikazan je na slici 15.



Slika 15. Pojednostavljeni prikaz upravljačke petlje u sustavu neizrazite logike

Izvor: vidi pod 24.

Upravljačka petlja u sustavu neizrazite logike, kao što je vidljivo na prethodnom grafikonu, predstavlja ciklički proces u kojemu ključnu ulogu u postizanju optimalnih rezultata imaju dvije komponente; jedna je pravilno formulirana logika donošenja odluke, a druga je ekstenzivna baza znanja koja djeluje komplementarno s prethodnom komponentom. Baza znanja predstavlja skup empirijskih znanja o tehničkim aspektima leta i upravljanja letjelicom (ili bilo kojega drugog primjenjivog aspekta, kao što je primjerice upravljanje sustavima u slučaju izvanrednih situacija) i tu do izražaja dolazi relacija s naporom da se na izvjestan način emulira sposobnost pilota da donosi odluke na temelju iskustva. Druga komponenta, logika donošenja odluke, predstavlja skup funkcija koji ima zadaću derivirati „srednju“, neizrazitu vrijednost ulaznih veličina, na temelju razine pripadnosti tih veličina svakoj od definiranih funkcija. Koliko će precizno biti određene te funkcije ovisi upravo o značajkama baze znanja pa je logično da će jedan kontrolni sklop u sustavu neizrazite logike biti precizan onoliko koliko je iskustvenih normi pohranjeno u tu bazu znanja.

Sustavi neizrazite logike su karakterizirani prema nekoliko ključnih parametara.²⁶ To su:

- Broj ulaznih varijabli
- Broj izlaznih varijabli
- Broj ulaznih funkcija pripadnosti članskih funkcija
- Broj izlaznih funkcija pripadnosti članskih funkcija
- Broj pravila
- Tip fuzifikacije
- Tip primijenjene logike zaključivanja
- Tip defuzifikacije

3.4.2. Primjena neizrazite logike u upravljanju besposadnih zrakoplova

Neizrazita logika nalazi široku primjenu u razvoju besposadnih zrakoplova zbog niza prednosti koje su već elaborirane u prethodnim poglavljima. Pored upravljanja letom zrakoplova, istražuju se i mogućnosti primjene takvih sustava u generiranju rute leta pri izbjegavanju prepreka na tlu, zatim izbjegavanja drugih zrakoplova u letu, generiranju akcija u izvanrednim okolnostima ili slijetanju u nuždi i dr. U nastavku će se skrenuti pozornost na korištenje neizrazite logike u dinamičkom upravljanju letom zrakoplova pri osnovnoj navigaciji između dvije točke unutar trodimenzionalnog prostora.

Kako bi se zrakoplov upravljao u trodimenzionalnom prostoru u stabilnom aerodinamičkom letu, potrebno je upravljati dvjema skupinama upravljačkih elemenata. Prva je skup aerodinamičkih upravljačkih površina pomoću kojih zrakoplov ostvaruje okrete u sve tri osi, a druga je pogonska skupina koja omogućuje da aerodinamičke površine zrakoplova ostvaruju stabilan i konstantan uzgon.

Primjer jednostavnoga dvo-modulnoga modela upravljačkog sklopa koji se zasniva na neizrazitoj logici nalazi se u radu grupe autora²⁷, i prikazan je na slici 16. Na navedenom modelu upravljački moduli djeluju komplementarno.

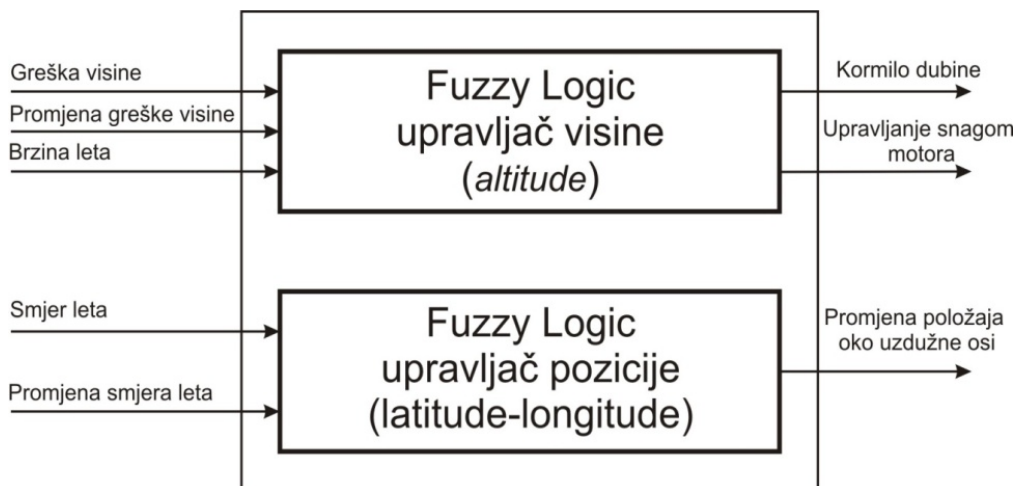
²⁶ Wu, P. Et Al., A high performance fuzzy logic architecture for UAV decision making, Proceedings IASTED international conference on computational intelligence, San Francisco, SAD, 2006.

²⁷ Doitsidis, K.P.V. et al., A framework for fuzzy logic based uav navigation and control, Proceedings of the 2004 IEEE International conference on robotics and automation, New Orleans, SAD, 2004.

Prvi je zadužen za generiranje upravljačkih naredbi s ciljem postizanja i održavanja visine leta, dok drugi upravlja aerodinamičkim površinama glavnih krila (krilca) s ciljem postizanja kuta zrakoplova oko uzdužne osi u funkciji promjene smjera (kutna brzina skretanja zrakoplova u dvije dimenzije). Upravljanje kormilom pravca i korekcija eventualnog klizanja zrakoplova u ovome trenutku nije dio sklopa. Ulazne naredbe djeluju na odstupanje od zadanog kuta skretanja i/ili smjera leta. Izlazne naredbe djeluju na potrebni nagib zrakoplova oko uzdužne osi.

Funkcija prvog modula je zadužena za postizanje, odnosno održavanje odgovarajuće visine leta, u vertikalnoj ravnini. Logično, sklop će svoju funkciju zadovoljiti na način da generira odgovarajuće upravljačke naredbe prema kormilu dubine zrakoplova, kojim će se postizati odgovarajući kut penjanja zrakoplova, odnosno prema pogonskoj skupini, gdje će se korekcijom snage motora pokušati održati zadana brzina penjanja/spuštanja, kako bi se zrakoplov zadržao u stabilnim aerodinamičkim uvjetima leta.

Drugi sklop ima funkciju upravljati pozicijom zrakoplova u horizontalnoj ravnini. Upravljanje se ostvaruje putem djelovanja na krilaca zrakoplova pomoću kojih se zrakoplov okreće oko svoje uzdužne osi i, posljedično – ostvaruje kutno skretanje po pravcu.



Slika 16. Dvomodulni upravljač letom zrakoplova

Izvor: vidi pod 25.

Upravljački sustav, kako je ranije opisan, predstavlja punopravni funkcionalni sustav autopilota, a pretpostavka korištenja neizrazite logike kao upravljačkoga algoritma tog sustava jest ta da izlazne upravljačke naredbe

osiguravaju precizno kretanje zrakoplova u sve tri osi. Razlog za to jest taj da algoritam sklopa prepoznaje trend prirasta određene vrijednosti (primjerice prirast kuta nagiba zrakoplova, prirast kutne brzine) pa je jednako tako u stanju djelovati na taj prirast na način da tranzicija zrakoplova između dva željena položaja bude što manje energična, uz što manju potrebu dodatne korekcije pogreške. Uvažavajući prirodu letenja zrakoplova u vremensko-prostorno ograničenim okolnostima, logično je da se greška nastoji svesti na minimum.

3.4.3. Pojednostavljeni simulacijski model upravljanja letom besposadnog zrakoplova na temelju neizrazite logike

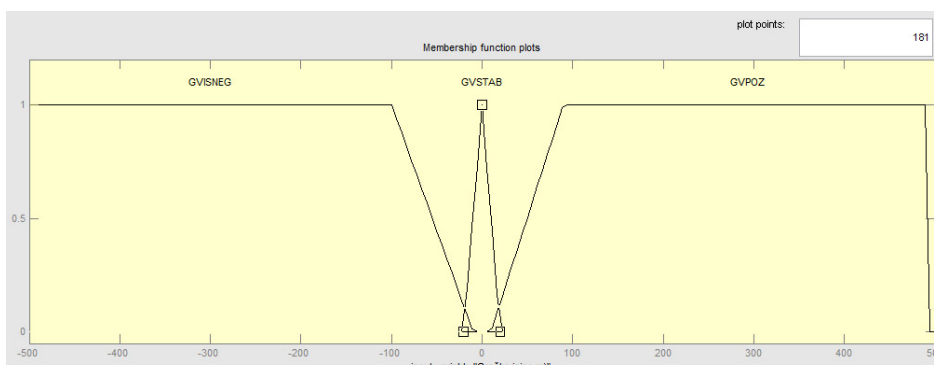
Na temelju ranije definiranih parametara upravljanja zrakoplovom između dvije zadane točke unutar trodimenzionalnoga prostora, moguće je izraditi jednostavni simulacijski model. Za takvu simulaciju, koristit će se programsko okruženje MATLAB, koje posjeduje odgovarajući modul za modeliranje sustava neizrazite logike *Fuzzy Logic Toolbox*, a simulacija će obuhvatiti samo elemente upravljanja zrakoplovom po visini (modul za upravljanje visinom).

Kao osnova za simulaciju, koristit će se prošireni ulazni parametri sa slike 16. S tim u vezi, ulazni parametri će obuhvatiti razliku između stvarne visine zrakoplova i visine na pokazivaču senzora za mjerenje visine (greška visine), zatim moguće povećanje ili smanjenje te razlike (promjena greške visine), te brzinu leta. Dodatni ulazni parametar se odnosi na napadni kut zrakoplova. Svi ulazni parametri su dobiveni kroz odgovarajuće senzore na samom zrakoplovu.

Izlazni parametri, kritični za postizanje i održavanje zadane visine leta zrakoplova, odnose se na otklon kormila dubine, pomoću kojega će se zrakoplov upravljati oko poprečne osi, te snaga pogonske skupine, što je funkcija održavanja zadane brzine leta.

3.4.3.1. Određivanje greške visine zrakoplova

Na slici 17 vidljiv je grafikon funkcija pripadnosti (*membership functions*) za određivanje raspona greške visine zrakoplova. Postoje tri funkcije: raspon ulaznih veličina koje odgovaraju slučaju kada zrakoplov leti na nižoj visini od zadane (negativna greška visine) – GVNEG, zatim slučaj kada zrakoplov leti u zadanim okvirima visine (stabilno područje) – GVSTAB te kada zrakoplov leti na većoj visini od zadane (pozitivna greška visine) – GVPOZ. Raspon greške visine se kreće od -500 do +500 metara.

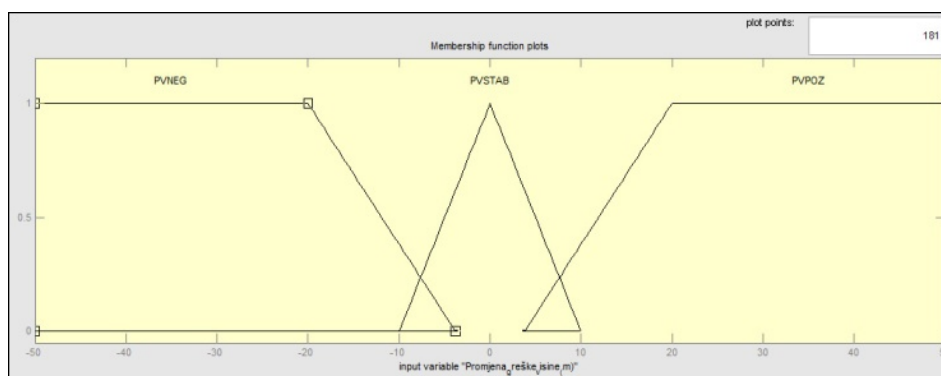


Slika 17. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje greške visine

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.2. Određivanje promjene greške visine zrakoplova

Na slici 18 vidljiv je raspored funkcija pripadnosti za određivanje trenda prirasta greške visine, odnosno razlike između dviju visina izmjerenih u nizu. Pitanje koje se logično postavlja jest to je li ovakvo mjerenje potrebno, odnosno može li se kao ulazni podatak koristiti samo visina zrakoplova. Razlog zašto je potrebno uvesti promjenu greške visine zrakoplova jest taj što je potrebno znati je li se zrakoplov približava zadanoj visini i kojom brzinom. Na taj način će se dodatno rafinirati izlazni podaci pa će prijelazi između režima penjanja/spuštanja biti precizniji. U suprotnom, moglo bi se dogoditi da zrakoplov stalno traži zadanu visinu i naizmjenice leti iznad, odnosno ispod te visine. Na grafikonu se vide tri područja: Područje u kojemu se zrakoplov spušta u odnosu na zadanu visinu (negativno područje) - PVNEG, zatim područje u kojemu zrakoplov leti na istoj udaljenosti od zadane visine (stabilno područje) – PVSTAB te područje u kojemu zrakoplov penje u odnosu na zadanu visinu (pozitivno područje)– PVPOZ.



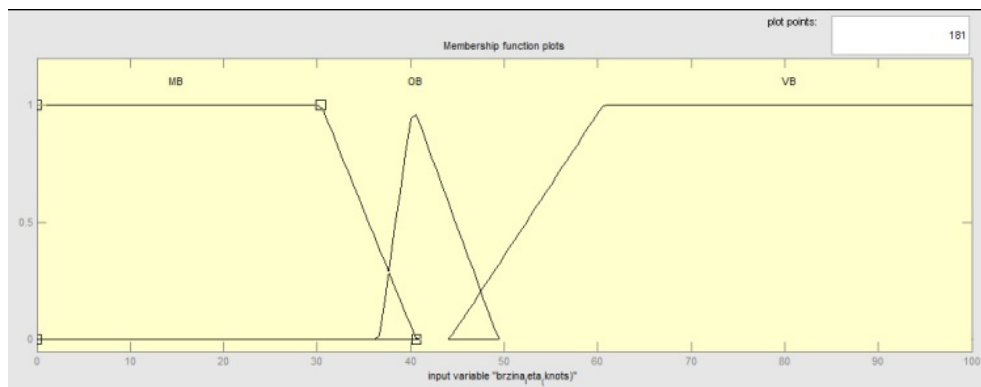
Slika 18. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje promjene greške visine

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.3. Određivanje brzine zrakoplova

Na slici 19 je prikazan raspored funkcija pripadnosti za određivanje brzine zrakoplova. Vidljivo je iz grafikona kako te funkcije nisu simetrične, odnosno kako su funkcije gušće u smjeru nižih brzina zrakoplova. Razlog za takav grafički ustroj jest taj što se više brzine zrakoplova smatraju manje opasnim nego niže, iz razloga što su veće brzine ograničene aerodinamičnim otporom zrakoplova, a niže su ograničene kritičnim brzinama kod kojih dolazi do loma aerodinamičkog uzgona i posljedično - nekontroliranog pada zrakoplova. Stoga, veća gustoća u smjeru nižih brzina trebala bi povećati odziv izlaznih veličina u slučaju pojavljivanja pada brzine te na taj način i sigurnost leta. Vrijednosti brzina leta su određene proizvoljno te bi u stvarnim okolnostima takvo što zahtijevalo eksperimentiranje sa zrakoplovom u letu. Na grafikonu, odgovarajuće funkcije pripadnosti su određene kao: područje male brzine – MB, zatim područje optimalne brzine (područje je određeno proizvoljno) te područje velike brzine – VB.

Slika 19. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje brzine zrakoplova



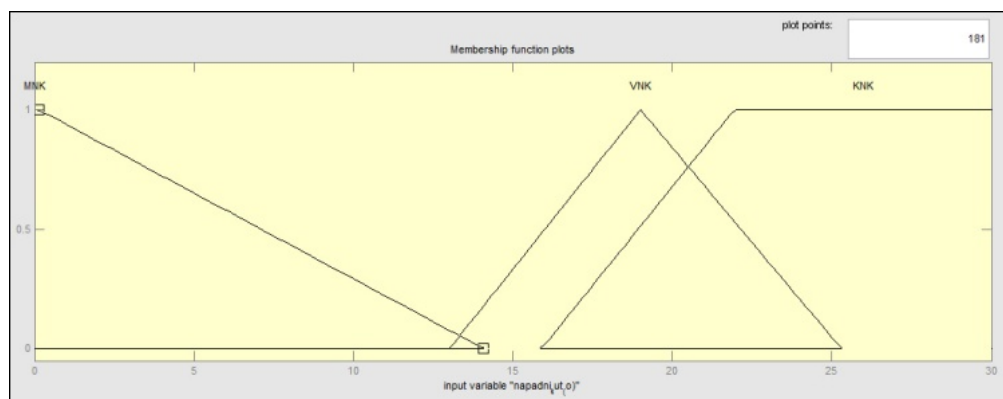
Slika 19. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje brzine zrakoplova

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.4. Određivanje utjecaja napadnog kuta

Napadni kut zrakoplova nije primarna ulazna veličina za optimiziranje upravljanja kormilom dubine i snagom motora u funkciji održavanja zadane visine zrakoplova. Uloga određivanja napadnog kuta proizlazi iz mogućnosti da zrakoplov, u nastojanju da ispravi značajna odstupanja po visini, uspostavi neodrživi režim leta u smislu punog otklona kormila dubine u režimu penjanja pri punoj snazi motora. U normalnim okolnostima, takvo što se ne bi trebalo dogoditi, upravo iz razloga što sustavi neizravne logike omogućavaju preciznija

postavljanja parametara upravljanja. No, moguće je zamisliti da u uvjetima pojačanih turbulentnih strujanja u atmosferi, ili leta u silaznom zračnom strujanju (termički stupovi), zrakoplov postigne kritične napadne kutove što može rezultirati lomom uzgona i nekontroliranim padom zrakoplova. S tim u vezi, dodatna funkcija određivanja napadnoga kuta zrakoplova, kao što je prikazana na slici 20, ima ulogu svojevrsnoga osigurača da se takve, nepredviđene situacije izbjegnu na vrijeme. Pojedine članske funkcije su određene kao: područje malih napadnih kutova – MNK, zatim područje velikih napadnih kutova – VNK, te područje kritičnih napadnih kutova – KNK. Vrijednosti tih kutova, kao što je slučaj i s određivanjem brzine zrakoplova, određene su proizvoljno, ali se nalaze u područjima koje vrijede za zrakoplove generalne avijacije.

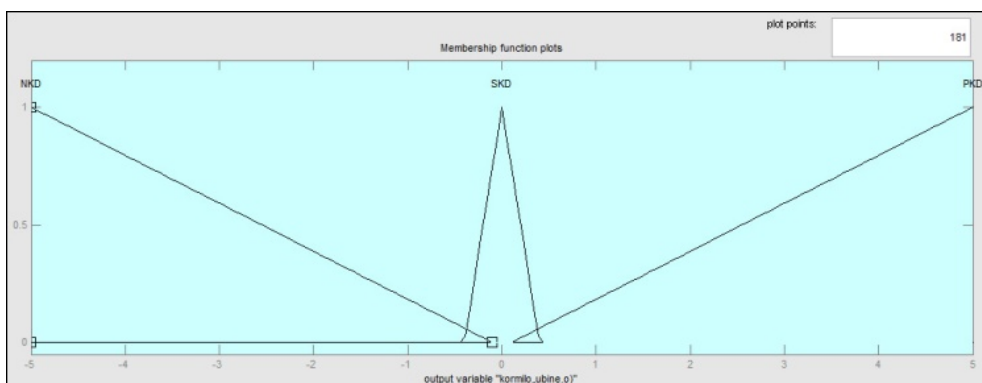


Slika 20.. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje napadnog kuta zrakoplova

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.5. Otklon kormila dubine

Na slici 21, prikazane su vrijednosti za određivanje otklona kormila dubine. Raspored funkcija ima svoju ulogu u procesu defuzifikacije i njegova uloga je pretvoriti srednju vrijednost odgovarajućih ulaznih veličina, koje će biti vrednovane kroz odgovarajući niz *ako/onda* pravila – u egzaktne i precizne vrijednosti koje će upravljački sklopovi zrakoplova prepoznati. Izlazne vrijednosti za upravljanje kormilom dubine su raspoređene unutar vrijednosti od -5 i 5 stupnjeva, odnosno u područjima negativnih vrijednosti (NKD), stabilnih vrijednosti (SKD) te pozitivnih vrijednosti (PKD).

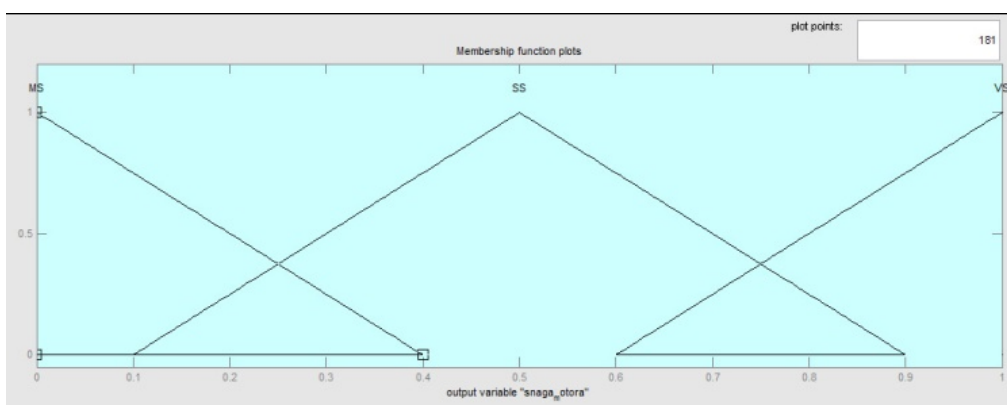


Slika 21.. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje otklona kormila dubine

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.6. Snaga motora

Na slici 22 su prikazane vrijednosti za određivanje snage motora, na isti način na koji se određuju i izlazne vrijednosti za otklon kormila dubine u prethodnom poglavlju. Funkcije su raspoređene u području od nula (bez snage), do 1 (puna snaga motora), a precizne vrijednosti određuju se na temelju triju funkcija; mala snaga (MS), zatim srednja snaga (SS), te velika snaga (VS).



Slika 22. Grafikon funkcija pripadnosti za određivanje snage motora

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.7. Određivanje pravila za vrednovanje ulaznih veličina

Već je ranije rečeno kako se u sustavima neizrazite logike ulazne veličine međusobno vrednuju i dovode u odnos s izlaznim veličinama na temelju niza pravila. Preciznost nekog sustava odgovarat će kvaliteti i broju određenih

pravila. Što je takvih pravila više, sustav će reagirati u širem pojasu zamislivih situacija u letu. U tablici 4, prikazan je set pravila za prethodno prikazane ulazne, odnosno izlazne nizove funkcija pripadnosti. Broj pravila je dostatan za jednostavnu simulaciju.

