

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Švehla

**NAMJENA I PERSPEKTIVA RAZVOJA
SUSTAVA BESPILOTNIH LETJELICA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2013.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

NAMJENA I PERSPEKTIVA RAZVOJA SUSTAVA BESPILOTNIH LETJELICA

Mentor: doc. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Igor Švehla, 0135108246

Zagreb, 2013.

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
1.1.	Predmet istraživanja	1
1.2.	Svrha i cilj istraživanja	1
1.3.	Kompozicija rada	1
2.	POVIJESNI RAZVOJ BESPILOTNIH LETJELICA	3
2.1.	Baloni	3
2.2.	Pioniri razvoja	3
2.3.	Od prvog svjetskog rata do danas	4
3.	KLASIFIKACIJA BESPILOTNIH LETJELICA	10
3.1.	Klasifikacija	10
3.1.1.	Klasifikacija po težini	10
3.1.2.	Klasifikacija prema istrajnosti i doletu	11
3.1.3.	Klasifikacija prema visini leta	12
3.1.4.	Klasifikacija prema opterećenju krila	12
3.1.5.	Klasifikacija prema vrsti motora	13
3.2.	Funkcionalnost	13
3.3.	Pouzdanost	14
4.	DIZAJN I SUSTAVI UPRAVLJANJA BESPILOTNIH LETJELICA	16
4.1.	Osnovni dijelovi	16
4.2.	Konstruktivna rješenja	17
4.3.	Sustavi upravljanja	17
4.3.1.	Daljinsko upravljanje	18
4.3.2.	Poluautonomno upravljanje	18
4.3.3.	Autonomno upravljanje	18
4.3.4.	Sustav za vođenje, navigaciju i upravljanje	19

4.3.5.	Sustav za navođenje	19
4.3.6.	Navigacijski sustav	20
4.3.7.	Sustav za upravljanje	20
4.4.	Sustav komunikacije i izvještavanja	20
5.	NAMJENA BESPILOTNIH LETJELICA	23
5.1.	Vojna namjena.....	23
5.1.1.	Optoelektronsko izviđanje	23
5.1.2.	Radarsko izviđanje.....	24
5.1.3.	Radio izviđanje i ometanje.....	24
5.1.4.	Izviđanje specijalnim senzorima.....	25
5.1.5.	Mamac.....	25
5.1.6.	Borba protiv bespilotnih letjelica.....	26
5.1.7.	Modeli u nekomercijalnoj upotrebi.....	27
5.2.	Civilna namjena.....	35
5.2.1.	Letjelice u komercijalnoj upotrebi	35
5.2.2.	Letjelice sa više rotora	39
6.	STATUS I MOGUĆNOSTI RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA U REPUBLICI HRVATSKOJ	41
6.1.	Bespilotne letjelice u Republici Hrvatskoj.....	41
6.1.1.	BL M-99.....	41
6.1.2.	Skylark I.....	43
6.1.3.	Hermes 450	44
6.2.	Mogućnosti razvoja bespilotnih letjelica.....	45
7.	TRENDOVI RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA	47
7.1.	Autonomni sustavi.....	47

7.2.	Umjetna inteligencija	47
7.3.	Zamjena ljudske posade	48
7.4.	Tehnologija budućnosti	48
7.4.1.	Pogon gorivom ćelijom.....	48
7.4.2.	Solarni pogon.....	49
8.	ZAKLJUČAK.....	50
	LITERATURA	51
	POPIS SLIKA.....	53
	POPIS TABLICA	54

1. UVOD

1.1. Predmet istraživanja

Bespilotna letjelica¹ je zračna letjelica teža od zraka, pogonjena vlastitim pogonom ili zrakoplov bez posade, koji se može nadzirati na daljinu ili letjeti samostalno uporabom unaprijed programiranog plana leta ili pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava [12].

Zanimljivo je da ideja razvoja takvih letjelica traje još od doba prije Krista, no pravi eksponencijalni uzlet one doživljavaju tek u drugoj polovici 20. stoljeća. Stoga je tema razvoja i uporabe bespilotnih letjelica u najmanju ruku intrigantna kad se uzme u obzir njihova primarna namjena – vojna uporaba.

No, u posljednjem desetljeću, bespilotne letjelice su prepoznate kao vrlo korisne u komercijalnoj uporabi te dobivaju sve značajniju ulogu u civilnom zračnom prometu.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Razvoj tehnologije i mogućnosti uporabe bespilotnih letjelica su izuzetno brzi. Tema bespilotnih letjelica se obrađuje radi njihove sve veće popularnosti, dostupnosti i sve važnije uloge u zračnom prometu. Svrha ovog istraživanja je predstaviti bespilotne letjelice te napraviti sistematizirani pregled njihovih karakteristika i mogućnosti. Cilj istraživanja je, kroz sistematizirani pregled trenutnog stanja razvoja bespilotnih letjelica, povećati svijest o njihovoj razvojnoj perspektivi i namjeni - unutar interesnih zrakoplovnih krugova te predstaviti prijedlog rješenja i moguće putove razvoja ove grane zrakoplovstva u Republici Hrvatskoj.

1.3. Kompozicija rada

Diplomski rad se sastoji od devet poglavlja:

- **Uvod** - u ovom poglavlju je ukratko definiran pojam bespilotnih letjelica, definirani su svrha i cilj istraživanja te je predložena sama struktura rada
- **Povijesni razvoj bespilotnih letjelica** – u poglavlju je dan prikaz povijesnog razvoja bespilotnih letjelica od prve ideje do primjene bespilotnih letjelica u svijetu

¹ engl. Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

- **Klasifikacija bespilotnih letjelica** – u ovom poglavlju je predložena klasifikacija i osnovne karakteristike i mogućnosti primjene bespilotnih letjelica
- **Dizajn i sustavi upravljanja bespilotnih letjelica** – ovo poglavlje obuhvaća dizajn bespilotnih letjelica i njihovu konstrukciju, sustave upravljanja i komunikacije
- **Namjena bespilotnih letjelica** – u ovom je poglavlju pojašnjena upotreba bespilotnih letjelica u nekomercijalne, prvenstveno vojne svrhe i primjena bespilotnih letjelica u komercijalne, tj. civilne svrhe
- **Status i mogućnosti razvoja bespilotnih letjelica u Republici Hrvatskoj** – u ovom poglavlju se analizira trenutni status i potencijali dodatne primjene bespilotnih letjelica u Republici Hrvatskoj
- **Trendovi razvoja bespilotnih letjelica** – u ovom poglavlju se daje prikaz raznih razvojnih projekata koji bi trebali u budućnosti još više povećati mogućnosti uporabe bespilotnih letjelica u svim segmentima zračnog prometa
- **Zaključak** – u ovom posljednjem zaključnom dijelu su izvedeni konačni rezultati istraživanja po pojedinim dijelovima rada

2. POVIJESNI RAZVOJ BESPILOTNIH LETJELICA

U ovom poglavlju su navedeni neki od najvažnijih povijesnih godina u razvoju bespilotnih letjelica.

2.1. Baloni

Iako baloni danas generalno ne pripadaju u grupu bespilotnih letjelica, njihov koncept je bio dovoljno uvjerljiv da nakon izuma klasičnih zrakoplova vojska uvidi potencijal korištenja bespilotnih letjelica u vojne svrhe.

Prvi zapisi o korištenju bespilotnih letjelica potječu iz 1849. godine, točnije 22. kolovoza 1849. godine kada su Austrijanci napali Veneciju bespilotnim balonima napunjenim eksplozivom, puštenim s bojnog broda. Iako je nekoliko balona došlo do svog cilja, ostatak je vjetar otpuhao nazad preko austrijskih linija.

Tijekom Američkog Građanskog rata (1861. - 1865.), sjevernjaci su pokušavali koristiti balone sa zapaljujućim bombama u nadi da će ih vjetar odnijeti iza neprijateljskih linija gdje su trebali izazvati požare.

Ovakvih pokušaja bilo je i tijekom 20. stoljeća. Tijekom drugog svjetskog rata Japan je puštao balone, pokušavajući iskoristiti jake struje na velikim visinama u nadi da će uspjeti doći do obala Amerike.

Čak i u pedesetim godinama prošlog stoljeća, Sjedinjene Američke Države još su uvijek eksperimentirale s balonima. U tajnim strateškim operacijama izviđanja, kodnog imena Gopher i Genetrix, balone su opremali širokokutnim kamerama s automatskim okidanjem kako bi dobili bolji uvid u teritorij Sovjetskog Saveza. Navodi se kako su ove misije, sa slobodno letećim balonima, bile polovično uspješne [1].

2.2. Pioniri razvoja

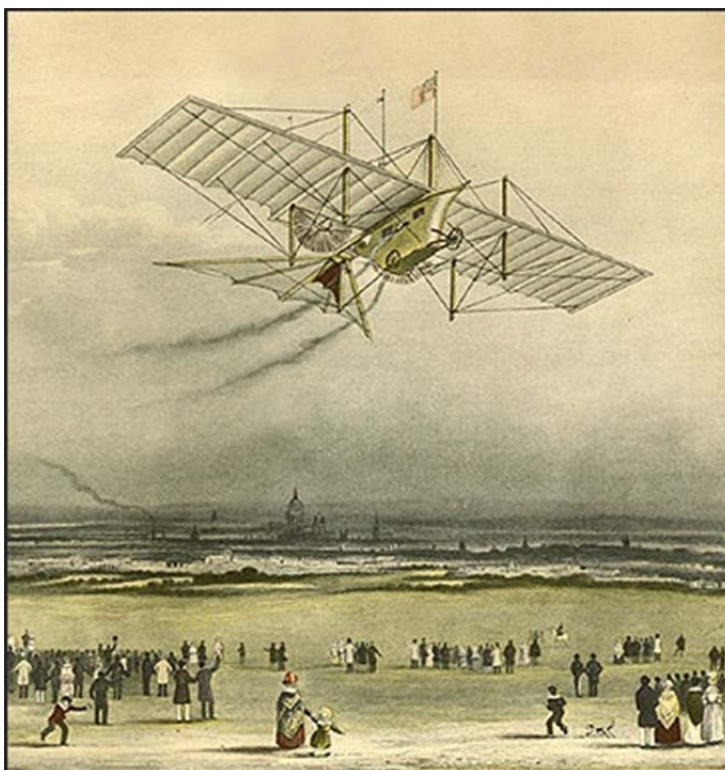
Pionirski pokušaji razvoja bespilotnih letjelica sa, za današnje uvjete, vrlo primitivnom tehnologijom u samu zoru zrakoplovstva daju naslutiti da će bespilotne letjelice igrati vrlo važnu ulogu u budućnosti.

I prije prvog leta zrakoplovom braće Wright, bilo je nekoliko pokušaja korištenja letjelica lakših od zraka bez ljudske posade. Povijesni dokumenti dokazuju da je prva bespilotna letjelica napravljena 425. godine prije Krista. To je bio mehanički golub, koji je

mahao krilima, a energiju je dobivao preko mehanizma smještenog u predjelu trbuha. Imao je maksimalni dolet 200 metara.

Tijekom najranijih početaka zrakoplovstva većina graditelja i izumitelja svoje je nacрте prvo isprobavala na modelima, koje se može nazvati pretečama današnjih bespilotnih letjelica.

