

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

MARKO VELZEK

**PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U SUSTAVU CIVILNE
ZAŠTITE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2005.

PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U SUSTAVU CIVILNE ZAŠTITE

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 4 |
| 2. RAZVOJ BESPILOTNIH LETJELICA | 6 |
| 2.1. SUSTAVI U UPOTREBI | 8 |
| 2.1.1. MQ-1 Predator | 8 |
| 2.1.2. RQ-2 Pioneer | 9 |
| 2.1.3. RQ-4 Global Hawk | 9 |
| 2.2. SUSTAVI U RAZVOJU | 10 |
| 2.2.1. RQ-8 Fire Scout | 11 |
| 2.2.2. MQ-9 Predator B | 11 |
| 2.2.3. Dragon Eye | 11 |
| 2.2.4. Wasp AeroVironment | 12 |
| 2.2.5. Bell Eagle Eye | 13 |
| 3. NAMJENA I PERFORMANSE BESPILOTNIH LETJELICA | 14 |
| 3.1. BESPILOTNA LETJELICA | 14 |
| 3.1.1. Pogon | 17 |
| 3.1.2. TCAS | 19 |
| 3.1.3. Teret | 19 |
| 3.1.4. Pouzdanost bespilotne letjelice | 20 |
| 3.2. UPRAVLJAČKA JEDINICA | 22 |
| 3.3. KOMUNIKACIJA UAV I GCS | 24 |
| 3.4. TROŠAK RAZVOJA BESPILOTNIH SUSTAVA | 26 |
| 3.5. TENDENCIJA RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA | 27 |
| 3.6. ALTERNATIVNI POGON BESPILOTNIH LETJELICA | 29 |
| 3.6.1. Gorive čelije | 29 |
| 3.6.1.1. Uvod | 29 |
| 3.6.1.2. Princip rada | 29 |
| 3.6.1.3. Primjena u prometu | 32 |
| 3.6.1.4. Budućnost gorivih čelija | 34 |
| 3.6.1.5. Primjena u zrakoplovstvu | 36 |
| 3.6.2. Solarna energija | 37 |
| 3.6.2.1. Razvoj solarnih čelija | 37 |
| 3.6.2.2. Način rada solarne čelije | 37 |
| 3.6.2.3. Ekonomска isplativost solarnih čelija | 39 |
| 3.6.2.4. Primjena u zrakoplovstvu | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4. MEĐUNARODNE ASOCIJACIJE I TREND OVI REGULATIVE | 42 |
| 4.1. Uvod | 42 |
| 4.2. Plovidbenost | 42 |
| 4.3. Licenciranje osoblja | 44 |
| 4.4. Sigurnost | 45 |
| 4.5. Europsko udruženje bespilotnih letjelica-EUVS | 51 |
| 5. PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U SUSTAVU CIVILNE ZAŠTITE | 53 |
| 5.1. Primjena bespilotnih letjelica za policijske svrhe | 53 |
| 5.1.1. Uvod | 53 |
| 5.1.2. Osnovne značajke letjelice | 55 |
| 5.1.3. MALE bespilotna letjelica | 56 |
| 5.1.4. MUAV | 60 |
| 5.1.5. Zaključak | 62 |
| 5.2. Primjena bespilotnih letjelica za potrebe vatrogasaca | 63 |
| 5.2.1. Uvod | 63 |
| 5.2.2. Sustav za nadzor požara | 65 |
| 5.2.3. Demonstracija sustava FiRE | 69 |
| 5.2.4. Zaključak | 71 |
| 5.3. Primjena bespilotnih letjelica u komunikaciji | 72 |
| 5.3.1. Uvod | 72 |
| 5.3.2. Letjelica | 75 |
| 5.3.2.1. Bespilotne letjelice teže od zraka | 76 |
| 5.3.2.2. Bespilotne letjelice lakše od zraka | 77 |
| 5.3.3. Primjena | 79 |
| 5.3.4. Zaključak | 82 |
| 6. ZAKLJUČAK | 84 |
| LITERATURA | 86 |
| POPIS KRATICA | 87 |

1. UVOD

U drugom svjetskom ratu su saveznici i sile osovine podjednako trpili velike gubitke u zrakoplovima i posadama tijekom misija pa se tražio način da se konstruiraju „pametne“ bombe koje bi bile lansirane sa zemlje ili iz zraka sa sigurne udaljenosti te bi pogodile željeni cilj bez mogućnosti gubitka zrakoplova i posade. Prvi pokušaji, s relativnim uspjehom su bile V-2 rakete njemačke proizvodnje, koje nisu radile veliku materijalnu štetu već su imale psihološki učinak na stanovnike Londona i okolice. Mogli bismo reći da su upravo tokom drugog svjetskog rata razvijene prve primitivne bespilotne letjelice.

Bez obzira na mnoge mogućnosti primjene bespilotnih letjelica u civilnim ili komercijalnim svrham, ipak će bespilotne letjelice dominirati u vojnim strukturama.

Postavlja se pitanje da li su uopće potrebne bespilotne letjelice u civilnom zrakoplovstvu. U vojnoj industriji logično je da se na „opasne, dosadne i duge misije“¹ pošalje bespilotna letjelica koju ako neprijatelj i uništi, velike su vjerojatnosti da će obaviti svoju misiju, a neće se ugroziti život pilota. S druge strane, obuka vojnih pilota i održavanje njihove borbene gotovosti je ključna točka svakog ratnog zrakoplovstva, tj. borbenu letjelicu se vrlo lako i brzo može nadomjestiti, dok je pilota nemoguće.

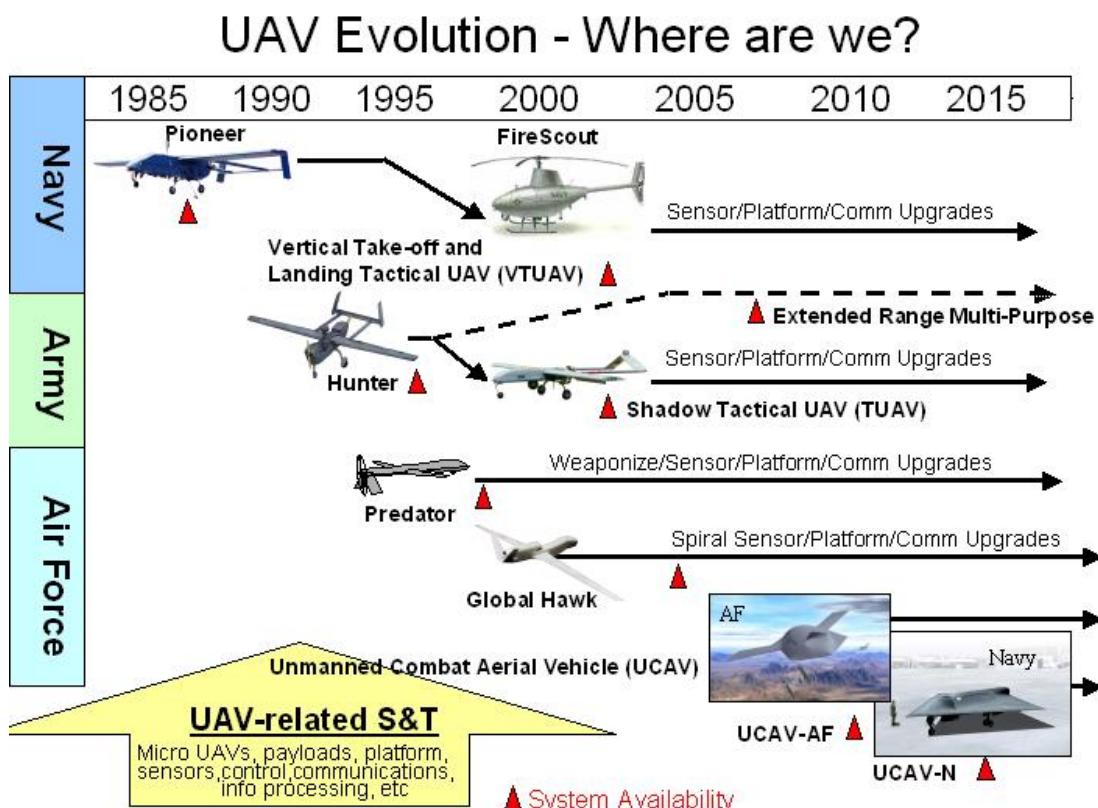
Pogledamo li s aspekta ekonomije, zračno fotografiranje, provjera dalekovoda, naftovoda, nadgledanje šumskih požara, elementarnih katastrofa su samo neki od mnogo primjena koje bespilotna letjelica može jednako dobro obaviti, ako ne i bolje. Primjerice, u Japanu se koristi UAV (Unmanned Aerial Vehicle- bespilotna letjelica) za zaprašivanje polja. Američka savezna država Arizona, koja graniči s Meksikom ima velike

¹ UAV roadmap 2002, DoD

probleme s imigrantima pa svoje granice nadzire koristeći se bespilotnim letjelicama. Možda pravi izgled budućnosti prikazuje američka bespilotna letjelica Global Hawk, koja nema pilota na zemlji, već računalo upravlja letjelicom samostalno. Prvi je puta predstavljena javnosti kada je u 2001. godini letjela samostalno bez prekida 7500 NM od američke obale do Australije na visini od 65000 stopa (19000 m) te brzinom od 350 čvorova. Global Hawk je jedna od prvih, ali ne i zadnja letjelica koja predstavlja revoluciju u zrakoplovstvu. U ovom će radu razraditi razvoj, primjenu i budućnost bespilotnih letjelica, te njihovo mjesto u današnjem svijetu.

2. RAZVOJ BESPILOTNIH LETJELICA

Pogledamo li sliku 1² gdje je kronološki prikazan razvoj bespilotnih letjelica, vidimo da je u zadnjih 20-ak godina razvijeno mnogo sustava od kojih je svaki profiliran za određeni tip misije.



Slika 1 – Kronološki prikaz razvoja bespilotnih letjelica

No, da se vratimo na same početke razvoja bespilotnih letjelica. U Sjedinjenim Američkim Državama su počeli eksperimentirati još 1950-ih godina, kada je kao prvi rezultat istraživanja nastao **AQM-34L** koji je bio programiran da leti nezavisno i upotrebljavan je tijekom vijetnamskog rata za izviđanje. Bio je pokretan mlaznim motorom te je korišten za

² www.dod.gov

fotografiranje, elektronsko ometanje te kao mamac za protuzrakoplovnu obranu. Postizao je najveću brzinu od 580 mi/h, imao je domet 950 km te vrhunac leta od 50000 stopa (15000 m). Bio je lansiran s DC-130 zrakoplova, a prihvatac je osiguran pomoću padobrana.

Compas Arrow predstavlja drugu generaciju bespilotnih letjelica koja je bila konstruirana za let na visinama od 78000 stopa (23000 m), imala je dolet 3200 km potpuno nezavisno zahvaljujući Dopplerovom sustavu navigacije i bila je namijenjena za izvidničku misiju.



Slika 2 - AQM-34 L



Slika 3 - Compass Arrow

2.1. SUSTAVI U UPOTREBI

2.1.1. MQ-1 Predator³

Ušao je u punu uporabu 1994. godine u američko ratno zrakoplovstvo. Korišten je u Iraku, Bosni, Kosovu i Afganistanu kao izvidnička letjelica, šaljući video sliku u realnom vremenu u zapovjedni centar. Sposoban je letjeti u svim vremenskim uvjetima i trenutačno se postajeći sustav transformira u borbenu bespilotnu letjelicu koja je u stanju nositi Hellfire protutenkovske rakete (verzija RQ-1). MQ-1 može izdržati u zraku 24 sata i nositi teret od 200 kg, vrhunac leta mu iznosi 25000 stopa (7000 m) i slijedeće na USS što predstavlja idealnu letjelicu za primjenu u protupožarnoj zaštiti, policiji, SAR, nadzoru granice i mnogim drugim sustavima civilne zaštite, o čemu će više kasnije biti opisano.



Slika 4 – MQ-1 Predator

³ <http://www2.acc.af.mil/library/factsheets/predator>

2.1.2. RQ-2 Pioneer⁴

Predstavlja prvu od predzadnje generacije bespilotnih letjelica koja je prvi puta ušla u službu davne 1986. godine. Prvotno je bila namijenjena za operacije sa brodova kao izvidnička podrška za brodsko topništvo, izviđanje terena za iskrcavanje marinaca te nadzor područja. Povrat je osiguran hvatanjem letjelice u mrežu. Izdržljivost mu iznosi oko 5 sati i može letjeti do visine od 15000 stopa (4500 m). Za razliku od MQ-1 mnogo je manji, lakši i nosivost korisnog tereta mu iznosi oko 35 kg.



Slika 5 – RQ-2 Pioneer

2.1.3 RQ-4 Global Hawk⁵

Global Hawk je letjelica koja bismo mogli reći da predstavlja sam vrh koplja američkog programa bespilotnih letjelica. Sposobna je nadzirati područje od 40000 kvadratnih milja dnevno leteći na visini od 65000 stopa (19000 m) sa izdržljivosti od 32 sata, pritom noseći teret težine 800 kg. U bližoj budućnosti se očekuje da bi mogao zamijeniti zrakoplove tipa E-3 Sentry i E-2 Hawkeye koji danas služe kao radarski sustavi za kontrolu zračnog

⁴ <http://uav.navair.navy.mil/pioneer>

⁵ www2.acc.af.mil/library/factsheets/globalhawk

prostora, nadzor zone zabrane letenja i druge vojne operacije. Mogli bismo spomenuti EuroHawk koji je europski panadan RQ-4.