Tablica 4: Niz ako/onda pravila u simulacijskom modelu (m = metar/visina, o = stupnjevi/otklon, knots = čvorovi/brzina)

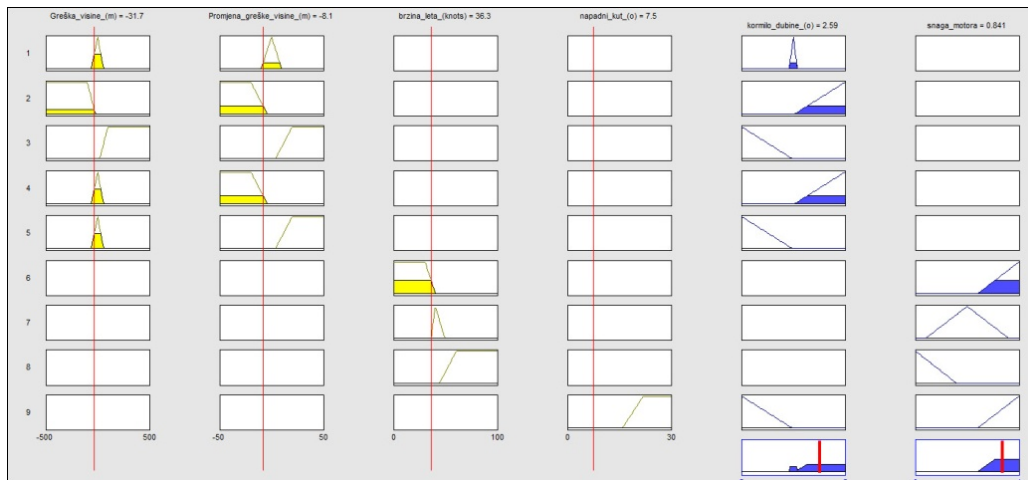
Pravilo br.	Pravilo
1.	If (Greška_visine_(m) is GVSTAB) and (Promjena_greške_visine_(m) is PVSTAB) then (kormilo_dubine_(o) is SKD)
2.	If (Greška_visine_(m) is GVISNEG) or (Promjena_greške_visine_(m) is PVNEG) then (kormilo_dubine_(o) is PKD)
3.	If (Greška_visine_(m) is GVPOZ) or (Promjena_greške_visine_(m) is PVPOZ) then (kormilo_dubine_(o) is NKD)
4.	If (Greška_visine_(m) is GVSTAB) and (Promjena_greške_visine_(m) is PVNEG) then (kormilo_dubine_(o) is PKD)
5.	If (Greška_visine_(m) is GVSTAB) and (Promjena_greške_visine_(m) is PVPOZ) then (kormilo_dubine_(o) is NKD)
6.	If (brzina_leta_(knots) is MB) then (snaga_motora is VS)
7.	If (brzina_leta_(knots) is OB) then (snaga_motora is SS)
8.	If (brzina_leta_(knots) is VB) then (snaga_motora is MS)
9.	If (napadni_kut_(o) is KNK) then (kormilo_dubine_(o) is NKD)(snaga_motora is VS)

Izvor: autor

3.4.3.8. Simulacija i vizualizacija uspostavljenih članskih funkcija i pravila

U uvjetima u kojima bi bilo moguće provesti eksperimente sa simulacijskih računalnim modelom, bilo bi moguće precizno kalibriranje vrijednosti ulaznih i izlaznih veličina, kako bi se na taj način dobio najprecizniji odziv ovoga ekspertnog sustava (ekspertnim sustavima nazivamo računalne programe koji na svojevrsan način emuliraju ljudsku sposobnost donošenja odluke). U uvjetima bez odgovarajućeg računalnoga modela, moguće je simulirati primjenjivost uspostavljenog upravljačkog sustava neizrazite logike unutar programskog okruženja MATLAB. Na slici 23 su vidljive vrijednosti izlaznih parametara dobivene za postavljene vrijednosti ulaznih parametara,

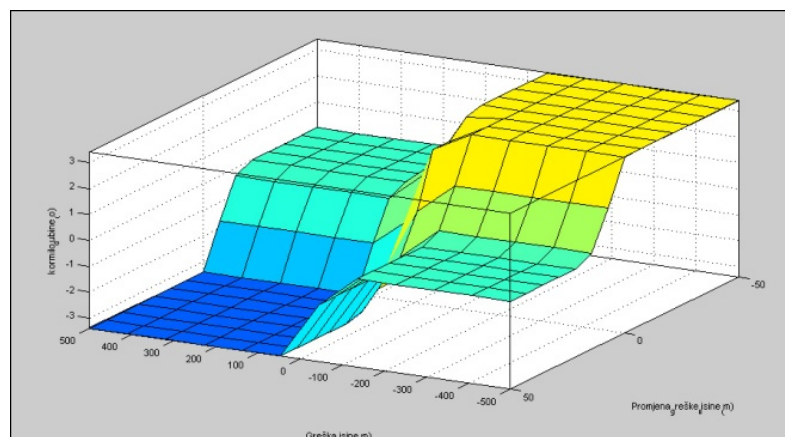
kao i vizualizacija korištenja pravila u odnosu na vrijednosti svih prethodno određenih funkcija pripadnosti.



Slika 23. Vizualizacija određenih pravila u odnosu na vrijednosti ulaznih i izlaznih članskih funkcija

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

Također, pravila se mogu vizualizirati i u 3D obliku, a prikaz međusobne interakcije ulaznih veličina greške visine i promjene greške visine, te izlazne veličine otklona kormila dubine, vidljiv je na slici 24. Ovakvi 3D prikazi su svrsishodni jer vizualiziraju dinamiku odnosa ulaznih i izlaznih veličina i omogućuju projektantu da odziv sustava prikaže grafički. Istovremeno, ukoliko je u postavljanju ako/onda pravila, ili utvrđivanju distribucije funkcija pripadnosti ulaznih vrijednosti došlo do greške, na 3D prikazu će biti vidljiva određena devijacija sklopa u području očekivanih vrijednosti.



Slika 24. 3D vizualizacija interakcije dijela ulaznih veličina, te izlazne veličine otklona kormila dubine.

Izvor: Preslika zaslona programa MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox

3.4.3.9. Primjenjivost neizrazite logike u ekspertnim sustavima i razvoju besposadnih zrakoplova

Simulacija upravljanja besposadnim zrakoplovom izložena u ovom radu, iako bitno ograničena, ostavlja prostor za zaključak kako razvoj suvremenih ekspertnih sustava zasnovanih na neizrazitoj logici, može dati značajan doprinos u razvoju inteligentnog upravljanja autonomnih besposadnih zrakoplova. Sustavi neizrazite logike se nameću kao izuzetno prihvatljivo rješenje za kontrolu dinamičkog upravljanja besposadnih zrakoplova, u uvjetima kada takvi zrakoplovi lete autonomno.

Ono što sustave neizrazite logike čini prihvatljivim za funkcije upravljanja aerodinamičkim površinama zrakoplova jest ponajprije precizni odziv sustava i mogućnost njegova stalnoga usavršavanja i kalibracije kroz dodavanje novih pravila u procesu neizrazitog zaključivanja. On omogućuje i stalno uvođenje novih ulaznih veličina, koje će proizlaziti iz novih profila misije ili, konačno, novih spoznaja o teoriji leta zrakoplova i koje će postojeće algoritme učiniti kompleksnijim i preciznijim, a sve u cilju da se u upravljanju zrakoplovom što više pokuša imitirati reakcije i vještine pilota. S tim u vezi, sustavi neizrazite logike čine samo dio ekspertnoga sustava u cjelini, a određeni prostor će zauzeti i druge metode, kao što su neuronske mreže ili neuro-neizraziti (hibridni) sustavi koji se temelje na emuliranju pilotovih vještina donošenja odluke ili reakcija u kritičnom vremenu.

4. Postojeći institucionalni okviri

Globalni institucionalni okviri za civilno zrakoplovstvo proizlaze iz konvencije o međunarodnom civilnom zrakoplovstvu,²⁸ (Konvencija) kojom je određen međunarodni kontekst zrakoplovstva, kakav poznajemo i danas. Pod pokroviteljstvom **ICAO**-a,²⁹ razvijeni su različiti okviri s ciljem usklađivanja različitosti koje vrijede za zrakoplovstvo u kontekstu regionalnog razvoja i složenosti.

U članku 8 Konvencije, razmatra se koncept besposadnih zrakoplova u skladu s važećim percepcijama toga vremena, te se postavlja sljedeće: *Niti jedan zrakoplov, sposoban letjeti bez pilota, neće letjeti bez pilota nad teritorijem države potpisnice bez posebnoga dopuštenja te države i u skladu s uvjetima takve autorizacije. Svaka država potpisnica poduzet će mjere kako bi se osiguralo da let takvoga zrakoplova bez pilota u prostoru otvorenom za civilni promet, bude kontroliran na način kojim će se izbjeći opasnost po civilne zrakoplove.*

Međutim, posebnost besposadnih zrakoplova vidljiva je bila već tada, uvažavajući činjenicu kako su besposadni zrakoplovi bili u velikoj većini vojne letjelice, te kako su vojni zrakoplovi, prema tekstu članka 3 iste Konvencije – vlasništvo države i kao takvi su izuzeti iz regulative koja vrijedi za civilno zrakoplovstvo. U istom članku se nameće i zahtjev prema kojemu nacionalne regulative koje vrijede za državne zrakoplove moraju uvažavati sigurnosne kriterije navigacije civilnih zrakoplova u kontroliranom zračnom prometu pa posljedično postoji i imperativ zadovoljenja sigurnosnih aspekata integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor, neovisno o institucionalnoj ili nacionalnoj razini na kojoj se ta integracija dešava.

Temeljne odredbe Konvencije ICAO-a gotovo univerzalno su prihvaćene kao temeljni okvir za pripremu specifikacija i regulative vezane uz besposadne zrakoplove. Kad je riječ o institucionalnoj razini, u nastavku ovoga rada posebno će biti naznačeni **Eurocontrol**³⁰ i **NATO**³¹, s obzirom kako su upravo ove dvije organizacije, svaka na svoj način, nadležne za tehnološko-tehničke propozicije integracije vojnih i civilnih besposadnih zrakoplova u vlasništvu Republike Hrvatske u sustav nadziranoga zračnog prometa višeg reda.

Nadalje, u okviru ovoga rada bit će obrađeni aspekti institucionalne integracije samo onih bespilotnih letjelica koje su svojom ukupnom masom,

²⁸ Konvencija u Chicagu, 1944.

²⁹ ICAO – International Civil Aviation Organization

³⁰ Eurocontrol – Europska organizacija za sigurnost zračnoga prometa

³¹ NATO North Atlantic Treaty Organization (Organizacija sjeverno-atlantske povelje)

odnosno odgovarajućom razinom složenosti sustava na platformi relevantni u kontekstu integracije. S obzirom na to kako trenutno ne postoji službena podjela besposadnih zrakoplova na odgovarajuće kategorije, arbitrarno je prihvaćeno kako je riječ o zrakoplovima s maksimalnom težinom polijetanja (MTOW) od 150 kg i više. Naime, u Europi su besposadni zrakoplovi podijeljeni u dvije kategorije od kojih je svaka regulirana različitim zrakoplovnim vlastima;³² Prva je grupa zrakoplova čiji je MTOW jednak ili viši od 150 kg. Nadležna regulatorna vlast za te zrakoplove je **European Aviation Safety Agency** (EASA). U drugoj grupi su zrakoplovi čiji je MTOW manji od 150 kg, a nadležna regulatorna tijela su nacionalne zrakoplovne vlasti.

Trenutno, većina besposadnih zrakoplova u Europi predstavlja vojna sredstva te je njihova upotreba ograničena na letenje u izdvojenom zračnom prostoru (redovito je riječ o posebnim zonama za vojno letenje). Ondje gdje postoje određene operacije van izdvojenoga prostora, na snazi su brojna i složena ograničenja zbog čega je istovremeno ograničen i raspon zadaća koje bi današnji besposadni zrakoplovi u drugim okolnostima obavljali bez većih teškoća. S tim u vezi, kako bi se iskoristile jedinstvene operativne sposobnosti postojećih, ali još važnije – i budućih besposadnih zrakoplova, većina vojnih vlasti koje djeluju kroz regulatorna tijela Eurocontrol-a i NATO-a, ulažu napore kako bi besposadni zrakoplovi bili u stanju operirati preko nacionalnih granica i imati pristup svim klasama zračnoga prostora.

Tablica 5: Europske institucije i članstvo pojedinih zemalja

European Civil Aviation Conference (44) San Marino	EUROCONTROL (39)	
Joint Airworthiness Authorities JAA (43) Azerbejdžan Gruzija	Albanija* Armenija Bosna i Hercegovina Crna Gora Hrvatska* Makedonija Moldavija	Monako Srbija Turska* Ukrajina
Europska unija (27) Estonija*	Austrija Belgija* Bugarska* Cipar Česka* Danska* Finska Francuska* Njemačka* Grčka* Irska Italija* Latvija* Litva* Luksemburg* Mađarska* Malta Nizozemska* Poljska* Portugal* Rumunjska*	Slovačka* Slovenija* Španjolska* Švedska Ujedinjeno Kraljevstvo*
European Free Trade Area (3) Island*	Norveska* Svicarska	

* Označene zemlje su članice NATO saveza, u kojemu se još nalaze SAD i Kanada.

Izvor: Podatci autora

³² European commission, Directorate general for energy and transport, Hearing on light unmanned aircraft systems (UAS), Belgija, Brisel, 2009.

4.1. Eurocontrol

Eurocontrol, Europska organizacija za sigurnost zračnoga prometa (navigacije), predstavlja inter-vladinu organizaciju sačinjenu od 39 država članica. Osnovana 1960. godine, ova organizacija ima dvojni, civilno-vojnu ulogu u osiguravanju tehničke i tehnološke ekspertize vezane uz letenje u europskome zračnom prostoru, te zadaću gradnje homogenoga pan-europskog sustava upravljanja zračnim prometom odgovarajući na kontinuirani prirast zračnog prometa, uz uvažavanje imperativa njegove sigurnosti.

Usporedo s neposrednim operativnim utjecajem na upravljanje zračnim prometom na strateškoj razini (kroz Viši kontrolni centar u Maastrichtu³³) te na mrežnoj razini (Centralna jedinica za upravljanje protokom), Eurocontrol je glavni doprinositelj razvoju SESAR³⁴ programa, koji će ocrtati budućnost kontrole zračnoga prometa u Europi (uvođenje se predviđa za razdoblje između 2014. i 2020.).

Eurocontrol se smatra vodećim sudionikom u radu vezanom uz aspekte upravljanja zračnim prometom besposadnih zrakoplova. Tempo aktivnosti se u tom smislu konstantno povećava te uključuje velik broj organizacija, agencija i drugih predstavničkih tijela. Eurocontrol je zbog toga ustrojio aktivnost UAS ATM³⁵ *Integration Activity* s ciljem razvoja politike upravljanja zračnim prometom vojnih i civilnih besposadnih zrakoplova.

S konačnim ciljem sigurne integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni promet, Eurocontrol razvija zahtjeve za besposadne zrakoplove u ATM okružju, koji će se sastojati od skupa interoperabilnih kriterija za operativna odobravanja i certifikaciju. Ti zahtjevi pretpostavljaju kako će se besposadni zrakoplovi u potpunosti prilagoditi u postojećem ATM sustavu, radije nego da se taj sustav na bilo koji način prilagođava besposadnim zrakoplovima.

Kroz svoj angažman na integraciji besposadnih sustava u europski sustav kontrole zračnog prometa, vidljivo je kako Eurocontrol slijepo slijedi nekoliko principa. Prije svega, operacije u kojima sudjeluju besposadni zrakoplovni sustavi ne smiju ni na koji način povećati rizik za ostale sudionike u zračnom prometu. Drugo, ATM procedure u letenju besposadnim zrakoplovima moraju u potpunosti biti jednake onima koje vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom. Na kraju, osiguranje službi kontrole zračnoga prometa prema

³³ Maastricht Upper Air Control Centre

³⁴ SESAR – Single European SKY ATM Research

³⁵ UAS ATM – Unmanned Aircraft System Air Traffic Management

besposadnim zrakoplova treba biti transparentno među kontrolorima zračnoga prometa na svim razinama.

Iako je Eurocontrol intenzivnije započeo s radom na razvoju smjernica i politike integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor još 2005. godine, prvi značajniji dokument na tu temu je objavio je dvije godine kasnije. Riječ je o nizu generičkih specifikacija za upotrebu vojnih besposadnih zrakoplovnih sustava kao operativni zračni promet van izdvojenoga zračnog prostora.³⁶ Navedene specifikacije se nalaze u prilogu 1 ovoga rada.

Jedan od prvih konkretnih doprinosa operativnoj integraciji besposadnih zrakoplova u europski zračni prostor, Eurocontrol će ispuniti finalizacijom skupa neobavezujućih ATM smjernica pomoću kojih će operatori HALE platforme Global Hawk (Eurohawk) koristiti u pregovaranju pristupa u individualni kontrolirani zračni prostor europskih država³⁷. Ove smjernice su u trenutku pisanja ovoga rada još u fazi dorade, a kada budu završene, od njih će se očekivati da informiraju, obuču te osiguraju smjernice pružateljima usluga u zrakoplovnoj navigaciji, operatorima sustava Global Hawk te drugim igračima koji imaju ključne uloge u sigurnoj primjeni ATM procedura za navedeni tip platforme unutar zračnoga prostora Europe. Prva edicija dokumenta je objavljena 2010. godine.

Javne publikacije Eurocontrola upućuju na zaključak kako ta organizacija smatra kako će proces integracije besposadnih zrakoplova biti spor i postepen, te kako je implementacija operativnih smjernica za Global Hawk/Eurohawk platformu – značajan i ključan korak u uvođenju i prilagodbe nadolazeće tehnologije besposadnih sustava.

4.2. NATO

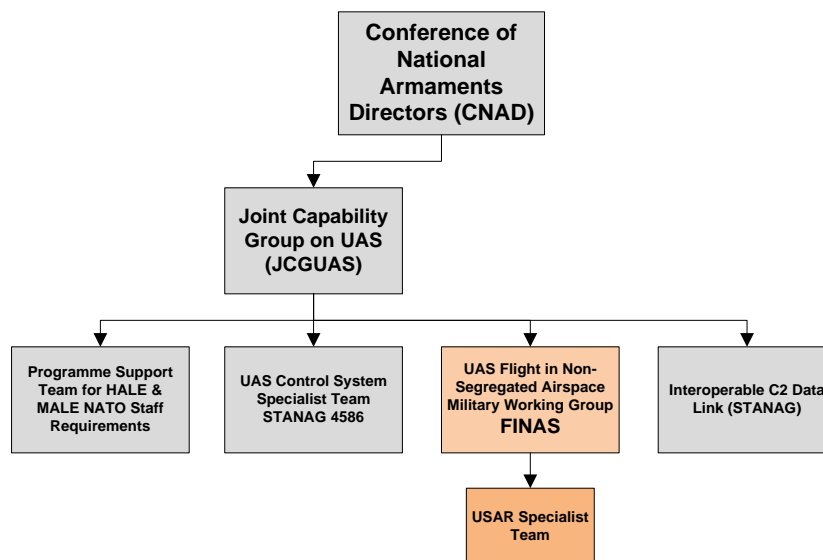
Glavnina rada ekspertnih skupina NATO-a, vezanoga uz integraciju besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor, odvija se kroz set radnih tijela podređenih Upravi za obrambene investicije NATO-a.³⁸ Središnje tijelo predstavlja Združena grupa za razvoj sposobnost – besposadni zrakoplovni sustavi (*Joint Capability Group on Unmanned Aircraft Systems – JCGUAS*), s ciljem razvoja smjernica i regulative za razvoj zajedničkih sposobnosti NATO Saveza u domeni besposadnih zrakoplova. S tom svrhom, ispod JCGUAS

³⁶ EUROCONTROL, Specifications for the Use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace, Eurocontrol, 2007.

³⁷ EUROCONTROL, Air traffic management guidelines for Global hawk in European airspace, Eurocontrol, 2010.

³⁸ NATO Defense investment (DI)

radnoga tijela ustrojeno je nekoliko ekspertnih radnih skupina koje imaju zadaću predlagati tekstove širega spektra specijalističkih dokumenata na kojima će počivati regulativa neophodna za integraciju besposadnih sustava u zračni prostor zemalja članica NATO-a. Organigram ustroja navedenih radnih tijela prikazan je na slici 25.



Slika 25. Organigram radnih tijela NATO-a u području integracije sposobnosti besposadnih zrakoplovnih sustava.

Izvor: diweb.hq.nato.int

Kao što je vidljivo na slici 25, ekspertna radna tijela podređena grupi JCGUAS pokrivaju širi raspon funkcionalnih područja, ali primarno su vezane uz sustave besposadnih zrakoplova, regulativu operacija u VFR i IFR letenju, te komunikacije. Posebno je istaknuto radno tijelo FINAS (Flight in Non-segregated Airspace), iz razloga što se to tijelo bavi upravo uspostavljanjem regulatornoga okvira za sigurnu integraciju besposadnih sustava u zračni prostor. Također, ovo tijelo je proizvelo i nekoliko standardizacijskih dokumenata, među kojima je najznačajniji STANAG 4671,³⁹ koji određuje zahtjeve za određivanje plovivosti za besposadne sustave. Navedeni STANAG je u trenutku pisanja ovoga rada formalno ratificiralo nekoliko zemalja članica NATO-a, a nakon što ga ratificira barem 15 zemalja (preko 50% od ukupno 28 članica Saveza), postat će važeći dokument.

³⁹ STANAG (Standardization Agreement) 4671 on Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR).

STANAG 4671 je značajan dokument iz razloga što će omogućiti letenje besposadnih sustava, koji zadovoljavaju kriterije za ostvarivanje plovidbenosti, kroz zračni prostor zemalja članica NATO-a bez potrebe za suglasnosti tijela za kontrolu zračne plovidbe tih zemalja, što prema odredbama ICAO-a generalno nije dozvoljeno⁴⁰. Ipak, STANAG 4671 nije sveobuhvatni dokument i ne pokriva određene sustavne zahtjeve koji su kritični u kontekstu sigurnosti zračnoga prometa, a koji su i predmet ovoga rada. Konkretno, riječ je o sustavima koji pripadaju ***Sense and Avoid*** tehnologiji, a zatim i obuci operatera, učincima na okoliš te drugim sigurnosnim aspektima. Navedena područja su zahvaćena drugim dokumentima, a svakako najznačajniji u kontekstu ovoga rada jesu Zahtjevi za *Sense and Avoid* sustave za besposadne zrakoplove koji lete u neizdvojenom zračnom prostoru.⁴¹ Više o ovome dokumentu bit će riječi u poglavlju 6.