John Stringfellow i William Henson, oboje iz Engleske, udružili su svoje talente i 1848. godine izgradili prvi bespilotni zrakoplov s propelerom pokretan parom. Ovaj zrakoplov, razmaha krila 3 metra, nazvali su *Zračna parna kočija* (Slika 1.) Ovaj model je uspješno letio pedesetak metara.²



Slika 1. Zračna parna kočija [19]

2.3. Od prvog svjetskog rata do danas

Kao i za sve napredne tehnologije, pa tako i za ovu, prvo se zainteresirala vojska koja je prva uvidjela mogućnosti primjene ovakvih letjelica. Prvi pravi zrakoplovi bez posade sagrađeni su tijekom i odmah nakon prvog svjetskog rata. Kako je bilo jako puno pokušaja razvoja pojedinačnih projekata, u ovom su poglavlju navedeni najznačajniji datumi u povijesti razvoja bespilotnih letjelica:

² Engl. Aerial steam carriage – zračna parna kočija.

- 1916. godina – izrađen *Aerial Target* (Slika 2.) koji je koristio tada naprednu tehniku radio upravljanja, a glavna mu je namjena trebala biti napad na Zeppeline.



Slika 2. Aerial Target [35]

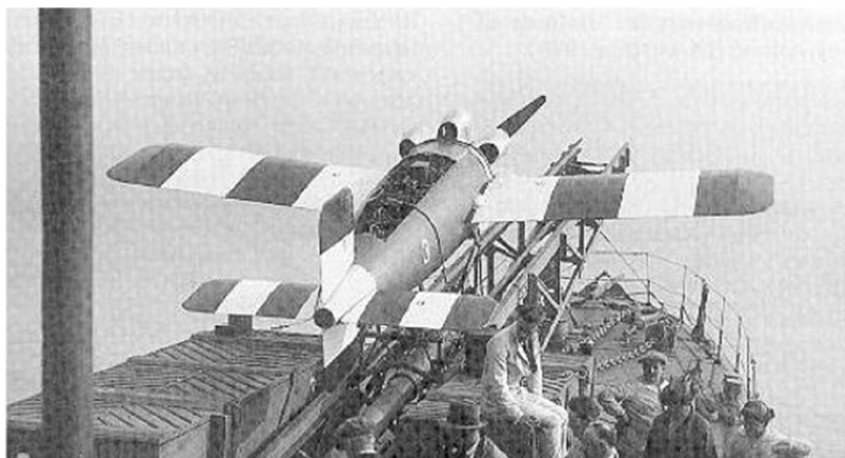
- 1918. godina - pojavljuje se prva bespilotna letjelica naručena od strane vojske. Letjelica pod nazivom *Kettering Bug* (Slika 3.). Iako vrlo napredna za to doba, prekasno je puštena u proizvodnju te se nije koristila u ratnim akcijama [36].



Slika 3. Kettering Bug [36]

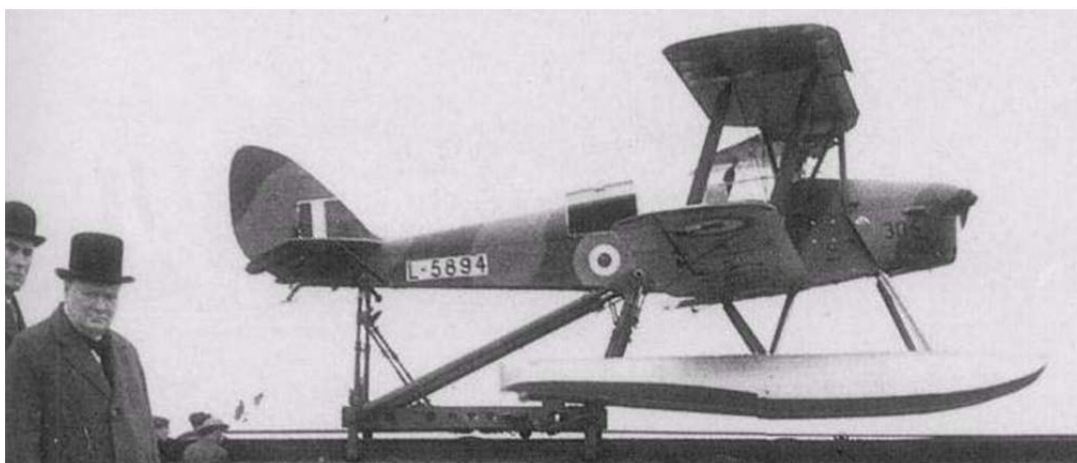
- 1922. godina - prvo lansiranje bespilotne letjelice *RAE 1921 Target* s nosača zrakoplova *HMS Argus*.
- 1924. godina – prvi uspješan let bespilotne letjelice *RAE 1921 Target* kontrolirane radio signalom koji je trajao 39 minuta.

- 1927. godina – prvi let bespilotna letjelice *Larynx*³ (Slika 4.) Letjelica je bila monoplane jednostavnih linija koja je katapultirana sa bojnih brodova i bila je preteča današnjih krstarećih projektila.



Slika 4. Larinx [2]

- 1931. godina - Britanci su razvili *Fairey Queen*, radio upravljanu bespilotnu letjelicu na bazi *Fairey III F* zrakoplova i izradili tri prototipa. Prema priči samo ime, *Queen Bee*⁴ dovelo je do upotrebe izraza *drone*⁵ za sve bespilotne letjelice, posebno one radio upravljive.



Slika 5. DH 82B Queen Bee [31]

- 12. lipnja 1944. godine –prvo borbeno korištenje njemačke bespilotne letjelice *Fiesler Fi 103 V-1* (Slika 6.) - aviona u ulozi krstarećeg projektila.

³ Engl. Long Range Gun with Lynx engine.

⁴ Engl. Queen Bee – matica, pčela.

⁵ Engl. Drone – trut.



Slika 6. Fiesler Fi 103 V-1 [29]

- 19. listopada 1944. godine –prvo borbeno korištenje bespilotnog aviona američke mornarice *TDR-1* (Slika 7.) u napadačkoj ulozi koji je bombardirao japanske topničke položaje na otoku Ballale.



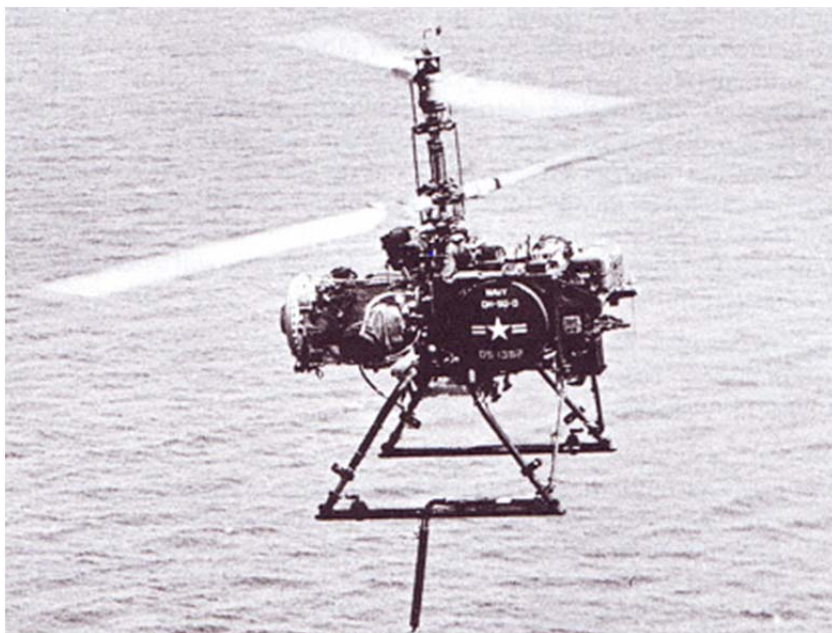
Slika 7. TDR-1 [36]

- 1946. godina - prvo korištenje bespilotnih letjelica za znanstvena istraživanja, provedena prerađenim dronom *Northrop P-61 Black Widow* za letove u oluje od strane američkog meteorološkog ureda za prikupljanje meteoroloških podataka.
- 1955. godina - prvi let izviđačke bespilotne letjelice *Northrop Radioplane SD-1 Falcon/Observer* (Slika 8.) dizajnirane od strane američke i britanske vojske.



Slika 8. Northrop Radioplane SD-1 Falcon/Observer [2]

- 12. kolovoza 1960. godine –prvi slobodni let bespilotnog helikoptera *Gyrodyne BP-50A* (Slika 9.) u Marylandu, SAD.



Slika 9. Gyrodyne BP-50A [34]

- 20. kolovoza 1998. godine –prvo transatlantski let bespilotne letjelice *Aerosonde Laima* (Slika 10.) između Kanade i Škotske



Slika 10. Aerosonde Laima [35]

- 20. travanja 2001. godine –prvi transpacički let bespilotne letjelice *Northrop Grumman Global Hawk Southern Cross II* (Slika 11.) između SAD-a (California) i Australije.



Slika 11. Northrop Grumman Global Hawk Southern Cross II [39]

3. KLASIFIKACIJA BESPILOTNIH LETJELICA

3.1. Klasifikacija

Kao i zrakoplove, i bespilotne letjelice prema jednostavnoj podjeli prema upotrebi se dijeli na:

- vojne
- civilne
- komercijalne

i prema konstrukciji na letjelice:

- s fiksnim krilom
- s rotacionim krilom
- teže od zraka
- lakše od zraka

Kako je moguće klasificirati bespilotne letjelice na mnogo načina, za potrebe ovog rada će se koristiti klasifikacija prema karakteristikama kako slijedi[1]:

- masa
- istrajnost i dolet
- visina leta
- opterećenje krila
- vrsta motora
- potisna snaga

3.1.1. Klasifikacija po težini

Bespilotne letjelice pokrivaju široko područje masa, od mikro bespilotnih letjelica koje nemaju ni kilogram do ogromnih letjelica poput Global Hawk, koja ima masu od preko 11 tona.

Prema masi, bespilotne letjelice se dijele na:

- super teške – letjelice teže od 2 tone (npr. *X-45*, *Darkstar*, *Predator B* i *Global Hawk*)

- teške – letjelice između 200 i 2.000 kilograma (npr. *Outrider*, *Fire Scout*)
- srednje teške – letjelice između 50 i 200 kilograma (npr. *Raven*, *Phoenix*)
- lagane – letjelice između 5 i 50 kilograma (npr. *RPO Midget*)
- mikro – letjelice lakše od 5 kilograma (npr. *Dragon Eye*)

Tablica 1. Klasifikacija bespilotnih letjelica prema masi [1]

KLASIFIKACIJA PREMA MASI		
Klasa	Masa	Model drona
Super teška	>2.000 kg	Global Hawk
Teška	200-2.000 kg	A-160
Srednje teška	50-200 kg	Raven
Lagana	5-50 kg	RPO Midget
Mikro	<5 kg	Dragon Eye

3.1.2. Klasifikacija prema istrajnosti i doletu

Bitno je napomenuti da, kada se bespilotne letjelice klasificiraju na ovaj način, pojmovi istrajnost i dolet su međusobno povezani. Letjelica s većom istrajnošću trebala bi imati veći dolet. Klasificiraju se na sljedeći način[1]:

- velike – letjelice koje su u stanju letjeti 24 sata i više, a dolet im je od 1.500 do 22.000 kilometara (npr. *Global Hawk*)
- srednje – letjelice koje su u stanju letjeti između 5 i 24 sata i to je najčešći tip bespilotnih letjelica (npr. *Predator*)
- male – letjelice koje su u stanju letjeti kraće od 5 sati i koriste se za kraće misije

Tablica 2. Klasifikacija prema istrajnosti i doletu [1]

KLASIFIKACIJA PREMA ISTRAJNOSTI I DOLETU			
Klasa	Istrajnost	Dolet	Model
Velika	>24 h	>1.500 km	Predator B
Srednja	5-24 h	100-400 km	Silver Fox
Mala	<5 h	<100 km	Pointer

3.1.3. Klasifikacija prema visini leta

Maksimalna operativna visina ili plafon leta još je jedan način klasifikacije bespilotnih letjelica kako slijedi [1]:

- niska visina – letjelice kojima je plafon leta do 1.000 m
- srednja visina – letjelice kojima je plafon leta od 1.000 do 10.000 m
- velika visina – letjelice kojima je plafon leta viši od 10.000 m

Tablica 3. Klasifikacija prema maksimalnoj visini leta [1]

KLASIFIKACIJA PREMA MAKSIMALNOJ VISINI LETA		
Klasa	Maksimalna visina leta	Model
Niska visina	< 1.000 m	Pointer
Srednja visina	1.000 – 10.000 m	Finder
Velike visina	> 10.000 m	Darkstar

3.1.4. Klasifikacija prema opterećenju krila

Četvrti način klasifikacije bespilotnih letjelica je prema opterećenju krila, koje se izračunava tako da se ukupna težina letjelice podijeli s površinom njenih krila te se klasificiraju kako slijedi [1]:

- nisko – opterećenje krila manje od 50 kg/m^2
- srednje – opterećenje krila između 50 i 100 kg/m^2
- visoko – opterećenje krila preko 100 kg/m^2

Tablica 4. Klasifikacija prema opterećenju krila [1]

KLASIFIKACIJA PREMA OPTEREĆENJU KRILA		
Klasa	Opterećenje krila(kg/m^2)	Model
Nisko	< 50	Seeker
Srednje	50 – 100	X -45
Visoko	> 100	Global Hawk

3.1.5. Klasifikacija prema vrsti motora

Bespilotne letjelice upotrebljavaju se za razne zadatke i zadaće, te stoga zahtijevaju različite tipove motora kako bi zadaci bili uspješno obavljeni. Povećanjem težine letjelice povećava se težina i veličina motora. Manje i lakše bespilotne letjelice najčešće koriste elektromotore, a veće i teže većinom koriste klipne i mlazne motore. Iz tog razloga klasifikacija prema vrsti motora je sljedeća:

- Klipni
- Elektro
- Dvotaktni
- Rotacioni
- Turboprop
- Turbofan

3.2. Funkcionalnost

Prema funkcionalnosti bespilotnih letjelica, UVS INTERNATIONAL⁶ razvrstava bespilotne letjelice prema funkcionalnosti u smislu zadaća i misijskih mogućnosti kako slijedi na:

- inteligentne, nadzorne i bespilotne letjelice namijenjene za prikupljanje podataka i prepoznavanje (ISTAR⁷)
- borbene bespilotne letjelice (UCAV⁸)
- bespilotne letjelice s vertikalnim polijetanjem i slijetanjem (VTOL⁹)
- bespilotne letjelice za radarsku i komunikacijski transfer
- bespilotne letjelice za zračnu dostavu i opskrbu

⁶ Engl. Unmanned Vehicle System International - svjetska neprofitna udruga koja predstavlja proizvođače bespilotnih sustava vozila (UVS), proizvođače podsustava i dijelova za UVS i prateće opreme.

⁷ Engl. Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance. – prikupljanje informacija, nadzor, zahvat mete i izviđanje.

⁸ Engl. Unmanned Combat Air Vehicle. – bespilotna borbena letjelica.

⁹ Engl. Vertical Take-Off and Landing. – vertikalno uzlijetanje i slijetanje.

3.3. Pouzdanost

Pouzdanost je vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadanu funkciju u zadanim uvjetima i u tijeku zadanog vremena. Da bi se odredila pouzdanost bespilotne letjelice, moraju se definirati četiri parametra preko kojih se ona određuje:

- Parametar nezgode (**MR** - Mishap Rate) - predstavlja broj nezgoda na 100.000 sati leta od ukupnog vremena leta cijele flote
- Srednje vrijeme između otkaza (**MTBF** - Mean Time Between Failure) – odnos sati leta i broja promatranih intervala održavanja – izražava se u satima
- Raspoloživost (**A** - Availability) - vjerojatnost da će sredstvo spremno započeti s radom, a izražena je u postotkom
- Pouzdanost (**R** - Reliability) se izračunava po formuli:

$$R=100-p \quad (1)$$

gdje je p postotak neizvršenih misija, bilo otkazanih zbog problema s održavanjem ili prekida za vrijeme misije.

Iz gore navedenih parametara dolazi se do sljedeće tablice gdje je navedena pouzdanost nekih modela bespilotnih letjelica:

Tablica 5. primjer pouzdanosti nekih bespilotnih letjelica [37]

Model	MR (h)	MTBF	A (%)	R (%)
RQ-1A Predator	43	32	40	74
RQ-1B Predator	31	55,1	93	89
RQ-2A Pioneer	363	9,1	74	80
RQ-2B Pioneer	139	28,6	78	91
RQ-5 Hunter (prije 1996)	255	nema podataka	nema podataka	nema podataka
RQ-5 Hunter (nakon 1996)	16	11,3	98	82

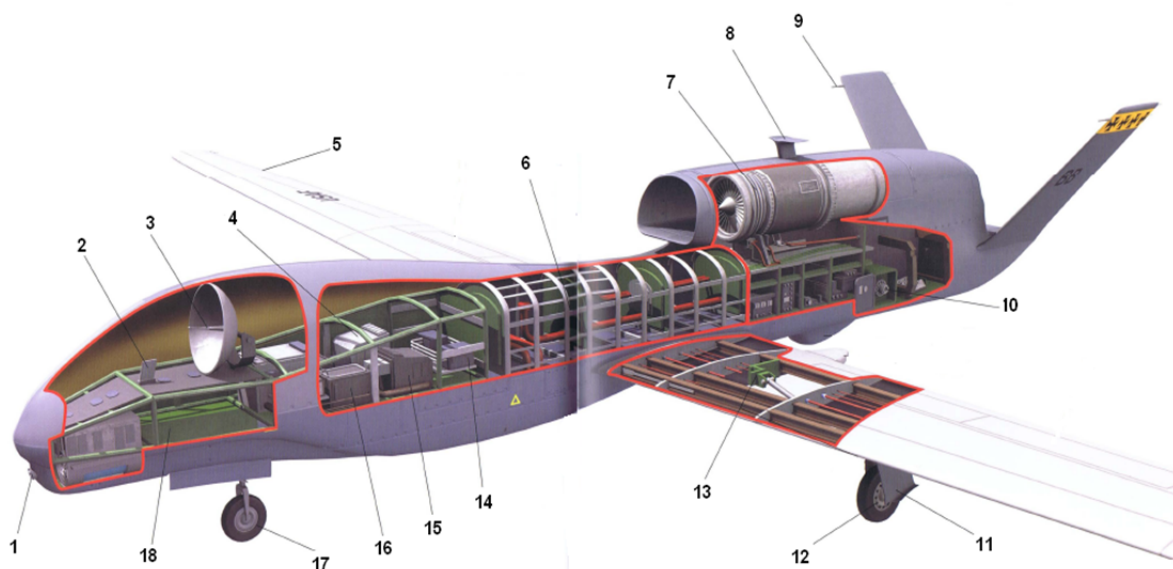
Iz tablice 5. se vidi da je prva inačica RQ-1 imala dosta problema sa raspoloživosti, odnosno spremnosti za izvršavanje zadaće. Ti su problemi razvojem i modifikacijom uklonjeni te je raspoloživost povećana na 93%, a pouzdanost na 89%, dok je MR smanjen sa 43 na 31 nezgode, što je smanjenje od 27%. Sličan je bio i slučaj sa RQ-2, što ukazuje da se razvojem i nadogradnjom postojećih sustava uklanjaju „dječje bolesti“ letjelice te se približava konačnom cilju - pouzdanoj i sigurnoj letjelici.

Analizom otkaza sustava bespilotnih letjelica u razdoblju od 1985. godine do danas, utvrđeno je da čak 4/5 svih otkaza otpada na pogon, upravljački sustav (kontrola) i ljudski faktor. Povećanjem pouzdanosti u tim područjima, značajnije bi se smanjio broj nesreća i gubitak letjelica. To je moguće jedino nadogradnjom postojećih sustava i razvojem novih koji koriste nove tehnologije i materijale.

4. DIZAJN I SUSTAVI UPRAVLJANJA BESPILOTNIH LETJELICA

4.1. Osnovni dijelovi

U ovom poglavlju su ukratko prikazani osnovni dijelovi bespilotne letjelice Northrop Grumman Global Hawk na primjeru (Slika 12.) te su neke od tih komponenti opisane u daljnjem tekstu.



Slika 12. Glavni dijelovi bespilotne letjelice [26]

Prema slici 12, mogu se vidjeti glavni dijelove bespilotne letjelice kako slijedi:

1. utor za kameru
2. UHF skrivena antena
3. antena za satelitsku komunikaciju
4. GPS sustav
5. krilce
6. glavni rezervoar za gorivo
7. turbofan motor
8. UHF satelitsko-komunikacijska antena
9. pitot cijev
10. konektor za zemaljsko pokretanje motora
11. vrata stajnoga trapa
12. stražnji stajni trap

13. aktuator stajnog trapa
14. uređaj za snimanje podataka
15. modemska priključak
16. unaprijeđeni senzorski odašiljač
17. prednji stajni trap
18. ležište unutarnjih antena

4.2. Konstrukcijska rješenja

Bespilotne letjelice moraju biti dizajnirane na način da imaju malu težinu, a veliku čvrstoću. Tu do izražaja dolaze nove suvremene tehnologije u proizvodnji materijala, tj. kompozitni materijali. Danas se najčešće koristi armirana plastika koja ima mehaničke osobine na nivou legiranih čelika. Osim male težine i velike čvrstoće, armirana plastika se također odlikuje stabilnošću oblika, kemijskom postojanošću, postojanošću prema atmosferskim uvjetima, visokom dinamičkom otpornošću, lakoćom obrade, itd. Kao loše strane ističu se osjetljivost na ultraljubičasto zračenje te složena tehnika popravka u slučaju oštećenja. Također se koriste karbonska vlakna te razne metalne legure.

Male bespilotne letjelice imaju modularnu konstrukciju, tako da se oštećeni dijelovi mogu lako zamijeniti. Na visinama iznad 1.000 metara mala bespilotna letjelica teško se otkriva radarskim i optičkim uređajima za izviđanje.

Oblik bespilotne letjelice najčešće je sličan obliku aviona, dok je mali broj letjelica konstruiran u obliku helikoptera i raketa. Veličina bespilotne letjelice zavisi o veličini i broju opreme koju nosi te vremena koje treba provesti u zraku.

4.3. Sustavi upravljanja

Bespilotnom letjelicom se može upravljati na tri načina:

- Daljinsko upravljanje
- Poluautonomno upravljanje
- Autonomno upravljanje

4.3.1. Daljinsko upravljanje

Daljinsko upravljanje radi na način da operater daje naredbe letjelici putem radioveze, te na osnovu slike dobivene iz letjelice upravlja letjelicom i opremom koja se nalazi na njoj. Ovako upravljana bespilotna letjelica nije prikladna za aplikacije u kojima se zahtijeva dugotrajno praćenje. Umor smanjuje koncentraciju operatera, te se time povećava mogućnost ljudske pogreške.

Sustavi daljinskog upravljanja konstruiraju se na razne načine, a sve ovisi o vrsti letjelice, tj. namjeni i doletu.

4.3.2. Poluautonomno upravljanje

Poluautonomno upravljanje radi na način da operater donosi strateške odluke za vrijeme trajanja leta putem sučelja za upravljanje letom. Sučelje za upravljanje letom je sustav koji se nalazi na bespilotnoj letjelici i namijenjen je za upravljanje letom prema podacima primljenim od operatera putem upravljačko-komunikacijskog kanala. Ukoliko operater ne mijenja varijable tijekom leta, bespilotna letjelica izvodi unaprijed programirane automatske operacije.