Slika 6 – RQ-4 Global Hawk

2.2. SUSTAVI U RAZVOJU

U biti svi dolje navedeni sustavi postoje već dulje vrijeme, samo je upitno vrijeme njihovog ulaska u službu, jer su ti sustavi još uvijek nedovoljno provjereni. Velike su vjerojatnosti da većina projekata u razvoju neće nikada zaživjeti, no zasigurno je da će poslužiti kao demonstratori tehnologija novih generacija bespilotnih letjelica. Tendencija razvoja ratnog zrakoplovstva je da se jednoga dana u potpunosti zamjeni pilot, što će dovesti do razvoja manjih, okretnijih i bržih letjelica. Možda su upravo ovi modeli nosioci tehnologije sutrašnjice.

2.2.1. RQ-8 Fire Scout⁶

Program RQ-4 pripada bespilotnim letjelicama sa VTOL (Vertical Take Off and Landing) karakteristikama. Njegova prednost u odnosu na druge sustave je da može lebdjeti na jednom mjestu, snimati video zapis, ili čak služiti kao laserski označivač cilja sakriven iza drveća ili zgrade te upućivati napadačke zrakoplove na odabrani cilj. Čak se razmatra o ugradnji lakih strojnica te bi služio kao potpora pješaštvu. U civilnoj uporabi najveću primjenu ima u policijskoj službi ili kao sustav za motrenje protoka prometa u gradovima. Zasad je još u testnoj fazi i u skoroj budućnosti se očekuje njegova implementacija u sustav ratnog zrakoplovstva, a kasnije možda i u civilne svrhe.

2.2.2. MQ-9 Predator B⁷

Predstavlja veću inačicu MQ-1, sa jačim motorom, većom izdržljivosti te sposobnosti nošenja tereta od 340 kg unutar letjelice te 1500 kg tereta na vanjskim nosačima. Američka vojska vidi ovu letjelicu kao platformu za nošenje do 10 raketa Hellfire, čime bi u budućnosti mogao preuzeti ulogu napadačkih zrakoplova, poput A-10, čija je misija oblikovana za protutenkovsku borbu.

2.2.3. Dragon Eye⁸

Spada u skupinu malih bespilotnih letjelica, kratke istrajnosti koje su prvotno razvijene za timove specijalnih postrojbi kao izvidnički sustav. Dolet iznosi do 10 km i sposoban je nositi tv kameru ili senzore. Masa mu iznosi 2,2 kg,

⁶ <http://uav.navair.navy.mil/vtuav>

⁷ UAV roadmap 2002, DoD

⁸ www.mcwl.quantico.usmc.mil/images/downloads/dragoneye

visina leta do 1000 stopa, te nosivost korisnog tereta oko 0,5 kg. Najveću primjenu izvan vojske nalazi u policiji i carinskoj službi.



Slika 7 – Dragon Eye

2.2.4. Wasp AeroVironment⁹

Spada kao i gore navedeni Dragon Eye u skupinu mikro letjelica (**MUAV** - Micro UAV) i vrlo je jednostavan za proizvodnju, održavanje i uporabu. Mase od samo 0,02 kg, ova letjelica je u stanju letjeti 100 minuta u krugu radijusa 900 metara. Danas se na tržištu može naći veliki broj sličnih sustava, te se njihov udio u broju bespilotnih letjelica najbrže povećava.

⁹ www.darpa.mil/tto/programs/mav



Slika 8 - Wasp

2.2.5. Bell Eagle Eye

Predstavlja ono što je V-22 Osprey u klasičnom zrakoplovstvu. Ta letjelica dvojakog karaktera objedinjuje manevarske karakteristike helikoptera i letne performanse zrakoplova. Zahvaljujući sposobnosti horizontalnog leta, letjelica troši manje goriva što joj omogućava dulju istrajnost. Zahvaljujući malim izmjerama ($D \times S \times V = 5 \times 4,2 \times 1,8 \text{ m}$) letjelica je prilagođena za operacije sa manjih brodova i gustih gradskih područja. Letjelica može letjeti 6 sati noseći teret od 100 kg, te operira na visinama do 20000 stopa (6000 m).



Slika 2.2.5.1. Bell Eagle Eye

3. NAMJENA I PERFORMANSE BESPILOTNIH LETJELICA

Danas u svijetu postoji veliki broj bespilotnih letjelica koje su konstruirane za najrazličitije svrhe. Za početak, definirati ćemo bespilotnu letjelicu.

3.1. BESPILOTNA LETJELICA

Prema europskoj terminologiji, bespilotna letjelica je svaki zrakoplov koji ne nosi ljudsku posadu, ponovno je uporabljiva (ili nije nakon) uporabe, daljinski je upravljana, polu-nezavisna ili potpuno nezavisna (ili kombinacija te dvije), ima mogućnost nošenja korisnog tereta čime se osposobljava za zadaće unutar zemljine atmosfere i iznad za određeno trajanje zadaće¹⁰.

U američkoj terminologiji, bespilotna letjelica je letjelica ograničena na let u uvjetima bez naoblake, izvan nadziranog područja kontrole letenja, unutar elektronske udaljenosti operatera od letjelice najčešće u ograničenom zračnom prostoru.

Prema definiciji, bespilotne letjelice (eng. **UAV**-Unmanned Aerial Vehicles) su daljinski upravljanje ili samoupravljive letjelice koji mogu nositi koristan teret.

Sustav bespilotne letjelice možemo podijeliti na 2 dijela:

- Bespilotne letjelice
- Upravljačke jedinice

¹⁰ <http://www.uvs-international.org>- Terms and Definitions

Podjela bespilotnih letjelica je slična kao i podjela zrakoplova, odnosno možemo ih podijeliti na:

- Vojne
- Civilne
- Istraživačke

Prema doletu:

- Mini letjelice
- Letjelice kratkog doleta
- Letjelice srednjeg doleta
- Letjelice velikog doleta

Prema pogonskoj skupini:

- Motori sa unutrašnjim izgaranjem
- Turbo-prop pogon
- Mlazni pogon
- Alternativni pogon

Prema masi letjelice:

- < 150 kg
- 151-750 kg
- 751-5670 kg
- >5670 kg

(Napomena: kategorizacija po masi je preuzeta od UVS-International¹¹)

¹¹ www.uvs-international.org

Prema načinu upravljanja:

- Upravljane sa zemlje
- Autonomni sustavi

UAV-International svrstava bespilotne letjelice u slijedeće kategorije:

1. MICRO
2. MINI
3. CLOSE RANGE
4. SHORT RANGE
5. MEDIUM RANGE
6. MEDIUM RANGE ENDURANCE
7. LOW ALTITUDE DEEP PENETRATION
8. LOW ALTITUDE LOW ENDURANCE
9. MEDIUM ALTITUDE LONG ENDURANCE
10. HIGH ALTITUDE LONG ENDURANCE
11. UNMANNED COMBAT AIR VEHICLE
12. STRATOSPHERIC
13. EXO-STRATOSPHERIC
14. HIGH ALTITUDE
15. TESTBED

Da bi se olakšala gore navedena podjela, bespilotne letjelice možemo spojiti pojedine grupe tako da dobijemo slijedeću podjelu:

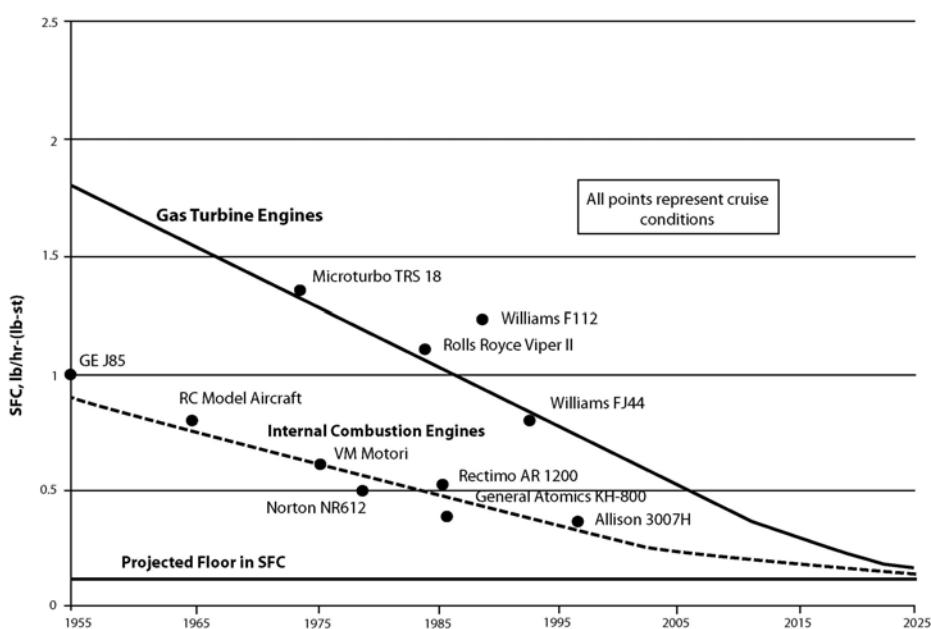
1. MINI
2. SHORT RANGE
3. MEDIUM RANGE
4. HIGH ALTITUDE LONG ENDURANCE

Iako su prvotno bespilotne letjelice razvijane za vojnu namjenu, one nalaze veliku primjenu u civilnom zrakoplovstvu, a naročito u sustavu civilne zaštite (policija, vatrogasci, carina). Zrakoplovstvo je vrlo neprofitabilno. Nabava,

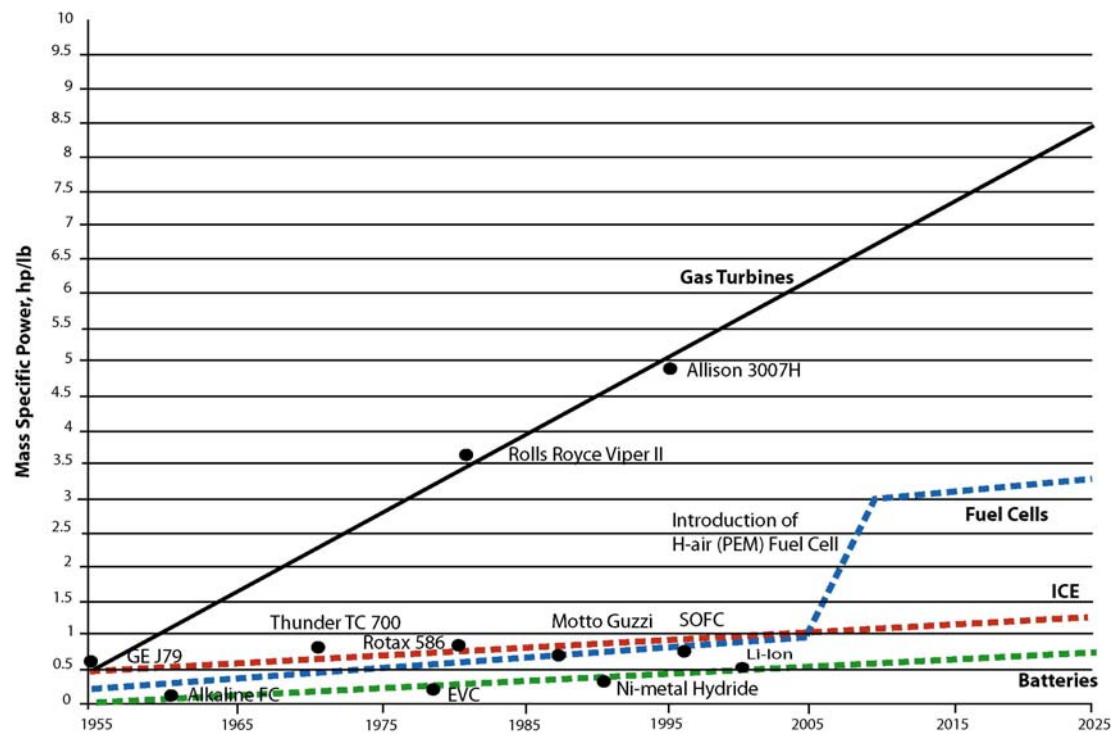
održavanje postojećih sustava, modernizacija i obuka osoblja zahtijevaju velike svote novaca. Cijena nabavke jednog bespilotnog sustava, koji uključuje letjelicu i upravljačku jedinicu, je značajno manja od nabavke jednog zrakoplova za nadzor, opremljenog sustavima za motrenje. Danas se cijene bespilotnih sustava kreću od 100000 USD do 10 milijuna USD, ovisno o namjeni letjelice.

3.1.1. Pogon

Pogon daje letjelici istrajnost za let. Ovisno o potrošnji goriva (**SFC**-Specific Fuel Consumption) letjelica će moći duže ili kraće ostati u zraku. Specifična masa pogona (**MSP**- Mass Specific Power) daje podatak koliko se jedinica snage (npr. ks) dobije po jedinici mase motora ili gorive čelije. Na grafikonu 1 i 2 prikazani su predviđeni trendovi pada SFC i povećanja MSP, tj. povećanja ekonomičnosti i snage zrakoplovnih motora.



Grafikon 3.1.1.1.- Kretanje SFC od 1955. godine



Grafikon 3.1.1.2.- Rast MSP od 1955. godine

Vrlo je vjerojatno da će u budućnosti bespilotne letjelice koristiti neki od električnih pogona kao što su gorive ćelije i solarna energija. Solarna energija će biti isplativa za **HALO** letjelice (High Altitude Long Endurance) zbog njihove relativno male mase i male potrebe za energijom. Primjer je letjelica Pathfinder koja je letjela na visini od 80000 stopa pokretana sa 8 električnih motora ukupne snage 10 KS¹². Gorive ćelije danas stvaraju premalo energije za pokretanje motora, no to bi se moglo promijeniti. Prema izvješću američkog ministarstva obrane 2015. gorive ćelije bi mogle stvarati energiju u vrijednosti od 3 hp-hr/lb, što bi za manje letjelice moglo biti sasvim dostatno za let.