Radno tijelo FINAS, prije finalizacije rada na STANAG-u 4671, proizvelo je i drugi standardizacijski dokument – STANAG 4670, koji određuje standardizacijske zahtjeve za obuku operatera besposadnim zrakoplovnim sustavima. I ovaj dokument se u trenutku izrade ovoga rada nalazi u procesu ratifikacije među zemljama članicama NATO Saveza.

Od ostalih značajnih dokumenata vezanih uz tehnološki okvir operative integracije besposadnih zrakoplova radnog tijela FINAS nužno je spomenuti i još dva STANAG-a: 4586⁴² i 4660⁴³, od kojih je prvi već promulgiran od strane NSA,⁴⁴ a drugi je u postupku ratifikacije među zemljama članicama Saveza. Također, u tijeku je izrada određenoga broja studija na teme Ljudski čimbenici, Zdravstveni standardi, *Sense and Avoid* funkcionalni zahtjevi za besposadne zrakoplove te još cijeli niz studija na temu upravljanja zračnim prometom⁴⁵.

Pored radnih tijela podređenih Upravi za obrambene investicije NATO-a, čiji je rad prvenstveno usmjeren na razvoj sposobnosti kroz tehničke i standardizacijske aspekte njihove implementacije, integracijom besposadnih zrakoplova se bave i radna tijela čiji je funkcionalni fokus usmjeren na Upravljanje zračnim prometom (ATM). Prije svega, riječ je o Odboru za upravljanje zračnim prometom NATO-a⁴⁶ (NATMC), ali i određenim tijelima Vojnoga odbora NATO koji se bave zrakoplovnim pitanjima i pitanjima protuzračne obrane. Upravo je u nadležnosti NATMC-a proizveden dokument

⁴⁰ Konstantinos Dalamagkidis, On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System, 2008.

⁴¹ Joint Capability Group on Unmanned Aircraft Systems (JCGUAS), Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aircraft Systems Operating in Non-Segregated Airspace, 2008.

⁴² STANAG 4586 – Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability

⁴³ STANAG 4660 – Standard Interoperable Command and Control Data Link (IC2DL) for NATO Interoperability.

⁴⁴ NSA – NATO Standardization Agency

⁴⁵ NATO FINAS, prezentacija, Max Snow, Kraljevska mornarica, EASA UAV Workshop, Paris, 2008.

⁴⁶ NATMC – NATO Air Traffic Management Committee

koji regulira operativne procedure za letenje besposadnog zrakoplova Global Hawk u NATO vođenim zračnim operacijama.⁴⁷

Ipak, NATO Savez kao vojno-politički savez nije institucionalni subjekt koji može ustrojiti univerzalna pravila letenja. Njegov primarni cilj je ustrojavanje okvira standardnih procedura i arhitekture sustava, koji će osigurati zemljama članicama Saveza smjernice za postizanje interoperabilnosti, odnosno NATO standarda. S tim u vezi, regulativa koju donosi NATO, primjenjiva je samo za zemlje članice Saveza. To s druge strane ne znači kako regulativa NATO saveza, vezana uz integraciju besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor, nije kompatibilna i s uredbama ICAO-a, EASA-e, ili s politikom upravljanja zračnim prometom Eurocontrola. Naprotiv, NATO uspostavlja zajednička radna tijela s navedenim institucijama upravo s ciljem usuglašavanja standarda i zahtjeva koji će osigurati certifikaciju plovidbenosti besposadnih zrakoplova i pripadajućih sustava u civilnom zračnom prostoru. U tom smislu, nužno je spomenuti kako je između NATO-a i Eurocontrola formirano zajedničko radno tijelo NEASCOG,⁴⁸ s ciljem predlaganja i usvajanja sigurnosnih normi i tehničkih aspekata integracije vojnih zrakoplova u europski zračni prostor.

4.3. European Defence Agency (EDA)

U Europi ne postoji krovno regulatorno tijelo ili agencija isključivo zadužena za pitanja vojne sigurnosne regulative na isti način na koji djeluje EASA u civilnom zrakoplovstvu. No, upravo kao što NATO regulira mnoga pitanja iz ove domene u korist svojih zemalja članica, tako pri Europskoj komisiji⁴⁹ djeluje Europska obrambena agencija (EDA), koja u svome djelokrugu rada na razvojnim obrambenim projektima vodi izuzetno značajan program naziva MIDCAS.⁵⁰ Cilj navedenoga programa je demonstrirati sposobnost *Sense and Avoid* sustava za besposadne zrakoplove za ispunjavanje zahtjeva za razdvajanje unutar zračnoga prometa te izbjegavanje sudara u zraku u neizdvojenom zračnom prostoru. Ovaj program je koordiniran s Europskom svemirskom agencijom zbog potrebe da se sustav vođenja i nadzora te *Data*

⁴⁷ NATO Air Traffic Management Committee, Air Traffic Management (ATM) Group, Procedures for the operation of Global Hawk, kolovoz 2011.

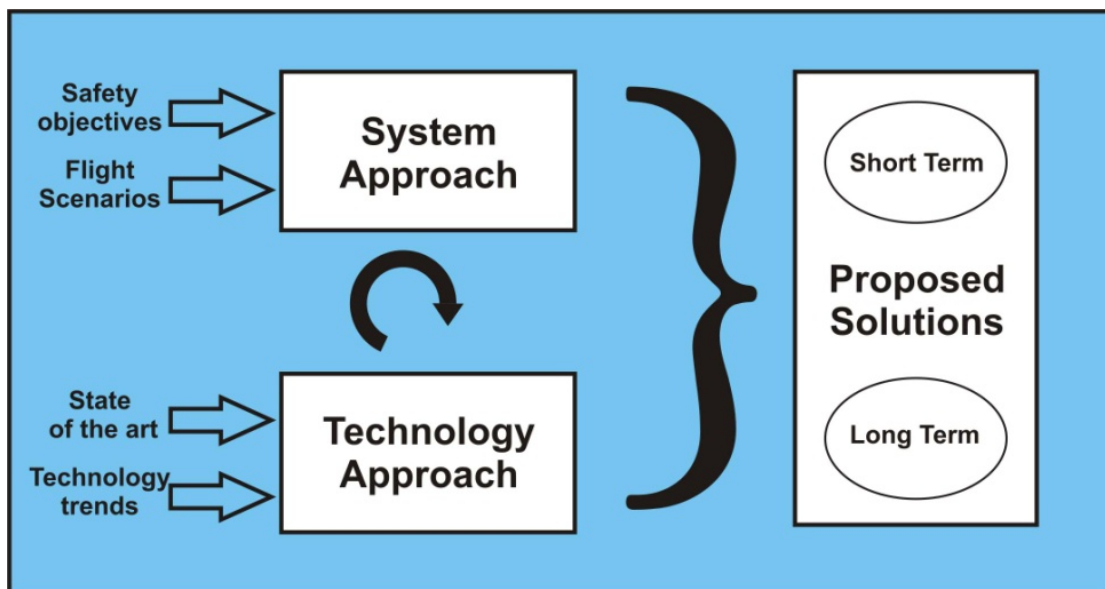
⁴⁸ NEASCOG – NATO/Eurocontrol ATM Security Coordinating Group

⁴⁹ European Commission, krovno interesorno tijelo zaduženo za zajedničku razvojnu politiku Europske unije sa sjedištem u Briselu.

⁵⁰ MIDCAS, MID-air Collision Avoidance System, Projekt vrijedan 50 milijuna Eura započet je 2007. godine između pet država članica EDA-e (Švedska, Njemačka, Francuska, Italija i Španjolska). Sam projekt se izvodi u ingerenciji konzorcija 13 korporacija iz zemalja potpisnica ugovora.

link oslanja i na satelitsku komunikaciju, zbog čega se nameće cijeli niz novih tehničko-tehnoloških zahtjeva. U EDA-i predviđaju njegovu inicijalnu operativnu sposobnost do 2015. godine.

U okviru programa MIDCAS, EDA je od vanjskoga izvođača naručila studiju „*Technology demonstration study on Sense & Avoid technologies for long endurance unmanned aerial vehicles*“ koja je završena krajem 2007. godine⁵¹. Kako bi se izvela studija koristio se dvosmjerni pristup, odnosno kombinacija sustavnoga i tehnološkoga pristupa, s ciljem uspostavljanja prvog realističnog seta kvantitativnih zahtjeva, neophodnih za definiranje i usporedbu nekoliko različitih prijedloga rješenja. Pristup je ostvario sveobuhvatna kratkoročna i srednjoročna rješenja za problematiku *Sense and Avoid* sustava. Na slici 26 prikazan je pojednostavljeni dijagram dvosmjernoga pristupa koji korišten u studiji.



Slika 26. Dvosmjerni pristup u sustavnom i tehnološkom aspektu.

Izvor: European Defence Agency

Studija je demonstrirala izvodljivost sustava za izbjegavanje sudara u zraku za ugradnju na besposadne zrakoplove unutar vremenskog okvira od šest do osam godina, kako bi nakon certifikacije, ovaj sustav mogao biti dostupan između 2013. i 2015. godine.

Pored generalnih zaključaka, studija je pokazala i sljedeće:

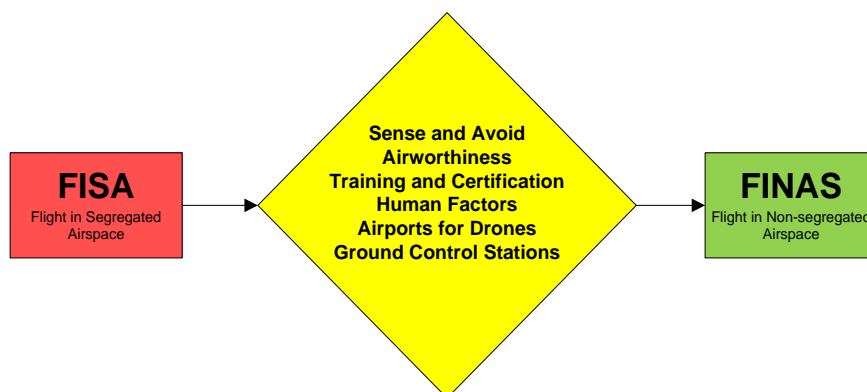
⁵¹ European Defence Agency, Technology demonstration study on Sense & Avoid technologies for long endurance unmanned aerial vehicles, Project Overview, Prosinac 2007.

- Razvoj novih tehnologija nije potreban, ali dodatni razvojni programi i tehničko usavršavanje su potrebni kako bi se osigurali *Sense and Avoid* sustavi specifični za besposadne zrakoplove i njihova integracija u konstrukciju zrakoplova.
- S ciljem dostizanja ekvivalentne razine sigurnosti u odnosu na konvencionalno zrakoplovstvo, sustav treba sadržavati i ne-surađujuće senzore kao i surađujuću opremu.
- Ne-surađujući dijelovi sustava trebaju biti razvijeni na temelju kombinirane arhitekture koja se sastoji od radarskih i IC senzora.

Pored toga, EDA organizira cijeli niz aktivnosti u kojima sudjeluju zemlje članice EU, a vezane su uz razvoj sustava za izbjegavanje sudara, *data link*, radio frekvencije i radne pojaseve u eksploataciji besposadnih zrakoplova taktičke i MALE kategorije.

5. Regulatorni okviri za integraciju besposadnih zrakoplova

Progresivni razvoj besposadnih zrakoplovnih sustava i njihova integracija u kontrolirani zračni prostor nameće neodgodivu potrebu za usklađivanjem regulative zračnoga prometa na regionalnim i nacionalnim razinama. Zahtjevi koji iz toga proizlaze odnose se, pored legislativnih i regulatornih aspekata, i na politiku upotrebe zračnoga prostora, plovidbenost, certificiranje, komunikacije, upravljanje (ili zapovijedanje) te nadzor⁵². Pored toga, postoji potreba redefiniranja dogmatskih pristupa infrastrukturnom i tehnološkom okružju današnjega zračnoga prometa, kako bi u njemu besposadni zrakoplovi mogli imati ravnopravnu ulogu. Osnovna područja napora u tom kontekstu, koja će obilježiti prijelaz besposadnih zrakoplova iz FISA⁵³ u FINAS⁵⁴ predstavljena su na slici 27.



Slika 27. Pojednostavljeni plan puta integracije besposadnih sustava u FINAS

Izvor: Giovanni Romanni (NATO Defense Investment), neautorizirano izlaganje

Svako pojedino područje bit će obrađeno kroz naredna poglavlja ovoga rada, no već sada vrijedi napomenuti kako su *Sense and Avoid* sustavi kritično područje i osnovni preduvjet za završetak navedenoga procesa. Pritom, najkompleksniji izazov predstavljat će ispunjenje niza sustavnih i funkcionalnih zahtjeva koji imaju za cilj postizanje tehnološke sigurnosti na razini ekvivalentnoj onoj koja vrijedi za zrakoplove s ljudskom posadom. S tim u vezi,

⁵² NATO Research & Technology Organization: Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications, Airspace Policy and Air Traffic Management. 2000.

⁵³ FISA, Flight in Segregated Airspace (let u izdvojenom zračnom prostoru).

⁵⁴ FINAS, Flight in Non-segregated Airspace (let u neizdvojenom zračnom prostoru)

Sense and Avoid sustavi te širi tehničko-tehnološki okvir njihove implementacije bit će tretirani kao zasebna cjelina ovoga rada.

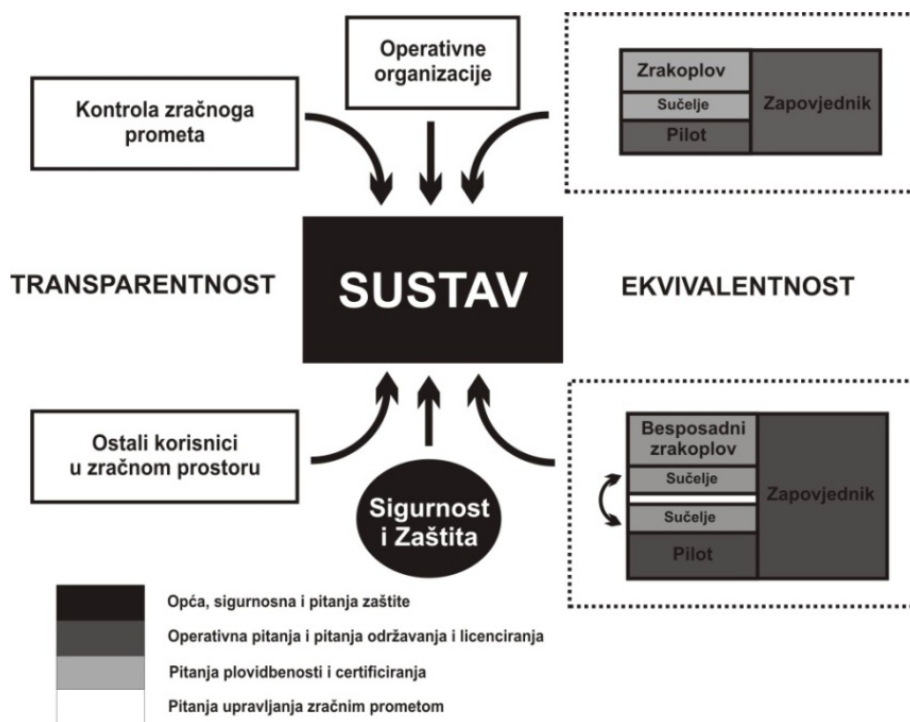
5.1. Plovidbenost

Svaki zrakoplov koji se upisuje u nacionalni registar zrakoplova i sudjeluje u međunarodnom civilnom zračnom prometu, mora imati odgovarajuću potvrdu o plovidbenosti⁵⁵ (eng. *Certificate of Airworthiness*). Potvrda o plovidbenosti u pravilu pokriva širok spektar područja koji se odnose na aspekte dizajna, konstrukcije i korištenja zrakoplova.

U okružju suvremenoga zračnog prometa, postoji više elemenata sustava višeg reda, koji zahtijevaju certifikaciju unutar određenoga regulatornog okvira. Oni osnovni se odnose na zrakoplove, zrakoplovnu operativu, aerodrome i zemaljska pomoćna sredstva te na službe za zrakoplovnu navigaciju. Pritom, nije nužno da za svaki od ovih elemenata bude odgovorna ista zrakoplovna vlast pa će za certifikaciju jednih biti nadležne regionalne ili međunarodne agencije ili organizacije, a za druge – nacionalne zrakoplovne vlasti.

Kada se razmatra potreba za certificiranjem besposadnih zrakoplovnih sustava, već sama činjenica kako je riječ o sustavu nameće pretpostavku kako će proces certificiranja morati odgovoriti na sigurnosne zahtjeve eksploatacije ne samo zrakoplova, već i zemaljske stanice s pripadajućim sučeljem te ostalih elemenata koji čine taj operativni sustav. Upravo je taj posredni odnos između operatera (pilota) i zrakoplova specifičan u odnosu na konvencionalne zrakoplove (gdje je on neposredan) pa ga je u tom smislu potrebno i posebno tretirati u regulatornom kontekstu. Organizacijski i operativni aspekti, s druge strane, neće zaživjeti bitne promjene u odnosu na konvencionalno zrakoplovstvo, između ostaloga i zato što je ekvivalentnost procedura u letenju između dvije grupe zrakoplova jedan od preduvjeta njihove zajedničke integracije. Na slici 28 je vidljiv raspon ekvivalentnosti zrakoplova s ljudskom posadom i besposadnih zrakoplova u okviru zrakoplovnoga sustava višega reda.

⁵⁵ Chicago Convention, članak 31



Slika 28. Ekvivalentnost dviju platformi unutar sustava višega reda

Izvor: JAA/EUROCONTROL, UAV Task Force

5.1.1. European Aviation Safety Agency (EASA)

U europskom zračnom prometu navedenu certifikaciju regulira EASA, agencija ustanovljena pri Europskoj komisiji EU 20023. godine, s ciljem ustanovljavanja temeljnih principa zrakoplovne sigurnosti i osnovnih zahtjeva iste. Okvir rada je primarno bio ograničen na regulativu plovidbenosti i zaštitu okoliša, a nakon 2008. godine, nadležnosti su bile proširene na operacije, licenciranje pilota te operatore iz trećih zemalja. Nakon 2010., predviđa se daljnje proširenje nadležnosti Agencije na aerodrome i ATM/ANS⁵⁶.

Kad je riječ o EASA regulativi o plovidbenosti besposadnih zrakoplova, kao polazišna specifikacija za njihovu certifikaciju prihvaćena je specifikacija CS-23.⁵⁷ Za veće besposadne zrakoplove klase HALE, kao što je *Global Hawk*, može se primijeniti specifikacija CS-25.

EASA u ovome trenutku nema razvijene posebne specifikacije za certificiranje besposadnih zrakoplova, a u svome dokumentu⁵⁸ u kojemu

⁵⁶ David Haddon, EASA & UAS airworthiness policy, Presentacija na radionici "Military Airworthiness Harmonisation", Olomouc, Češka, lipanj 2009.

⁵⁷ CS-23, Certification Specifications for Normal, Utility, Aerobatic, and Commuter Category Aeroplanes, EASA, 2003.

⁵⁸ Policy Statement, Airworthiness certification of Unmanned Aircraft Systems (UAS), EASA, 2009.

razrađuje politiku plovidbenosti tih zrakoplova, navodi se kako će specifikacija svakako obuhvaćati i sljedeće specijalne uvjete:

- Sposobnost oporavka u nuždi
- Upravljačka i nadzorna veza
- Razina autonomnosti
- Sučelje čovjek – stroj
- Kontrolna stanica
- Specifičnosti predviđenih operacija
- Prosudba sigurnosti sustava

Nužno je napomenuti kako se specifikacije EASA-e, kada budu finalizirane, neće odnositi na određene skupine besposadnih zrakoplova, a prije svega je ovdje riječ o vojnim i specijalnim zrakoplovima, te onima čija ukupna masa u polijetanju ne prelazi 150 kg. Takvi zrakoplovi pripadaju u nadležnost nacionalnih zrakoplovnih vlasti.

Kao ciljeve razvoja regulative plovidbenosti EASA smatra sljedeće:

- S obzirom kako nema ljudske posade u zrakoplovu, cilj certificiranja plovidbenosti je primarno usmjeren na zaštitu ljudi i vlasništva na zemlji. Civilni besposadni zrakoplov ne smije povećati rizik za ljude ili vlasništvo na zemlji u odnosu na zrakoplove s ljudskom posadom ekvivalentne kategorije.
- Standardi plovidbenosti moraju biti tako postavljeni da ne budu manje zahtjevni od onih koji vrijede za odgovarajuće zrakoplove s ljudskom posadom, niti da kažnjavaju besposadne zrakoplove zahtijevajući usklađivanje s višim standardima samo zato što to tehnologija dopušta.

5.1.2. NATO

Standardizacijska tijela NATO-a ulažu velike napore u razvoju sigurnosnih kodova za certifikaciju plovidbenosti besposadnih zrakoplova. To je razumljivo, jer višenacionalna priroda Saveza, te prostorna razmjestivost zrakoplovnih potencijala prema područjima gdje se provode vojne operacije diktira potrebu prilagođavanja zrakoplovnoj regulativi unatoč činjenici kako su vojni zrakoplovi u pravilu izuzeti od potrebe izdavanja certifikata plovidbenosti. Međutim, prema konvencijama ICAO-a, vojni zrakoplovi ne bi smjeli prelijetati zračni prostor drugih NATO članica bez njihova specijalnog dopuštenja.⁵⁹ Iz tog

⁵⁹ Dave Seagle, NATO Developments in UAS Airworthiness and Sense & Avoid Functional Requirements, Prezentacija International Council of the Aeronautical Sciences, Sevilja, Španjolska, 2007.

razloga, NATO zrakoplovi se u pravilu certificiraju prema EASA ili FAR⁶⁰ zahtjevima plovidbenosti, kako bi se umanjile teškoće u zrakoplovnim operacijama unutar civilnog zračnog prostora.