4.3.3. Autonomno upravljanje

Autonomna bespilotna letjelica funkcionira uz pomoć jednog od navigacijskih sustava (npr. GPS¹⁰). U mapu rada unesu se podaci o koordinatama i tehničkim postavkama po kojima letjelica krstari i obavlja svoju zadanu funkciju. Prikupljeni podaci šalju se s letjelice u realnom vremenu u upravljačku jedinicu. Putem upravljačke jedinice operater nadgleda stanje na promatranom području. U slučaju neke promjene ili izvanredne situacije operator ima mogućnost promijeniti koordinate te tako preusmjeriti letjelicu na drugo zadano područje.

Danas su u razvoju potpuno autonomni sustavi upravljanja koji omogućuju bespilotnoj letjelici da sama prepozna područje, strukture ili događaje od interesa te se prema njima navodi. Takav sustav zahtijeva minimalan nadzor od strane operatera [14].

¹⁰ Engl. **G**lobal **P**ositioning **S**ystem – globalni pozicijski sustav.

Autonomna bespilotna letjelica predstavlja kompleksan sustav te je pri planiranju njene upotrebe potrebno uzeti više zahtjeva u obzir:

- određivanje optimalnih kretnji letjelice
- određivanje optimalne putanje letjelice pri čemu je potrebno uzeti u obzir razna ograničenja
- kombiniranje informacija prikupljenih iz različitih senzora
- određivanje optimalne raspodjele zadataka uzimajući u obzir ograničenja vremenom, opremom i gorivom

Za uspješno djelovanje autonomnih bespilotnih letjelica važnu ulogu imaju četiri sustava:

- sustava za vođenje, navigaciju i upravljanje
- sustav za navođenje
- navigacijski sustav
- sustav za upravljanje

4.3.4. Sustav za vođenje, navigaciju i upravljanje

Unutar sustava za vođenje, navigaciju i upravljanje operator definira putanju koju će letjelica pratiti putem niza putnih točaka. Nakon što su one programirane, letjelica prati putanju koristeći podatke dobivene od navigacijskog sustava i senzora. Koriste se senzori pokreta i senzori rotacije koji su spojeni s računalima te se računa smjer i brzina pokretnog objekta.

4.3.5. Sustav za navođenje

Sustav za navođenje služi za određivanje brzine, smjera, visine, nagiba i putanje bespilotne letjelice. Za autonomne operacije operator mora definirati zemljopisno područje ili granice unutar kojih će letjelica letjeti. Sustav za vođenje se sastoji od sučelja kojim operator definira putne točke, a unutar tog sučelja nalaze se algoritmi koji generiraju upravljačke upute koje sustav za vođenje koristi za vođenje letjelice u skladu s unaprijed definiranim putnim točkama koje su određene zemljopisnom dužinom i širinom.

4.3.6. Navigacijski sustav

Navigacijski sustav određuje poziciju letjelice u prostoru, njenu brzinu i smjer. Za određivanje pozicije najčešće se koristi GPS. Satelitski prijemnik u letjelici mora imati optičku vidljivost s barem četiri satelita, tako da se iz vremena preleta signala može izračunati pozicija letjelice. U letjelicu se ugrađuje GPS prijemnik malih dimenzija koji ima zadaću prepoznati, pratiti i mjeriti satelitske GPS signale, te na osnovi mjerenja izračunati poziciju. Osim GPS-a koristi se i precizniji sustav – DGPS¹¹. DGPS je vrsta relativnog pozicioniranja gdje monitorska stanica prima satelitske signale i izračunava pogreške te time omogućuje točnije određivanje pozicije letjelice.

4.3.7. Sustav za upravljanje

Sustav za upravljanje je mehanički, električni ili hidraulični sustav koji autonomno upravlja bespilotnom letjelicom na način da pomiče komandne površine. Uspoređuje podatke iz navigacijskog sustava s izlaznim podacima iz sustava za vođenje.

4.4. Sustav komunikacije i izvještavanja

Komunikacijski sustav predstavlja podatkovne kanale koji se odnose na sve veze prema, od i unutar sustava bespilotne letjelice. On uključuje upravljačke, komunikacijske i pretvorničke veze namijenjene za:

- prijenos glasa ili podataka između posade sustava bespilotne letjelice i kontrole zračne plovidbe, drugih korisnika zračnog prostora i drugih korisnika podataka
- slanje naredbi za upravljanje letjelicom i pretvornicima
- primanje statusa između letjelice i upravljačke jedinice
- prijenos podataka s pretvornika

Slanje podataka vrši se putem radijske frekvencije, izravno ili preko satelita ako je zbog prevelike udaljenosti između letjelice i upravljačke jedinice direktna veza nemoguća. Satelitska komunikacija omogućuje veći radijus djelovanja letjelice.

¹¹ Engl. **D**ifferential **G**lobal **P**ositioning **S**ystem.

Komunikacijski sustav mora pružiti dovoljnu pouzdanost i propusnost prijenosa podataka. Kanali za prijenos podataka moraju posjedovati visok stupanj tajnosti i zaštite od smetnji, tj. malu vjerojatnost otkrivanja elektronskim izviđačkim sredstvima. Uređaji za prijenos podataka trebaju imati visoku otpornost na klimatske i mehaničke utjecaje i promjenu napona napajanja. Također, na odabir uređaja utječu i cijena, masa, potrebna snaga napajanja, potrebno hlađenje i dr. Karakteristike kanala prijenosa podataka biraju se na osnovu kompromisa između potrebnih karakteristika (brzina prijenosa podataka, daljina upotrebe i zaštita od smetnji), opsega radnih frekvencija, fizičkih ograničenja (masa, dimenzije, napajanje i hlađenje) i tehničkih ograničenja (snaga predajnika, intenzitet šuma predajnika, nivo zračenja bočnih lepeza antena). Razvoj računalne tehnologije i komunikacijskih sustava omogućio je bržu obradu podataka i korištenje novih načina modulacije signala čime se ostvaruje veza od 10 Gbps. Na taj je način u znatnoj mjeri riješen problem koji se pojavljivao kod obrade i prijenosa podataka. Razvoj procesora se u zadnjih dvadeset godina odvijao prema Mooreovom zakonu koji je 1965. godine predvidio da će se broj tranzistora u procesorima povećavati otprilike svake dvije godine za dvostruko.

Međutim, fizička granica iskoristivosti silicija, na kojemu je bazirana današnja tehnologija, će onemogućiti razvoj bržih procesora.

Sustavi veze i prijenosa podataka sastoje se od tri radio kanala:

- telekomandni radio kanal - koristi za prijenos signala upravljanja letom bespilotne letjelice i uređajima u njoj
- telemetrijski radio kanal – namijenjen je za prijenos informacija o navigacijskim parametrima i parametrima orijentacije letjelice i za prijenos informacija o stanju funkcioniranja sustava u letjelici
- informacijski radio kanal – koristi se za prijenos signala od informacijskih predajnika i senzora

Uređaji za prijenos komandi (telekomandni uređaji) su komandni predajnik na zemlji i komandni prijemnik na letjelici. Pomoću njih se komande vođenja, stvorene u zemaljskoj upravljačkoj stanici, šalju na letjelicu zajedno sa komandama upravljanja opremom. Te komande su: komande za promjenu kursa, visine, brzine leta kao i jednokratne komande za uključivanje i isključivanje autonomnog vođenja izviđačke i ometačke opreme.

Telemetrijski uređaji podrazumijevaju telemetrijski predajnik na zemlji i telemetrijski prijemnik na letjelici. Preko ovog kanala se s letjelice na zemlju šalju telemetrijski parametri: visina, brzina i kurs leta letjelice, parametri orijentacije letjelice i veći broj izviđačkih parametara. Pomoću ovih uređaja mogu se prenositi i video signali televizijske ili termovizijske slike sa letjelice ka zemaljskoj stanici i drugim izdvojenim korisnicima.

Uređaji za prijenos informacijskog signala su video predajnici za prijenos TV ili infracrvene slike, senzori i predajnik za prijenos radio ili elektronskih signala sa prijemnika za prisluškivanje i izviđanje.

5. NAMJENA BESPILOTNIH LETJELICA

5.1. Vojna namjena

Nekomercijalna primjena bespilotnih letjelica u većini slučajeva se odnosi na vojne svrhe. Sama njihova primjena u tom segmentu je vrlo velika, no najčešće se koriste za:

- optoelektronsko izviđanje
- radarsko izviđanje
- radio izviđanje i ometanje
- izviđanje specijalnim senzorima
- lasersko označavanje ciljeva
- kao mamac ili meta
- za izviđanje nuklearne, biološke i kemijske zagađenosti
- za blisku borbu
- presretanje
- nošenje bojnog tereta
- ostale pomoćne namjene

5.1.1. Optoelektronsko izviđanje

Radi smanjenja mogućnosti iznenađenja i pravovremene upotrebe raspoloživih sredstava, potrebno je poznavati raspored i kretanje snaga protivnika. To se postiže strategijskim i taktičkim sustavima za elektronsko promatranje i izviđanje. Iz sustava za elektronsko promatranje razvijeni su točniji elektronski sustavi za akviziciju cilja, koji su usko povezani s ubojitim sredstvima. Borbeno promatranje (neprekidno promatranje bojišta i pozadine protivnika u svim meteorološkim uvjetima) i akvizicija cilja (detekcija, identifikacija i lokacija cilja u svim meteorološkim uvjetima) predstavljaju ofanzivne aktivnosti, a integralna zaštita (istovremena primjena aktivnih i pasivnih mjera zaštite svih sustava za promatranje i akviziciju) je defanzivna aktivnost.

Pod elektronskim izviđanjem podrazumijeva se izviđanje durbinima, fotografskim i TV kamerama, termovizijom, infracrvenim linijskim skenerima, laserskim daljinomjerima, tj. optoelektronskim uređajima, kao i elektronskim uređajima (sve vrste izviđačkih radio i radarskih prijemnika).

5.1.2. Radarsko izviđanje

Radarski izviđački prijemnici namijenjeni su za otkrivanje, identifikaciju i lociranje impulsnih radara, radara s neprekidnim zračenjem, radara s kompresijom impulsa i dr. Ovi radari se nalaze u sustavu jedinica za zrakoplovno izviđanje, javljanje i navođenje, u raketnim i artiljerijskim jedinicama, na aerodromima i dr.

Parametri koje se pri radarskom izviđanju prate su i mjere na osnovu jednog impulsa su: amplituda, širina impulsa, pravac, noseća frekvencija i vrijeme dolaska, a na osnovu više impulsa: period ponavljanja impulsa, tip modulacije, polarizacija antena. Svi izmjereni parametri se odmah šalju u zemaljsku stanicu telemetrijskim kanalom. Tamo se u računalu određuje tip radara uspoređivanjem s podacima iz memorije, pravi odgovarajuća lista radara, određuje prioritet s ciljem ometanja ili uništenja, određuje položaj. Izmjereni i proračunati parametri se prikazuju na pokazivaču zapovjednika zemaljske stanice, a na elektronskoj karti terena se ucrtava pozicija otkrivenog radara s oznakom tipa.

Radarski ometači na bespilotnim letjelicama imaju svoj prijemnik koji obuhvaća samo frekvencijski opseg ometača. Podešavanje ometača se vrši direktno preko procesora prijemnika ili ga podešava operator u zemaljskoj stanici. Za određivanje pravca nailaska signala potrebno je na letjelicu ugraditi 4 ili 8 antena kružno raspoređenih ispod iznad ili na krajevima krila ili vertikalnog stabilizatora. Kada se koristi velik broj ometača, tj. više letjelica, tada ovi ometači i njihovi prijemnici mogu biti relativno jednostavne konstrukcije, jer će svaki radar na određenoj površini biti ometan dijelom ukupne snage ometanja. Na taj način će borbeni zrakoplovi biti zaštićeni te će se vjerojatnost uspješnog izvršenja zadatka povećati.