¹² <http://www.nasa.org>

3.1.2. TCAS

Da bi se zaštitili ostali sudionici zračnog prometa, nužno je razviti sustav protiv sudara (**TCAS** - Traffic Alert Collision Avoidance System) za bespilotne letjelice. Sustav bi radio na istom principu kao kod zrakoplova sa ljudskom posadom, s tom razlikom da bi izvedba bila složenija. Moralo bi se riješiti pitanje rješavanja situacije kod mogućeg sudara sa letjelicom opremljenom TCAS-om i UAV neopremljenog sa TCAS-om. Naime, moramo uzeti u obzir podatak da prilikom bliskog kontakta dvije letjelice¹³, piloti izbjegavaju sudar služeći se i gledanjem kroz prozor i prateći situaciju na zaslonu TCAS-a¹⁴. U takvoj bi stoga situaciji pilot UAV-a skrenuo u istom smjeru kao i zrakoplov opremljen TCAS-om te bi došlo do sudara u zraku. Kod nezavisnih sustava, TCAS bi morao preuzeti upravljanje letjelicom i izbjegći prepreku, odnosno zrakoplov, te nakon toga vratiti kontrolu nad letjelicom sustavu za let. Stoga je neophodno definirati nužnu opremu UAV-a te procedure za izvanredne situacije. Prema istraživanjima, trošak razvoja nezavisnih TCAS sustava bi bio golem i ne vidi se njihovo uvođenje u bliskoj budućnosti¹⁵.

3.1.3. Teret

Zavisno o tipu i veličini, bespilotne letjelice najčešće imaju ugrađene sustave za zračno snimanje i praćenje ciljeva na zemlji. Neborbene letjelice (kao i one za civilnu upotrebu) su opremljene u skladu sa profilom misije koju obavljaju. Podaci koje letjelica prikuplja se obrađuju na letjelici i šalju putem podatkovne veze u GCS ili upravljački centar, gdje se analiziraju. UAV posljednje generacije¹⁶ su konstruirani da osim tereta kojeg nose u trupu,

¹³ Pritom se misli na letjelicu kojom upravlja pilot iz nje same.

¹⁴ "Aviation Today", Avionics Magazine, 01.06.2005.

¹⁵ "Aviation Today", Avionics Magazine, 01.06.2005.

¹⁶ Pritom mislim na MQ-9 Predator

mogu nositi i do 1500 kg tereta na podkrilnim nosačima (eng. hardpoints). Upravljeni baloni zbog svoje mase nude mogućnost nošenja većeg tereta. U prilog tome ide podatak da američka vojska u suradnji sa DEA (eng. Drug Enforcement Agency) koristi balon bez posade te uz pomoć radara ugrađenog u trup balona nadzire južnu granicu SAD-a sa Meksikom¹⁷.

3.1.4. Pouzdanost bespilotne letjelice

Pouzdanost je vjerojatnost da će sredstvo izvršiti zadani funkciju u zadanim uvjetima i u tijeku zadanog vremena¹⁸. Da bismo odredili pouzdanost zrakoplova, moramo definirati četiri parametra preko kojih se ona određuje:

- 1. Parametar nezgode (MR-Mishap Rate)** predstavlja broj nezgoda na 100.000 sati leta od ukupnog vremena leta cijele flote¹⁹.
- 2. Srednje vrijeme između otkaza (MTBF- Mean Time Between Failure)** je odnos sati leta i broja promatranih intervala održavanja. Izraženo je u satima.
- 3. Raspoloživost (A-Availability)** je vjerojatnost da će sredstvo spremno započeti sa radom, a izražena je u postotku.
- 4. Pouzdanost (R-Reliability)** se izračunava po formuli²⁰:

$$R=100-p,$$

¹⁷ Odakle se svake godine dopremaju velike količine droge u SAD

¹⁸ Definicija sa predavanja „Održavanje i tehnička eksploatacija zrakoplova“, E.Bazijanac, B. Galović

¹⁹ U našem slučaju isti tip bespilotne letjelice

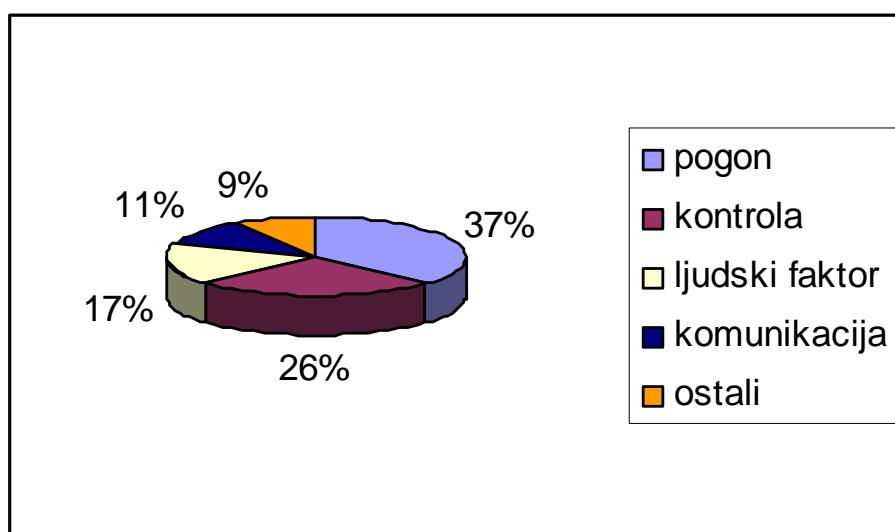
²⁰ Gdje je **p** postotak neizvršenih misija, bilo otkazanih zbog problema sa održavanjem ili prekida za vrijeme misije

Tablica 3.1.4.1. – Raspoloživost nekih bespilotnih letjelica

| LETJELICA | MR | MTBF (h) | RASPOLOŽIVOST (%) | POUZDANOST (%) |
|-----------------------------|-----|------------------|----------------------|-------------------|
| 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 |

Izvor: [1]

Iz gornje tablice se vidi da je prva inačica RQ-1 imala dosta problema sa raspoloživost, 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 nam ukazuje da razvojem i nadogradnjom postojećih sustava uklanjamo „dječje bolesti“ letjelice, te se približavamo konačnom cilju-pouzdanoj i sigurnoj letjelici.



Grafikon 3.1.4.2.- Udio nesreća po vrsti otkaza [1]

Analizom otkaza sustava bespilotnih letjelica u razdoblju od 1985. godine do danas²¹, čak 4/5 svih otkaza otpada na pogon, upravljački sustav (kontrola) i ljudski faktor (grafikon 3.3.). Povećanjem pouzdanosti u tim područjima, značajnije bi se smanjio broj nesreća i gubitak letjelica. To je moguće jedino dogradnjom postojećih sustava i razvojem novih koji koriste nove tehnologije i materijale.

3.2. UPRAVLJAČKA JEDINICA

Upravljanje bespilotnom letjelicom je gotovo identično upravljanju klasičnog zrakoplova. Prije leta, pilot/operator obavlja brifing, pregled letjelice i sprema se za misiju. Jedino je razlika što pilot ne sjeda u letjelicu već u upravljačku stanicu (**GCS**-Ground Control Station). GCS može biti smještena na vozilo, što povećava pokretljivost bespilotne letjelice.



Slika 3.2.1. – Upravljačka stanica letjelice RQ-2 montirana na vozilo

²¹ Podaci su izvučeni iz studije „UAV Roadmap 2000“

Svaka upravljačka stanica se sastoji od sučelja za pilota letjelice i operatera opreme. Glavna zadaća stanice je nadgledanje letjelice u fazi leta, prijenos i analiza informacija koje letjelica odašilje. Unutar svake stanice najčešće se nalaze 3 konzole, od kojih jedna služi pilotu za upravljanje, druga operateru opreme za obradu podataka snimanja i treća na kojoj je prikazan položaj letjelice, podaci o misiji i druge informacije. U slučaju kvara sustava, može se prebaciti funkcija sa jedne konzole na drugu. Na slici 10 je prikazana unutrašnjost GCS. Sustav za upravljanje omogućava današnjim letjelicama da uz pomoć satelitske veze „komuniciraju“ sa upravljačkim jedinicama čime se povećava njihov akcijski radijus.



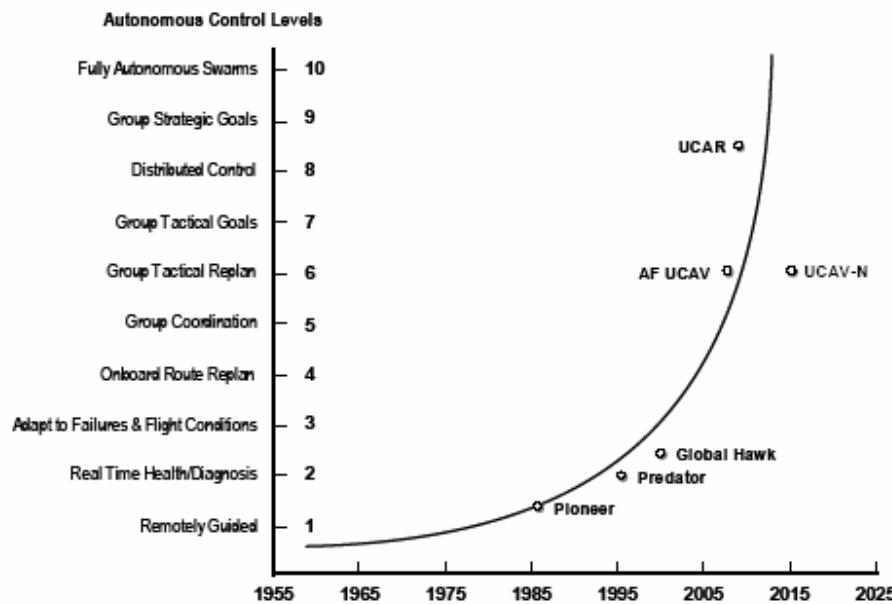
Slika 3.2.2. – Unutrašnjost upravljačke jedinice

3.3. KOMUNIKACIJA UAV i GCS

Problem kod upravljanja bespilotnom letjelicom i obradom podataka koje ona prikuplja se javlja prilikom prijenosa podataka. Naime, mogućnost prijenosa što većeg broja podataka iz letjelice je ograničena računalnom brzinom procesora i kapacitetom podatkovne veze (eng. *Data Link*). Današnji procesoru su prespori da bi mogli obraditi sve podatke u letjelici tijekom leta i rezultate poslati u upravljačku stanicu, pa se koristi podatkovna veza. Putem radijske frekvencije se ili izravnim putem ili preko satelita odašilju podaci. Razvojem naprednijih sustava povećava se količina podataka koji se šalju na zemlju i njihovo povećanje je ograničeno granicom protoka podataka. Rješenje se ukazuje korištenjem novih načina modulacije signala čime bi se ostvarila veza od 10 Gbps. Razvojem optičkih podatkovnih veza, *lasercom-a* bi se mogla ostvariti veza od 20 do 50 Gbps. Ti bi sustavi težili 30-50 % mase dosadašnjih sustava, trošili bi manje energije, no njihova upotreba se očekuje tek za 15-ak godina.

Razvoj procesora se u zadnjih 30 godina odvijao prema Mooreovom zakonu koji je još 1965. godine predvidio da će se broj tranzistora u procesorima povećavati svakih 12-18 mjeseci za dvostruko²². Prema njemu se prognoziraju procesori brzine 1 THz (1000 GHz) koji bi mogli biti raspoloživi na tržištu za 10-15 godina. Upravo će razvoj bržih procesora dovesti do razvoja nezavisnih sustava UAV koji će slati već obrađene podatke u centar (Grafikon 3.3.1.)

²² Gordon Moore je bio predsjednik uprave Intel-a. Izvor www.wikipedia.com



Grafikon 3.3.1.- Tendencija rasta nezavisnosti UAV

Međutim, fizička granica iskoristivosti silicija, na kojemu je bazirana današnja tehnologija, će onemogućiti razvoj bržih procesora. Danas postoje četiri alternative razvoja procesora:

- Optički
- Biokemijski
- Molekularni
- Kvantni

Od njih, najviše uspjeha obećava kvantni procesor koji bi se temeljio na principu optičke sklopke. Za svako osvjetljenje diode, generirao bi se signal 1, a u protivnom 0. Njihovi prototipovi se očekuju za 20-ak godina²³, te će se nedugo nakon toga naći u komercijalnoj primjeni.

²³ UAV Roadmap 2002.