Najznačajniji doprinos NATO stručnih tijela u smjeru zaobilaženja navedenih problema je bila izrada standardizacijskog dokumenta STANAG 4671, kojim se standardiziraju zahtjevi plovidbenosti za sustave na besposadnim zrakoplovima. U dokumentu se, između ostaloga, pojašnjava i njegov značaj na sljedeći način:

„Ako nacionalne vlasti ovlaštene za izdavanje certifikata plovidbenosti utvrde kako besposadni zrakoplovni sustav odgovara zahtjevima iz STANAG-a 4671...taj zrakoplovni sustav će imati odobrenje za letenje u zračnom prostoru drugih NATO zemalja, ukoliko su te zemlje također ratificirale taj STANAG.“

STANAG 4671 zapravo predstavlja prilagođenu inačicu EASA specifikacija CS-23, i odnosi se na zrakoplove s fiksnim krilima ukupne mase u polijetanju između 150 kg i 20.000 kg. Ostale kategorije zrakoplova, kao što su zrakoplovi s rotirajućim krilima ili oni ukupne mase manje od 150 kg, NATO će tretirati u drugim iteracijama svojih standardizacijskih dokumenata. Specifikacije za zrakoplove s rotirajućim krilima, bit će izvedene na temelju EASA specifikacija CS-27.⁶¹

Neka područja, kao što su *Sense and Avoid* uređaji ili frekvencijski spektar, nisu obuhvaćeni predmetnim STANAG-om, iz razloga što je riječ o tehničkim sustavima koji imaju specifične zahtjeve za besposadne zrakoplove pa na taj način ne mogu biti izvedeni iz specifikacija koje vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom. Takvu preporuku je dalo i združeno tijelo JAA/Eurocontrol su svome dokumentu⁶² koji, između ostaloga, tretira i problematiku zrakoplovne regulative za operacije besposadnih zrakoplova.

U tablici 6 prikazana su područja koja se tretiraju u okviru standardizacijskoga dokumenta NATO-a, STANAG 4671.

⁶⁰ FAR – Federal Aviation regulations

⁶¹ Max Snow, NATO FINAS, Prezentacija, EASA UAV radionica, Pariz, Francuska, veljača 2008.

⁶² The Joint JAA/EUROCONTROL Initiative on UAVs: UAV TASK Force Final report, A concept for European regulations for unmanned Aerial vehicles, 2004

Tablica 6: Područja specifikacija ploidbenosti koja tretira STANAG 4671

		UAV System				
		UAV	Command and Control Data link	Communication System	UAV Control System	Other Ancillary Elements
A	General	X	X	X	X	X
B	UAV Flight	X				
C	UAV Structure	X				X
D	UAV Design and Construction	X				X
E	UAV Powerplant	X				
F	Equipment	X				
G	Operating Limitations and Information	X	X	X	X	X
H	Command and Control data link Communication System		X	X		
I	UAV Control System				X	

Izvor: NATO JCGUAS

5.2. Certificiranje operatera i obuka

Neovisno o tome u kojoj su mjeri besposadni zrakoplovi određeni stupnjem autonomnosti u letenju, značajan, pa gotovo i presudan može biti utjecaj koji na njega ima operater – pilot. Problematika licenciranja pilota⁶³ besposadnih sustava (ili operatera), može se vremenom pokazati kao mnogo veći problem nego što se isprva očekivalo, a razloga je više.

Izdavanje dozvola u skladu s Člankom 32 Konvencije ICAO-a predstavlja mjeru kontrole koju zemlja registracije ima nad time kome se izdaje dozvola, te pod kojim uvjetima, u svojstvu posade zrakoplova ili djelatnika održavanja zrakoplova koji sudjeluje u međunarodnim operacijama.⁶⁴ Problem koji se već u startu nameće jest činjenica kako se operater besposadnoga zrakoplova fizički ne nalazi u zrakoplovu pa se na nj ne odnosi navedeni članak Konvencije. Također, uvažavajući činjenicu kako je besposadni zrakoplov samo dio sustava koji se, pored same zrakoplovne platforme, sastoji i od zemaljskih stanica te odgovarajuće komunikacijske arhitekture, licenciranje osoblja mora uvažiti i

⁶³ Danas susrećemo nekoliko izraza kojima se imenuje osoba koja putem putem zamaljskog sučelja upravlja besposadnim zrakoplovom. Najčešće je riječ o podjeli na temelju okvira interakcije koju ta osoba ima sa sustavima na zrakoplovu. Naime, kod besposadnih zrakoplova više razine autonomije, najčešće se koristi izraz operater, dok kod onih koji imaju nižu razinu autonomije i gdje ta osoba neposredno upravlja aerodinamičkim površinama zrakoplova te njegovom pogonskom skupinom, koristi se naziv pilot.

⁶⁴ ICAO, Unmanned Aircraft Systems, Circular 328, 2011.

mogućnost postojanja više okvira specijalnosti. Nadalje, s obzirom na to kako se u slučaju dužih letova (prekooceanski, op.p.), besposadni zrakoplov može oslanjati na više komunikacijskih releja i zemaljskih upravljačkih stanica, od kojih svaka pojedina može operirati u nadležnosti drugih zrakoplovnih vlasti, a potencijalno i pod drugim regulatornim zahtjevima, jasno je koliko će složen biti proces utvrđivanja sveobuhvatne kompatibilnosti licenciranja sa svim zrakoplovnim propisima koji reguliraju tu problematiku.

Međutim, posve je ispravno pretpostaviti kako će polazišna točka za određivanje uvjeta za certificiranje operatera i programa njihove obuke predstavljati svojevrsan ekvivalent onih koji vrijede za pilote ili tehničko osoblje u konvencionalnom zrakoplovstvu. Operater besposadnih zrakoplova mora biti u odgovarajućoj mjeri obučen u aeronautičkim znanjima/vještinama te u operativnom znanju. Međutim, aspekti kao što su razina autonomnosti zrakoplova i profil misije diktirat će potrebnu razinu stručnoga usavršavanja u svakoj pojedinoj kategoriji obučenosti. Istovremeno, nužno je uvažiti i čitav niz drugih specifičnosti kao što su zahtijevani zdravstveni kriteriji, psihomotoričke sposobnosti, letačko iskustvo, interakcija sa službama zrakoplovne navigacije i slično.

Kad je riječ o civilnim međunarodnim operacijama, perspektiva licenciranja se usložnjava u slučaju gdje je registrirani operater besposadnoga sustava iz jedne države, a sam operater ili pilot se nalazi u drugoj državi. Također, u slučaju preleta zrakoplova iz jedne u drugu državu, lokalne zrakoplovne vlasti ne mogu izvršiti neposredan uvid u odgovarajuće dozvole operatera koji se u toj državi fizički ne nalazi, a što je uobičajena praksa u konvencionalnom zrakoplovstvu. Kod vojnih operacija, situacija je nešto jednostavnija, pogotovo u slučaju operacija unutar zračnog prostora NATO članica.

S tim u vezi, nužno je napomenuti kako je NATO jedina organizacija koja postavlja konkretne zahtjeve za licenciranje tzv *Designated UAS Operatera* (DUO), u svome standardizacijskome dokumentu STANAG 4670. U istom dokumentu, u dijelu koji se odnosi na sadržaj zemaljske obuke i kvalifikacije instruktora, čime se na određeni način postavlja potrebni okvir za moguće licenciranje, NATO donosi sljedeću preporuku o poželjnim područjima stručnoga usavršavanja operatera⁶⁵:

- Dizajn zračnog prostora i operativni zahtjevi,
- Procedure i pravila letenja,
- Aerodinamika i mehanika leta,
- Zrakoplovni sustavi,

⁶⁵ NATO Standardization Agency, STANAG 4670, 2009.

- Letne karakteristike,
- Navigacija,
- Meteorologija,
- Komunikacijske procedure (uključujući englesku zrakoplovnu frazeologiju),
- Priprema zadaće

5.3. Ljudski čimbenik

Izuzetno važan element spoznaje o okvirima i prirodi regulatornih zahtjeva, kad je riječ o certificiranju besposadnih sustava i operatera, ali i daljnjem tehnološkom razvoju besposadnih zrakoplova, jest utjecaj ljudskog čimbenika na ukupni rizik njihove eksploatacije unutar kontroliranoga zračnog prostora. Odgovornost čovjeka prema sigurnom izvršavanju tehnoloških postupaka unutar zrakoplovnih operacija, jednaka je neovisno o tome nalazi li se on za vrijeme leta u zrakoplovu, ili na zemlji. Zbog svojevrsnoga posrednog odnosa između operatera i besposadnoga zrakoplova, ostavlja se dojam kako je odgovornost za sigurno izvršenje leta, kad isključimo organizacijske aspekte, podijeljena između zrakoplova i operatera, dok je kod konvencionalnih zrakoplova ta odgovornost u potpunosti dodijeljena pilotu i posadi.

Dosadašnja iskustva u aktivnostima vezanim uz integraciju besposadnih zrakoplova u civilni zračni prostor upućuju na to kako bi najveće regulatorne prepreke mogle biti vezane uz „označenu“ odgovornost, odnosno potrebu da se u svakome trenutku mora jasno znati **tko** je odgovoran za sigurnost operacije u kojoj sudjeluje besposadni zrakoplov. Nije stoga slučajno što se u NATO frazeologiji nametnuo izraz „označeni operater besposadnoga zrakoplova,“ upravo s ciljem kako bi se na taj način operater, u komunikaciji s odgovarajućim službama navigacije letenja, pozicionirao kao subjekt koji je odgovoran za zrakoplov koji nadzire.

Najznačajniji fenomen u izučavanju ljudskoga faktora u kontekstu sigurnosti letenja besposadnih zrakoplova je tzv. daljinska svjesnost situacije (*remote situation awareness*).⁶⁶ Riječ je o tome kako je operater fizički izoliran od zrakoplova, te na taj način spoznaju o situaciji u okružju zrakoplova ili ponašanju samoga zrakoplova u letu on kreira na temelju posrednih, sintetičkih podataka. Pilot u zrakoplovu može, u slučaju pojave snažnijih dinamičkih

⁶⁶ Chris Johnson, The safety research challenges for the air traffic management of unmanned aerial systems (UAS), Prezentacija, Department of Computing Science, University of Glasgow, Škotska.

opterećenja na zrakoplov, putem kinestetičkih i vestibularnih osjeta spoznati indikatore izvanrednoga događaja i bez kontrole letnih instrumenata. Također, vidno polje pilota na konvencionalnom zrakoplovu je u znatnoj mjeri opsežnije i detaljnije od onoga koje stoji na raspolaganju operateru na zemlji. Kvaliteta vizualne informacije, nadalje, može biti znatno degradirana zbog ograničenja frekvencijskoga pojasa data-linka i kašnjenja u prijenosu. Takvi specifični oblici degradacije uključuju slabu prostornu rezoluciju, ograničeno vidno polje i zakašnjelo osvježanje slike. Takvi uvjeti će oslabiti i kontrolu zrakoplova i vizualnu detekciju prometa u zračnom prostoru⁶⁷. Može se stoga reći kako u usporedbi s pilotom konvencionalnoga zrakoplova, operater besposadnoga zrakoplova djeluje u relativnoj senzorskoj izoliranosti u odnosu na zrakoplov koji je pod njegovom kontrolom⁶⁸.



Slika 29. Univerzalni kontrolni sustav tvrtke Raytheon, dizajniran u skladu s NATO standardom STANAG 4586.

Izvor: <http://www.defenseindustrydaily.com>

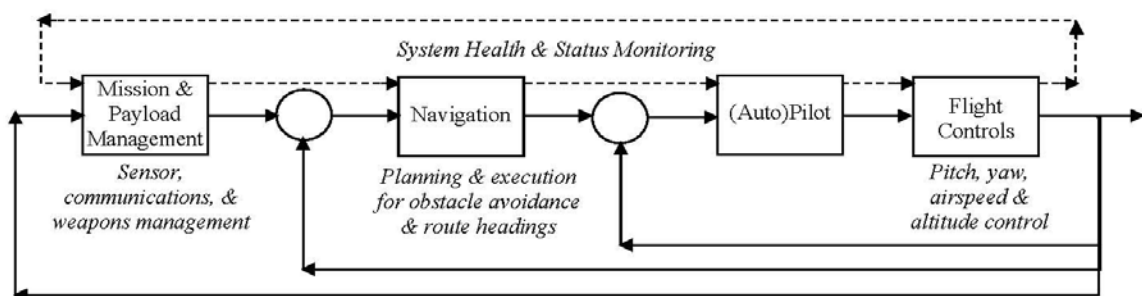
Još jedan aspekt u izučavanju ljudskoga faktora u istom kontekstu, koji je usko vezan uz problem jasnog označavanja odgovornoga operatera, jest kompozicija i profil zemaljskoga operatorskog tima. U postojećim okolnostima, kada je riječ o operacijama vojnih besposadnih zrakoplova, zemaljski tim se u pravilu sastoji od dva člana, od kojih je jedan zadužen za konstrukciju i položaj

⁶⁷ McCarley i Wickens, Human Factors Implications of UAVs in the National Airspace, Federal Aviation Administration, 2005. SAD.

⁶⁸ McCarley i Wickens, Human factors concerns in UAV flight, Institute of aviation, Aviation human factors division, University of Illinois, SAD.

zrakoplova, dok je drugi operater zadužen za senzore na zrakoplovu (najčešće žiroskopski stabilizirane okretne kupole, op. p.). Postojeća operatorska sučelja su u pravilu izvedena iz standarda koji vrijede za upravljačke konzole u kabinama konvencionalnih zrakoplova pa se postavlja pitanje je li takav aranžman optimalan za zemaljske posade. Ispitivanje uzroka nekoliko zrakoplovnih nesreća vojnih besposadnih zrakoplova u području operacije NATO-a u Afganistanu (ISAF⁶⁹) indiciralo je kako je podjela zadaća između više operatera u određenoj mjeri doprinijela pojavi nesreće. Daljnja su istraživanja potrebna kako bi se spoznalo kakva je kompozicija zemaljskoga tima potrebna za odgovarajući tip zrakoplovne misije, a pored toga i na koji način će članovi tima međusobno komunicirati kako njihova interakcija ne bi posljedično predstavljala incidentni čimbenik u izvršenju misije.

Nadalje, u kojoj mjeri operatorsko sučelje može biti optimizirano i automatizirano na način da je dovoljan samo jedan operater koji će upravljati svim tehnološkim segmentima operacija besposadnih zrakoplova. Određena istraživanja⁷⁰ su pokazala da, uz određeni tehnološki pomak u razini autonomnosti besposadnih zrakoplova, jedan operater posjeduje dovoljnu razinu kognitivnih sposobnosti da upravlja s više besposadnih zrakoplova u istom trenutku. Na slici 30 prikazan je blok dijagram hijerarhije kontrolnih petlji u ljudskom nadzoru besposadnoga zrakoplova. U slučaju nadzora više platformi odjednom, koje hipotetički mogu biti i heterogene, dio nadzornih petlji u tom slučaju mora biti premješten na samu platformu.



Slika 30. Blok dijagram hijerarhije kontrolnih petlji u nadzoru besposadnih zrakoplova.

Izvor: NATO Research & Technology Organization.

⁶⁹ ISAF – International Security Assistance Force.

⁷⁰ M.L. Cummings et al., Automation Architecture for Single Operator-Multiple UAV Command and Control, Humans and Automation Laboratory, MIT, SAD, 2008.

5.4. Aerodromi

Iako se u ovome trenutku većina operacija besposadnih zrakoplova odvija na posebnim uzletno-sletnim stazama i vojnim aerodromskim površinama, a nerijetko i na posebno prilagođenim platformama, predviđeni trendovi integracije tih zrakoplova u civilni zračni promet, nezaobilazno će podrazumijevati i upotrebu civilnih aerodromskih manevarskih površina. Pritom, pretpostavka je kako u toj fazi tehnološkoga procesa neće biti posebnih ograničenja, odnosno kako će besposadni zrakoplovi imati potpuno ravnopravan tretman u procedurama i redoslijedu korištenja staza za rulanje, stajanke i uzletno-sletne staze.

Sigurnosna regulativa za aerodromske površine se izvodi na temelju odredbi Konvencije ICAO-a u Annexu 14. U Europi, uspostavljena je od strane 14 zemalja posebna Grupa regulatora za aerodromsku sigurnost (GASR⁷¹), koji na dragovoljnoj osnovi razvijaju usklađene sigurnosne regulativne standarde za aerodrome i zemaljska pomoćna sredstva. U međuvremenu, broj država koje sudjeluju u radu Grupe, narastao je preko 30⁷².

U ovome trenutku nisu objavljeni rezultati eventualnih istraživanja na temu utjecaja operacija besposadnih zrakoplova na sigurnost aerodromskih operacija u cjelini. Također, ne postoji ni posebna regulativa koja se odnosi na tu problematiku. Jedna od prvih nacionalnih regulatornih vlasti koja je u svome službenom dokumentu odredila neke okvire budućih operacija je Agencija za civilni promet Ujedinjenoga Kraljevstva, te ona u svome dokumentu⁷³ navodi sljedeće:

Nositelj aerodromske licence je dužan pokazati na koji način će sigurnost onih zrakoplova koji zahtijevaju upotrebu licenciranoga aerodroma biti osigurana kada su na tom aerodromu dozvoljene operacije besposadnih zrakoplova. Operacije besposadnih zrakoplova na licenciranom aerodromu će se provoditi u skladu s zahtjevima upravljanja sigurnošću na način na koji su oni uređeni u Aerodromskom priručniku. Taj Priručnik, koji čini jezgri element sustava aerodromskoga upravljanja sigurnošću (SMS – Safety Management System), sadržava politiku sigurnosti, odgovornosti i procedure kako bi olakšao sigurnu provedbu aerodromskih operacija.

71 GASR – Group of Airport Safety Regulators.

72 <http://www.gasr.info/web/about.html>

73 Civil Aviation Authority, CAP722, Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Guidance, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2010.

U svome završnom izvješću po pitanju Koncepta europske regulative za besposadne zrakoplove, združeno tijelo JAA/Eurocontrol ne obrađuje detaljno problematiku aerodromskih operacija, no navodi jedan važan segment aspekta sigurnosti u toj domeni kojemu će biti nužno posvetiti poseban obzir. Naime, potrebno je istražiti tehničke sigurnosne mehanizme koji će spriječiti nedozvoljeni izlazak na uzletno-sletnu stazu (tzv. *Runway Incursion*) koji se u konvencionalnom zrakoplovstvu, u prosjeku događa svaka tri dana, zbog čega se u Europi dogodi nedopustiva razina rizika od sudara na pisti jedanput u dva do tri mjeseca. Problem kod postojećih besposadnih zrakoplova jest taj što nema nikoga u zrakoplovu kako bi prepoznao i reagirao na crveni (vizualni) signal, a sam zrakoplov na sebi nema odgovarajućih tehničkih surogatnih rješenja koji bi to učinili umjesto pilota.

5.5. Zemaljske upravljačke stanice

Zemaljske upravljačke stanice, u kontekstu zrakoplovnih operacija besposadnih zrakoplova, jednako su važan element besposadnoga sustava kao i sama zrakoplovna platforma. Stoga, upravljačke stanice će zahtijevati jednak regulatorni tretman kao i svaki drugi, sigurnosno-kritični element zrakoplovnoga sustava.



Slika 31. Tipični izgled zemaljske kontrolne stanice, u ovom slučaju za besposadni zrakoplov tipa Predator.

Izvor: US Air Force

Tradicionalne operativne pozicije za konvencionalno zrakoplovstvo su ograničene na okruške koje uključuje jednu pilotsku kabinu. Prisustvo posade unutar zrakoplovne platforme posjeduje integralnu ulogu u ukupnom certificiranju zrakoplova te razvoju procedura za letenje. Uklanjanje okruške kabine iz zrakoplova, interakcije između udaljene posade i njihovih operativnih pozicija unutar zrakoplova uvest će nove kompleksnosti, u mjeri koja je zasad nepoznata. Procedure u letenju će vjerojatno trebati biti i izmijenjene u određenoj mjeri kako bi se prilagodile opisanom scenariju.⁷⁴

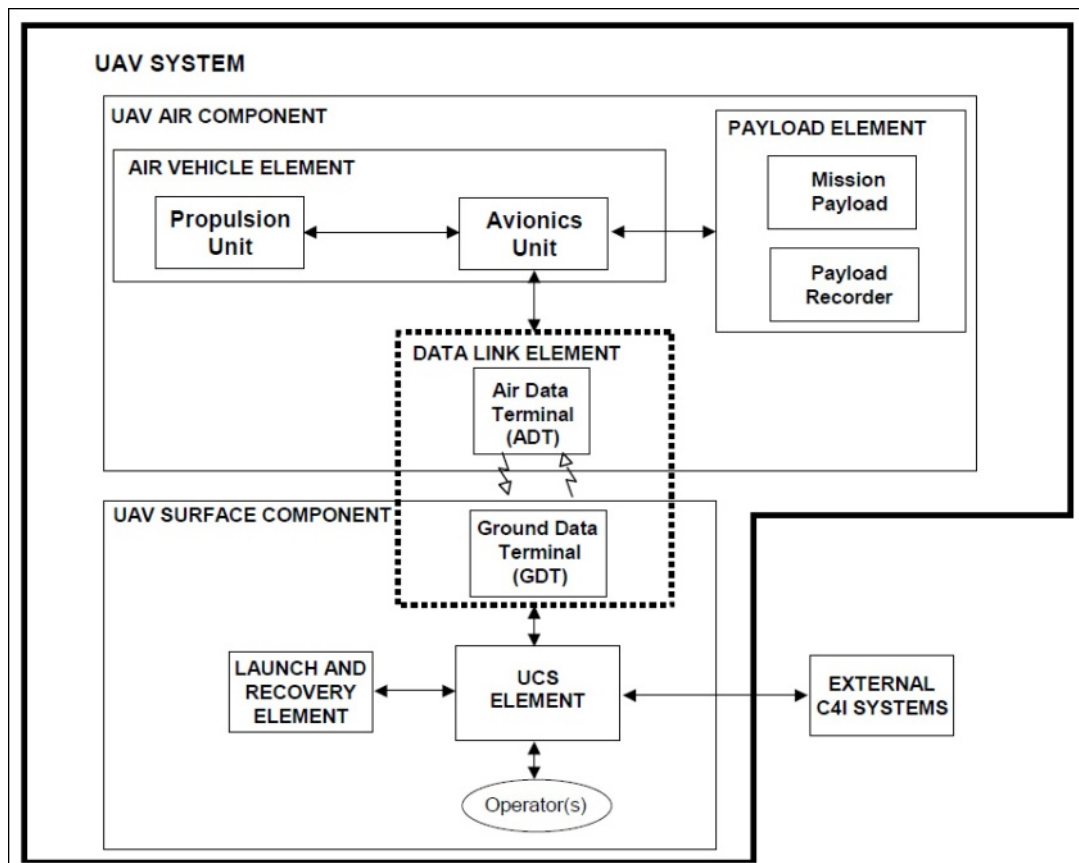
Plovidbenost i kodovi za certificiranje zahtijevaju od konvencionalnih zrakoplova u pravilu zahtijevaju osiguranje redundantne konfiguracije. Dostizanje slične razine redundancije za besposadne zrakoplove u tom slučaju uključuje sam zrakoplov, zemaljsku kontrolnu stanicu te pripadajuće veze za upravljanje i nadzor (C2⁷⁵). Za besposadni zrakoplovni sustav, svi nabrojani elementi mogu tražiti jednaku razinu redundancije kao i zrakoplovi s ljudskom posadom. To će svakako biti predmetom budućih istraživanja. Također, mnogi potporni podsustavi će zahtijevati sličnu ili višu razinu redundancije, čega su primjer snimači leta, kojima u slučaju besposadnih zrakoplova moraju biti opremljeni i zemaljska kontrolna stanica i zrakoplov.