5.1.3. Radio izviđanje i ometanje

Radio izviđanje se veoma uspješno izvodi bespilotnim letjelicama, jer se one mogu dovesti u neposrednu blizinu izvora zračenja. Radio izviđanjem se prikupljaju podaci o radio-prometu, tehničkim karakteristikama radio i radio-relejnih stanica, prati njihov rad, vrši prijem i obrada uhvaćenih, otvorenih, kodiranih i šifriranih poruka, izvodi tehnička i radna analiza elektronskog sustava upravljanja. Svi mjereni parametri se telemetrijskim kanalom šalju u zemaljsku stanicu, gdje se vrši njihova registracija, dodatna analiza i dešifriranje, određivanje pozicije izvora radio zračenja i njihovo alfanumeričko i grafičko prikazivanje na

pokazivaču s elektronskom kartom terena. Operator elektronskog izviđanja i ometanja može upravljati radom prijemnika i ometača u letjelici i unositi primjedbe.

Radio ometanje sa bespilotnih letjelica ima dvije važne prednosti: ne stvaraju se smetnje svojim radio vezama uslijed udaljenosti postavljaja smetnji od položaja vlastitih snaga i u usporedbi sa odgovarajućim mobilnim i helikopterskim sredstvima daljinskog radio-elektronskog ometanja naglo se smanjuje potrebna snaga smetnji, jer bespilotna letjelica može biti dovedena neposredno u zonu djelovanja ometanih kanala veze protivnika.

5.1.4. Izviđanje specijalnim senzorima

Izviđanje specijalnim senzorima vrši se radi kontrole bojišta s ciljem utvrđivanja radiološke, biološke i kemijske zagađenosti, otkrivanja pokreta vozila, polijetanja i slijetanja zrakoplova i sl. U srednjem dijelu letjelice, namijenjenom za opremu misije, može se ugraditi automat za izbacivanje različitih potrošnih senzora.

S obzirom na fizičke principe koje koriste, izviđački senzori mogu biti:

- akustični
- seizmički
- udarni (registriraju udarce)
- magnetski
- elektromagnetski
- senzori pritiska

Senzori se bacaju pored putova, mostova, željezničkih pruga, aerodroma, radarskih, raketnih i artiljerijskih položaja. Teško su uočljivi jer uz male dimenzije njihov izgled odgovara okolini. Prikupljanje podataka sa senzora vrši se odgovarajućim prijemnikom na letjelici, gdje se podaci zapisuju ili se šalju u zemaljsku kontrolnu stanicu. Domet ovisi o preprekama i vrsti promatranog objekta.

5.1.5. Mamac

Simuliranje radarskog odraza drugih zrakoplova pomoću bespilotne letjelice može se postići ugradnjom Lunerbergovih leća ili reflektora. Ovakav mamac može se koristiti za zavaravanje protivnika, obuku operatora radarskih stanica i kao meta za uvježbavanje gađanja. Povećanje radarskih odraza može se postići i primjenom retranslatora impulsa kojima su bespilotne letjelice označene od protivnikovih radara. Time se omogućava da ih

radari lako otkriju, tretirajući ih kao ciljeve. Protivnik lansira rakete na bespilotne letjelice koje odvlače pažnju od borbenih zrakoplova.

5.1.6. Borba protiv bespilotnih letjelica

Primjenom bespilotnih letjelica zračne snage dobivaju potporu u elektronskoj borbi, tj. u elektronskom izviđanju, ometanju, obmanjivanju i fizičkom uništavanju elektronskih sredstava protuzrakoplovne obrane i drugih sredstava i objekata značajnih za oružanu borbu.

Izviđanje bespilotnim letjelicama može biti: sistematsko (u miru i ratu), prethodno (obično pred početak izvođenja borbenih aktivnosti), neposredno (pred polijetanje ili u toku borbenog leta osnovne udarne grupe zrakoplova radi izviđanja pokretnih i drugih objekata podložnih čestim promjenama položaja), kontrolno (radi prikupljanja podataka o rezultatima borbenih aktivnosti). Stoga njihovo otkrivanje mora biti organizirano tako da obuhvaća period prije početka i za vrijeme ratnih akcija, da traje neprekidno i da prekriva cjelokupni teritorij na svim visinama do 20.000 m.

Pravovremeno otkrivanje bespilotnih letjelica na zemlji i u zrakoplovnom prostoru, njihova sigurna identifikacija, obrada podataka i obavještavanje jedinica i drugih struktura može se postići organiziranjem obavještajno-izviđačke djelatnosti i organiziranjem zrakoplovnog promatranja i javljanja.

Za borbu protiv bespilotnih letjelica mogu se koristiti protuelektronska djelovanja, koja predstavljaju element borbenog poretka protuzračne obrane. Da bi ove jedinice uspješno djelovale protiv bespilotnih letjelica, potrebno ih je opremiti sredstvima za ometanje uređaja za navigaciju i upravljanje bespilotnim letjelicama, za ometanje njihove opreme, kao i za ometanje radarskih, infracrvenih i drugih uređaja kojima se bespilotne letjelice koriste.

Ometanje satelitskih navigacijskih prijemnika (GPS) ili drugih vrsta prijemnika navigacijskih signala, ometanje prijemnika aktivnih izviđačkih radara, ometanje radio i pasivnih radarskih izviđačkih prijemnika u bespilotnim letjelicama može se efikasno vršiti pomoću šumnih ometača koji generiraju širokopojasni ili uskopojasni šum određenog frekvencijskog opsega. Prijamnici telemetrijskih i informacijskih signala ne nalaze se na bespilotnim letjelicama, već u upravljačkim stanicama, drugim bespilotnim letjelicama, zrakoplovima i komunikacijskim satelitima, te je njihovo ometanje otežano.

Danas postoje razna tehnička sredstva za promatranje, akviziciju i nišanje ciljeva u zraku, koja mogu otkriti, locirati i identificirati sve vrste ciljeva, u svim vremenskim uvjetima

i svim uvjetima vidljivosti. Ako je bespilotna letjelica otkrivena, locirana i prepoznata, ona može biti i uništena.

5.1.7. Modeli u nekomercijalnoj upotrebi

A. FQM-151A

Bespilotna letjelica *FQM-151A* (Slika 13.) se isključivo upotrebljava u svrhu nadgledanja. U tablici 6. mogu se vidjeti najvažniji tehnički podaci [27].



Slika 13. FQM-151A [27]

Tablica 6. Tehnički podaci FQM - 151A [27]

FQM-151A	
Dužina (m)	1,83
Razmah krila (m)	2,74
Pogon	električni motor snage 300 W
Krstareća brzina (km/h)	35
Brzina penjanja (km/h)	3
Najveća brzina leta (km/h)	80
Plafon leta (m)	300
Radijus djelovanja	8 km
Istrajnost	75 min
Masa korisnog tereta (kg)	0,9
Masa pri polijetanju (kg)	3,5
Lansiranje	iz ruke
Slijetanje	na trbuh
Upravljanje	radio kontrola

A. RQ-2B

Bespilotna letjelica RQ-2B (*Pioneer*) (Slika 31.) je konstruirana je prema shemi s visoko postavljenim krilima i s dvije repne spojene grede. Koristi se za misije označavanja ciljeva na moru, otkrivanje morskih mina, izviđanje ruta prelijetanja borbenih zrakoplova, nadgledanje bojišta i lociranje ciljeva. U tablici 7. su navedeni njeni najvažniji tehnički podaci [18].



Slika 14. RQ-2B [16]

Tablica 7. Tehnički podaci RQ-2B [18]

RQ-2B	
Dužina (m)	4,26
Razmah krila (m)	5,11
Pogon	motor Sachs SF 350 (26 KS)
Krstareća brzina (km/h)	120
Brzina penjanja (m/s)	4,1
Najveća brzina leta (km/h)	176
Plafon leta (m)	4.500
Radius djelovanja	185 km
Istrajnost	5,5 h
Masa korisnog tereta (kg)	45
Masa pri polijetanju (kg)	210
Lansiranje	s uzletno-sletne staze, korištenjem startnih raketa ili katapulta
Slijetanje	na stajni trap uz pomoć zaustavne kuke ili užeta, korištenje mreža na brodu
Upravljanje	mobilna zemaljska upravljačka stanica GSC-2000 i stanice za programiranje letnog zadatka
Oprema	infracrveni ili elektro-optičke kamere, autopilot, navigacijska i komunikacijska oprema, automatski sustav slijetanja i polijetanja, laserski daljinomjer i označivač ciljeva

B. RQ-5A

Bespilotna letjelica RQ-5A (*Hunter*) (Slika 15.) je letjelica namijenjena za izviđanje malog dometa, promatranje i akviziciju ciljeva na daljinama 125 do 250 km, tj. na taktičkom nivou, označavanje ciljeva, izviđanje digitalnih komunikacija i drugih elektronskih sredstava i njihovo ometanje. U tablici 8 su prikazani najvažniji tehnički podaci letjelice [15].



Slika 15. RQ-5A[15]

Tablica 8. Tehnički podaci RQ-5A [15]

RQ-5A	
Dužina (m)	6,9
Razmah krila (m)	8,9
Visina (m)	1,65
Pogon	2 X 2-cilindrični 4T motor (64 KS)
Brzina krstarenja (km/h)	148
Brzina patroliranja (km/h)	111
Brzina penjanja (m/s)	3,94
Najveća brzina leta (km/h)	196
Plafon leta (m)	4.575
Radijus djelovanja	do 250 km
Istrajnost	12 h
Masa korisnog tereta (kg)	111
Masa pri polijetanju (kg)	727
Lansiranje	uzletna staza, katapult
Slijetanje	sletna staza, padobran
Upravljanje	zemaljska upravljačka stanice GSC-3000

C. MQ-1

Bespilotna letjelica MQ-1 (*Predator*) (Slika 16.) je jedna od prvih uspješnih bespilotnih letjelica u američkoj vojsci i danas predstavlja sinonim za bespilotne letjelice. Idejni začeci programa sežu u rane 1990. kroz razvoj platforme za izviđanje na prvim crtama bojišta. Letjelica je u službi od 1995. godine i koristila se u borbenim akcijama u Afganistanu, Paksitanu, Bosni, Srbiji, Libiji, itd. Tijekom narednih godina letjelica je unaprijeđivana i razvijana te je sada sposobna nositi naoružanje i djelovati po ciljevima na zemlji.

Inicijalni naziv letjelice bio je RQ-1. R označava reconnaissance tj. izviđanje, a Q je oznaka za bespilotne letjelice prema američkoj klasifikaciji letjelica. Broj 1 označava prvu u seriji bespilotnih letjelica. 2002. godine preimenovana je u MQ-1, gdje M označava multifunkcionalnu letjelicu, u skladu sa sve opširnijom ulogom ove letjelice u sustavu američkih oružanih snaga

Letjelica je konstruirana s repnim površinama u obliku obrnutog slova V. Namjena letjelice je izviđanje, špijunaža, motrenje, usmjeravanje zračnih napada, borba u zraku. Oprema koju nosi: nosna video kamera, infracrvena kamera, laserski daljinomjer i radar sa sintetičkom rešetkom. U tablici 9. su prikazani najvažniji tehnički podaci letjelice [21].