3.4.TROŠAK RAZVOJA BESPILOTNIH SUSTAVA

Letjelice kao i sva prijevozna sredstva generiraju trošak koji se mjeri u kilogramima tako da se na svaki kilogram prazne bespilotne letjelice mora utrošiti 3000 USD, a na svaki kilogram tereta i letjelice 16000 USD²⁴. Konkretno, tablica troškova UAV je prikazana na tablici 2.1²⁵ iz koje se vidi da su ovi sustavi zasad daleko od isplativosti.

| SUSTAV | TROŠAK ZRAKOPLOVA (USD) | MASA ZRAKOPLOVA (lb) | MASA TERETA (lb) | TROŠAK SUSTAVA (USD) | BROJ LETJELICA U SUSTAVU |
|---------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---|
| Predator | 1.700.000 | 1135 | 450 | 30.000.000 | 4 |
| Pioneer | 650.000 | 307 | 75 | 7.000.000 | 4 |
| Hunter | 1.200.000 | 1170 | 200 | 20.000.000 | 8 |
| Global Hawk | 20.000.000 | 9200 | 1950 | 57.000.000 | 1 |
| Fire Scout | 1.800.000 | 1502 | 200 | 14.200.000 | 3 |
| Dragon Eye | 35000 | 3,5 | 1 | 120.000 | 3 |

Tablica 3.3.1. – Troškovi pojedinih bespilotnih letjelica

Izvor: [1]

No, iako su UAV izuzetno skupi, u njihov prilog ide podatak da sustavi nužni za pilota u zrakoplovu (sustav za disanje, sjedalo za iskakanje, oprema za preživljavanje, upravljačke komande itd.) imaju masu od 1500 kg za jednopilotni, tj. 2500 kg za dvopilotni zrakoplov što iznosi 10 - 15% mase zrakoplova. Uklanjanjem istih, dobiva se manja masa letjelice, što smanjuje izmjere letjelice, a što je najvažnije i ukupni trošak zrakoplova. Pomnožimo li 1500 kg sa 3000 USD/kg, dobivamo iznos od 4,5 milijuna USD, odnosno 7,5 milijuna USD koje bi se moglo uštedjeti u odnosu na letjelicu upravljanu od pilota u njoj. Međutim, značajniji iznos bi se trebao i uložiti u razvoj software-a za GCS kojim bi se upravljalo letjelicom. Prednost u odnosu na

²⁴ UAV Rodamap 2002, Department of Defence

²⁵ U masu zrakoplova nije uključena masa goriva

zrakoplove upravljane od pilota u njima bi bila u mogućnosti primjene jednog tipa GCS za razne UAV. Primjerice, konstruirala bi se GCS sa sustavom za upravljanje UAV-ovima koja bi bila univerzalna za sve UAV iste kategorije²⁶. U našem slučaju bismo dobili jednu GCS kojom bi mogli upravljati Predatorom, Pioneerom i Hunterom. Time bi se uvelike smanjio trošak razvoja pojedinih upravljačkih sustava za pojedine UAV. No, prava prednost UAV-ova bi se dokazala u mogućnosti obavljanja istih zadaća koje obavljaju zrakoplovi sa posadom, ali uz znatno manje troškove eksploatacije.

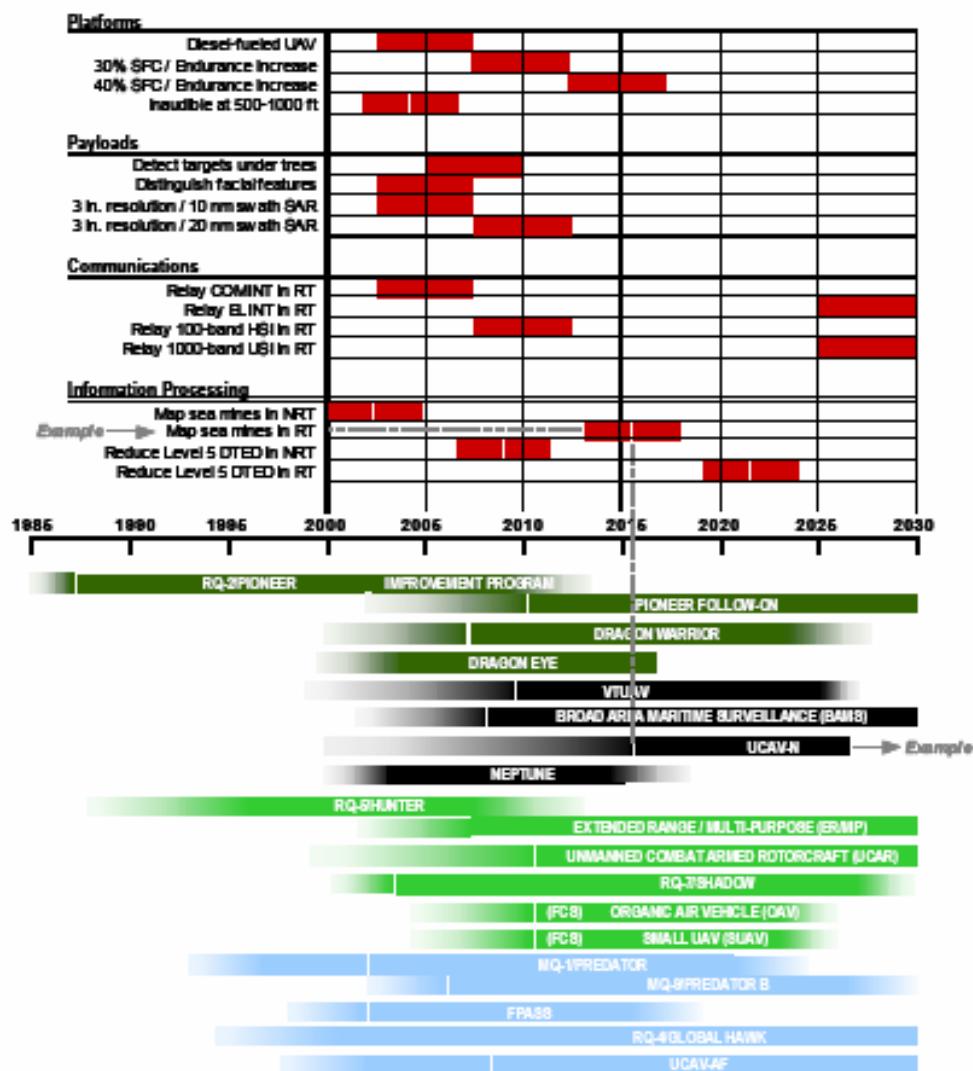
3.5. TENDENCIJA RAZVOJA BESPILOTNIH LETJELICA

Uvođenje bespilotnih letjelica u civilno zrakoplovstvo ograničava cijena njihovog razvoja. Nerazrađena međunarodna regulativa, mogućnost primjene, kratka istrajnost su samo neki od problema koji će se morati riješiti da bi se UAV mogli uvesti u široku primjenu. Stoga bismo mogli definirati opće ciljeve razvoja UAV:

1. Razvoj pogonskog sustava koji bi se temeljio na tehnologiji gorivih čelija i stvarao bi dovoljno energije za pogon manjih letjelica (TUAV)
2. „Smanjiti troškove razvoja i proizvodnje trupa i krila kroz primjenu novih tehnologija spajanja kompozitnih materijala“²⁷
3. Razvoj UAV sa mogućnošću krstarenja na visini u trajanju nekoliko tjedana
4. Ustrojiti međunarodnu regulativu za bespilotne letjelice
5. Razviti i donijeti sigurnosne standarde u pogledu letenja i upravljanja UAV, te zaštite podataka od neovlaštenog korištenja.

²⁶ Primjerice MUAV, TUAV ili HALO sustave

²⁷ UAV Roadmap 2002.



Slika 3.5.1.- Shema razvoja UAV unutar Američke vojske

3.6. ALTERNATIVNI POGON BESPILOTNIH LETJELICA

3.6.1. GORIVE ĆELIJE

3.6.1.1. UVOD

U zadnjih par desetljeća, cijena sirove nafte je u stalnom porastu jer je potražnja za naftom sve veća, a ponuda se smanjuje. Računa se da će se svjetske zalihe nafte iscrpiti za 30-ak godina te je primjena alternativnih pogona sasvim razumna. Danas gorive ćelije nisu pravo rješenje jer su preslabe i prevelike te njihovom ugradnjom u zrakoplov oduzimamo mjesto za koristan teret (en. *payload*).

3.6.1.2. PRINCIP RADA

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

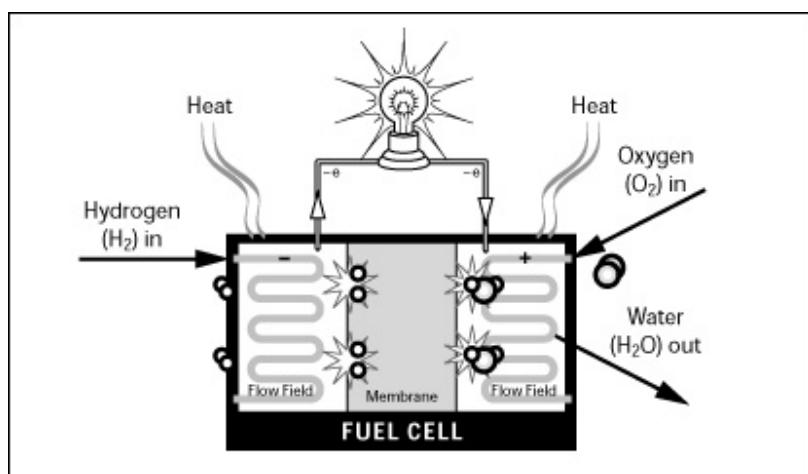
Još davne 1839. godine, velški kemičar William Grove predložio je razvoj gorive ćelije. On je istraživao elektrolizu vode pri kojoj nastaju vodik i kisik, pa je smatrao da mora postojati obrnuti proces koji bi omogućio spajanje tih dva elementa. On i drugi znanstvenici su postavili temelje za razvoj gorivih ćelija, te je Groveova ideja ostala do danas temelj za proizvodnju gorivih ćelija.

Proces unutar gorive čelije se odvija na sljedeći način:

Membrana za razmjenu protona (PEM-Proton Exchange Membrane) je sastavljena od anode (negativnog pola), katode (pozitivnog pola), elektrolitske membrane koja sprečava protok elektrona, te katalizatora koji olakšava kemijsku reakciju. Protokom vodika preko anode, katalizator cijepa vodik na elektrone i protone, te usmjerava elektrone na izlaz-proizvodi struju, dok se protoni usmjeravaju kroz membranu. Kisik se uvodi u katodu te reagira s protonima vodika koji prolaze kroz membranu te tvore vodu. Jedna goriva čelija proizvodi tek 0.7 V dok gusto naslagane PEM goriva čelije mogu proizvesti veći napon.

Gorive čelije proizvode malo ili čak nikakvo zagađenje okoliša (ovisno od izvora vodika) i iznimno su tihe. Istrajnost, pouzdanost i cijena su odlike današnjih gorivih čelija, ali nisu dovoljne za njihovu primjenu u svakodnevici, naročito kao pogonski izvor energije u zrakoplovstvu.

Na slici 1 je prikazan proces unutar PEM gorive čelije.



Slika 3.6.1. – Proces gorive čelije

Gorive ćelije pružaju mnoge mogućnosti pri proizvodnji energije. Četiri su osnovne prednosti gorivih ćelija:

1. Puno su učinkovitije od motora s unutrašnjim izgaranjem.
2. Kod gorivih ćelija izvor energije je čisti vodik, a nusprodukt je voda, što je ekološki prihvatljivo.
3. Ne stvaraju stakleničke plinove (metan, ugljični dioksid itd.)
4. Vrlo su pouzdane i mogu se koristiti u širokoj primjeni.

Ovisno o sredstvu koje se koristi za razdvajanje vodika i kisika razlikujemo više inačica gorivih ćelija. Osim PEM-a, postoje još najmanje 4 vrste gorivih ćelija:

- Alkalne ćelije-AFC
- Ćelije fosforne kiseline-PAFC
- Moltenov karbonat (*Molten carbonate*)-MCFC
- Kruti oksid-SOFC

Prema istraživanjima²⁸, „u razdoblju od 2006. do 2010. godine, u Sjedinjenim Američkim Državama će 1% kućanstava imati gorive ćelije, te se očekuje da će najmanji model od 5kW koštati otprilike 7000 USD. Nekoliko godina kasnije se očekuje porast broja kućanstava na 50% koja će imati gorive ćelije, te će model od 5kW koštati oko 1200 USD. Do 2031. godine čak 99% kućanstava u SAD-u će imati gorive ćelije.“ Porastom broja ćelija logično je za očekivati da će se tehnologija dalje razvijati, da će gorive ćelije postajati sve manje i snažnije, a tu upravo dolazi do izražaja primjena u zrakoplovstvu.

²⁸ Charles Wardell, “Dreams of the New Power Grid,” *Popular Science* 260, no. 3 (Ožujak, 2002)

3.6.1.3. Primjena u prometu

Prema podacima²⁹ Državne uprave za promet (Federal Transportation Advisory Group), prometni sustav Sjedinjenih Američkih Država svakodnevno troši 12.5 milijuna barela nafte dnevno, što iznosi gotovo 2/3 sveukupne dnevne potrošnje nafte na nacionalnoj razini. Prema istom izvješću, potražnja će preći ponudu do 2020. godine, pa se postavlja pitanje što će biti nakon toga. Kada bi samo 20 % automobila u SAD-u koristilo gorive ćelije, SAD bi smanjila uvoz nafte za 1.5 milijuna barela dnevno. Za očekivati je da će gorive ćelije najveću primjenu naći u prometnom sustavu. Danas su one već prisutne u cestovnom prometu, u osobnim vozilima i autobusima javnog gradskog prometa. No, da bi se taj dio sustava potpuno razvio, moraju se pogonske grupe gorivih ćelija izjednačiti cijenom i performansama motora s unutrašnjim izgaranjem. Primjena u zrakoplovstvu je zasad još samo ideja iako Boeing³⁰ radi na razvoju zrakoplova koji bi koristio tehnologiju gorivih ćelija. Boeingov projekt je nezavisan od 460 milijuna USD vrijednog ugovora s Ratnim Zrakoplovstvom SAD-a za razvoj bespilotnih letjelica namijenjenih za napadačke misije, tj. taktičko bombardiranje, pogotovo za profil misija koje su vrlo opasne i dugo traju³¹.

Unatoč tome što se ova ideja doima kao prava alternativa dosadašnjeg pogona letjelica, većina proizvođača vidi gorive ćelije u sekundarnoj primjeni na zrakoplovima u vidu opskrbe električnom energijom sustava APU (*Auxiliary Power Units*).

²⁹ US Department of Transportation, *Vision 2020: An Integrated National Transportation System*, Veljača 2001, <http://scitech.dot.gov>

³⁰ .“Boeing to Explore Electric Airplane,” Boeing Company news release, 27.11.2001, http://www.boeing.com/news/releases/2001/q4/nr_011127a.html

³¹ “Boeing to design aircraft fuel cells”, www.DJC.com, 4.9.2002.