Standardizacijska tijela NATO izradila su dokument STANAG 4586,⁷⁶ u kojemu se preciziraju standardi za operatorska sučelja i druge elemente zemaljskih kontrolnih stanica, na način da oni budu maksimalno operabilni s različitim tipovima besposadnih platformi i komunikacijskih veza. Komunikacijske veze, u ovom kontekstu, služe za prijenos podataka ne samo između besposadnoga zrakoplova i kontrolne stanice, već i između kontrolne stanice i odgovarajućih službi za zrakoplovnu navigaciju. Na slici 32 vidljiv je sustavni prikaz tipičnoga besposadnoga zrakoplovnoga sustava koji uključuje i zemaljsku kontrolnu stanicu.

⁷⁴ ICAO, Unmanned Aircraft Systems, 2011.

⁷⁵ C2, Command and Control – Upravljanje (zapovjedanje) i nadzor.

⁷⁶ STANAG 4586, Standard interfaces of UAV control system (UCS) for NATO UAV interoperability, 2007.



Slika 32. Blok dijagram hijerarhije kontrolnih petlji besposadnoga sustava.

Izvor: NATO Standardization Agency

5.6. Komunikacije i veze

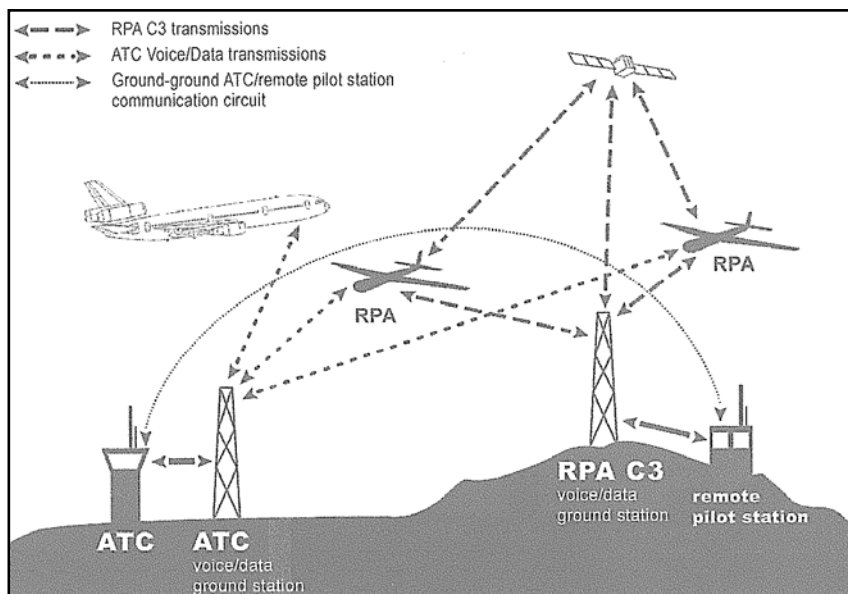
Komunikacija između službi kontrole leta i zemaljskoga operatora koji je odgovoran za let besposadnoga zrakoplova bez iznimke treba odgovarati postojećim standardima i protokolima koji vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom. Očiti problem koji se ovdje nameće jest taj što operator, osim što ostvaruje neposrednu komunikaciju s ATC-om, i što je dužan reagirati na date instrukcije, istovremeno mora imati uspostavljen komunikacijski kanal i sa samim zrakoplovom, što je preduvjet da pilot bude potpuno svjestan situacije u zraku. Pilot koji se nalazi u zrakoplovu prati analognu razmjenu informacija između ATC-a i ostalih zrakoplova u svom okružju, što mu značajno pomaže u postizanju svijesti o situaciji u zraku i namjerama ostalih sudionika u prometu. Operator besposadnoga zrakoplova, s druge strane, nema uvijek takvu mogućnost i, u postojećem ATM okružju, koje tek treba evoluirati na mrežno ustrojeni sustav – posjeduje nešto ograničeniju sliku situacije u zraku.

Istovremeno, postavlja se i pitanje postizanja sigurnosnih standarda za više komunikacijskih kanala koji su potrebni za odgovarajuće letenje

besposadnih zrakoplova. Naime, osim što zemaljski operater ostvaruje C2 komunikaciju sa svojim zrakoplovom, on istovremeno mora ostvarivati i *voice/data* komunikaciju sa službama ATC-a. Pitanje koje se u ovome trenutku pokušava riješiti jest na koji način bi ta komunikacijska mreža trebala biti ustrojena. Jedan od prijedloga jest taj da besposadni zrakoplov služi kao relej za komunikaciju s ATC-om, a sva komunikacija se odvija preko VHF pojasa (za veće zrakoplove i veće operativne dolete standardna je i SATCOM komunikacija). Ovo je tehnički jednostavno rješenje, no implicira značajna pitanja u kontekstu sigurnosti i izvanrednih procedura u slučaju gubitka veze, koja bi istovremeno odsjekla zrakoplov, zemaljsku stanicu i službu ATC-a.

Drugi prijedlog počiva na mogućnosti da se C2 ostvaruje preko VHF pojasa između zemaljske stanice i zrakoplova, a da se komunikacija sa službama ATC uspostavlja neposredno (*ground to ground*). Takav ustroj je sigurniji, no i bitno kompleksniji, a pitanje koje se dodatno postavlja jest imaju li sve cjeline ATC-a (oblasna, prilazna ili aerodromska) mogućnosti uspostaviti takve komunikacijske ustroje.

Ipak, neovisno o tome kojim putem će se ustrojivati standardi zrakoplovnih komunikacija za besposadne zrakoplove i kako će izgledati ustroj komunikacijskih kanala u trokutu između zemaljskih upravljačkih stanica, besposadnoga zrakoplova i ATC-a, oni će svakako biti u velikoj mjeri uvjetovani okolnostima koje će donijeti modernizacija postojećega ATM okružja u mrežno orijentirani sustav (*network-centric*), u okviru programa SESAR.



Slika 33. Osnovni komunikacijski linkovi

Izvor: ICAO

6. „Sense and Avoid“ funkcije besposadnih zrakoplovnih sustava

Okvir misija koje će se provoditi besposadnim zrakoplovnim sustavima zahtijevat će njihovu integraciju u civilni, kontrolirani zračni prostor. Pored svih tehnoloških i proceduralnih aspekata koji se trenutno razvijaju s tim ciljem, izbjegavanje sudara se izdvaja kao ključni element pristupa besposadnim sustavima u civilni zračni prostor.⁷⁷ Vojne i/ili civilne zrakoplovne vlasti mogle bi uskratiti pristup besposadnim zrakoplovima svim klasama zračnoga prostora dok oni ne budu u stanju demonstrirati, pored ostaloga, prihvatljivu razinu kompatibilnosti s primjenjivim pravilima zračnoga prometa. Operacije besposadnih zrakoplova u kontroliranom zračnom prostoru ne smiju predstavljati veći rizik za ostale sudionike u zračnom prometu, od onoga koji je vezan uz konvencionalne zrakoplove s ljudskom posadom.

Sense and avoid (SAA) sustav je definiran kao proces određivanja prisustva potencijalnog sudara u zraku i manevriranja kako bi se on izbjegao.⁷⁸ U konvencionalnom zrakoplovstvu, konačna odgovornost za izbjegavanje sudara uvijek leži na pilotu, neovisno o klasi zračnoga prostora u kojoj se odvija let, a izvodi se pomoću pilotove sposobnosti da „vidi i izbjegne“ (*See and Avoid*). Drugim riječima, pilot očima vidi, a zatim donosi i izvršava odgovarajuću odluku kojom manevrira zrakoplovom izvan ugroze. Sposobnost pilota da „vidi i izbjegne“ zahtjeva ekvivalentan mehanizam na besposadnim sustavima, odnosno SAA sustav koji će otkriti prisustvo ugroze potencijalnoga sudara te poduzeti odgovarajući manevar kako bi se izbjegla opasnost.

Postizanje zahtijevanih sigurnosnih normi nije samo funkcija tehnološkoga razvoja SAA, već je potrebno istovremeno promatrati širi kontekst koji uključuje okruženje zrakoplovnih operacija, obuku, certificiranje plovdbenosti, upravljanje zračnim prometom te druge tehnologije unutar sustava višega reda.

⁷⁷ Bernd Korn i Christiane Edinger, UAS in civil airspace: Demonstrating „Sense and Avoid“ capabilities in flight trials, Institute of Flight Guidance, DLR, Braunschweig, Njemačka, 2008.

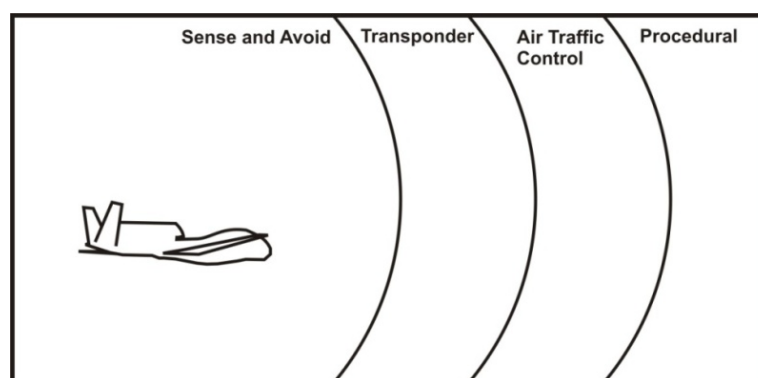
⁷⁸ Johan Pellebergs, The Midcas Project, Saab Aerosystems, 27th International Congress Of The Aeronautical Sciences, ICAS 2010. Preceedings.

6.1. „Sense and Avoid“ sposobnost kao podsustav

Integracija besposadnih zrakoplovnih sustava u kontrolirani zračni prostor podrazumijeva podilaženje normama sigurnosti unutar nekoliko slojeva tehnološke eksploatacije.⁷⁹ U prvom sloju se nalaze proceduralni aspekti koji uključuju VFR i IFR pravila letenja, te strukturu zračnoga prostora. Zatim, nadzor i kontrola zračnoga prometa kroz ATM elemente pružaju i stratešku i taktičku potporu sigurnosti odvijanja prometa te izbjegavanju sudara. Sljedeći sloj se odnosi na sustave uvedene tijekom devedesetih godina prošloga stoljeća, namijenjenih isključivo izbjegavanju sudara. Riječ je dakako, o sustavima TCAS (ili ACAS).⁸⁰

Konačno, sposobnost pilota da percipira položaj zrakoplova kojim upravlja u odnosu na druge zrakoplove u svojoj blizini, odnosno njegova sposobnost da „vidi“ promet oko sebe i poduzme odgovarajući manevar kako bi izbjegao mogućnost sudara – predstavlja zadnji sloj unutar opisanoga koncepta sigurnosti zračnoga prometa.

S tim u vezi, besposadni sustav koji sudjeluje u zračnome prometu unutar kontroliranoga zračnoga prostora, kako bi dostigao jednaku razinu tehnološke sigurnosti koja vrijedi za zrakoplove s ljudskom posadom, mora biti sposoban „vidjeti“ promet u svojoj blizini i na odgovarajući način manevrirati kroza nj, jednako kao u slučaju da njime upravlja pilot. Nadalje, funkcija „Sense and Avoid“ samo je dio opisanih slojeva sigurnosti pa se o njoj može govoriti kao o podsustavu, koji na određeni način ujedinjuje sposobnost zrakoplova, odnosno pilota da vidi promet oko sebe, i TCAS sustava.



Slika 34. Sigurnosni slojevi u funkciji izbjegavanja sudara

Izvor: Podatci iz teksta

⁷⁹ Bernd Korn i Christiane Edinger, UAS in civil airspace: Demonstrating „Sense and Avoid“ capabilities in flight trials, Institute of Flight Guidance, DLR, Braunschweig, Njemačka, 2008.

⁸⁰ TCAS – Traffic Collision Avoidance System (ili Traffic Alert and Collision Avoidance System). ACAS se odnosi na naziv Airborne Collision Avoidance System, no riječ je o istome sustavu.

6.2. Zrakoplovne nesreće i okvir za određivanje sigurnosnih normi za SAA sustave

Većina trenutnih operacija besposadnih zrakoplova se odvija u izdvojenom zračnom prostoru, no postoji sve veća potreba za neometan pristup tih zrakoplovima kontroliranom zračnom prostoru. Zbog toga, besposadni zrakoplovni sustavi će morati operirati uz bok konvencionalnom zrakoplovstvu na transparentan način.⁸¹

Kako bi se odredio okvir za određivanje sigurnosnih normi tehnološke eksploatacije besposadnih zrakoplova u cijelosti, nužno je uvažiti fundamentalnu razliku između tih sustava i konvencionalnih zrakoplova s ljudskom posadom. Naime, najnepoželjnije posljedice bilo kakve zrakoplovne nesreće jesu ozljede ljudi i/ili gubitak ljudskih života. Fundamentalna razlika između besposadnih i zrakoplova s ljudskom posadom upravo i jest činjenica da u prvom slučaju nema niti posade zrakoplova, niti putnika, zbog čega se očekuje kako će besposadni zrakoplovi u tom kontekstu imati povoljniju statistiku. S tim u vezi, pri određivanju sigurnosnih normi ova činjenica se mora uzeti u obzir, kako bi se izbjeglo određivanje previsokih zahtjeva za besposadne zrakoplove, u slučaju kad bi se oni izravno derivirali iz postojećih, koji vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom.

S druge strane, sigurnosne norme moraju uvažiti i drugu posebnost besposadnih zrakoplova, a to je činjenica da ti zrakoplovi posjeduju znatno više integralnih upravljačkih podsustava, koji imaju zadaću zamijeniti ne samo upravljačke zapovijedi pilota, već i njegovu sposobnost da donosi odluke s ciljem izvršenja zadaće i očuvanja sigurnosti leta. Nadalje, uvažavajući činjenicu da je ukupna pouzdanost svakog zrakoplova, kao sustava višeg reda, jednaka umnošku pouzdanosti svakog pojedinog podsustava na zrakoplovu, proizlazi kako bi podsustavi na besposadnim zrakoplovima, zbog svoje brojnosti morali postići pojedinačno više zahtjeve sigurnosti, kako bi u ukupnom zbroju odgovarali onima koji vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom.

Zrakoplovna nesreća je svaki događaj koji se dogodi za vrijeme bilo koje faze leta, u kojemu se kao posljedica javlja gubitak ljudskog života ili teže ozljede, odnosno događaj u kojemu zrakoplov pretrpi značajna strukturalna ili funkcionalna oštećenja. Jasno je iz navedene definicije kako će se u slučaju besposadnih zrakoplova, rizik u slučaju zrakoplovne nesreće pojaviti samo u dva scenarija; prvi će se dogoditi u slučaju udara besposadnog zrakoplova u zemlju, gdje dolazi do stradavanja ili ozljeđivanja ljudi na zemlji, a drugi je slučaj

⁸¹ Clothier, Reece A. i Walker, Rodney A. Determination and Evaluation of UAV Safety Objectives. In Proceedings 21st International Unmanned Air Vehicle Systems Conference, Bristol, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2006.

sudar u zraku (*mid-air collision*), gdje u zrakoplovnoj nesreći sudjeluje i drugi zrakoplov koji ima ljudsku posadu.

Prema podacima američkoga Nacionalnog odbora za sigurnost prometa iz 2005. godine, od 27.404 obrađena slučaja zrakoplovnih nesreća, u kojima su sudjelovali zrakoplovi svih kategorija,⁸² manje od 1% slučajeva je rezultiralo ozljeđivanjem ili stradavanjem ljudi na zemlji. Iako bi takvu tezu bilo potrebno potvrditi na većem uzorku podataka o zrakoplovnim nesrećama, vidljivo je da će u kontekstu stradavanja ljudi, što je svakako najnepoželjniji ishod bilo kojega neželjenog događaja, najveći rizik operativne eksploatacije besposadnih zrakoplova unutar kontroliranoga zračnog prostora predstavljati sudar u zraku s drugim zrakoplovima.

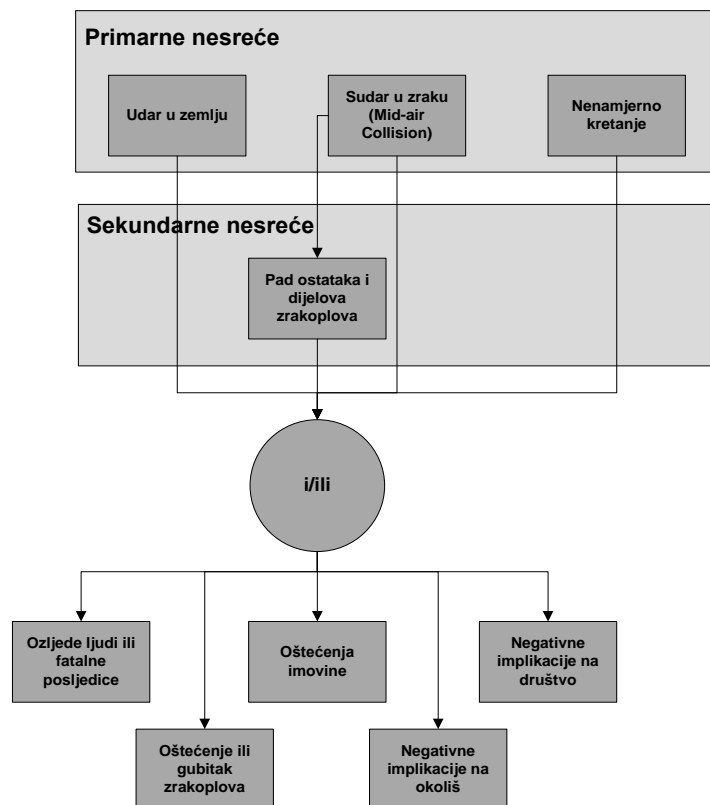
Na slici 35 je vidljiva podjela na primarne i sekundarne zrakoplovne nesreće prema podjeli koju je izradio K. Dalamagkidis.⁸³ Opisana podjela može biti istovremeno vrijediti i za konvencionalne i besposadne zrakoplove, no razlike bi postale vidljive kad bi se pojedinim tipovima nesreća pridružili statistički podatci vezani uz stradavanje posada i putnika zrakoplova. Iako takvi sustavni statistički podatci još ne postoje, jasno je kako u kategoriji nesreća gdje je nastupio udar zrakoplova u zemlju, kod besposadnih zrakoplova ne bi postojali statistički podatci vezani uz stradavanja članova posade. Iako je navedena činjenica jasna sama po sebi, bitno ju je napomenuti kako bi se bolje razumjele pretpostavke za sljedeću kategoriju – a to su nesreća gdje je nastupio sudar u zraku.

Naime, zbog izostanka posade na besposadnom zrakoplovu, stopa fataliteta nastala kao posljedica sudara u zraku, bit će manja za besposadne zrakoplove nego za one s ljudskom posadom. Posljedično, besposadni zrakoplovi bi iz svoje perspektive, teoretski, mogli sudjelovati u većem broju sudara nego konvencionalni zrakoplovi a da u isto vrijeme ne premašuju prosječnu stopu fataliteta u danoj kategoriji zrakoplovnih nesreća.⁸⁴ Naravno, posve je neprihvatljivo postavljati zahtjeve na temelju prosječne stope fataliteta, već bi takvi zahtjevi trebali biti postavljeni s ciljem postizanja odgovarajuće stope pouzdanosti i sigurnosti tehnološke eksploatacije, dok bi u tom slučaju pad stope fataliteta bio logična i očekivana posljedica.

⁸² National Transportation Safety Board, Aviation Accident Database, SAD, prosinac 2005.

⁸³ K. Dalamagkidis, K. P. Valavanis, L. A. Pieg: On integrating UAS into the National Airspace System, 2008.

⁸⁴ Reece A. i Walker, Rodney A. Determination and Evaluation of UAV Safety Objectives. In Proceedings 21st International Unmanned Air Vehicle Systems Conference, Bristol, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2006.



Slika 35. Primarne i sekundarne zrakoplovne nesreće besposadnih zrakoplova i njihove moguće posljedice

Izvor: Konstantinos Dalamagkidis: On integrating UAS into the National Airspace System, 2008.

6.3. Ekvivalentna razina sigurnosti (ELOS)

U pokušaju da se odrede kvantitativna mjerila za određivanje prihvatljive razine sigurnosti u integraciji besposadnih zrakoplova, regulatorna tijela kao što su Eurocontrol, JAA i EASA, smatraju kako je ta mjerila nužno derivirati na temelju **ekvivalentnosti**,⁸⁵ pa u tom kontekstu postavljaju sljedeću pretpostavku:⁸⁶

„Regulatorni standardi plovidbenosti trebali ne bi trebali biti postavljeni na način da budu manje zahtjevniji od onih koji trenutno vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom, niti bi trebali stavljati besposadne

⁸⁵ K. Dalamagkidis, K. P. Valavanis, L. A. Piegler: On integrating UAS into the National Airspace System, 2008.

⁸⁶ Joint JAA/Eurocontrol Initiative on UAVs: A concept for european regulations for civil unmanned aerial vehicles (UAVs), završno izvješće, 2004.

zrakoplove u podređen položaj zahtijevajući usklađivanje s višim standardima samo zato što tehnologija takvo što dopušta.“

Ovaj princip je naširoko prihvaćen i poznat je kao **ELOS** zahtjev (*Equivalent Level of Safety* – ekvivalentna razina sigurnosti). JAA/Eurocontrol u svom dokumentu raščlanjuju ELOS u dvije podgrupe; **Ekvivalentni rizik**, koja se odnosi na ekvivalentnu razinu očekivanoga rizika od neželjenih događaja, te **ekvivalentne operacije**, koja se odnosi na zahtjev prema kojemu se besposadni zrakoplovi moraju podrediti postojećoj operativi upravljanja zračnim prometom na način da ne postoje iznimke u procedurama. Ovo potonje je važno zbog jednog od načela integracije besposadnih zrakoplova a to je da iz perspektive ATM-a besposadni zrakoplovi moraju biti transparentno tretirani kao svaki drugi sudionik zračnoga prometa.

Iako ELOS zahtjev predstavlja kvantum funkcionalno-tehničkih aspekata sigurnosti letenja besposadnih zrakoplova, u nastavku ovoga rada posebna će pažnja biti usmjerena na onaj segment ELOS-a koji se odnosi na SAA funkciju te derivaciju ELOS-a u dijelu tehničko-funkcionalnih pretpostavki za izbjegavanje sudara u zraku, kao najznačajnijega izazova integracije besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor.