Slika 16. MQ-1 [21]

Tablica 9. Tehnički podaci MQ-1 [21]

MQ-1	
Dužina (m)	8,13
Razmah krila (m)	14,85
Visina (m)	2,21
Površina krila (m ²)	11,45
Pogon	Rotax 912 (85 KS)
Brzina krstarenja (km/h)	n/a
Brzina patroliranja (km/h)	111
Brzina penjanja (m/s)	n/a
Najveća brzina leta (km/h)	222
Plafon leta (m)	7.925
Radijus djelovanja	5.500 km
Istrajnost	> 24 h
Masa korisnog tereta (kg)	210
Masa pri polijetanju (kg)	855
Lansiranje	uzletna staza
Slijetanje	sletna staza, padobran
Upravljanje	zemaljska upravljačka stanica i komunikacijsko-distribucijska postaja
Oprema	nosna video kamera, infracrvena kamera, laserski daljinomjer, SAR

D. RQ-3A

Autonomna bespilotna letjelica RQ-3A (*Dark Star*) (Slika 17.) konstruirana je bez repa, s namjenom za strateška izviđanja. U tablici 10. se mogu vidjeti najvažniji tehnički podaci o letjelice [32].



Slika 17. RQ-3A [43]

Tablica 10 Tehnički podaci RQ-3A [43]

RQ-3A	
Dužina (m)	4,57
Razmah krila (m)	21,03
Visina (m)	1,52
Površina krila (m ²)	29,82
Pogon	turbomlazni motora FJ44-1A
Brzina krstarenja (km/h)	556
Brzina patroliranja (km/h)	463
Brzina penjanja (m/s)	n/a
Najveća brzina leta (km/h)	n/a
Plafon leta (m)	14.000
Radijus djelovanja	n/a
Istrajnost	n/a
Masa korisnog tereta (kg)	454
Masa pri polijetanju (kg)	3.901
Lansiranje	uzletna staza
Slijetanje	sletna staza, padobran
Upravljanje	autonomno, zemaljska upravljačka stanica
Oprema	n/a

E. RQ-4A

Bespilotna letjelica RQ-4A (*Global Hawk*) (Slika 18.) spada u strategijske bespilotne letjelice. Osnovna namjena je za izviđanje iz zraka u kontinentalnim razmjerima sa velike visine leta i sa dugotrajnim zadržavanjem u zraku. Opremljena je radarskim visinomjerom, elektro-optičkim i infracrvenim uređajima, SAR radarom, detektorom radarskog zračenja, ometačima, mamcima, itd. Profil misije se programira, ali se također može i reprogramirati u toku leta. U tablici 11. mogu se vidjeti najvažniji tehnički podaci o letjelici [40].



Slika 18. RQ-4A [40]

Tablica 11. Tehnički podaci RQ-4A [40]

RQ-4A	
Dužina (m)	13,53
Razmah krila (m)	35,42
Visina (m)	4,63
Površina krila (m ²)	50,17
Pogon	turbomlazni motor AE 3007 H
Brzina krstarenja (km/h)	n/a
Brzina patroliranja (km/h)	635
Brzina penjanja (m/s)	n/a
Najveća brzina leta (km/h)	n/a
Plafon leta (m)	20.500
Radijus djelovanja	26.760 km
Istrajnost	> 42 h
Masa korisnog tereta (kg)	oko 8.000
Masa pri polijetanju (kg)	11.612
Lansiranje	uzletna staza
Slijetanje	sletna staza
Upravljanje	automno, zemaljsko
Oprema	radarski visinomjer, elektro-optički i infracrveni uređaji, SAR radar, detektor radarskog zračenja, ometači, mamci

F. X-45C

Bespilotna letjelica X-45C (Slika 19.) je bespilotna letjelica za borbena djelovanja. U tablici 12. je dan prikaz najvažnijih tehničkih podataka o letjelici [30].



Slika 19. X-45C [30]

Tablica 12. Tehnički podaci X-45C [30]

X-45C	
Dužina (m)	8,08
Razmah krila (m)	10,3
Visina (m)	2,14
Površina krila (m ²)	n/a
Pogon	turboventilatorski motor HONEYWELL F124GA100
Brzina krstarenja (km/h)	n/a
Brzina patroliranja (km/h)	n/a
Brzina penjanja (m/s)	n/a
Najveća brzina leta (km/h)	919
Plafon leta (m)	13.200
Radijus djelovanja	2.405
Istrajnost	n/a
Masa korisnog tereta (kg)	n/a
Masa pri polijetanju (kg)	n/a
Lansiranje	uzletna staza
Slijetanje	sletna staza
Upravljanje	automno, zemaljsko
Oprema	topovi malog kalibra, bombe

5.2. Civilna namjena

Bespilotne letjelice zauzimaju sve značajnije mjesto u civilnoj upotrebi gdje su našle raznovrsnu primjenu i u svakodnevnom životu. Danas se bespilotne letjelice u civilne svrhe koriste za:

- Snimanje iz zraka
- znanstvena i zemaljska promatranja
- nadzor
- u razne komunikacijske svrhe
- izvanredne situacije (protupožarstvo, potraga i spašavanje, hitna medicinska pomoć)

Pojeftinjenjem elektroničkih komponenti i sustava upravljanja bespilotne letjelice sve su zastupljenije u komercijalnim i nekomercijalnim upotrebi izvan vojnog sektora.

Posljednjih godina najpopularnije su letjelice sa više rotora. Glavne prednosti ovih letjelica su lakoća upravljanja i parametri leta usporedivi s helikopterima. Poseban osvrt na ovu vrstu letjelica dan je u točki 6.2.

5.2.1. Letjelice u komercijalnoj upotrebi

A. Mark 4.7

Mark 4.7 *Aerosonde* (Slika 20.) je mala bespilotna letjelica dizajnirana za prikupljanje podataka o vremenu iznad zabačenih mjesta i oceana. U tablici 13. je dan prikaz najvažnijih tehničkih podataka o letjelici [32].



Slika 20. Mark 4.7[32]

Tablica 13. Tehnički podaci Mark 4.7 [32]

Mark 4.7	
Dužina (m)	1,7
Razmah krila (m)	2,9
Visina (m)	0,6
Površina krila (m ²)	0,57
Pogon	ENYA R120 (1,74 KS)
Najveća brzina leta (km/h)	140
Plafon leta (m)	4.500
Radijus djelovanja	3.000 km
Istrajnost	n/a
Masa korisnog tereta (kg)	n/a
Masa pri polijetanju (kg)	n/a
Lansiranje	n/a
Slijetanje	n/a
Upravljanje	radijsko
Oprema	računalo, meteorološki instrumenti, GPS

B. Altair

Bespilotna letjelica Altair (Slika 21.) se koristi za praćenje klimatski i ekoloških promjena i životinja. U tablici 14 je dan prikaz najvažnijih tehničkih podataka o letjelici [41].



Slika 21. Altair [41]

Tablica 14. Tehnički podaci Altair [41]

Altair	
Dužina (m)	10,9
Razmah krila (m)	26,2
Pogon	turboprop Honeywell TPE33110
Plafon leta (m)	15.200
Radius djelovanja	n/a
Istrajnost	30 h
Masa korisnog tereta (kg)	300

C. Yamaha RMAX

Yamaha RMAX (Slika 22.) je bespilotna letjelica koja može vertikalno polijetati i slijetati. Tehnički podaci o letjelici se mogu vidjeti u tablici 15.



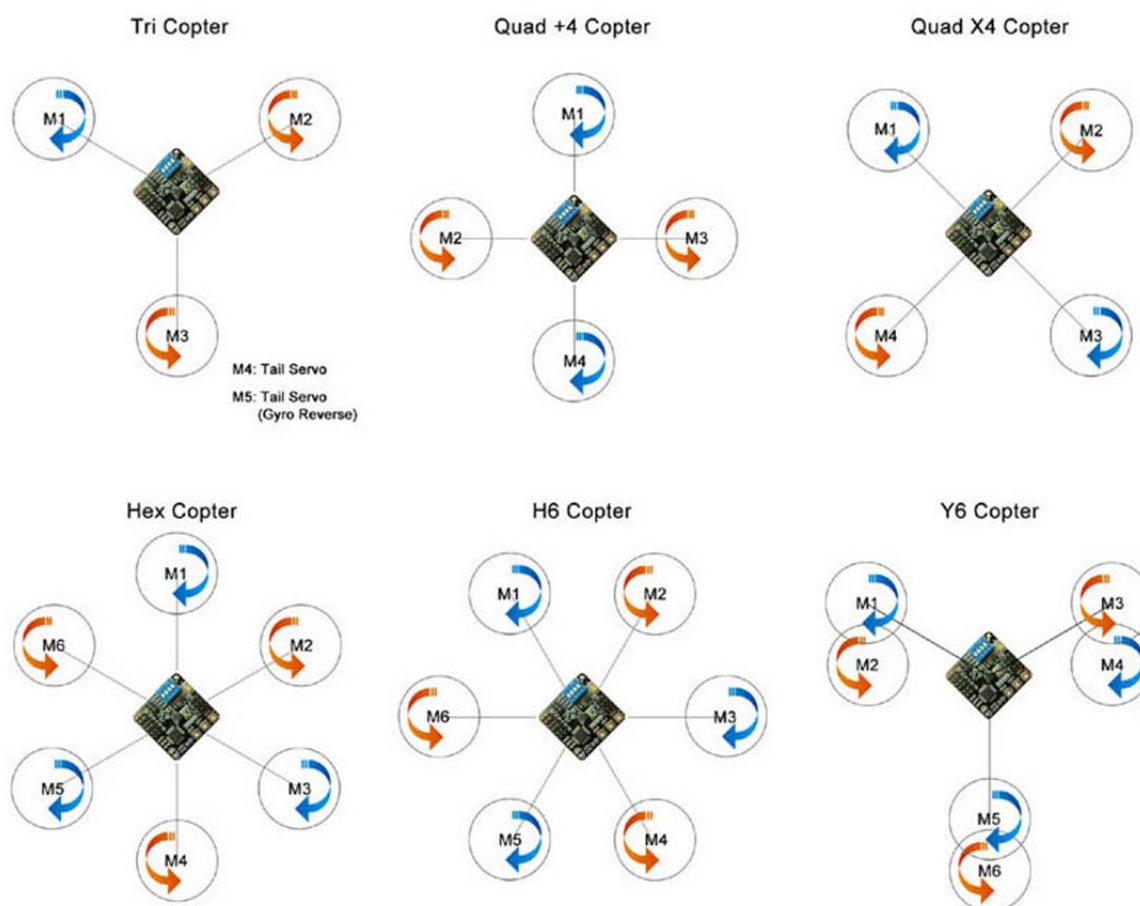
Slika 22. Yamaha RMAX [28]

Tablica 15. Tehnički podaci RMAX [28]

RMAX	
Dužina (m)	2,75
Visina (m)	1,08
Radijus rotora (m)	3,13
Pogon	2-cilindrični 2T motor (15,4 kw)
Radijus djelovanja	400 m
Masa korisnog tereta (kg)	28
Polijetanje / Slijetanje	VTOL

5.2.2. Letjelice sa više rotora

Ove letjelice tzv. multi-rotori sastoje se od 3 do 8 rotorskih elemenata. Konstrukcijski se razlikuju od zrakoplova i helikoptera. Noseći elementi su uglavnom elise sa fiksnim korakom gdje se upravljanje vrši promjenom brzine određenog broja rotora. Motori su montirani na cijevne elemente u različitom rasporedu. Prema rasporedu motora tj. elisa različito se i nazivaju.



Slika 23. Prikaz raspored rotora [23]

Ovaj tip letjelica stekao je iznimnu popularnost u svijetu, pa tako i kod nas. Multi-rotore odlikuje lakoća upravljanja i parametri leta slični helikopterima, vertikalno uzlijetanje i slijetanje te lebdjenje na mjestu uz iznimnu stabilnost. Zbog toga najčešća upotreba ove vrste letjelica je za potrebe snimanja iz zraka. Za vrijeme pisanja ovog rada okvirna cijena letjelice spremne za let kretala se u rasponu od 3.000 do 5.000 eura. Zbog navedene cijene, bespilotne letjelice i jesu iznimno popularne.