No, istraživanja³² u Centru za istraživanja Ratnog zrakoplovstva SAD-a pokazuju da bi do 2010. godine mogao postojati model bespilotne letjelice koja bi koristila gorive čelije kao izvor energije za pogon.

Bez obzira na veličinu i kapacitet današnjih gorivih čelija, mora se utvrditi koje će se gorivo koristiti u toj tehnologiji. Trenutačno postoje 3 različita pristupa, odnosno vrste goriva iz kojih će se dobivati električna energija. To su:

- Čisti vodik
- Metanol ili drugi tekući ugljikovodici
- Metan (prirodni plin)

Svaki od njih predstavlja svojevrstan izazov, kako što se tiče proizvodnje goriva tako i distribucije.

Čisti vodik

Predstavlja gorivo za gorive čelije koje ima najveću iskoristivost, ali mu je mana visoka cijena proizvodnje. Budući da se ne nalazi u elementarnom obliku u prirodi, mora se razdvajati iz spojeva komplikiranim i skupim postupcima koji značajno povećavaju cijenu goriva po jedinici mase. Nadalje, skladištenje čistog vodika je komplikirano jer spremnici moraju biti pod visokim tlakom kako bi se očuvala energija. S ekološke strane gorive čelije s čistim vodikom su prihvatljive jer su im jedini nusprodukti toplina i voda.

³² Thomas Reitz, Air Force Research Laboratory, Propulsion Directorate, Wright-Patterson AFB, OH, telephone interview by the author, 27.3.2002.

Tekući ugljikovodici

Najveći napredak gorivih čelija je postignut u automobilskoj industriji gdje je najraširenije gorivo gorivih čelija metanol. Njegova prednost je sličnost s benzinom u pogledu proizvodnje, prijevoza i distribucije. Nedostaci su skladištenje, korozija i štetni spojevi. Mogući izvor za proizvodnju vodika su etanol i benzin. Budući da pritom kao nusprodukti nastaju ugljični monoksid i ugljični dioksid, ovaj postupak je neprihvativ.

Metan

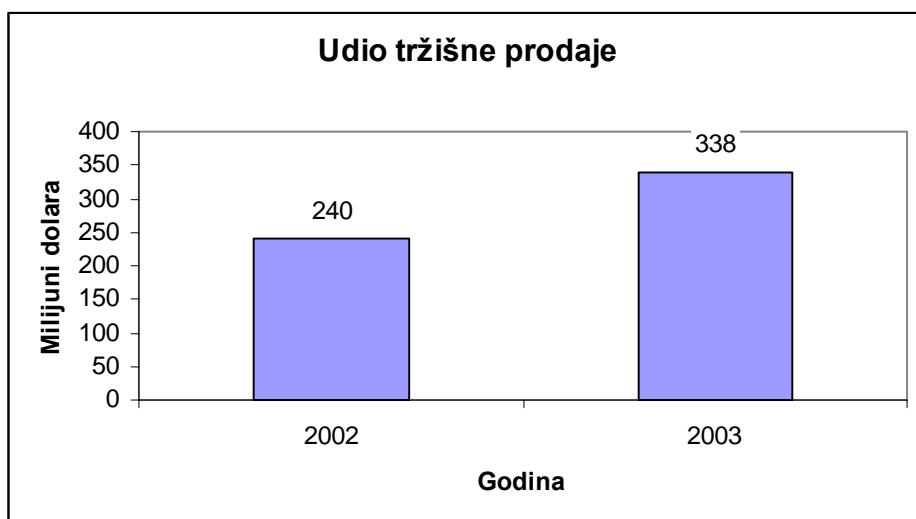
Metan je glavni sastojak prirodnog plina. Ne zna se točno koliko se metana nalazi na Zemlji u otkrivenim i neotkrivenim nalazištima, ali se govori o količini oko 1524 trilijuna kubičnih metara³³. Podaci govore da zalihe SAD-a s metanom iznose oko 61000 trilijuna kubičnih metara³⁴.

3.6.1.4. Budućnost gorivih čelija

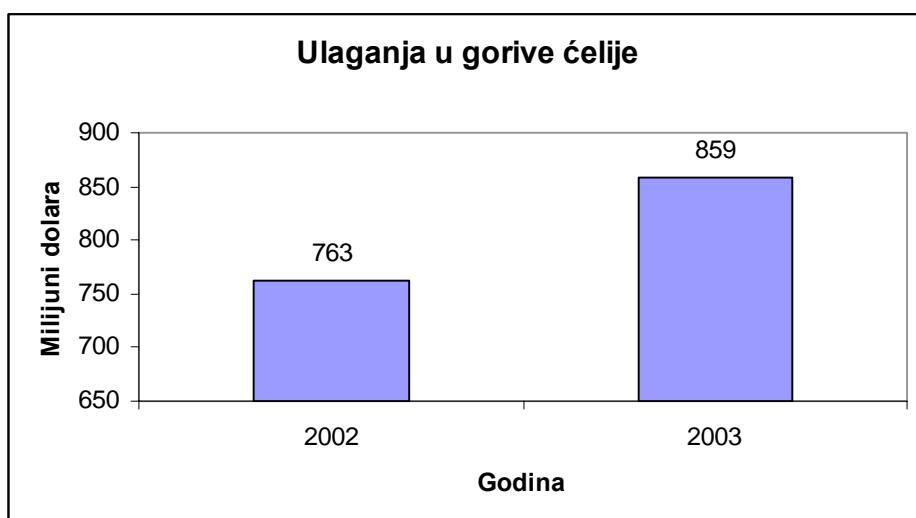
Očekuje se nastavak razvoja gorivih čelija u smislu smanjenja njihove veličine, mase i cijene te povećanja iskoristivosti. Ova tehnologija je skupa pa će razvoj moći financirati samo jače kompanije i vojne organizacije. Tendencija rasta se očituje u podacima međunarodnih organizacija za gorive čelije (SAD, Kanada, Europa) koji pokazuju da se prodaja od 2002. do 2003. godine povećala za 41 %, a ulaganja su porasla za 13 %.

³³ US Department of Energy, tablica, <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/table81.html> (Travanj , 2002).

³⁴ US Department of Energy, “Methane Hydrates,”



Grafikon 3.6.2.- Udio tržišne prodaje gorivih čelija

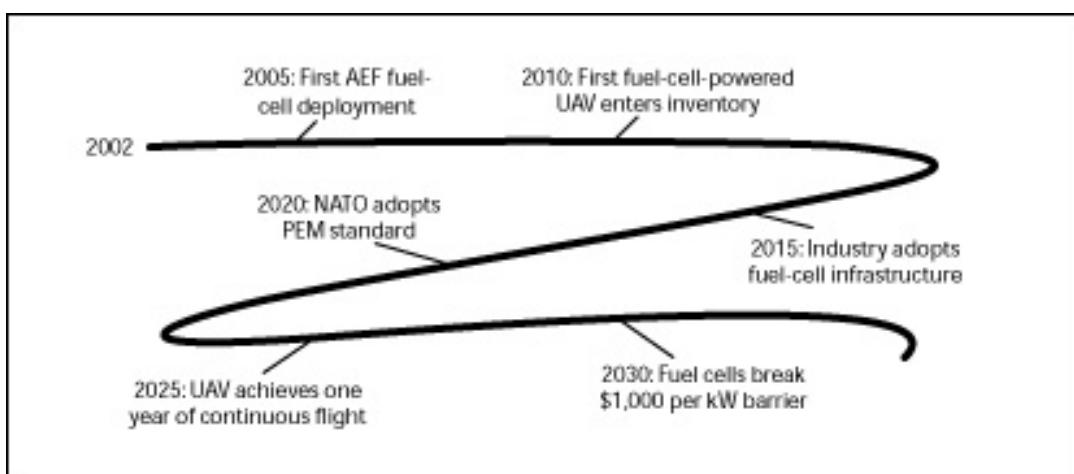


Grafikon 3.6.3.- Ulaganja u gorive čelije

Iz podataka je vidljivo da će s porastom ulaganja napredovati i tehnologija, osobito s povećanjem tržišta za primjenu gorivih čelija.

3.6.1.5. Primjena u zrakoplovstvu

Danas postoji tendencija da se u bliskoj budućnosti razviju sustavi bespilotnih letjelica koji će energiju dobivati iz gorivih ćelija, a one će im omogućavati let u trajanju od po nekoliko mjeseci. Američka uprava za energiju (DoE) prognozira da će već 2010. godine postojati prototip bespilotne letjelice koji će biti pokretan isključivo od gorive ćelije, no tek se 2030. očekuje potpuna zamjena fosilnih goriva s gorivim ćelijama. Najveća prepreka je visoka cijena kW energije proizvedenog iz gorive ćelije. Prema DoE cijena 1 kW energije koji će se dobiti iz gorive ćelije će stajati 1000 USD³⁵, pa je za očekivati da će tehnologiju gorivih ćelija moći koristiti samo najbogatije zemlje i vojne organizacije. Na slici 2 je prikaz razvoja gorivih ćelija.



Slika 3.6.4. – Prikaz razvoja gorivih ćelija prema DoE

Gorive ćelije kao izvor pogonske energije u zrakoplovstvu su na samom početku razvoja, a najveći napredak se očekuje u vojnoj tehnologiji i to kod MUAV. U idućih 25 godina američka vojska će u razvoj bespilotnih letjelica uložiti 1 milijardu USD³⁶.

³⁵ Department of Energy, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieor>

³⁶ „Pentagon Plans Heavy Investment in UAV Development“, <http://www.defenselink.mil>

3.6.2. SOLARNA ENERGIJA

Prijevozna sredstva na solarni pogon već su dosta dugo poznata javnosti. Princip je jednostavan: velika ploča skuplja sunčevu energiju i pretvara je u električnu energiju koja pogoni motor.

Solarne ćelije su uređaji koji pretvaraju solarnu energiju u električnu. Zahvaljujući foto-električnom efektu, svjetlost koja pada na poluvodič stvara razliku potencijala (napon) te stvara struju potrebnu za pogon elektro-uređaja.

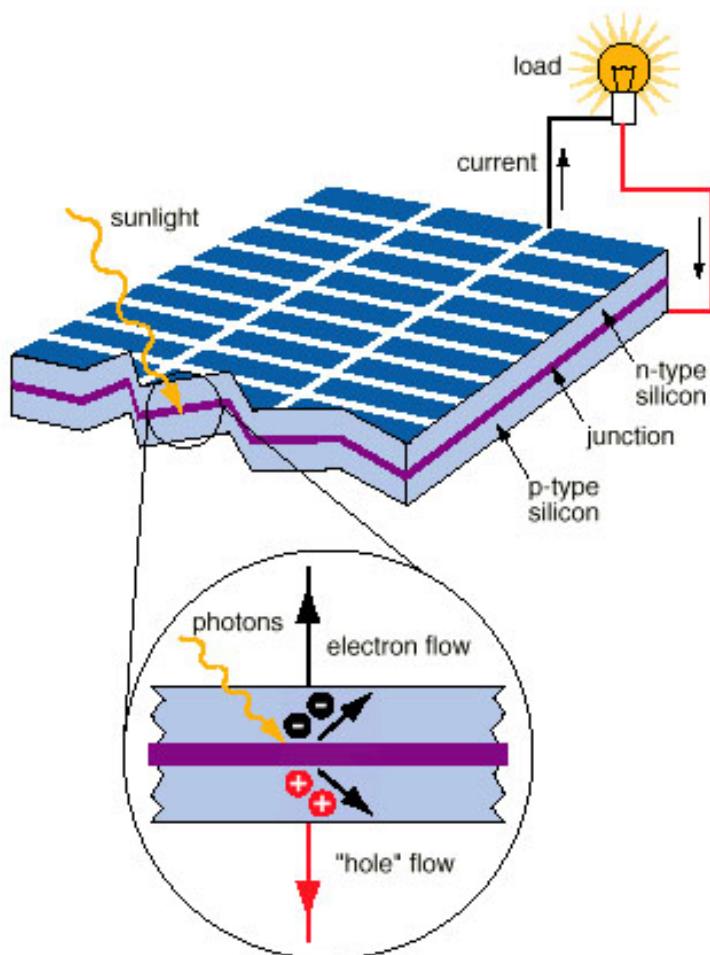
3.6.2.1. Razvoj solarnih ćelija

Francuski znanstvenik Henri Becquerel je davne 1839. godine otkrio da ukoliko se osvijetli određena kemijska otopina, pojavit će se napon. Ta pojava je nazvana foto-električki efekt. Njime su se bavili Einstein 1905. i Schottky 1930. godine, no značajniji rezultati su dobiveni 1954. godine, kada su znanstvenici Chapin, Pearson i Fuller uspjeli konstruirati silicijevu ćeliju sa stupnjem iskoristivosti 6 %. Ova je ćelija bila prototip solarne ćelije koja se kasnije koristila u svemirskom programu od 1958. godine.

3.6.2.2. Način rada solarne ćelije

Kada svjetlost pada na sloj jednog od poluvodiča, elektroni u kristalu upijaju fotone i oslobađaju se iz kovalentne veze, ali ostaju u kristalu. Upijanjem svjetlosti nastaje par slobodnih elektrona i šupljina. Budući da je sloj poluvodiča vrlo tanak, a foton ne dopiru dublje u kristal, parovi slobodnih elektrona i šupljina nastaju u zapornom sloju. Na elektrone djeluje električno

polje razdvajajući ih: slobodni stvoreni elektroni se gibaju prema N-poluvodiču, a stvorene šupljine prema P-poluvodiču. Tako jedan poluvodič postaje negativno nabijen, a drugi pozitivno, te dolazi do stvaranja struje. Na slici 3.6.5. je prikazan proces dobivanja struje iz solarne čelije.