6.3.1. Kvantitativna mjerila za određivanje ekvivalentne razine sigurnosti

Sigurnosni kontekst funkcije SAA razmatra se i na razini NATO tijela koja imaju zadaću usklađivanja standarda i normi za zajedničke vojne sposobnosti Saveza. U svojoj studiji o SAA zahtjevima za sustave koji operiraju u kontroliranom zračnom prometu⁸⁷, NATO ekspertna tijela propisuju predmetnu funkciju kao imperativ koji mora biti usklađen sa zahtjevima koji se propisuju za komercijalni zračni promet. U skladu s tim, polazišna osnova za razvoj SAA funkcije za besposadne zrakoplove mase preko 150 kg, odnosi se na postojeće sigurnosne norme u komercijalnom zrakoplovstvu u zračnim prostorima klasa A do D, od čega je ključna vjerojatnost sudara u zraku (*Probability of mid-air collision* – Δ_{MAC}). Za besposadne sustave Δ_{MAC} mora biti ekvivalent (ili bolji od) 5×10^{-9} po satu leta. Za sve druge operacije u prostorima klasa E, F i G, vjerojatnost sudara u zraku Δ_{MAC} mora biti ekvivalent, ili bolji od 1.07×10^{-6} po satu leta, što je jednaka prihvatljiva razina rizika za konvencionalne zrakoplove u istim klasama zračnoga prostora.

⁸⁷ NATO Naval Armaments Group, Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aerial Vehicles Systems Operating in Non-Segregated Airspace, 2011.

Međutim, uvažavajući očekivani trend napretka tehnike, zbog čega se očekuje kako će realna vrijednost Δ_{MAC} i dalje opasti, združeno radno tijelo FINAS⁸⁸ je donijelo preporuku po kojoj bi ciljana razina sigurnosti (**TLOS** – *Target Level of Safety*) bila postavljena na 1×10^{-7} za besposadne zrakoplove koji lete u zračnim prostorima klasa E, F i G, dok bi za prostore klasa A do D ova razina bila postavljena na vrijednost 1×10^{-9} .

Nužno je napomenuti kako u ovome trenutku ne postoji dovoljno sustavno prikazanih pokazatelja stvarne incidencije zrakoplovnih nesreća u kojima su sudjelovali besposadni zrakoplovi. To je i razumljivo, s obzirom na to kako se, barem u dosadašnjem razdoblju, većina zrakoplovnih operacija besposadnim zrakoplovnim sustavima odnosila na vojne operacije gdje utjecaj imaju i posebne okolnosti kao što su improvizacija USS površina ili neprijateljska vatra. Također, kako besposadni zrakoplovi predstavljaju tehnološke sustave koji se u mnogim aspektima još uvijek nalaze u razvojnoj fazi, mnoge operacije tim sustavima predstavljaju eksperimentalne letove koji su po svojoj prirodi znatno rizičniji od letova koji se provode na certificiranim sustavima i u skladu s provjerenim procedurama.

Jedna studija⁸⁹ iz 2004. godine je napravila analizu ukupnoga broja poznatih slučajeva zrakoplovnih nesreća u kojima su sudjelovali besposadni zrakoplovi i došla je do brojke od $3,2 \times 10^{-4}$ nesreća po satu leta. Ovaj pokazatelj se, međutim, ne može koristiti kao polazna osnova za derivaciju rizika od sudara u zraku za besposadne zrakoplove, s obzirom na to kako se brojke odnose na ukupan broj nesreća u svim fazama leta, uključujući i udar u tlo ili fizičku prepreku. U tablici 7 su prikazani podatci iz studije koji se odnose na tri najzastupljenija tipa besposadnih sustava koji su se koristili u vrijeme izrade studije u sve tri grane oružanih snaga SAD-a. Pored ovih, prikazan je i odnos s pokazateljima u tri kategorije zrakoplova s ljudskom posadom, također uključujući sve navedene scenarije zrakoplovnih nesreća.

⁸⁸ FINAS – Flight in Non-Segregated Airspace – združeno ekspertno radno tijelo u kojemu sudjeluju predstavnici NATO tijela. Europe Defence Agency (EDA) i EUROCONTROL-a.

⁸⁹ Defence Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles, Washington, SAD, veljača 2004.

Tablica 7: Usporedba poznatoga broja zrakoplovnih nesreća.

Broj nesreća besposadnih sustava na 100000 sati leta	Broj nesreća zrakoplova s ljudskom posadom na 100000 sati leta
Predator (MALE) 3.2×10^{-4}	F-16 Fighting Falcon 3×10^{-6}
Pioneer (MR) 3.3×10^{-3}	Generalna avijacija 1×10^{-6}
Hunter (MRE) $5,5 \times 10^{-4}$	Regionalna avijacija 1×10^{-7}
	Veliki avioprijevoznici 1×10^{-8}

Izvor: Defense Science Board Study, SAD

S druge strane, uvažavajući karakteristične profile leta i prevladavajuće konstrukcijske i eksploatacijske značajke besposadnih zrakoplova, ranije navedene kvantitativne zahtjeve vezane uz prihvatljiv rizik od sudara u zraku, moguće je dovesti u odnos s realnim pokazateljima koji vrijede za generalnu avijaciju, u opisanoj kategoriji zrakoplovnih nesreća. U svojoj studiji⁹⁰, A.D. Balk je izveo derivaciju polazne razine sigurnosti za besposadne zrakoplove na temelju analize broja zrakoplovnih nesreća u SAD-u u razdoblju između 1982. i 2010. godine, u kojima su sudjelovali zrakoplovi iz kategorije generalne avijacije. Djelomični rezultati njegove analize su vidljivi u tablici 8, gdje je prikazan stvarni broj zrakoplovnih nesreća u generalnoj avijaciji po satu naleta, za zrakoplove iz kategorije **FAR Part 91**, u skladu s tezom autora kako ta kategorija predstavlja ekvivalent skupa tipova besposadnih zrakoplova koji će postati prvi kandidati za certifikaciju za letenje izvan izdvojenoga zračnog prostora.

Tablica 8: Stvarni broj nesreća po satu leta u odnosu na različite scenarije.

	Scenario Average accident rates (accidents per flight hour)			
	Total	IFR flights	VFR flights	No flight plan
Mid-air collision (2001.-2010.)	3.95×10^{-7}	$7,15 \times 10^{-8}$	$1,41 \times 10^{-7}$	3.95×10^{-7}
Accident at or near aerodrome (2001.-2008.)	$4,08 \times 10^{-5}$	$1,49 \times 10^{-5}$	$1,40 \times 10^{-5}$	$7,41 \times 10^{-5}$
Accident outside aerodrome (2001.-2008.)	$1,36 \times 10^{-5}$	$5,79 \times 10^{-6}$	$4,80 \times 10^{-6}$	$2,41 \times 10^{-5}$

Izvor: A.D. Balk, Analysis of U.S. general aviation accident rates

⁹⁰ A.D. Balk, Analysis of U.S. general aviation accident rates, Derivation of a baseline level of safety for a set of UAS categories, NLR Air Transport Safety Institute, Srpanj 2011.

Rezultate iz tablice 8 je nužno uzeti s rezervom, jer se, unatoč navedenim konstrukcijskim sličnostima besposadnih zrakoplova i zrakoplova generalne avijacije, karakteristični profili leta donekle i razlikuju, poglavito ako je riječ o **VFR**⁹¹ letovima ili letovima bez plana leta, koji se mogu odnositi i akrobatske i sportske letove. Stoga, postavlja se pretpostavka kako bi najbliži pokazatelj predstavljao podatak koji vrijedi za **IFR**⁹² letove, u kategoriji sudara u zraku (*mid-air collision*) jer će se karakteristični profil leta besposadnih zrakoplova sasvim izvjesno najčešće formirati u odnosu na IFR okružje. Pod pretpostavkom kako je analogija broja nesreća zrakoplova generalne avijacije u predmetnom kontekstu prihvatljiva, onda se može pretpostaviti kako bi besposadni zrakoplovi, u slučaju da se isključe druge specifičnosti, u ovome trenutku postigli zadovoljavajuće sigurnosne zahtjeve za letenje u klasama zračnoga prostora E, F i G, dok to još ne bi bio slučaj za klase od A do D.

6.3.2. Vjerojatnost sudara u zraku

Statistički podaci o broju zrakoplovnih nesreća u kojima su sudjelovali zrakoplovi ekvivalentnih letnih karakteristika predstavljaju legitimnu polaznu osnovu za određivanje ekvivalentne razine sigurnosti za besposadne zrakoplove. Međutim, postavlja se pitanje mogu li se takvi podatci neposredno prevesti u sustavne zahtjeve, odnosno u sustavne zahtjeve za funkcionalnu izvedbu SAA sustava.

Jedan od razloga zbog kojih bi takvo pitanje moglo polučiti negativan odgovor je činjenica kako se specifični letni profil u zrakoplovnim operacijama besposadnih zrakoplova u određenoj mjeri razlikuje od onih u kojima sudjeluju konvencionalni zrakoplovi. Između ostaloga, bitne se razlike nalaze u značajkama brzine penjanja⁹³ (*Rate of Climb*), brzine spuštanja (*Rate of Sink*), krstareće brzine (*Cruise Speed*) i drugih. Ipak, u ovome trenutku ne postoji sveobuhvatni kvantitativni alat za izračun vjerojatnosti sudara u zraku iz jednostavnoga razloga što je priroda zračnog prometa izuzetno dinamična, ona tehnološki neprestano evoluira te progresivno raste u volumenu.

⁹¹ VFR – Visual Flight Rules

⁹² IFR – Instrumental Flight Rules

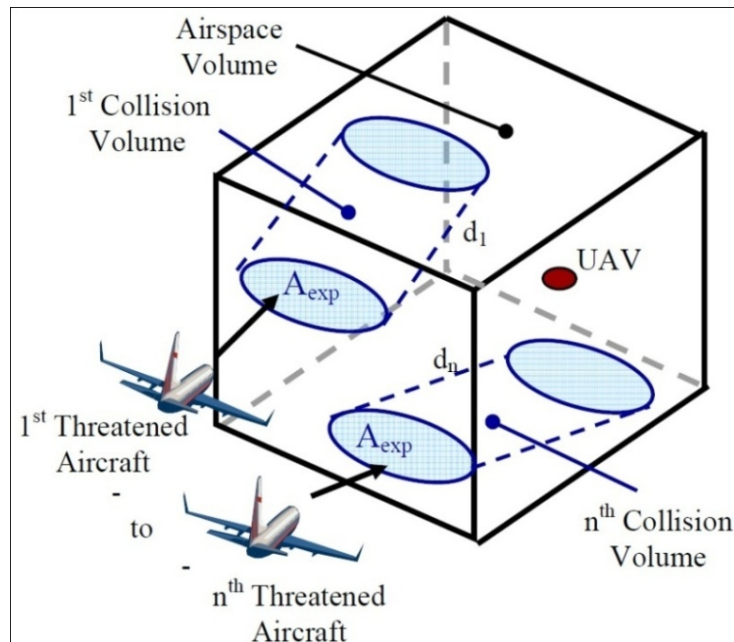
⁹³ Andreas Sobester et al., *Conceptual Design of UAV Airframes Using a Generic Geometry Service*, University of Southampton, Hampshire, 2005

U svojoj studiji,⁹⁴ grupa autora razmatra varijable za izračun rizika sudara u zraku (Δ_{MAC}), između besposadnoga i zrakoplova s ljudskom posadom, s ciljem procjene broja očekivanih sudara po satu leta:

$$\Delta_{MAC} = \frac{A_{exp} d}{Vxt} \times P(\text{collision})$$

gdje je A_{exp} izložena površina ugroženoga zrakoplova, d je prevaljena udaljenost, V je volumen zračnoga prostora, dok je t vrijeme potrebno da se prijeđe udaljenost d . S obzirom na to kako predloženi algoritam razmatra mogućnost samo potencijalnoga sudara, koji se ne mora dogoditi jer je nastupio manevar izbjegavanja, ili je sudar ublažen na bilo koji način zbog kojega su izbjegnute fatalne posljedice, nužno je dodati koeficijent $P(\text{collision})$ koji odgovara uvjetnoj vjerojatnosti da niti jedan zrakoplov neće pribjeći manevru izbjegavanja sudara zbog čega bi nastupile fatalne posljedice.

Nužno je napomenuti kako ovaj izračun vrijedi samo za slučajeve gdje ne postoji sustav za izbjegavanje sudara na jednom ili oba zrakoplova.



Slika 36. Model sudara u zraku

Izvor: Weibel i Hansman, Safety considerations for operation of unmanned aerial vehicles in the national airspace system

⁹⁴ Roland E. Weibel and R. John Hansman, Safety considerations for operation of unmanned aerial vehicles in the national airspace system, Department of Aeronautics & Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD 2005.

6.4. Zahtjevi za SAA sustave i okvir tehnološke eksploatacije prema NATO-u

Temeljni zahtjev se odnosi na potrebu da besposadni sustav dostigne traženu razinu sigurnosti usporedivu s onom koja vrijedi za zrakoplove s ljudskom posadom. Pojednostavljeno rečeno, za svaki sudar u zraku (Mid-Air Collision, MAC) u kojemu sudjeluje besposadni sustav, potrebno je da se dogodi sljedeći niz incidentnih čimbenika⁹⁵:

- moraju postojati dva zrakoplova na trajektoriju sudara (*Collision Course*, CC), i
- mora se dogoditi pogreška u osiguranju razdvajanja (*Separation Failure*, SF), i
- mora se dogoditi pogreška u funkciji za izbjegavanje sudara na besposadnom sustavu (*UAS Collision Avoid Failure*, UAS CAF), i
- mora se dogoditi pogreška u funkciji sustava za izbjegavanje sudara na drugome zrakoplovu, s obzirom na to kako su oba zrakoplova odgovorna za izbjegavanje sudara (*Conflicting A/C Collision Avoidance Failure*, CCAF).

Uz svaki od navedenih incidentnih čimbenika veže se diskretna vrijednost (Δ) vjerojatnosti događanja (P). Vjerojatnost ili rizik sudara u zraku (Δ_{MAC}) zapravo je umnožak vjerojatnosti tih događaja, i može se opisati sljedećom formulom:

$$\Delta_{MAC} = \Delta_{CC} \times P_{SF} \times P_{UAS\ CAF} \times P_{CCAF}$$

6.4.1. Funkcionalni zahtjevi SAA sustava prema NATO specifikacijama

Osnovna zadaća svakog SAA sustava je osigurati dovoljnu količinu informacija kako bi se održale funkcije separacije zrakoplova i izbjegavanja sudara. Kao takav, svaki SAA sustav mora, kad situacija to zahtjeva, biti sposoban obavljati dvije različite ali komplementarne funkcije: a) **Izbjegavanje sudara (Collision Avoidance)**, te b) **Osiguranje razdvajanja (Separation Provision)**.

⁹⁵ NATO Naval Armaments Group, Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aerial Vehicles Systems Operating in Non-Segregated Airspace, 2011.

- a) **Izbjegavanje sudara** je akcija koja nastupa u trenutku kad funkcija razdvajanja nije izvršena i postoji rizik od vremenski bliskoga sudara. Izbjegavanje sudara mora biti spremno nastupiti u svakome trenutku, bez obzira na klasu zračnoga prostora ili važeća pravila leta. Uvažavajući činjenicu kako se svaki let izvodi uz odobrenje kontrole zračnoga prometa, ostaje dužnost DUO-a učiniti sve potrebne napore i mjere kako se besposadni zrakoplov ne bi sudario s bilo kojim drugim zrakoplovom.
- b) **Osiguranje razdvajanja** predstavlja rutinski čin očuvanja zrakoplova na minimalnoj potrebnoj razdaljini kako bi se umanjio rizik od sudara u zraku. Odgovornost za razdvajanje leži na kontroli zračnoga prometa (ATC).

Također, predloženi sustavni zahtjevi za SAA sustave mogu biti: **a) Obavezni** i **b) Poželjni**.

- a) **Obavezni:** Zahtjevi u kojima se koristi glagol „mora“ su obavezni i od njih se može odstupiti samo u slučaju postojanja specifičnih nacionalnih izuzeća.
- b) **Poželjni:** Poželjni zahtjevi su oni u kojima se koristi glagol „može“ i zamišljeni su kako bi poboljšali izvedbu SAA sustava na razinu sigurnosti iznad one temeljne. Poželjni zahtjevi ne smiju prejudicirati sposobnost nekog SAA sustava da dostigne obavezne zahtjeve.

U nastavku se navode funkcionalni zahtjevi za SAA sustave na besposadnim zrakoplovima u odnosu na dvije ranije određene sigurnosne funkcije. Riječ je o deriviranim zahtjevima koje je izradilo radno tijelo NATO-a, JCGUAS, u dokumentu⁹⁶ koji je još uvijek radne prirode, no svi ondje navedeni zahtjevi su substencijalno usuglašeni među državama NATO članicama pa se u tom smislu isti mogu smatrati konačnima. U tablici 9 su predloženi zahtjevi vezani uz funkciju izbjegavanja sudara, dok su u tablici 10 predloženi oni vezani uz funkciju osiguranja razdvajanja. Kao što je već ranije naglašeno, funkcionalni zahtjevi za SAA sustave na besposadnim zrakoplovima ne smiju biti niži od onih koji vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom. S tehnološko-tehničkoga aspekta to predstavlja značajan operativni izazov iz razloga što sustavi na besposadnim zrakoplovima moraju, osim dostignuća traženih funkcionalnih zahtjeva, premostiti i problem dvosmjerne komunikacije sustavnih statusa prema operateru u prihvatljivom vremenu kada za to postoji potreba.

⁹⁶ Vidi fusnotu 87.

Tablica 9: Funkcionalni zahtjevi vezani uz funkciju izbjegavanja sudara

Oznaka	Područje	Zahtjev
CAS1	Cooperative – Non Cooperative	Sustav za izbjegavanje sudara mora detektirati i surađujući i nesurađujući zrakoplov.
CAS2	Lighting Conditions	Sustav za izbjegavanje sudara mora otkriti bliski zrakoplov u svim svjetlosnim uvjetima u kojima je besposadnom zrakoplovnom sustavu odobreno djelovanje (dan/noć/prijelazno razdoblje).
CAS3	IFR / VFR	Sustav za izbjegavanje sudara mora otkriti bliski zrakoplov neovisno je li besposadni zrakoplovni sustav djeluje u IFR ili VFR uvjetima.
CAS4	Flight Conditions	Sustav za izbjegavanje sudara mora otkriti bliski zrakoplov kada djeluje u vizualnim meteorološkim uvjetima.
CAS5	Flight Conditions	Sustav za izbjegavanje sudara mora otkriti bliski zrakoplov kada djeluje u instrumentalnim meteorološkim uvjetima.
CAS6	Class of Airspace	Sustav za izbjegavanje sudara mora otkriti bliski zrakoplov u svim klasama zračnog prostora u kojima je besposadnom zrakoplovnom sustavu odobreno djelovanje.
CAS7	Collision Volume	Sustav za izbjegavanje sudara mora osigurati sposobnost izbjegavanja drugih zrakoplova uz minimalnu udaljenost od 500 stopa u horizontalnoj ravnini i 100 stopa u vertikalnoj ravnini.
CAS8	Independence from ATC Separation Provision Function	Sustav za izbjegavanje sudara se neće isključivo oslanjati na instrukcije ili intervencije kontrole zračnog prometa kako bi besposadni zrakoplovni sustav izbjegao sudar s drugim zrakoplovom.
CAS9	Automatic Manoeuvring	Ukoliko besposadni zrakoplov ne primi ulaznu naredbu označenoga operatera (bilo zbog gubitka veze ili drugog razloga) s ciljem izbjegavanja bliske opasnosti od sudara, besposadni zrakoplov će izvršiti automatski manevar s ciljem izbjegavanja bliskoga prometa.
CAS10	Automatic Manoeuvring	Sustav za izbjegavanje sudara može upozoriti označenoga operatera o manevru u tijeku i planiranom manevru te omogućiti sposobnost premošćivanja, ukoliko vrijeme i okolnosti to dopuštaju.
CAS11	Technical Reliability	Sustav za izbjegavanje sudara koji se nalazi na besposadnom zrakoplovu mora imati minimalno srednje vrijeme između dva kritična otkaza od 1 u 10 ⁵ sati leta.
CAS12	System Status	Sustav za izbjegavanje sudara mora posjedovati način indiciranja statusa sustava prema označenom operateru.
CAS13	System Failure	Kad se dogodi kritični otkaz sustava za izbjegavanje sudara i CAS12 se ne može izvršiti (npr. zbog gubitka veze), besposadni zrakoplovni sustav će automatski proglasiti kvar korištenjem dogovorenoga koda na transponderu.
CAS14	Post Manoeuvre Recovery Action	Nakon rješenja konfliktne situacije, sustav za izbjegavanje sudara mora označenome operateru signalizirati kako je situacija razriješena.
CAS15	Post Manoeuvre Recovery Action	Sustav za izbjegavanje sudara može zatražiti od označenoga operatera dozvolu za izvršenje manevra povratka na planiranu rutu.
CAS16	Post Manoeuvre Recovery Action	Sustav za izbjegavanje sudara mora imati sposobnost za automatski povratak na zadnju odobrenu visinu i rutu u scenariju gubitka veze, ukoliko u međuvremenu ne dođe do novoga konflikta.
CAS17	Field of Regard (FOR)	Kut gledanja senzora sustava za izbjegavanje sudara mora biti minimalno +/- 110° horizontalno u odnosu na uzdužnu os besposadnog zrakoplova, te minimalno +/-15° vertikalno u odnosu na putanju leta, uz osiguranje dovoljne pokrivenosti kako bi se osiguralo otkrivanje bliskog prometa u zraku u slučaju očekivanih manevara.
CAS18	Compatibility with Existing Collision Avoidance Systems	Sustav za izbjegavanje sudara ne smije povećati opasnost od sudara za zrakoplove koji koriste postojeće sustave za izbjegavanje sudara.