Slika 24. Prikaz tipične letjelice [42]

5.2.2.1. *Sustavi upravljanja*

Danas se za upravljanje ovim vrstama letjelica koriste „all in one“ sustavi koji uključuju pod-sustave za upravljanje, stabilnost i navigaciju smještenu unutar jedne elektroničke komponente. Uz pomoć GPS-a i sustava žiroskopa omogućuju lebdjenje na fiksnoj poziciji bez potrebe korekcija pilota, letenje po zadanoj ruti, automatsku stabilizaciju te autonomno polijetanje i slijetanje.

Za upravljanje i kontrolu se koriste primopredajnici koji se koriste i u modelarstvu. Zbog ograničenja izlazne snage predajnika letjelice se upravljaju i kontroliraju unutar vizualnog dometa dok ostatak leta izvode samostalno uz pomoć autonomnih sustava.

5.2.2.2. *Sustav komunikacije*

Kako se ove letjelice najčešće koriste unutar vizualnog dometa, sustav komunikacije je najčešće samo povratna video veza sa same letjelice. Povratna veza koristi ne licencirani spektar unutar 900 MHz, 2,4 GHz i 5,8 GHz frekvencijskog područja sa snagom ograničenom prema važećim zakonima. Uz ova ograničenja maksimalni domet sustava iznosi nekoliko kilometara što je u većini slučajeva sasvim dovoljno za upotrebu kojoj su namijenjeni.

6. STATUS I MOGUĆNOSTI RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA U REPUBLICI HRVATSKOJ

6.1. Bepilotne letjelice u Republici Hrvatskoj

Tijekom Domovinskog rata i u Hrvatskoj vojsci pojavila se potreba i interes za korištenjem bespilotnih letjelica u svrhe izviđanja i nadzora, kao zamjena za tada nepostojeće ratno zrakoplovstvo. Na početku rata (1991. i 1992.), uz pomoć modelarskih klubova koristili su se prepravljeni modeli s fotografskom opremom. Bili su to isključivo aero snimci koji su se povratom bespilotne letjelice razvijali. Prve letjelice ostajale su u zraku do sat vremena i operativni dolet nije bio veći od 15 kilometara.

Početkom 1993. godine Hrvatska vojska koristila je naprednije letjelice, koje su uz foto snimke koristile i TV snimanje u realnom vremenu pa se cjelokupni let pratio televizijskom slikom na terminalu.

Trenutno u Hrvatskoj jedino vojska posjeduje bespilotne letjelice. Tu flotu čine tri tipa bespilotnih letjelica: BL M-99, Skylark I, te Hermes 450.

6.1.1. BL M-99

Bespilotna letjelica BL M-99 Bojnik (Slika 50.) je letjelica domaće proizvodnje koja pripada kategoriji srednjeg doleta. Razvijena je za potrebe dobivanja informacija o razmještanju neprijateljskih jedinica za vrijeme Domovinskog rata. Namjena letjelice je da sudjeluje u izviđačkim misijama kao potpora kopnenim snagama na taktičkoj razini. Polijeće i slijeće s manjih USS-a. U tablici 1. navedene su najvažnije tehničke karakteristike ove letjelice [25].



Slika 25. BL-M99 [25]

Tablica 16. Tehnički podaci BL-M99 [22]

BL M-99	
Masa (kg)	36
Raspon krila (m)	4
Istrajnost	6 h
Dolet	60 km
Najveća operativna visina	4.000 m
Senzori	TV kamera, foto kamera 6x6 cm
Upravljanje	Radio signalom iz glavne zemaljske postaje
Navigacija	GPS, magnetometar, pitot-statički senzori

6.1.2. Skylark I

Bespilotna letjelica Skylark I (Slika 26.) namijenjena je za taktičko nadziranje i izviđanje (slika 51). Tijekom nadzora, letjelica prenosi sliku u realnom vremenu. U tablici 2. je dan prikaz najvažnijih tehničkih podataka o letjelici [20].



Slika 26. Skylark [38]

Tablica 17. Tehnički podaci Skylark I [20]

Skylark I	
Masa (kg)	4,5
Raspon krila (m)	n/a
Istrajnost	1,5 h
Dolet	10
Najveća operativna visina	4.800 m

6.1.3. Hermes 450

Bespilotna letjelica Hermes 450 (Slika 14.) dizajnirana je za duge taktičke misije. U tablici 3. je dan prikaz najvažnijih tehničkih podataka o letjelici [17].



Slika 27. Hermes 450 [17]

Tablica 18. Tehnički podaci Hermes 450 [17]

Hermes 450	
Dužina (m)	6,1
Razmah krila (m)	10,5
Pogon	UEL Wankel motor (52 KS)
Maksimalna brzina (km/h)	176
Brzina krstarenja (km/h)	130
Dolet (km)	200
Istrajnost	20 h
Plafon leta (m)	5.486
Masa prazne letjelice (kg)	450
Nosivost korisnog tereta (kg)	150

6.2. Mogućnosti razvoja bespilotnih letjelica

Zbog visoke cijene razvoja komponenti i sustava potrebnih za funkcioniranje današnjih bespilotnih letjelica u Hrvatskoj se ne vodi aktivni razvoj komercijalnih bespilotnih letjelica.

Hrvatska vojska je modernizirala i unaprijedila prve generacije svojih bespilotnih letjelica domaće proizvodnje, ali se ipak odlučila za kupovinu stranih rješenja prilikom nabave novih bespilotnih letjelica. Samim time su i ograničili mogućnost daljnjeg razvoja vlastitih proizvoda.

S druge strane, popularizacijom i pojeftinjenjem „off the shelf“ komponenti za izradu bespilotnih letjelica za civilne svrhe, u Hrvatskoj se pojavilo par entuzijasta i modelara koji u kućnoj radinosti izrađuju bespilotne letjelice za amatersko i polu-profesionalno fotografiranje i snimanje iz zraka.

Najčešći oblik bespilotne letjelice iz „kućne“ izrade je letjelica s više rotora. Izrađuje se samo zmaj letjelice. Mehaničke i elektronske komponente se kupuju i ugrađuju u izrađeni zmaj.

Ovakve letjelice mogu biti i polu-autonomne, ovisno o ugrađenoj elektronici. Najčešće se lete u VFR uvjetima i unutar vizualnog doleta, ali imaju mogućnost samostalnog uzlijetanja i slijetanja te leta prema zadanoj GPS ruti konfiguriranoj prije leta.

Za daljnji razvoj idealna bi bila suradnja Fakulteta Prometnih Znanosti, Fakulteta strojarstva i brodogradnje i modelarskih klubova koji bi u kolaboraciji mogli istraživati ovu granu zrakoplovstva.

Za Hrvatsku, kao malu zemlju s vrlo ograničenim budžetom namijenjenim zrakoplovstvu, bespilotne letjelice mogu predstavljati alternativu „pravom“ zrakoplovstvu, prilikom izvršavanja pojedinih zadaća. Zbog ograničenih novčanih sredstava razvoj i nabavu treba usmjeriti mirko i laganim multifunkcionalnim bespilotnim letjelicama. Manje bespilotne letjelice mogu biti dovoljno modularne i multifunkcionalne te time pokriti široki spektar zadaća u kojima bi se mogao iskoristiti njihov potencijal.

Veće bespilotne letjelice, osim veće početne cijene, zahtijevaju skuplju infrastrukturu, posebnu obuku i cijena u eksploataciji im je višestruko veća u usporedbi s manjim letjelicama. Obim zadaća koje veće letjelice mogu obavljati, za Hrvatske uvjete, predstavlja nerazmjernost s njihovim troškovima tijekom cijelog perioda eksploatacije.

U vojne svrhe, opravdano bi bilo korištenje i srednje teške bespilotne letjelice s povećanim radijusom djelovanja i istrajnosti. Letjelica bi se koristila za nadzor morskih granica Republike Hrvatske, rano upozoravanje i vatrodojavu. Korištenjem ovakvih letjelica smanjila bi se upotreba vojnih zrakoplova koji nisu primarno namijenjeni ovim zadaćama, a samim time smanjili bi se i operativni troškovi, tj. cijena po satu leta.

Doradom postojeće bespilotne letjelice Hermes, koju Hrvatska vojska već i koristi ili nabavom nove koja bi zadovoljila uvjete povećanog doleta i istrajnosti vojska je u

moгуćnosti optimizirati raspoložive resurse i smanjiti troškove. Dolet bi trebao biti od 400 km do 500 km, a istrajnost od 12h do 24h, kako bi pokrila razvedenu obalu i udaljene otoke.

Za potrebe istraživanja, ispitivanja i unapređenja pojedinih sustava u sklopu akademskih institucija optimalno rješenje je nabava ili izrada bespilotne letjelice s više rotora. Fakulteti i istraživačke institucije u svijetu odabrale su upravo ovakve letjelice prvenstveno zbog financijskih razloga, tj. niske cijene. Ove letjelice su vrlo modularne i imaju izrazito fleksibilan dijapazon funkcionalnosti za koji se mogu primijeniti. Svojom fleksibilnošću nude široki spektar istraživanja za koja se mogu koristiti.

Za Fakultet Prometnih Znanosti zanimljiva su istraživanja u područjima sustava upravljanja i automatizacije, navigacijskim sustavima i sustavima komunikacije, ali i općenito razvoj zanemarene tehničke kulture.

Idealna bi bila letjelica s više rotora vlastite izrade, promjera krakova do 1.600 mm, pokretana elektro motorima bez četkica i Litij Polimer akumulatorima. Istrajnost ovakve letjelice je do 15 minuta, a koristan teret koji može nositi iznosi do 4 kg. Nabavna cijena iznosi oko 20.000,00 Kn.

7. TRENDОВI RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA

7.1. Autonomni sustavi

Autonomni sustavi i umjetna inteligencija bespilotnih letjelica je nužna stavka u unaprjeđenju tehnologije ukoliko se bespilotne letjelice žele smatrati efikasnim i isplativim. Za primjer, za let bespilotne letjelice Predator je potrebno oko 80 ljudi koje je održavaju tijekom misijskog leta! Značajni napredak na tom polju je učinjen, no još uvijek postoje mnogi izazovi.

U relativno nezahtjevnim misijama, ono što autonomni sustavi danas nude je više no dovoljno. No, kako su takve misije vrlo rijetke, autonomni sustavi nisu toliko napredni da ovise o sebi i tu se ponovo uključuje ljudski čimbenik i potpuno mijenja prirodu zadatka.

Iz tog razloga je potrebno razviti autonomne sustave koji će razumjeti uvjete i prilagoditi se istima na sljedeće načine:

- brzo rekonfiguriranje senzora
- samostalno prepoznavanje pogrešnih podataka
- inteligentno tumačenje i zaključivanje na temelju prikupljenih podataka
- samostalno određivanje prioriteta
- samostalna optimizacija vlastitih resursa

Iz navedenih razloga, američka je vlada razvila program pod nazivom *Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036* koji će pokušati dati rješenja na ove izazove u razvoju autonomije bespilotnih letjelica.

7.2. Umjetna inteligencija

Iako je razvoj umjetne inteligencije započeo još tridesetih godina prošlog stoljeća na način da se pokušava razviti neuronska mreža nalik funkcionalnosti ljudskog mozga te se pokušava simulirati njegov rad, još uvijek nije postignuta razina funkcionalnosti ljudskog razumijevanja ili kreativnosti.

Iz tog razloga, ljudski čimbenik u upravljanju bespilotnim letjelicama je još uvijek značajan. Vjeruje se da će se ekvivalent ljudske i umjetne inteligencije u budućnosti izjednačiti, no ne tako skoro zbog previsokih troškova razvoja.