Slika 3.6.5. – Proces u solarnoj čeliji

Količina energije, odnosno snaga koju dobijemo iz solarne čelije ovisi o³⁷:

- Vrsti i površini materijala
- Jačini sunčeve svjetlosti
- Valnoj duljini sunca

3.6.2.3. Ekonomска isplativost solarnih čelija

Glavna sirovina za proizvodnju solarnih čelija je silicijev kristal koji se reže na tanke slojeve debljine 0,3 mm. Solarne čelije zahtijevaju silicij visoke čistoće i gotovo savršene kristalne strukture koju je moguće dobiti samo pod visokim tlakom i temperaturom. Zbog toga je ova metoda dobivanja silicija vrlo skupa. Ujedno je to i razlog velike cijene solarnih čelija, što je izravno povezano sa niskom razvijenosti te tehnologije. Zahvaljujući razvoju solarnih čelija unazad 50 godina današnje solarne čelije imaju stupanj iskoristivosti 18 % i cijenu mnogo nižu nego prije 40-ak godina³⁸. Za očekivati je da će se u budućnosti veći dio električne energije dobivati iz solarnih čelija. U taj prilog govori i podatak da Japan planira u 70000 domova uvesti solarnu energiju ukupne snage 4600MW.

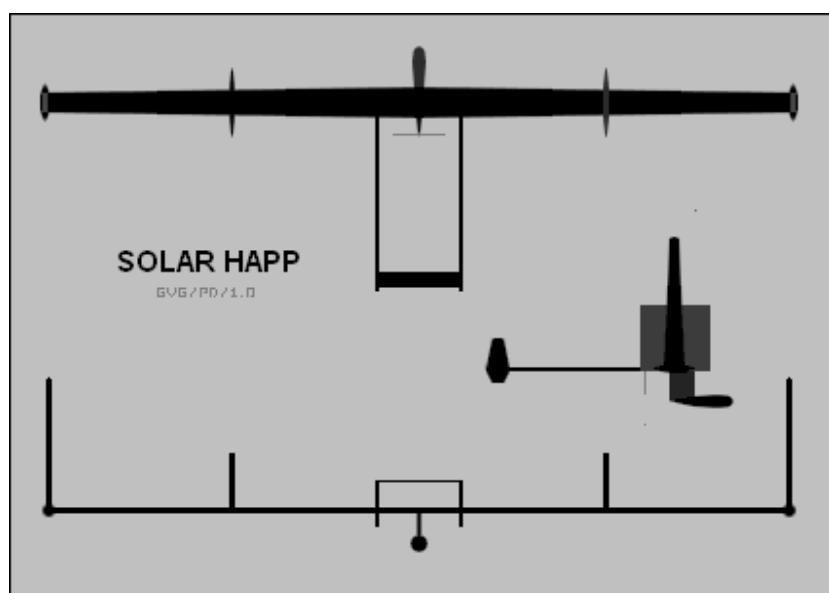
3.6.2.4. Primjena u zrakoplovstvu

Još 50-ih godina prošlog stoljeća se počelo govoriti o zrakoplovu gonjenim solarnom energijom. Glavni problem tada je bio mali dobitak energije, te se zrakoplov morao imati malu masu da bi ga elektro-motori mogli održavati u zraku. Prvi revolucionaran dizajn je predstavljen 70-ih godina kada je Paul B. MacReady i AeroVironment dizajnirao *Gossamer Condor* koji je u principu bio leteće krilo prekriven solarnim pločama. Letjelica je, nakon danjih

³⁷ Solar Cell Principles and Applications

³⁸ "The Solar Goldmine", Greenpeace Australia, 1997.

modifikacija, mogla preletjeti udaljenost od 262 km. Potaknuta ovim uspjehom, AeroVironment je odlučio usredotočit svoj razvoj na bespilotne letjelice te je 1983. godine nastao po narudžbi američke vojske novi model letjelice-HALSOL³⁹. Krilo je bilo napravljeno od karbona sa rebrima od kevlara, što je rezultiralo velikom čvrstoćom i malom masom. Međutim, HALSOL nisu nikada stavljeni u uporabu zbog izvješća komisije američke vojske da tehnologija solarnih ćelija još nije dovoljno napredovala.



Slika 3.6.6. HALSOL letjelica

Slijedeći veliki korak je bila letjelica Helios koja je prvi puta poletjela 1998. godine. Raspona 247 stopa pokretana sa 14 motora, Helios je prva moderna bespilotna letjelica na solarnu energiju. Solarne ćelije proizvode 40 kW energije za pogon motora i predstavlja iznos energije koju troši 6 kućanstva na dan. Zanimljivo je da su motori u stanju zakretati se po uzdužnoj osi, te letjelica može manevrirati bez manevarskih površina.

³⁹ HALSOL – High Altitude Solar

Jedna od primjena solarne energije u zrakoplovstvu bi bila ugradnja solarnih ćelija na zračne brodove. Naime, zbog niske mase, velikog uzgona i velike raspoložive površine zračni brodovi su idealni za primjenu solarne energije.

Možda će proći još 40-ak godina prije nego se uspiju razviti gorive ćelije koje će moći pohraniti velike količine solarne energije, ali stalnim razvojem i novim otkrićima u bliskoj budućnosti će se solarna energija koristiti za pokretanje manjih letjelica.

4. MEĐUNARODNE ASOCIJACIJE I TREND OVI REGULATIVE

4.1. UVOD

Pravila koja vrijede za zrakoplove⁴⁰ ne mogu se primjenjivati za bespilotne letjelice. Stoga je nužno ustrojiti pravila i propise koji će vrijediti za bespilotne letjelice, bilo u sustavu civilne zaštite ili u okviru civilnog zrakoplovstva. Prema [2], bespilotne letjelice ne smiju utjecati na sigurnost ostalih sudionika zračnog prometa, te ne smiju ih onemogućavati u njihovim nakanama. Usto, treba se definirati način licenciranja osoblja i pilota koji će upravljati letjelicom te uvjete dobivanja dozvole za upravljanje bespilotnom letjelicom. Plovidbenost, licenciranje, sigurnost i upravljanje zračnim prometom su samo neki od elemenata koji se moraju definirati vezano uz bespilotne letjelice.

4.2. PLOVIDBENOST

Prema definiciji, zrakoplov je plovidben ako zadovoljava kriterije koji su navedeni u Svjedodžbi o plovidbenosti⁴¹ države registra. Oni se odnose na dizajn, konstrukciju, materijale, opremu, održavanje te sposobljenost osoblja. Prema UK CAA⁴², na plovidbenost bespilotne letjelice utječe bilo koji sustav ili dio njega koji je nužan za siguran let i slijetanje, uključujući i opremu koja se ne nalazi na UAV-u, te je ista podvrgnuta provjeri za dobivanje *C of A*.

Stroga regulativa može otežati uvjete dobivanja plovidbenosti za zemaljske sustave. Da bismo prikazali problem, sustav koji se koristi za

⁴⁰ Pritom mislim na zrakoplove sa posadom

⁴¹ Svjedodžba o plovidbenosti - *C of A*, Certificate of Airworthiness

⁴² UK CAA- United Kingdom Civil Aviation Authority

pripremu plana pred let nije od velikog značaja i ne podliježe ograničenjima regulative, već je nužno da je potpun i točan. Ukoliko se radi izmjena plana u letu, tada sustav postaje vitalni dio bespilotne letjelice i mora biti standardiziran regulativom. No, uzmemliči činjenicu da se sustav upravljanja letjelicom nalazi u upravljačkoj stanicu, nužno je definirati tu opremu kao dio letjelice i odrediti je regulativom da bi se otklonili mogući propusti u konstrukciji, održavanju i upravljanju.

Tendencija je da bi jedna upravljačka stanica mogla upravljati raznolikim modelima letjelicama te bi time sve letjelice bile kompatibilne sa upravljačkom stanicom (kao primjerice kod računala gdje se svi proizvođači *hardware-a* i *softwarea* usklađuju sa jednim OS-om⁴³) ili da se prema zahtjevu korisnika konstruira UAV za određen tip upravljačke stanice. Na taj bi se način pojednostavio sustav upravljanja, konstrukcije, održavanja stanica te obuka pilota, a neposredno time i regulativa. Međutim, to bi značilo da bi svi proizvođači morali konstruirati UAV prema propisima upravljačke stanice, odnosno prilagođavati ih određenom modelu. Rješenje se možda nazire u ustroju regulative u odnosu na civilno zrakoplovstvo uz određene izmjene. U osnovi bi se pitanje GCS rješavalo kao poseban sustav⁴⁴, nevezan na regulativu bespilotnih letjelica u civilnom zrakoplovstvu. Potrebno je ustrojiti i regulativu o proizvodnji rezervnih dijelova, sustavu održavanja letjelica i dodijeli certifikata da bi se otklonili mogući otkazi i greške tijekom eksploracije. Pitanja u pogledu zagađenja bukom, ispušnih plinova, pogonske skupine i konstrukcije su u potpunosti primjenjiva iz postojeće regulative civilnog zrakoplovstva i ne trebaju se ponovno donositi. Neki od važnijih sustava koji bi se trebali odrediti regulativom vezano uz plovidbenost su dizajniranje i proizvodnja konstrukcije, pogonskih sustava, mehaničkih, elektro-sustava, upravljanje

⁴³ OS – Operating System, pritom mislim na MS Windows koji je najrašireniji.

⁴⁴ Gdje bi postojala posebna regulativa za upravljačku stanicu (slično kao Type Certificate kod motora i propelera)

letjelicom te sigurnosni sustavi (poput TCAS-a). Buduća će regulativa morati posebnu pažnju obratiti na gore navedene sustave i definirati pravila koja će omogućiti jednostavniji razvoj bespilotnih letjelica i veću pristupačnost širem broju korisnika. Možda jedan od perspektivnijih načina povećanja sigurnosti UAV-a i puštanjem u kontrolirani zračni prostor je implementacija TCAS sustava.

4.3. LICENCIRANJE OSOBLJA

Ospozobljenost osoblja je nužan preduvjet bilo koje struke, a naročito zrakoplovstva. Svaki zaposlenik je dužan posjedovati dozvolu kojom potvrđuje svoju kvalificiranost za posao koji obavlja. Da bi se bespilotnoj letjelici omogućio let u cijelom svijetu, potrebno je ustrojiti međunarodne standarde licenciranja pilota i ostalog osoblja bespilotnih letjelica. Sustav obuke bi se temeljio kao i u „klasičnom“ zrakoplovstvu, gdje se pilot nakon temeljne obuke upućuje na dodatnu obuku za određen tip zrakoplova. Njihovo provjeravanje sposobnosti, održavanje razine stručnosti te provjera zdravstvenog i duševnog stanja bi se temeljila na JAROPS-u, s tom razlikom da bi pilot/operater bespilotne letjelice morao zadovoljiti blaže standarde od pilotskog osoblja zrakoplova (prema JAR-FCL). Prema [3], obujam poslova koje obavlja pilot/operater bespilotne letjelice je vrlo sličan obavezama kontrolora leta, te bi zdravstvena ograničenja kontrolora bila primjenjiva za pilote/operatere bespilotnih letjelica. Osoblje zaduženo za održavanje i opremanje bespilotne letjelice se ne razlikuje od istog osoblja zaduženog za „klasične“ zrakoplove, te nije potrebno razvijati posebnu regulativu za njih.

Zadaće regulative vezane uz licenciranje su:

- Podjednaka sposobnost osoblja bespilotnih letjelica kao i u zrakoplovstvu;
- Pilot/operater bespilotne letjelice mora imati medicinsku svjedodžbu koja potvrđuje sposobnost upravljanja letjelicom;
- Obuka, testiranje osoblja, obnavljanje licence i testiranje se mora vršiti prema jednoj regulativi, bez iznimaka;
- Definirati minimalnu razinu sposobnosti osoblja za upravljanje bespilotnom letjelicom;
- Definirati uvijete dobivanja licence za osobe sa kriminalnom prošlosti, odnosno spriječiti zlouporabu bespilotnih letjelica u terorističke svrhe.

Kao i u civilnom zrakoplovstvu, biti će potrebno mnogo izmjena, dopuna i revizija pravila prije nego se dostigne tražen cilj, no smatram da licenciranje neće predstavljati veliki problem jer će glavni oslonac naći u postojećoj regulativi.

4.4. SIGURNOST

Napadom na New York 2001. godine ljudi su shvatili da je civilno zrakoplovstvo izrazito ranjivo te da je potrebno puno napora uložiti u sigurnost da bi se ubuduće takvi događaji mogli spriječiti. Samim time što je civilno zrakoplovstvo otvoreno velikom broju ljudi predstavlja dovoljan problem za postavljanje učinkovite regulative koja bi istovremeno mogla jamčiti sigurnost i jednostavnost. Problem kod bespilotnih letjelica je u tome što nemaju pilota. Naime, pojedinac je u stanju konstruirati vlastitu letjelicu

prema svojoj potrebi ili je kupiti za 10-ak tisuća dolara i iskoristiti je u protupravne svrhe bez velike vjerojatnosti da ga se otkrije, jer budimo realni, bespilotna letjelica je ništa više nego krstareći projektil. Otvaranjem civilnog zračnog prostora za bespilotne letjelice donijeti će glavobolju mnogim službama poput kontrole leta, Ministarstvu obrane, Civilnoj upravi za zračni promet i drugima koje sudjeluju u nadzoru zračnog prostora. Nužno je postaviti propise koji će strogo definirati uvjete dobivanja licence za upravljanje letjelicom te uspostaviti „dopuštene“ i „nedopuštene“ zone leta u zračnom prostoru. Pod „nedopuštenim“ zonama mislim pritom na zabranu leta iznad grada na visinama ispod neke granice, ograničiti upotrebu određene elektronske opreme na letjelicama da se spriječilo zloupotrebljavanje za privatan nadzor, uhođenje pa i planiranje kaznenih djela.