Izvor: NATO Naval Armaments Group, Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aerial Vehicles Systems Operating in Non-Segregated Airspace

Tablica 10: Funkcionalni zahtjevi vezani uz funkciju osiguranja razdvajanja

Oznaka	Područje	Zahtjev
SPS1	Cooperative – Non Cooperative	Sustav za osiguranje razdvajanja mora detektirati i surađujući i nesurađujući zrakoplov.
SPS2	Lighting Conditions	Sustav za osiguranje razdvajanja mora detektirati bliski zrakoplov u svim svjetlosnim uvjetima u kojima je besposadnom zrakoplovnom sustavu odobreno djelovanje (dan/noć/prijelazno razdoblje).
SPS3	Class of Airspace	Sustav za osiguranje razdvajanja mora osigurati dovoljnu količinu informacija za označenoga operatera kako bi se besposadni zrakoplov razdvojio od drugih zrakoplova u svim klasama zračnog prostora u kojima je besposadnom zrakoplovnom sustavu odobreno djelovanje.
SPS4	IFR / VFR	Sustav za osiguranje razdvajanja mora osigurati dovoljnu količinu informacija za označenoga operatera kako bi se besposadni zrakoplov razdvojio od drugih zrakoplova neovisno je li besposadni zrakoplovni sustav djeluje u IFR ili VFR uvjetima.
SPS5	Separation Standard - Distance	Sustav za osiguranje razdvajanja mora, osim u slučaju aerodromskih operacija, osigurati dovoljnu količinu informacija za označenoga operatera kako bi se besposadni zrakoplov razdvojio od drugih zrakoplova za minimalnu udaljenost od 0,5 NM u horizontalnoj ravnini, ili za minimalnu udaljenost od 500 stopa u vertikalnoj ravnini kad, uvažavajući pravila zračnoga prometa, besposadni zrakoplov ima odgovornost dati prednost drugom zrakoplovu.
SPS6	Notification	Sustav za osiguranje razdvajanja mora upozoriti označenoga operatera o predstojećem gubitku razdvajanja kako bi označeni operater mogao održavati razdvajanje kad god je besposadni zrakoplov dužan to učiniti prema pravilima zračnoga prometa.
SPS7	System Failures	Sustav za osiguranje razdvajanja mora osigurati označenom operateru informaciju o statusu sustava. Svaka promjena u statusu sustava mora biti jasno vidljiva označenom operateru.
SPS8	Post Manoeuvre Recovery Action	Sustav za osiguranje razdvajanja mora osigurati označenom operateru potvrdu kako je konfliktna situacija razriješena nakon što je odgovarajuće razdvajanje ponovno uspostavljeno.
SPS9	Field of Regard	Kut gledanja senzora sustava mora biti minimalno +/- 110° horizontalno u odnosu na uzdužnu os besposadnog zrakoplova, te minimalno +/-15° vertikalno u odnosu na putanju leta pri normalnoj krstarećoj brzini, uz osiguranje dovoljne pokrivenosti kako bi se osiguralo otkrivanje bliskog prometa u zraku u slučaju očekivanih manevara.

Izvor: NATO Naval Armaments Group, Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aerial Vehicles Systems Operating in Non-Segregated Airspace

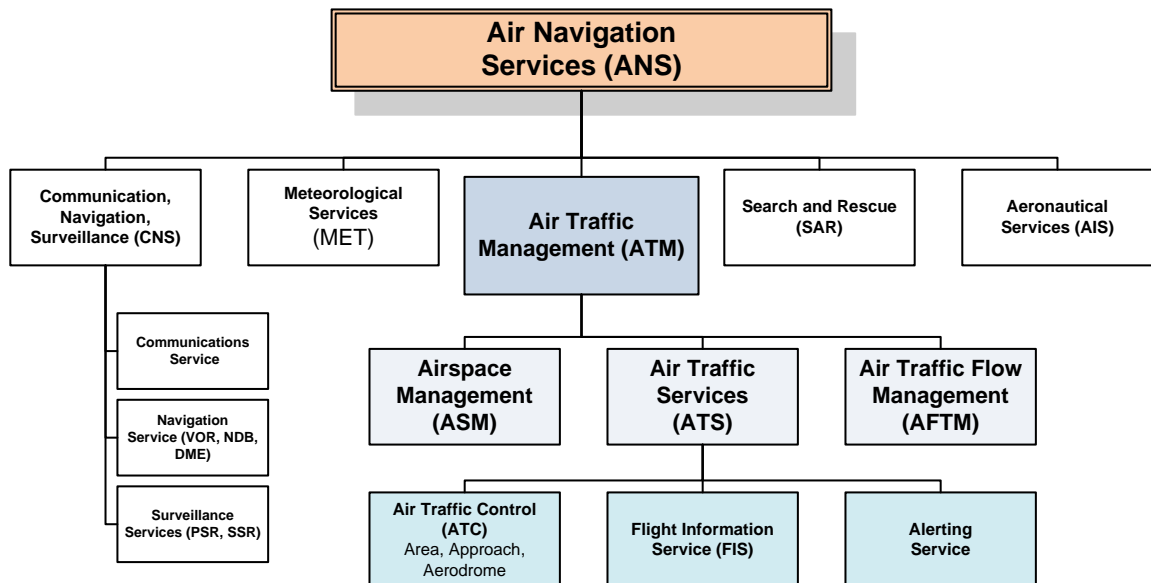
U ovome trenutku ne postoji besposadni zrakoplov kojemu je dopušteno letenje u neizdvojenom zračnom prostoru ispod razine leta *FL510*, unatoč posjedovanju sustava za izbjegavanje sudara na samoj platformi. Primjer takvoga zrakoplova je američki RQ-4 *Global Hawk* (ali ne i *Eurohawk*), koji ima ugrađen TCAS. Naime, kod zrakoplova s ljudskom posadom, odgovornost za izbjegavanje sudara leži na pilotu, dok je sustav za izbjegavanje sudara, kao što

je TCAS, samo potpora. Između ostaloga, zato što je vizualna interakcija pilota s okruženjem zrakoplova jedan od elemenata tog sustava. Zbog toga je prisutno razmišljanje kako su potrebna daljnja istraživanja u području sigurnosti kako bi se omogućilo letenje besposadnih platformi koje su opremljene ACAS sustavima u kontroliranom zračnom prostoru⁹⁷.

⁹⁷ Eurocontrol Air Traffic Management guidelines for Global Hawk in European Airspace, Edition 1.0, Eurocontrol, 2010.

7. Integracija besposadnih zrakoplova s aspekta upravljanja zračnim prometom

Integracija besposadnih zrakoplova u kontrolirani prostor može se uopćeno podijeliti u dva dijela; tehnički aspekti i sigurnosni zahtjevi koji iz njih proizlaze te tehnološki koji se ponajprije odnose na okružje suvremenoga upravljanja zračnim prometom (ATM), koji se ne mogu kvantificirati na isti način na koji smo promatrali tehničke aspekte u dosadašnjem dijelu ovoga rada. ATM je komplicirani sustav koji se neprestano razvija pa će i integracija jednoga konceptualno naprednoga prometnog sustava, kao što su besposadni zrakoplovi, imati potrebu ispunjavati tehnološke zahtjeve koji će se nametati snažnijom progresijom nego što je to slučaj kod zrakoplova s ljudskom posadom. Najvažniji dio ATM-a, u ovome kontekstu, jest zasigurno kontrola zračnoga prometa (ATC), koja se dijeli na oblasnu (*Area*), prilaznu (*Approach*) te aerodromsku (*Aerodrome*). Na slici 37 je vidljiv položaj ATC-a u odnosu na sustav ANS-a.



Slika 37: Organigram Službi zrakoplovne navigacije

Izvor: Cook, A., European Air Traffic Management

7.1. Specifičnosti operacija besposadnih zrakoplova u ATM okružju

Prva i najznačajnija razlika između operacija besposadnih zrakoplova i zrakoplova s ljudskom posadom, iz perspektive ATM-a, jest geografska relacija između zemaljske upravljačke stanice i operativne cjeline ATM-a koja je zadužena za razdvajanje zračnoga prometa gdje se te operacije odvijaju. Kad je riječ o zrakoplovima s ljudskom posadom, taj odnos je relativan zbog činjenice kako se komunikacija odvija neposredno između nadležne cjeline ATM-a i zrakoplova, putem odgovarajuće komunikacijskog kanala (*data/voice*).

S druge strane, u slučaju operacija besposadnih zrakoplova, zemaljska upravljačka stanica je stacionarna u odnosu na ATM mrežu. Istovremeno, besposadni zrakoplov je kritično ovisan o ulaznim naredbama od strane zemaljskoga operatora, neovisno o razini njegove autonomnosti. Kako današnji ATM još uvijek nije zaživio kao mrežni sustav, ta činjenica predstavlja otegotnu okolnost za komunikacijski prijenos u slučaju kada besposadni zrakoplov leti između nekoliko različitih sektora, koji pripadaju različitim nadležnostima kontrole zračnoga prometa. Stoga je od esencijalne važnosti da prijenos komunikacija od važnosti za službe zrakoplovne navigacije (ANS) dostigne zahtjeve koji su primjenjivi za odgovarajući zračni prostor i/ili operaciju, u skladu s odlukama odgovarajućih zrakoplovnih vlasti. Kao što je slučaj s zrakoplovima s ljudskom posadom, i u nastojanju da se umanju mogućnost vanjskoga ometanja, ovo će zahtijevati upotrebu posebno dodijeljenih frekvencijskih pojaseva⁹⁸.

Komunikacija s većim brojem različitih cjelina ATC-a neće predstavljati operativni problem kad je riječ o aerodromskim operacijama besposadnih zrakoplova. Iako se mogu promatrati odvojeno, takve operacije su gotovo podjednako značajne u kontekstu sigurnosti zračnoga prometa te ih je nužno i sagledavati na odgovarajući način. Procedure u letenju, kao što su SID (*Standard Instrument Departure*) ili MAP (*Missed Approach Procedures*) neće biti značajno različite između besposadnih zrakoplova i onih s ljudskom posadom, niti za to ima razloga. Međutim, kao potencijalni problem se nameće činjenica kako besposadni zrakoplovi evidentno nemaju sposobnost izvršavati manevre u skladu s instrukcijama aerodromskog ATC-a koje zahtijevaju vizualnu identifikaciju prometa u aerodromskom krugu. Primjer takve situacije jest taj da zrakoplov prima instrukciju da slijedi drugi zrakoplov u krugu, naravno kod letenja u VFR uvjetima. Logično, u takvoj situaciji gdje besposadni zrakoplov ne može ostvariti vizualnu identifikaciju prometa koji ga okružuje, on

⁹⁸ Unannned Aircraft Systems (UAS), Circular 328, International Civil Aviation Organization, 2011. (p 31).

neće biti u stanju odgovoriti na instrukciju ATC-a, a takva okolnost zasigurno predstavlja određenu prijetnju sigurnosti zračnome prometu unutar aerodromskoga kruga.

Nekoliko dodatnih aspekata u kontekstu aerodromskih operacija, koji će se morati prilagoditi na način da uvažavaju specifičnosti besposadnih zrakoplova, jesu sljedeći:

- Prihvatljivost oznaka na manevarskim površinama (stajanka, rulnica, uzletno-sletna staza,
- Prihvatljivost postojećih minimuma za instrumentalne procedure prilaza,
- Potreba za postojanjem motritelja na aerodromima koji će asistirati osoblju koje upravlja besposadnim zrakoplovom s ciljem izbjegavanja sudara,
- Implikacije na zahtjeve za licenciranje potrebne infrastrukture za besposadne zrakoplove (prilazna pomagala, zemaljska prihvatna vozila...)
- Vatrogasna i druga hitna uslužna oprema za besposadne zrakoplove i zemaljske upravljačke stanice,
- Implikacije postavljanja zemaljskih upravljačkih stanica i pripadajućih instalacija na ostalu aerodromsku infrastrukturu i dr.

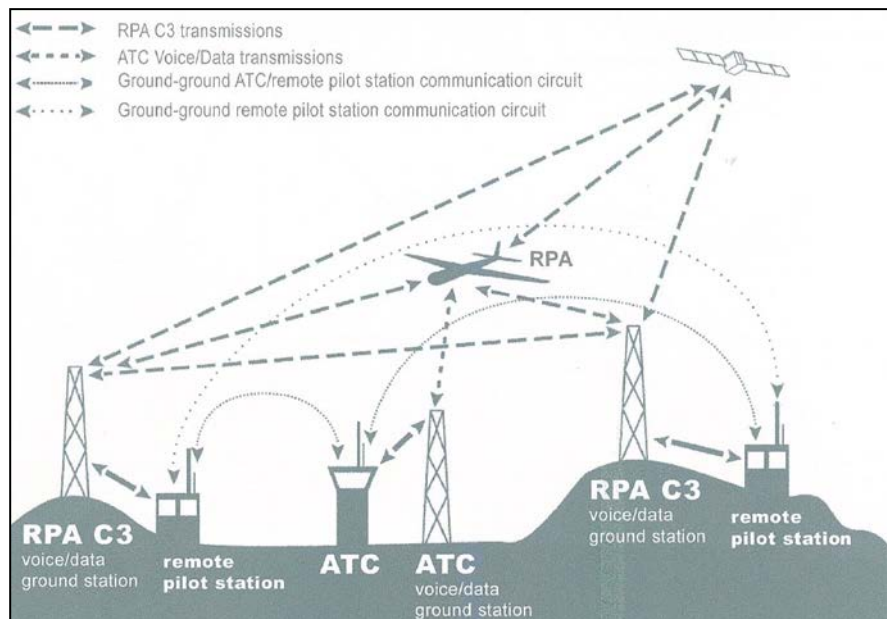
7.2. Budući sustav upravljanja zračnim prometom

Iako je naširoko prihvaćena činjenica kako integracija besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor ni u kojim okolnostima neće uvjetovati bilo kakvu prilagodbu od strane sustava ATM-a, buduća evolucija toga sustava moći će uvažiti neke specifične aspekte operacija besposadnih zrakoplova i posljedično – olakšati njihovu integraciju. Kako bi to bilo jasnije, potrebno je uzeti u obzir jednu važnu značajku današnjega ATM-a, i kojoj se predviđa opsežna modernizacija. Riječ je o svojevrsnoj rigidnosti njegove konfiguracije koja ujedno predstavlja kompleksni skup neovisnih sustava međusobno spojenih značajno različitim tehnologijama, putem geografski disperziranih instalacija⁹⁹.

Kad se razmatra mogućnost integracije besposadnih zrakoplova u današnji sustav upravljanja zračnim prometom, nameće se pitanje koliko su ti sustavi tehnološki kompatibilni. Besposadni sustavi u svom radu zahtijevaju

⁹⁹ UAVs integration in the SWIM Based Architecture for ATM, Nicolas Pena et al., Journal of Intelligent and Robotic Systems, Springer Science, USA, 2008.

iznimno širok komunikacijski kanal, koji istovremeno osigurava upravljačke naredbe u dvosmjernoj komunikaciji prema samom zrakoplovu, ali i dvosmjernu komunikaciju između zrakoplova i ATC-a, odnosno zemaljske upravljačke stanice i ATC-a. Zbog toga, logično je očekivati da se operativni zahtjevi dodatno usložnjavaju kada zrakoplov leti između dviju ili više sektorskih nadležnosti. Na slici 38, vidljiv je kompleksni spektar komunikacijskih linkova koji prate operacije besposadnih zrakoplova.



Slika 38. Komunikacijski linkovi u okruženju operacija besposadnih zrakoplova

Izvor: ICAO

Budući sustav upravljanja zračnim prometom bit će više orijentiran na mrežni sustav razmjene informacija i nekoliko inicijativa u transformaciji današnjega ATM-a podupire takvu hipotezu. Najvažnija je svakako inicijativa EU komisije pod nazivom *Single European Sky* (2004.), odnosno SESAR (2006.), kao tehnološka operacionalizacija toga koncepta u kojoj sudjeluje i EUROCONTROL.

Unutar mrežno orijentiranoga sustava ATM, bit će moguće izbjeći rigidnost koja je značajka ATM u kojemu korisnici razmjenjuju podatke „od točke do točke“. Mrežni sustav omogućuje korisnicima da izravno koriste neprocesirane podatke koje u sustav unose svi korisnici, od instanci kontrole leta, do samih zrakoplova, ali i drugih službi zrakoplovne navigacije. Postojanje takvoga „bazena“ podataka omogućuje korisnicima prilagođavanje zahtjevima zrakoplovnih operacija u realnom vremenu, bez latencije koju donosi procesiranje, analiza i raspodjela podataka. Eurocontrol mrežni sustav opisuje kao „laganu, široko distribuiranu, horizontalno primijenjenu arhitekturu koja

raspodjeljuje komponente i/ili usluge širom lanca razmjene informacija koristeći Internet tehnologiju ili druge mrežne protokole kao glavni mehanizam u potpori distribucije i obrade usluga informiranja.“¹⁰⁰

Besposadni zrakoplovi moraju biti neometano integrirani u ATM sustav i potpuno uvezani kroz mrežni sustav ATM-a s kojim moraju u biti jednakoj mjeri interoperabilni. Iako ovo s jedne strane predstavlja izazov u tehnološkoj prilagodbi operacija besposadnih zrakoplova ATM okružju, s druge strane predstavlja priliku da se razvoj besposadnih sustava prilagodi mrežnoj razmjeni informacija. Takav modus operacija omogućuje bržu raspodjelu kritičnih informacija unutar okružja operacija pa u konačnici povećava odziv upravljačke petlje u slučaju nepredviđenih situacija u letu. Također, takav ustroj omogućava i višu autonomnost letenja besposadnih zrakoplova jer omogućuje postojanje ulaznih podataka i u slučaju pada komunikacije između besposadne zrakoplovne platforme i zemaljske upravljačke stanice. Uvažavajući navedeno, može se pretpostaviti kako će migracija današnjega ATM-a prema budućem, mrežno orijentiranom ustroju, u određenoj mjeri olakšati, ali i usmjeriti sljedeće korake u razvoju besposadnih zrakoplova na putu prema punoj integraciji u kontrolirani zračni prostor.

¹⁰⁰ Eurocontrol; Towards a Common Understanding Creating the Network-centric Environment, prezentacija.

8. Zaključak

U ovome trenutku, ne postoje čvrsti dokazi prema kojima bi besposadni zrakoplovi, u slučaju njihove pune integracije u kontrolirani zračni prostor, operativno zadovoljili norme sigurnosti koje takvo okruženje zahtjeva od svih sudionika zračnog prometa, neovisno o tome je li riječ o besposadnim ili zrakoplovima s ljudskom posadom. Iako je takve norme zapravo teško kvantificirati, one će se posve izvjesno promatrati kao svojevrsna projekcija prosječnog broja nepredviđenih, odnosno neželjenih situacija koje bi mogle predstavljati ili predstavljaju ugrozu za druge sudionike u prometu. U tom kontekstu, najveća pozornost bit će usmjerena na *Sense and Avoid* sustave, odnosno njihove funkcionalne sposobnosti u izbjegavanju sudara u zraku i održavanja potrebnog razdvajanja od ostalih zrakoplova u slučaju da tu funkciju u danom trenutku ne može osigurati služba kontrole leta.

Pritom, pred besposadne zrakoplove ne bi se smjelo postavljati više zahtjeve od onih koji vrijede za zrakoplove s ljudskom posadom, ali istovremeno ni pristajati na slabije performanse koje će se posve izvjesno – promatrati kao derivacija statističkih podataka o prosječnom broju neželjenih događaja za vrijeme leta, i to dok je zrakoplov *en route*, u prilazu ili na manevarskim aerodromskim površinama. Ti podatci bi se u tom slučaju ipak trebali kvantificirati na način da se odredi polazišna osnova na temelju bi se moglo sa sigurnošću reći jesu li takvi statistički prihvatljivi ili ne. Uvažavajući konstrukcijske, te tehnološko-eksploatacijske značajke besposadnih zrakoplova, ispravno je tu polazišnu osnovu početno odrediti kao ekvivalent prosječnoga broja neželjenih događaja koji su zabilježeni kod generalne avijacije.

Kako bi se postigla opisana razina sigurnosne eksploatacije besposadnih zrakoplova, oni moraju predstavljati takav inteligentni transportni sustav, koji će istovremeno imati dvije uloge; jedna će biti autonomna navigacija i manevriranje na način koji je po mnogo čemu blizak auto-pilot funkciji kod zrakoplova s ljudskom posadom, a druga je zamijeniti funkcionalne sposobnosti pilota i to primarno kroz sposobnosti da se „vidi“ okruženje zrakoplova, odnosno da se donosi odgovarajuća racionalna odluka o poduzimanju manevra s ciljem održavanja sigurnosti letenja. Zahtjevi, sami po sebi, već postoje i protokolirani su kroz više dokumenata od strane institucija kao što su ICAO, NATO i Eurocontrol, no tek će operativna upotreba besposadnih zrakoplova pokazati jesu li oni u stanju na te zahtjeve odgovoriti i jesu li besposadni zrakoplovi uistinu dovoljno autonomni kako bi se mogli neometano integrirati u kontrolirani zračni prostor. Tehnološko okruženje suvremenog zračnog prometa, odnosno dosezi u istraživanju i razvoju inteligentnih transportnih sustava, kojih su

besposadni sustavi samo dio, sugerira kako je potrebna razina već dosegnuta, te kako u tom kontekstu ne postoje prepreke za početak pregovaranja izlaska besposadnih zrakoplova iz izdvojenoga zračnoga prometa u onaj kontrolirani, ukoliko takvi zrakoplovi posjeduju odgovarajuće sustavne funkcionalnosti.

No, opisani aspekti su samo dio ukupnog spektra integracije besposadnih zrakoplova u sustav ATM-a. Prije nego li se to dogodi, oni moraju biti prepoznati kao prometna sredstva koja zadovoljavaju sve zahtjeve licenciranja plovidbenosti, obuke posada, i drugih pravno-regulatornih zahtjeva. Iako je pravna regulativa već dobila određene obrise, koji su danom trenutku i prihvatljivi za implementaciju (barem kad je riječ o zemljama koje pripadaju krugu članica NATO-a i Eurocontrola), dojam je da su oni i pomalo nedorečeni. Primarno se to odnosi na dio oko licenciranja posada, i to kad se ono promatra iz perspektive ATM, odnosno službi kontrole zračnoga letenja. S tim u vezi, licenciranje posada nije dovoljno, već je potrebno ustrojiti takvu interakciju između posade koja upravlja letom besposadnoga zrakoplova i odgovarajuće cjeline kontrole leta, da se u svakome trenutku može odrediti osoba koja je odgovorna za letenje, upravo na način na koji je pilot odgovoran za svoj zrakoplov. Drugim riječima, u postojećim okolnostima zemaljska posada se može promatrati kao dio sustava u kojemu je svaki njegov pojedini element jednako važan i odgovoran za sigurno odvijanje prometnoga procesa, za razliku od konvencionalnoga zrakoplovstva gdje pilot ipak nosi najveću odgovornost za sve one aspekte letenja koji nisu neposredna odgovornost kontrole leta. Naravno, u takvom ustroju je moguće raspodijeliti odgovornost za sigurno letenje na drugačiji način nego što to vrijedi u postojećem prometnom okružju pa je logično kako iz perspektive ATM-a u tom smislu postoji najveći otpor.