7.3. Zamjena ljudske posade

Bespilotne letjelice imale su vrlo spori razvoj tijekom devedesetih godina. Najveći razlog tog sporog razvoja leži upravo u ljudskom čimbeniku odnosno u pilotima i posadama koje su u bespilotnim letjelicama vidjeli prijetnju u smislu da će ih one potpuno zamijeniti.

No, zbog još uvijek niske razine autonomije kojoj nedostaje ljudskog čimbenika i uvelike urođenog pilotskog instinkta, zamjena čovjeka trenutno nije moguća.

7.4. Tehnologija budućnosti

Zbog rasta cijene nafte, potrebe za smanjenjem operativnih troškova, što veće istrajnosti te smanjenja zagađenja okoliša, intenzivno se radi na razvoju letjelica na elektro pogon u kombinaciji s alternativnim izvorima energije kao što su solarne ćelije i gorive ćelije (vodik, metan, metanol, tekući ugljikovodik). Danas su letjelice s alternativnim pogonom neiskoristive i u testnim su fazama, no u skoroj budućnosti zasigurno će naći svoje mjesto na tržištu.

7.4.1. Pogon gorivom ćelijom

Goriva ćelija proizvodi istosmjernu struju iz elektro kemijske reakcije vodika i kisika, bez izgaranja. Za razliku od akumulatora koji pohranjuje energiju, gorive ćelije proizvode energiju dok imaju goriva.¹²

Gorive ćelije proizvode malo ili čak nikakvo zagađenje okoliša i iznimno su tihe. Pružaju mnoge mogućnosti pri proizvodnji energije. Osnovne prednosti gorivih ćelija su:

- puno su učinkovitije od motora s unutrašnjim izgaranjem
- vrlo su pouzdane i mogu se koristiti u širokoj primjeni
- ne stvaraju stakleničke plinove
- kod gorivih ćelija izvor energije je čisti vodik, a nusprodukt je voda, što je ekološki prihvatljivo

¹² Kralik, D.: Gorive ćelije, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 2009.

Nedostaci gorivih ćelija su:

- tehnologija još nije u potpunosti razvijena
- neke gorive ćelije za proizvodnju koriste skupe materijale
- gorive ćelije su znatno veće od motora i akumulatora te se njihovom ugradnjom oduzima prostor za koristan teret, no s godinama njihova veličina je sve manja

Ovisno o sredstvu koje se koristi za razdvajanje vodika i kisika razlikuje se više inačica gorivih ćelija:

- membrana za razmjenu proton
- alkalne ćelije
- ćelije fosforne kiseline
- ćelija Moltenovog karbonata
- ćelija krutog oksida

7.4.2. Solarni pogon

Prijevozna sredstva za solarni pogon već su dosta dugo poznata javnosti. Princip rada je relativno jednostavan: velika ploča ili ploče skupljaju sunčevu energiju i pretvaraju je u električnu energiju koja pogoni motor. Solarne ćelije pretvaraju solarnu energiju u električnu. Količina energije, odnosno snaga koja se dobije iz solarne ćelije ovisi o:

- vrsti i površini materijala
- jačini sunčeve svjetlosti
- valnoj duljini sunca

Solarne ćelije zahtijevaju silicij visoke čistoće i gotovo savršene kristalne strukture koju je moguće dobiti samo visokim tlakom i temperaturom. Zbog toga je ova metoda dobivanja silicija vrlo skupa.

Možda će proći još nekoliko desetaka godina prije nego što se uspiju razviti gorive ćelije koje će moći pohraniti velike količine solarne energije, ali stalnim razvojem i novim otkrićima solarna energija će se koristiti za pokretanje manjih letjelica.

8. ZAKLJUČAK

Razvoj bespilotnih letjelica posljednja dva desetljeća bilježi eksponencijalni napredak. Iako su bespilotne letjelice bile razvijane isključivo za vojne potrebe, širina primjene i potencijalne mogućnosti te pristupačnost današnjih tehnologija omogućile su upotrebu bespilotnih letjelica i u civilne svrhe.

Svojim konstrukcijskim rješenjima, uz pomoć sustava i senzora visokih tehnologija, te autonomijom i sustavima umjetne inteligencije, bespilotne letjelice imaju veliku prednost nad letjelicama s ljudskom posadom, kako zbog sigurnosti ljudskih života koja se u bespilotnim letjelicama ne dovodi u pitanje, tako i zbog prikupljanja strateški važnih informacija. Takve informacije se ne mogu dobiti konvencionalnim metodama, nego isključivo pomoću bespilotnih letjelica te na taj način one značajno pridonose podizanju razine sigurnosti, učinkovitijem upravljanju prometom, boljoj ekološkoj zaštiti.

U nekomercijalne namjene, bespilotne letjelice se koriste u vojnim taktičkim i strateškim misijama. Najčešće se upotrebljavaju za optoelektronska izviđanja, izviđanja specijalnim senzorima, za borbene aktivnosti.

Interes za primjenom bespilotnih letjelica u civilne svrhe također raste svakim danom. U budućnosti će smanjenjem cijene i povećanjem dostupnosti sustava ove letjelice postajati sve popularnije. U civilnoj upotrebi, bespilotne letjelice se najčešće koriste za snimanja, transport, znanstvena i zemaljska promatranja, nadzor, u razne komunikacijske svrhe i izvanredne situacije.

Smanjenjem cijene cjelokupnih sustava i olakšana nabava dijelova potrebnih za izradu svjetski trendovi zamjećuju se i u Hrvatskoj. Danas već postoje tvrtke koje se bave izradom i eksploatacijom bespilotnih letjelica. Taj trend bi se trebao nastaviti ulaskom Hrvatske u Europsku Uniju.

LITERATURA

1. Wikipedia - en.wikipedia.org/wiki/History_of_unmanned_aerial_vehicles
2. Finn, A., Scheduling, S.: *Developments and Challenges for Autonomous Unmanned Vehicles*, Springer, Berlin, 2010
3. Arjomandi, M.: *Classification of Unmanned Aerial Vehicles*, The University of Adelaide, Adelaide, 2008
4. Kralik, D.: *Gorive čelije*, znanstvena skripta, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek, 2009.
5. Barnhart, R.K., Hottman, S.: *Introduction to unmanned aircraft systems*, znanstveni članak, CRC Press Ltd., New York, 2012
6. Austin, R.: *Unmanned Aircraft Systems*, U.K, 2010
7. van Blyenburgh, P.: *UAV's - Current situation and considerations for the way forward*, studija, EURO UVS, Paris, 1999.
8. Gertler, J.: *U.S. Unmanned Aerial Systems*, znanstvena studija, Congressional Research Service, Washington, 2012
9. Kolarek, M.: *Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije*, znanstveni članak, Ekscentar, br. 12, str. 70-73, Zagreb, 2010.
10. Ćosić, J., Ćurković, P., Kasać, J., Stepanić, J.: *Interpreting development of unmanned aerial vehicles using systems thinking*, znanstveni članak, Interdisciplinary Description of Complex Systems 11(1), 143-152, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Zagreb, 2013.
11. Papić, D.: *Mogućnost primjene bespilotnih letjelica u Republici Hrvatskoj*, diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
12. Miller, J., Minear, P., Niessner, A.: *Intelligent Unmanned Air Vehicle Flight Systems*, znanstveni članak, The Pennsylvania State University, U.S.A., 2005
13. Gupta, N., Alapatt G. F.: *Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules*, znanstveni članak, International Journal of Photoenergy 2009, USA, 2009

Internet izvori:

- 14 <http://bit.ly/13IRYj5>
- 15 <http://bit.ly/1akOOFI>
- 16 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RQ-2B_pioneer_uav.jpg
- 17 <http://defense-update.com>
- 18 http://en.wikipedia.org/wiki/AAI_RQ-2_Pioneer
- 19 http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_steam_carriage
- 20 http://en.wikipedia.org/wiki/Elbit_Skylark
- 21 http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator
- 22 <http://forum.krstarica.com/>
- 23 <http://fpvcentral.net>
- 24 http://hr.wikipedia.org/wiki/Bespilotna_letjelica
- 25 http://hr.wikipedia.org/wiki/BL_M-99_Bojnik
- 26 http://nytimes.com/top/reference/timestopics//unmanned_aerial_vehicles/
- 27 http://olive-drab.com/idphoto/id_photos_uav_fqm151pointer.php
- 28 <http://rmax.yamaha-motor.com.au/>
- 29 <http://unmanned-arcraft.blogspot.com/2012/10/boeing-x-45bc.html>
- 30 <http://www.aer.ita.br/~bmattos/mundo>
- 31 <http://www.aerosonde.com/>
- 32 http://www.af.mil/photos/media_search.asp?q=uav&page=4
- 33 <http://www.aviastar.org>
- 34 <http://www.ctie.monash.edu.au>
- 35 <http://www.designation-systems.net>
- 36 <http://www.dtic.mil/cgi-bin/>
- 37 <http://www.rcgroups.com>
- 38 <http://www.sflorg.com/aviation/>
- 39 <http://www.specijalac.net/bespilotna-letjelica-rq-4-global-hawk/>
- 40 http://www.theuav.com/altair_uav.html
- 41 <http://www.vidmuze.com>
- 42 <https://www.fas.org/irp/program/collect/darkstar.htm>

POPIS SLIKA

Slika 1. Zračna parna kočija.....	4
Slika 2. Aerial Target.....	5
Slika 3. Kettering Bug.....	5
Slika 4. Larinx.....	6
Slika 5. DH 82B Queen Bee	6
Slika 6. Fiesler Fi 103 V-1	7
Slika 7. TDR-1	7
Slika 8. Northrop Radioplane SD-1 Falcon/Observer	8
Slika 9. Gyrodyne BP-50A	8
Slika 10. Aerosonde Laima.....	9
Slika 11. Northrop Grumman Global Hawk Southern Cross II.....	9
Slika 12. BL-M99	42
Slika 13. Skylark.....	43
Slika 14. Hermes 450.....	44
Slika 16. Glavni dijelovi bespilotne letjelice	16
Slika 17. FQM-151A	27
Slika 18. RQ-2B.....	28
Slika 19. RQ-5A.....	29
Slika 20. MQ-1.....	30
Slika 21. RQ-3A.....	31
Slika 22. RQ-4A.....	33
Slika 23. X-45C	34
Slika 24. Mark 4.7.....	36
Slika 25. Altair	37
Slika 26. Yamaha RMAX	38
Slika 27. Prikaz raspored rotora.....	39
Slika 28. Prikaz tipične letjelice.....	40

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija bespilotnih letjelica prema masi [1]	11
Tablica 2. Klasifikacija prema istrajnosti i doletu [1].....	11
Tablica 3. Klasifikacija prema maksimalnoj visini leta [1]	12
Tablica 4. Klasifikacija prema opterećenju krila[1]	12
Tablica 5. primjer pouzdanosti nekih bespilotnih letjelica [37]	14
Tablica 6. Tehnički podaci FQM - 151A[27]	27
Tablica 7. Tehnički podaci RQ-2B [18]	28
Tablica 8. Tehnički podaci RQ-5A[15]	29
Tablica 9. Tehnički podaci MQ-1[21]	31
Tablica 10 Tehnički podaci RQ-3A [43]	32
Tablica 11. Tehnički podaci RQ-4A[40]	33
Tablica 12. Tehnički podaci X-45C [30]	34
Tablica 13. Tehnički podaci Mark 4.7 [32]	36
Tablica 14. Tehnički podaci Altair [41].....	37
Tablica 15. Tehnički podaci RMAX [28]	38
Tablica 16. Tehnički podaci BL-M99 [22]	42
Tablica 17. Tehnički podaci Skylark I [20]	43
Tablica 18. Tehnički podaci Hermes 450 [17].....	44