Nužno je ustrojiti takvu regulativu koja neće kočiti razvoj tržišta bespilotnih letjelica sa sigurnosnim ograničenjima. Primjerice, bespilotna letjelica koja leti izvan sigurnosnog područja i nema mogućnosti doći do istog zbog doleta ne predstavlja sigurnosni problem. Međutim, ako ista leti u neposrednoj blizini grada ili zabranjenog područja (elektrana, vodocrpilište) predstavlja vrlo velik rizik za sigurnost i povećana je mogućnost zlouporabe letjelice⁴⁵. Stoga je bitno pojednostaviti regulativu te definirati razlike između različitih vrsta UAV te simulirati mogućnosti zlouporabe svakog tipa letjelice. To znači da MUAV od 2 kg ne predstavlja jednaku opasnost kao i UAV od 400 kg. Na taj bi se način stvorila klasifikacija sigurnosnog rizika za svaku civilnu letjelicu na tržištu. Ovom regulativom bi se trebala odrediti i obavezna revizija tog popisa kao i novijih napredaka u razvoju bespilotnih letjelica.

⁴⁵ Možda najbolji primjer predstavlja ograničenje cijelog zračnog prostora iznad Washingtona, te se u slučaju bilo kakvog kršenja integriteta šalju borbeni zrakoplovi u presretanje.

Pogledamo li globalno sustav bespilotnih letjelica sa aspekta sigurnosti, moguće probleme sigurnosti možemo podijeliti u četiri skupine nastanka:

1. Fizički problemi
2. Problemi podatkovne veze
3. Problemi vezani uz podatkovnu mrežu
4. Programske problemi

1. Fizički problemi

Unutar njih spadaju otmice upravljačke kontrole i manipulacije same letjelice prije leta. Možda je interesantno spomenuti činjenicu da bi se trebalo značajnije posvetiti osiguranju okoline GCS, pristupu terminalu jer je upravo na tom mjestu bespilotna letjelica najranjivija.

2. Problemi podatkovne veze

Preko komunikacijske ili podatkovne veze (zavisno od načina prijenosa podataka) pilot daje naredbe koji se šalju na terminal na bespilotnoj letjelici koja putem elektromotora upravlja manevarskim površinama. Jedan od mogućeg scenarija je ometanje te veze ili čak preuzimanje kontrole letjelice. Stoga je bitno konstruirati sustave koji bi sa prvim znakovima preuzimanja kontrole „isključili“ daljinsko upravljanje i prema određenoj proceduri vratili letjelicu na početni kurs. Međutim, gubitak veze letjelice s GCS može biti slučajan, odnosno ne mora imati veze s protupravnim radnjama te ne mora predstavljati odmah potencijalnu opasnost trećim osobama na zemlji. Stoga

je bitno regulativom definirati procedure u slučaju opasnosti te prilagoditi sustave za bespilotne letjelice koji bi tada spriječili pad ili sudar⁴⁶.

3. Problemi vezani uz podatkovnu mrežu

Bespilotna letjelica može letjeti daleko izvan područja u kojem se nalazi operater/pilot te se komunikacija kontrole leta i operatera/pilota može odvijati na velikim udaljenostima. Jedan od načina gdje bi takva komunikacija bila moguća je putem podatkovne mreže (eng. *data network*), što bi u biti funkcionalo kao u GSM mreži gdje bi svi korisnici imali jednaki pristup podacima. Pri takvom načinu komunikacije morali bi se kreirati sigurnosni sustavi koji bi štitili podatke na mreži. Prednost ovakvog sustava je u jednostavnosti komunikacije, brzini prijenosa podataka te stvaranja okružja koje bi bilo *human friendly*, odnosno stvorio bi se dojam da kontrolor leta „razgovara“ sa bespilotnom letjelicom a ne sa pilotom na drugom kraju svijeta. Regulativa bi trebala razviti minimalne sigurnosne standarde, algoritme za sigurnosnu zaštitu, razine pristupa podacima te hijerarhiju opsluživanja letjelica⁴⁷.

4. Programske problemi

Problemi sigurnosti programskog sustava bi se trebali ticati letjelice i GCS pošto je jednako izložena letjelica i GCS od neovlaštenih upada, kvarova sustava i mogućeg nepotpunog funkcioniranja sustava. Nužno je strogim propisima definirati programske sustave koji se ugrađuju na letjelicu, pošto

⁴⁶ Najjednostavniji je način ugradnja padobrana koji bi na manjim letjelicama mogao u potpunosti spriječiti pad ili sudar letjelice.

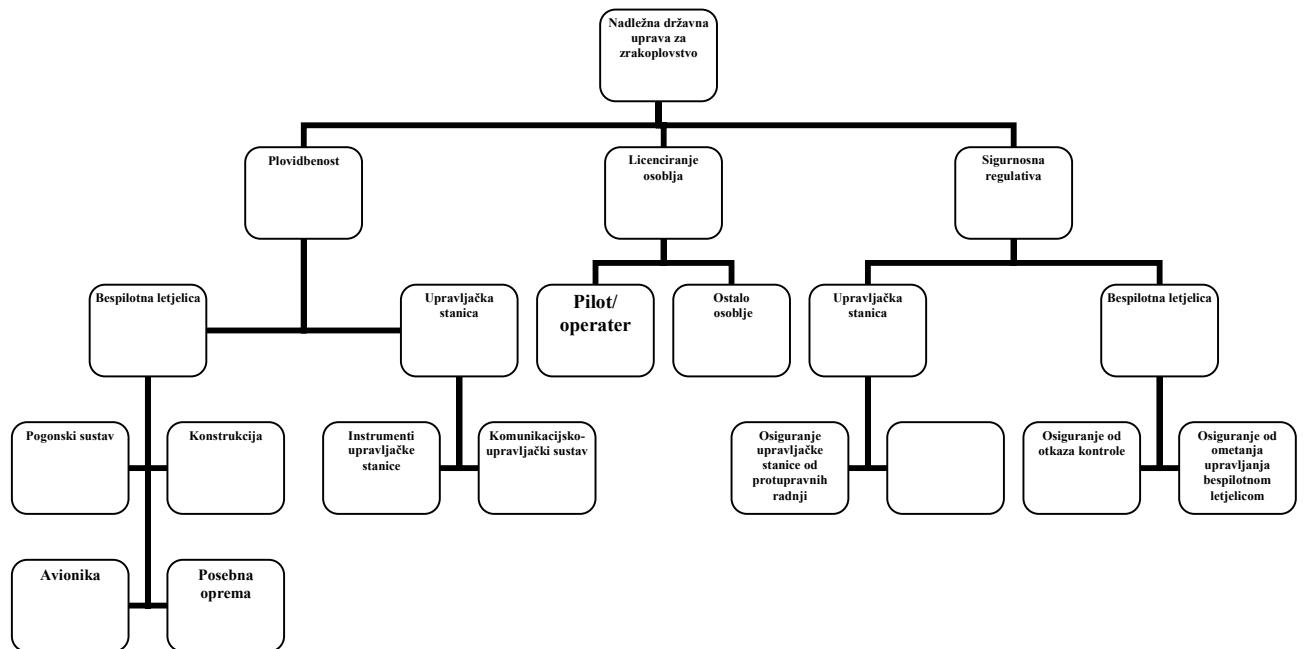
⁴⁷ Primjerice po veličini, masi, svrsi bespilotne letjelice kao i o zalihamama goriva na letjelici.

u slučaju pada sustava ne postoji pilot⁴⁸ koji bi uspio održati letjelicu u zraku i spriječiti pad. Danas je svakodnevница da se prije leta podaci vezani uz misiju ubace na računalo na letjelici. Upravo je u ovom trenutku operativni sustav najosjetljiviji jer postoji mogućnost provlačenja virusa ili „crva“ koji je u stanju srušiti cijeli sustav i to ne istog trena već pri aktiviranju određene funkcije⁴⁹. Stoga se moraju odrediti mjere zaštite koje bi trebalo uzeti u obzir kao i razviti sigurnosne procedure u takvim situacijama.

Gore navedeni problemi i ponuđena rješenja su samo dio od stvarne situacije i donošenje sigurnosne regulative će predstavljati najteži problem za razliku od prethodno navedenih dijelova. Možda je upravo razlog u tome da uklanjanjem čovjeka iz letjelice smo maknuli zadnji *back-up* sustav koji su do sada zrakoplovi imali, odnosno, u slučaju otkaza kompletног sustava još uvijek je postojao pilot koji bi (najčešće) mogao sigurno spustiti letjelicu na zemlju. No, razvojem bespilotnih letjelica i računalne tehnologije vjerujem da će bespilotne letjelice biti jednako sigurne kao i zrakoplovi sa posadom.

⁴⁸ Kao u zrakoplovima

⁴⁹ Primjerice prilikom uključivanja kamere se ugasi pogonski sustav letjelice.



Slika 4.4.1. Organizacijski ustroj regulative

4.5. EUROPSKO UDRUŽENJE BESPILOTNIH LETJELICA-EUVS

Osnovano 1998. godine sa ciljem ustroja pravila i regulative koja bi omogućila upotrebu bespilotnih letjelica u kontroliranom zračnom prostoru. Organizacija okuplja 50 organizacija i kompanija iz 12 europskih zemalja. U statusu promatrača su 37 organizacija iz vojne i civilne strukture. Svi sudionici sudjeluju na nacionalnoj i međunarodnoj razini kroz 3 radne grupe (**WG-working group**). Na čelu svake članice je koordinator (*National Coordinator*) koji zastupa svoju zemlju te komunicira i razmjenjuje podatke sa drugim koordinatorima. Radne grupe rješavaju pitanja i probleme koje postavljaju zemlje članice, dok se posebna pitanja mogu rješavati na zahtjev međunarodnih zrakoplovnih vlasti⁵⁰.

Radne skupine su podijeljene u 3 područja koja se bave problemima:

- Integracije,
- Primjene letjelica i
- Proizvodnjom letjelica

Problemi i neriješena pitanja

Iako su bespilotne letjelice već 50-ak godina prisutne na tržištu⁵¹, još uvijek je taj sustav nedovoljno razvijen, ne postoji zadovoljavajuća sigurnost i pouzdanost sustava, izrazito su visoki troškovi razvoja, nabave, održavanja i upotrebe te nedovoljna raširenost industrije. Današnje stanje razvoja bespilotnih letjelica u široj civilnoj primjeni je odraz slijedećih činjenica:

- Nepostojanje normative plovidbenosti UAV;
- Nemogućnost leta u civilnom zračnom prostoru;
- Manjak dogovora oko rješavanja tekućih problema;
- Nemogućnost razvoja civilnog tržišta.

⁵⁰ Pritom mislim na FAA, Eurocontrol, JAA i NATO.

⁵¹ Ili u vojnoj upotrebi ili u sportskom-hobi zrakoplovstvu

Prema [5] pokretač razvoja regulative bi trebala biti industrija jer će upravo ona imati najviše koristi. Samo se zajedničkim naporom i suradnjom u razvoju može napraviti kvalitetna regulativa.

5. PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U SUSTAVU CIVILNE ZAŠTITE

5.1. PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U POLICIJSKE SVRHE

5.1.1. UVOD

Policija je oduvijek imala zadaću održavanja reda i mira u zemlji. Širenjem tehnologije kriminalci dolaze u posjed sve bolje i kvalitetnije opreme, a nerijetko nadmašuju opremu koju koristi policija. Jedan od načina suzbijanja zločina i protupravnih radnji je video nadzor.

Primjerice, zamislimo sljedeću situaciju...

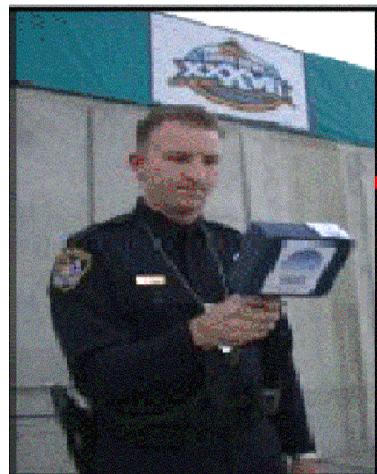
Tijekom pljačke banke u Soporu zaposlenici su aktivirali nečujni alarm kojim je obaviještena policija. Javljuju da su sumnjivci teško naoružani i opasni, te se policijskim službenicima savjetuje oprez. Na lokaciju se usmjeravaju svi policijski automobili u blizini kao i bespilotna letjelica koja kruži nad gradom na visini od 1500 m. Unatoč policijskoj blokadi sumnjivci je uspijevaju probiti i bježe velikom brzinom u bijelom automobilu u smjeru Velike Gorice. U potjeru se upućuje bespilotna letjelica koja prati spomenuto vozilo sa sigurne visine i prosljeđuje video signal i relevantne podatke o lokaciji sumnjivaca u PDA uređaje koji su dio opreme policijskih službenika. Na sporednoj cesti sumnjivci mijenjaju vozilo misleći da su se riješili potjere i nastavljaju prema Velikoj Gorici. No, bespilotna letjelica je poslala svježe podatke policiji te se postavljanjem blokade i zatvaranjem okolnih cesta uspijevaju uhvatiti bez ugrožavanja svih sudionika prometa kao i policijskih službenika. Zadaća je izvršena te se bespilotna letjelica upućuje na sljedeći zadatak.

Ovo je bila jedna od čestih situacija koje se događaju gotovo svakodnevno u velikim gradovima. Potjeru automobilima ne preporučaju policijske uprave većine zemalja jer su izrazito opasne, kako za policiju tako i za civile koji se nađu u blizini. Stoga je nadgledanje i praćenje jedan od učinkovitijih načina borbe protiv zločina.