Imajući u vidu navedene rezultate istraživanja, sljedeće korake u integraciji besposadnih zrakoplova u kontrolirani zračni prostor mogli bi podijeliti u dvije faze. Prva faza bi podrazumijevala uključivanje besposadnih zrakoplova u kontrolirani prostor klase E, F i G, te za posebne sustave klase HALE u gornje slojeve klase C, gdje nema civilnoga prometa. Druga faza, koja bi mogla otpočeti nakon što se u operativnoj upotrebi dokaže tražena funkcionalnost *Sense and Avoid* sustava, te uspostave regulatorni protokoli na način da uvažavaju sve zahtjeve današnjega, ali u budućega ATM-a, podrazumijevala bi punu integraciju u zračni promet u kontroliranom zračnom prostoru, uključujući i prostore klase A do D.

III Popis literature

A) Knjige

1. Konstantinos Dalamagkidis, On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System, 2008.
2. Austin, Reg: Unmanned Aircraft Systems, UAVS design, development and deployment, 2010, John Wiley and sons ltd
3. UAS, Unmanned Aircraft Systems, The Global Perspective, 2010/2011.
4. Cook, A., European Air Traffic Management

B) Članci

1. Kelly J. Hayhurst, Jeffrey M. Maddalon, Paul S. Miner, and George N. Szatkowski, Preliminary Considerations for Classifying Hazards of Unmanned Aircraft Systems, Langley Research Center, Hampton, Virginia, NASA, 2007.
2. Defence Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles, Washington, SAD, veljača 2004.
3. NATO Research and Technology Organization, compilation of edited proceedings of the „Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications,“ course, April 2000.
4. Tomo Bagarić, Bepilotne letjelice - od izvidničkog sredstva do borbenog zrakoplova strateške važnosti, Hrvatski vojnik, broj 94, travanj 2003. Zagreb.
5. Grupa autora, Unsteady Aerodynamics for Micro Air Vehicles, Final Report of Task Group AVT-149, Research and Technology Organisation, NATO, BP 25, F-92201 Neuilly-sur-Seine Cedex, Francuska, 2010.
6. Huang, Hui-Min, Autonomy Levels for Unamnned Systems (ALFUS) Framework: Safety and Application Issues, National Institute of Standards and Technology, SAD, 2007
7. Grupa autora, UAV Autonomy – Which level is desirable? – Which level is acceptable?, Alenia Aeronatutica Viewpoint, 2007
8. Hui-Min Huang, Autonomy Levels for Unmanned Systems, Framework: Terminology, Version 1.1., National Institute of Standards and Technology, SAD, 2004.
9. J.T. Platts et al., A human-Centric design process for highly autonomous Unmanned Air Systems, NATO RTO, 2008.

10. Grupa autora, European Defence Agency, Technology demonstration study on Sense & Avoid technologies for long endurance unmanned aerial vehicles, Project Overview, Prosinac 2007.
11. McCarley i Wickens, Human Factors Implications of UAVs in the National Airspace, Federal Aviation Administration, 2005. SAD.
12. McCarley i Wickens, Human factors concerns in UAV flight, Institute of aviation, Aviation human factors division, University of Illinois, SAD.
13. M.L. Cummings et al., Automation Architecture for Single Operator-Multiple UAV Command and Control, Humans and Automation Laboratory, MIT, SAD, 2008.
14. Bernd Korn i Christiane Edinger, UAS in civil airspace: Demonstrating „Sense and Avoid“ capabilities in flight trials, Institute of Flight Guidance, DLR, Braunschweig, Njemačka, 2008.
15. Johan Pellebergs, The Midcas Project, Saab Aerosystems, 27th International Congress Of The Aeronautical Sciences, ICAS 2010. Preceedings.
16. Clothier, Reece A. i Walker, Rodney A. Determination and Evaluation of UAV Safety Objectives. In Proceedings 21st International Unmanned Air Vehicle Systems Conference, Bristol, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2006.
17. Defence Science Board Study on Unmanned Aerial Vehicles and Uninhabited Combat Aerial Vehicles, Washington, SAD, veljača 2004.
18. A.D. Balk, Analysis of U.S. general aviation accident rates, Derivation of a baseline level of safety for a set of UAS categories, NLR Air Transport Safety Institute, Srpanj 2011.
19. Andreas Sobester et al., Conceptual Design of UAV Airframes Using a Generic Geometry Service, University of Southampton, Hampshire, 2005
20. Roland E. Weibel and R. John Hansman, Safety considerations for operation of unmanned aerial vehicles in the national airspace system, Department of Aeronautics & Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, SAD 2005.
21. UAVs integration in the SWIM Based Architecture for ATM, Nicolas Pena et al., Journal of Intelligent and Robotic Systems, Springer Science, USA, 2008.
22. Bickraj, K. et al.: Fuzzy logic based integrated controller for unamned aerial vehicles, Florida conference on recent advances in robotics, Miami, SAD, 2006.
23. Sabo, Ch., Cohen, K.: Fuzzy logic unmanned air vehicle motion planning, University of Cincinnati, SAD

24. Wu, P. Et Al., A high performance fuzzy logic architecture for UAV decision making, Proceedings IASTED international conference on computational intelligence, San Francisco, SAD, 2006.

25. Doitsidis, K.P.V. et al., A framework for fuzzy logic based uav navigation and control, Proceedings of the 2004 IEEE International conference on robotics and automation, New Orleans, SAD, 2004.

C) Prezentacije

1. NATO FINAS, prezentacija, Max Snow, Kraljevska mornarica, EASA UAV Workshop, Paris, 2008.

2. David Haddon, EASA & UAS airworthiness policy, Prezentacija na radionici "Military Airworthiness Harmonisation", Olomouc, Češka, lipanj 2009.

3. Dave Seagle, NATO Developments in UAS Airworthiness and Sense & Avoid Functional Requirements, Prezentacija International Council of the Aeronautical Sciences, Sevilja, Španjolska, 2007.

4. Max Snow, NATO FINAS, Prezentacija, EASA UAV radionica, Pariz, Francuska, veljača 2008.

5. Chris Johnson, The safety research challenges for the air traffic management of unmanned aerial systems (UAS), Prezentacija, Department of Computing Science, University of Glasgow, Škotska.

6. Eurocontrol; Towards a Common Understanding Creating the Network-centric Environment, prezentacija.

7. H. Gold: Transportna logistika i inteligentni transportni sustavi, Prezentacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

D) Ostale publikacije

1. Zakon o zračnom prometu, *Narodne novine*, broj 69/09 i 84/11.

2. The Joint JAA/EUROCONTROL Initiative on UAVs: UAV TASK Force Final report, A concept for European regulations for unamnned Aerial vehicles, 2004.

3. European commission, Directorate general for energy and transport, Hearing on light unmanned aircraft systems (UAS), Belgija, Brisel, 2009.

4. EUROCONTROL, Specifications for the Use of Military Unmanned Aerial Vehicles as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace, Eurocontrol, 2007.
5. EUROCONTROL, Air traffic management guidelines for Global hawk in European airspace, Eurocontrol, 2010.
6. Joint Capability Group on Unmanned Aircraft Systems (JCGUAS), Sense and Avoid Requirements for Unmanned Aircraft Systems Operating in Non-Segregated Airspace, 2008.
7. NATO Air Traffic Management Committee, Air Traffic Management (ATM) Group, Procedures for the operation of Global Hawk, kolovoz 2011.
8. NATO Research & Technology Organization: Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications, Airspace Policy and Air Traffic Management. 2000.
9. ICAO, Unmanned Aircraft Systems, Circular 328, 2011.
10. NATO Standardization Agency, STANAG 4670, 2009.
11. STANAG 4586, Standard interfaces of UAV control system (UCS) for NATO UAV interoperability, 2007.
12. Civil Aviation Authority, CAP722, Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Guidance, Ujedinjeno Kraljevstvo, 2010.
13. Eurocontrol Air Traffic Management guidelines for Global Hawk in European Airspace, Edition 1.0, Eurocontrol, 2010.

E) Internet adrese

1. <http://usafhpa.org>
2. <http://digital.nls.uk/first-world-war-official-photographs>
3. www.airforce-technology.com
4. www.flightglobal.com
5. diweb.hq.nato.int
6. <http://www.defenseindustrydaily.com>
7. <http://www.gasr.info/web/about.html>
8. <http://www.its-croatia.hr>

Prilog 1: Klase zračnoga prostora u zemljama članica Eurocontrola

FL or Alt Band	Albania	Armenia	Austria	Azerbaijan	Belgium/Lux	Bosnia H'zina	Bulgaria	Croatia	Cyprus	Czech Rep	Denmark	Estonia	Finland
Up Limit CAS	660	460	660		660	410	660	1 Jul 07	460	660	660	660	660
245-460	C	C	C		C	C	C	C	G	C	C	C	C
205-245		C				C	C			C		C	C
195-205			D										D
150-195													
130*-150													
95*-130*	G	G	E		G		E	G		D	E	G	D
3K*-95*		G				G	G		D	E	G	G	G
SFC-3K*					G		G	G		G	G		
Major TMA									No TMAs	C	C	C	C
Minor TMA	C	C	C	D	E					D	D	D	C
CTA/Awy						C above 100	C		200 ft up to 195	C	D	E	C
CTR*	D		D	E		C	D	D	B ATZ	C	D	D	G*

FL or Alt Band	France/Monaco	FYROM	Germany	Georgia	Greece	Hungary	Ireland	Italy	Latvia	Lithuania	Malta	Moldova	Netherlands
Up Limit CAS	660	660	660	460		660	660	460	460	660	460	660	660
245-460	C	C	C	A				C	A from 285		C		C
205-245													
195-205													
150-195													
130*-150													
95*-130*			C	E				G			G	C	A
3K*-95*	G		E	E									B
SFC-3K*		G	G	G			G		G	G		G	G
Major TMA	A	D	D	C				A	E				A
Minor TMA	C	D	E	E				D	E				B
CTA/Awy	D	E	D	E	C	D	E						A
CTR*	A	D	E	D	F			A	C	D			C

FL or Alt Band	Norway	Poland	Portugal	Romania	Slovak Rep	Slovenia	Spain	Sweden	Switzerland	Turkey	Ukraine	UK	Serbia & Montenegro
Up Limit CAS	660	460	1 Jul 07	660	660	660	460	460	660		660	660	660
245-460												C	C
205-245	C		C	C		C	C		C			C	C
195-205													
150-195	D	G				D			C	D			
130*-150									C	D	E		
95*-130*							G		C	G		G	
3K*-95*						E							
SFC-3K*	G	G		G		G			G				
Major TMA	C			A	C	D	E	A				A	
Minor TMA	D						D	D				E	
CTA/Awy	D	E		C			A	E				A	C
CTR*	D	G*			C	D	D	D			C	D	A

Izvor: Eurocontrol

Prilog 2: Prijedlog specifikacija za operacije besposadnih zrakoplova prema Eurocontrol-u.

Predložene specifikacije EUROCONTROL-a		
Redni broj specifikacije:	Područje:	Specifikacija:
UAV1	ATM Categorization of UAV Operations	Za potrebe upravljanja zračnim prometom, kada se ukaže potreba za kategorizacijom operacija besposadnih zrakoplova, to će se učiniti na temelju pravila letenja, a imenom VFR ili IFR u odnosu na koji način su primijenjena u odnosu na operativni zračni promet.
UAV2	Mode of Operation	Za potrebe Upravljanja zračnim prometom, primarni mod rada besposadnoga zrakoplova će sadržavati i nadzornu funkciju od strane PIC-a (<i>Pilot-in Command</i>), koji svo vrijeme mora biti u stanju intervenirati u upravljanju letom. Rezervni mod rada treba omogućiti besposadnom zrakoplovu povratak u autonomni let u slučaju potpunoga gubitka kontrolnog data-linka između PIC-a i zrakoplova. Navedeni mod rada mora osigurati sigurnost za druge korisnike zračnog prostora.
UAV3	Flight Rules	Besposadni zrakoplovi se moraju uskladiti s VFR i IFR pravilima leta iz razloga što imaju utjecaj na zrakoplove s ljudskom posadom koji lete unutar operativnoga zračnog prometa. U slučaju VFR letova, PIC mora imati mogućnost procjene meteoroloških uvjeta na let.
UAV4	Separation Provision and Collision Avoidance	Besposadni zrakoplovi se moraju uskladiti s pravilima prvenstva na isti način na koji se oni odnose na druge korisnike.
UAV5		Za IFR letove besposadnih zrakoplova unutar operativnoga zračnog prometa u kontroliranom zračnom prostoru, primarni način osiguranja razdvajanja od drugih korisnika zračnog prometa mora biti u skladu s instrukcijama kontrolora. Međutim, dodatno razdvajanje treba postojati zbog izbjegavanja sudara s nepoznatim zrakoplovom.
UAV6		Za VFR letove besposadnih zrakoplova unutar operativnoga zračnog prometa, PIC treba koristiti dostupne podatke o situaciji u zračnom prostoru u potpori osiguranja razdvajanja i izbjegavanja sudara. Pored toga, tehnička potpora treba biti dostupna PIC-u kako bi mu se omogućilo održavanje vizualnih meteoroloških uvjeta te kako bi detektirao i izbjegao konfliktni zračni promet. Automatski sustav mora osigurati izbjegavanje sudara u slučaju neuspjeha u osiguranju razdvajanja.
UAV7	Sense and Avoid	<i>Sense and Avoid</i> sustav na besposadnom zrakoplovu treba osigurati PIC-u izvođenje funkcija osiguranja razdvajanja i izbjegavanja sudara na isti način na koji bi ih izveo pilot u zrakoplovu s ljudskom posadom, te treba izvoditi funkciju izbjegavanja sudara autonomno ako osiguranje razdvajanja nije uspjelo iz bilo kojega razloga. <i>Sense and Avoid</i> sustav mora postići ekvivalentnu razinu sigurnosti koja vrijedi za zrakoplov s ljudskom posadom.
UAV8		<i>Sense and Avoid</i> sustav na besposadnom zrakoplovu treba upozoriti PIC-a kada postoji drugi zrakoplov čija projekcija putanje leta kazuje kako će on proći unutar specificirane minimalne udaljenosti. Također, sustav mora to učiniti u dovoljnom vremenskom razmaku kako bi PIC besposadnog zrakoplova izveo

		manevar kojim će izbjeći konfliktni promet za barem minimalnu udaljenost ili, u određenim slučajevima, kako bi autonomni sustav na samoj platformi izveo manevar kojim bi se izbjegao konfliktni promet.
UAV9		Implementacija funkcija osiguranja razdvajanja i izbjegavanja sudara kod sustava <i>Sense and Avoid</i> mora biti neovisna jedna od druge, koliko god je to praktično izvedivo. Pri izvođenju, jedna funkcija ne smije kompromitirati drugu.
UAV10	Separation Minima – Where Separation is Provided by ATC	Unutar kontroliranoga zračnog prostora gdje razdvajanje osigurava kontrola zračnog prometa, minimalno razdvajanje između besposadnog zrakoplova koji operira u IFR uvjetima i drugog prometa pod ingerencijom službe koja upravlja razdvajanjem, mora biti jednako kao i za zrakoplove s ljudskom posadom koji lete unutar operativnog zračnog prometa u istoj klasi zračnog prostora.
UAV11	Separation Minima/Miss Distance – Where Responsibility Rests with the UAV System	Kada je PIC besposadnog zrakoplova zadužen za razdvajanje, on mora, osim kad je riječ o aerodromskim operacijama, održavati minimalnu udaljenost od 0.5 NM u horizontalnoj ravnini ili 500 stopa u vertikalnoj ravnini između svoga zrakoplova i drugih korisnika zračnog prostora, neovisno o tome na koji je način otkriven konfliktni promet i neovisno o tome je li ili nije bio upozoren od strane <i>Sense and Avoid</i> sustava.
UAV12		Kada besposadni zrakoplovni sustav autonomno inicira funkciju izbjegavanja sudara, on mora postići slične udaljenosti izbjegavanja kao što su one za koje je dizajniran sustav ACAS. Sustav mora biti kompatibilan s ACAS-om.
UAV13	Aerodrome Operations	Aerodromske operacije besposadnih zrakoplova moraju biti sučeljene s aerodromskim kontrolnim službama što je moguće sličnije načinu na koji su sučeljeni zrakoplovi s ljudskom posadom.
UAV14		Za vrijeme taksiranja, te u nedostatku odgovarajuće tehničke pomoći, besposadni zrakoplov treba biti nadgledan od strane motritelja na zemlji, koji moraju biti u komunikacijskoj vezi s aerodromskom kontrolnom službom i PIC-om zrakoplova.
UAV15		Za potrebe polijetanja, slijetanja i letenja u aerodromskom vizualnom krugu, PIC mora biti u mogućnosti održavati svjesnost situacije kako bi izvršio svoju odgovornost za izbjegavanje sudara, te mora izvršavati instrukcije aerodromskih kontrolnih službi.
UAV16		Ondje gdje je sigurna integracija nepraktična, obzir se treba dati isključenju drugih zrakoplova iz zračnog prostora u neposrednoj blizini aerodroma za vrijeme polijetanja i slijetanja besposadnih zrakoplova.
UAV17	Emergency Procedures	Procedure u nuždi moraju u potpunosti oponašati one zrakoplova s ljudskom posadom koliko je to maksimalno praktično. Ondje gdje nije praktično, one moraju biti tako dizajnirane kako bi osigurale sigurnost drugih korisnika zračnog prostora i ljudi na zemlji, te trebaju biti koordinirane s kontrolom zračnog prometa na odgovarajući način.
UAV 18		Besposadni zrakoplovi moraju biti programirani s odgovarajućim rezervnim planom u slučaju da PIC više ne kontrolira zrakoplov.
UAV19		Besposadni zrakoplov mora osigurati promptnu indikaciju prema PIC-u u slučaju gubitka kontrolnog data-linka.
UAV20		Kada besposadni zrakoplov ne djeluje pod nadzorom PIC-a, potonji mora o tome izvijestiti relevantne autoritete Kontrole

		zračnoga prometa što je prije moguće, uključujući i podatke o rezervnom planu koje će besposadni zrakoplov izvršavati. Pored toga, besposadni zrakoplovni sustav mora indicirati takav gubitak veze prema kontroli zračnog prometa.
UAV21	Airspace Management	Kada besposadni zrakoplov ne može dostići tehničke i funkcionalne zahtjeve za letenje u svojstvu operativnog zračnoga prometa, taj dio leta treba biti izveden unutar privremeno izdvojenoga zračnog prostora kako bi se osiguralo razdvajanje od drugih korisnika zračnoga prostora.
UAV22	Interface with ATC	Kada je pod ingerencijom službe zračnoga prometa, PIC besposadnoga zrakoplova mora održavati dvosmjernu komunikaciju s Kontrolom zračnoga prometa, koristeći standardnu frazeologiju. Riječ „besposadni“ mora biti uključena u prvom kontaktu s jedinicom Kontrole zračnog prometa.
UAV23		Usluge službe zračnoga prometa prema besposadnim zrakoplovima moraju odgovarati onima koje su osigurane zrakoplovima s ljudskom posadom.
UAV24		Kad let zrakoplova s ljudskom posadom zahtjeva prilaganje Plana leta Kontroli zračnoga prometa, isto se mora primijeniti kod letenja besposadnih zrakoplova. Plan leta besposadnog zrakoplova treba jasno indicirati kako se odnosi na besposadne zrakoplove te treba uključiti detalje o bilo kakvim posebnim zahtjevima za izvođenje manevra čekanja <i>en route</i> .
UAV25		Kada je pod ingerencijom službe zračnoga prometa, besposadni zrakoplov mora biti svo vrijeme nadziran od strane PIC-a u smislu pridržavanja odobrenog Plana leta.
UAV26		PIC mora posjedovati detaljno znanje o letnim karakteristikama odgovarajućeg besposadnog zrakoplova. Kontrolori zračnog prometa moraju biti upoznati s letnim karakteristikama u onoj mjeri u kojoj to zahtjeva integracija s drugim prometom pod njihovom kontrolom.
UAV27	Meteorology	Vremenski minimum za letenje besposadnim zrakoplovom treba biti određen opremom i sposobnostima svakoga pojedinačnog besposadnog sustava, kvalifikacijama PIC-a, pravilima leta koji se izvodi i klasom zračnoga prostora u kojemu se let izvodi.
UAV28	Flight Across International Borders and Across Flight and Upper Information Region (FIR/UIR) Boundaries	U odnosu na preko-granične operacije, besposadni zrakoplovi u posjedu države trebaju biti ograničeni istim međunarodnim konvencijama kao i zrakoplovi s ljudskom posadom. Pored toga, letovi besposadnih zrakoplova u državnom posjedu u druge FIR/UIR-ove ili u suvereni zračni prostor drugih država treba biti prethodno naznačen relevantnim autoritetima zračnog prometa, najčešće na način prilaganja Plana leta. Transferi Kontrole zračnoga prometa između susjednih država trebaju odgovarati onima za zrakoplove s ljudskom posadom.

Izvor: Eurocontrol

Životopis

CURRICULUM VITAE



Tomo Bagarić je rođen 5. travnja 1975. godine u Zagrebu, gdje je završio osnovnu i srednju školu. Fakultet prometnih znanosti, aeroprometni smjer, upisuje 1993. godine, a dvije godine kasnije upisuje i dodiplomski studij aeronautike – smjer vojni pilot, za potrebe MORH-a. Nakon selektivne obuke na školskom avionu pohađa osnovnu obuku kao pilot helikoptera u Školi za obuku pilota helikoptera u Zadru. Studij završava 2000. godine u zvanju dipl. ing. aeronautike (neletački profil).

Od 2001. godine započinje s radom u Zapovjedništvu HRZ i PZO kao obavještajni časnik te u tom svojstvu od 2005. i 2006. sudjeluje i u NATO operaciji ISAF u Afganistanu. U istom razdoblju se stručno usavršava na više vojnih specijaliziranih tečaja, a redovito piše i stručne članke za hrvatska vojna glasila.

Od 2007. godine djelatnik je Ministarstva obrane RH, u Vojnoj sigurnosno-obavještajnoj agenciji. Od 2009. godine, u činu satnika zrakoplovstva, nalazi se na vojno-diplomatskom mandatu u Briselu, Kraljevina Belgija, gdje primarno djeluje kao predstavnik vojno-obavještajnoga sustava RH pri odgovarajućim tijelima NATO-a i Europske unije. Istovremeno, njegovo područje rada odnosi se i na standardizaciju u području operativne upotrebe besposadnih zrakoplova, odnosno razvoj NATO sposobnosti u istom području, Kao predstavnik RH, sudjeluje u radu ekspertnih konferencija pri tijelu JCGUAS NATO-a (Joint Capability Group – Unmanned Aircraft Systems), u Briselu.

Osim niza stručnih članaka na temu besposadnih zrakoplovnih sustava u Hrvatskim vojnim glasilima, objavio je i tri znanstvena članka iz područja planiranja prometa.

Aktivno se koristi engleskim i francuskim, a pasivno se služi i talijanskim jezikom.