Danas mnoge policije u svijetu koriste bespilotne letjelice ne bi li doobile bolji pogled u trenutnu situaciju na zemlji. Od nadgledanja granice, kontrole zabrane ribolova, akcije protiv krijumčarenja droge i oružja do traženja i spašavanja ljudi na moru i kopnu, bespilotni sustavi se dokazuju iz dana u dan kao sustavi budućnosti.

Mogli bismo postaviti pitanje: „Zar ne bi mogli tu istu zadaću izvršavati konvencionalni zrakoplovi s posadom?“. Prednost bespilotnih letjelica je u tome što mogu ostati izrazito dugo u zraku (današnji sustavi mogu letjeti i 24 sata bez prestanka) bez umaranja posade. Vratimo li se na gore spomenutu situaciju i izračunamo koliko treba vremena da se helikopter s posadom digne u zrak (ukoliko već nije u zraku), dođe na željenu lokaciju i neprimjetno prati vozilo, rezultat definitivno ide u korist bespilotnom sustavu. Prednosti bespilotnih letjelica su male dimenzije, izrazito tihe, velika istrajnost i teško su uočljive. Iako će proći još mnogo vremena kada će tehnologija moći zamijeniti čovjeka, gore opisani sustavi su dio današnje stvarnosti. Policijske uprave SAD-a, Velike Britanije, JAR-a, Pakistana i mnoge druge već koriste sustave bespilotnih letjelica za policijske svrhe. Primjer tome je podatak da je na 77. dodijeli Američke filmske nagrade Oskar policija Los Angeleza, FBI i DHS (Department of Homeland Security) koristila bespilotni helikopter koji je video signal slao u kontrolni centar. Tamo su se podaci analizirali i tražili mogući propusti u osiguranju kao i moguća ugrožavanja sigurnosti svih sudionika ovog događaja. Istovremeno

se video signal mogao proslijediti izravno na ručno računalo (PDA) te su podaci bili dostupni bilo kojoj ovlaštenoj osobi (slika 1).



Slika 5.1.1.1- Ručno računalo na koje se prikazuje slika iz UAV

5.1.2. OSNOVNE ZNAČAJKE LETJELICE

Iako se u načelu letjelice ne razlikuju, za policijsku namjenu bismo mogli navesti dva koncepta bespilotnih letjelica, od kojih bi jedan bio upravlјiv iz centra, opremljen sa visoko razlučivim kamerama i mikrofonima visoke osjetljivosti, dok bi se drugi tip letjelice bazirao na konceptu minijaturnih letjelica, koje bi se nosile unutar službenog vozila i prema potrebi službenika na terenu bi bile korištene.

Prvi tip navedene bespilotne letjelice kao takav je već duže vrijeme dostupan na tržištu i uz male preinake se može vrlo jednostavno prilagoditi potrebama policije, jer su u načelu ti sustavi dizajnirani i korišteni za nadgledanje, slikanje i određivanje mogućih ciljeva unutar vojnih snaga. Drugi tip je malo komplikiraniji, jer MUAV (Micro Unmanned Aerial Vehicles) su zasada slabo razvijeni, unatoč činjenici da je današnja tehnologija vrlo sitna, još uvijek je prevelika za takve letjelice. Problem predstavlja i korisna težina jer ukoliko konstruiramo malu bespilotnu letjelicu, opremimo je različitim senzorima i

ugradimo mali motor za pogon, neće li ta letjelica biti još uvijek prevelika, hoće li se moći sa njom nadzirati prozor kuće kriminalaca a da pritom ne izazove sumnja.

5.1.3. MALE bespilotna letjelica

Jedna takva letjelica morala bi biti opremljena sa senzorima, infracrvenim televizijskim sustavom, GPS uređajem i laserskim označivačem cilja, radarom i žiroskopom.

Kada govorimo o upotrebi bespilotnih sustava u civilnom zrakoplovstvu, pogotovo u policiji, nameće se pitanje kako će se spriječiti sudar bespilotne letjelice u neboder ili u žicu dalekovoda, jer u urbanoj gradskoj sredini, nema puno prostora za manevriranje, dok je prostora za pogrešku još manje.

Sustav bi se temeljio na principu helikoptera koji je za tu zadaću mnogo bolje rješenje od klasičnog sustava UAV na avionskom principu, sa zatvorenim rotorom, čime bi se postigao tiši rad sustava te zaštita od okrznuća rotora u prepreku. Lansiranje i prihvatanje letjelice je jednostavno jer ne zahtjeva niti rampe za lansiranje te veće površine za zalet i uzljetanje. Još jedan od razloga zbog čega je VTOL varijanta bolja jest da u odnosu na druge bespilotne letjelice, VTOL u slučaju otkazivanja motora može autorotacijom sletjeti sigurno na tlo, vrh zgrade, čemu pogoduje i relativno mala masa letjelice.



Slika 5.1.3.1. – VTOL bespilotna letjelica

Stabilnost

Održavanje stabilnosti predstavlja veliki problem, jer se helikopter nastoji kretati u svim smjerovima pogotovo u režimu lebdjenja. Kod bespilotne letjelice to postaje još veći problem, jer osim što zahtjeva skupocjenu opremu, traži i obučenog operatera na zemlji koji će upravljati letjelicom. Do danas su stoga bespilotne letjelice bile ograničene na vojsku i na filmsku industriju, no uskoro bi se to moglo promijeniti. Trenutačno se razvija bespilotna VTOL letjelica u tehnološkom institutu u Haifi pod vodstvom Gadi Kalischa. Sustav koristi napredne matematičke algoritme i omogućava bespilotnoj letjelici da lebdi tijekom dužeg perioda, snima fotografije ili video zapis a sve dok njome upravlja operater bez posebne obuke. Razlika je u tome što pilot/operater ne mora stalno podešavati visinu, ravnotežu i smjer, već računalo zadržava postojeći položaj, visinu i orientaciju te automatski podešava eventualnu promjenu u smjeru i ravnoteži.

Senzori

Senzori i tehnička oprema su današnjoj policiji neophodna oprema i uspješnost njihovog posla upravo ovisi o istoj. Od kontrole brzine do praćenja sumnjivaca helikopterom senzori i televizijski sustavi se danas uvelike upotrebljavaju u Zračnim jedinicama policije. Primjerice, u američkoj saveznoj državi Nevadi, policija koristi helikoptere za kontrolu ograničenja brzine na autocestama i to na slijedeći način: uzduž autoceste su ucrtane oznake na asfaltu, te mjereći iz helikoptera vrijeme da određeni automobil dođe od jedne do druge oznake dijeli se udaljenost točaka sa vremenom te se dobije brzina automobila. Radio-vezom se javlja policijskoj jedinici na cesti vrsta auta, boja i registracijska oznaka koja zaustavlja vozilo. Ovakav način je mnogo učinkovitiji jer se na ovaj način može kazniti više prekršitelja nego od klasične metode postavljanja radara na cestu ili mjerenjem brzine iz policijskog automobila.

Već spomenuti televizijski sustav koji bi bio instaliran na bespilotnoj letjelici, se danas vrlo lako može ugraditi, ne zahtjeva veliku letjelicu, male je mase i malih dimenzija čime ne utječe previše na letne performanse letjelice. Na slici 5.1.3.2. je prikazana slika Ultra 8500 sustava toplinskog senzora koji je danas u upotrebi. On ima ugrađen sustav koji samostalno prati cilj kojega operater odabere čime se smanjuje mogućnost gubitka kontakta sa ciljem. Cijeli uređaj se može rotirati 360° te ima kut zakretanja po visini od 0 do 65° . Sa optičkim povećanjem od 18 puta uređaj je u stanju prikazivati slike visoke kvalitete. Sa masom od 7 kg i potrebnom strujom od samo 15 ampera je idealan za upotrebu na bespilotnim letjelicama, pošto se izdržljivost letjelice smanjuje sa povećanjem tereta.

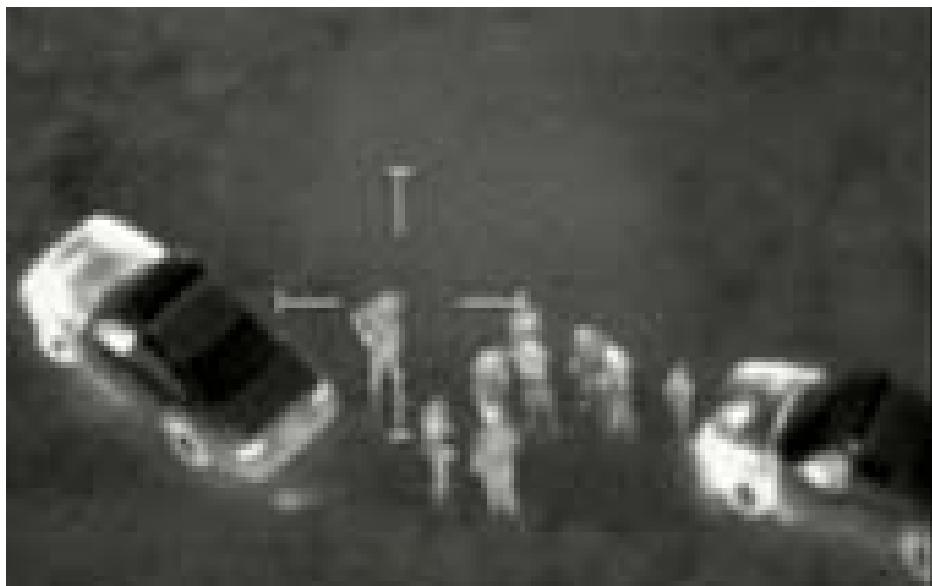


Slika 5.1.3.2. - Ultra 8500 sustav



Slika 5.1.3.3. – Upravljačko sučelje sustava bespilotne letjelice

Prilikom snimanja uz pomoć gore navedenog sustava pilot/operater dobiva podatke na zaslon sučelja upravljačke jedinice te prema potrebi može daljinski upravljati uređajem i pretraživati područje koje nadzire (slika 4). Prednost ovakvog načina je da iste podatke mogu obrađivati nekoliko stručnjaka ili se isti proces može podijeliti na više pojedinaca, čime se značajno rasterećuje rad ko-pilota u klasičnim letjelicama. Današnja tehnologija prijenosa podataka omogućuje brže prijenose i interakciju pilota/operatera i bespilotne letjelice u realnom vremenu bez zadrške. Na slici 5.1.3.4. je prikaz koju uređaj prikazuje na zaslonu upravljačke jedinice.



Slika 5.1.3.4. - Toplinski prikaz situacije na zemlji

5.1.4. MUAV

Mini bespilotne letjelice u načelu su ekonomičnija varijanta prije navedenih letjelica, vrlo ih je jednostavno održavati i praktične su za korištenje u urbanim gradskim sredinama. Najčešće dolaze u veličinama od 15 cm do 70 cm, o čemu ovisi opremljenost letjelice i vrijeme izdržljivosti.

Cijeli sustav dolazi u manjem kovčegu zajedno sa upravljačkom jedinicom i zaslonom za operatera ili čak virtualnim naočalama kojima se pilotu/operateru pruža osjećaj da se nalazi u zrakoplovu.

Policija Los Angelesa testira MUAV sustav (slika 5.1.4.1.) koji se sastoji od letjelice sastavljene od kompozitnih grafitnih materijala opremljena video kamerom koja može emitirati 30 slika/sekundi te je malih dimenzija. Jedna letjelica stoji 5000 USD, teška je 2,5 kg i ima ugrađen padobran za sigurno slijetanje. Letjelica može doseći visinu od 1000 stopa (300 m) i letjeti brzinom od 30 mi/h (48 km/h), no sadašnja baterija ima energije za 20-ak minuta leta, te policijac/operater na zemlji je mora kontrolirati uz pomoć palice⁵². Jedini nedostatak je potrebna dodatna obuka policajca za upravljanjem letjelice a i upravljanje u gustim gradskim područjima je prilično komplikirano pa se postavlja veliko pitanje sigurne upotrebe takvog sustava u gradu.



Slika 5.1.4.1. – MUAV

⁵² Eng. joystick

Sigurno je da će u bližoj budućnosti letjelica moći letjeti samostalno, odnosno, zadati će se smjer i visina leta, odnosno ruta, te će bez ikakve intervencije policajac na zemlji dobivati video signal na PDA. Ova će mogućnost pridonijeti ubrzanim širenjem letjelica u policiji.

5.1.5. ZAKLJUČAK

Jedno od prednosti bespilotnih sustava u službi policije jest da se može koristiti u gotovo svim područjima policijske djelatnosti. Od praćenja VIP osoba na ruti, osiguravanju preglednosti situacije pri većim događajima poput nogometnih utakmica, skupova, prosvjeda, nadgledanja prometa, nadzora požarišta do posebnih operacija usmjerenih borbi protiv krijumčarenja narkotika, ovakvi sustavi su dobrodošli službi policiji. Sa automatizacijom i razvojem računala koje će „misliti“ i davati upute kako se letjelica treba ponašati, ovakvi će sustavi postati dio standardne opreme policije. No, hoće li možda ovakvi sustavi dovesti do smanjenja građanskih sloboda, hoće li nestati privatnost ne ovisi o bespilotnim letjelicama već o njihovim operaterima i o službi koja ih koristi.

5.2. PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA ZA POTREBE VATROGASACA

5.2.1.UVOD

Svake godine šumski požari uništavaju tisuće metara kvadratnih šuma, niskih raslinja te nastanjenih krajeva. Štete se mjere u milijardama dolara, te je potreba za učinkovitijim načinom za borbu protiv šumskih požara veća nego ikad. Bilo da je riječ o podmetnutom požaru ili o prirodnoj katastrofi, požar se ovisno o vremenskim uvjetima širi jako brzo, te vatrogasnim postrojbama ostaje malo vremena za reakciju kada se lokalizira.

Kako su šumski požari štetni za ljude i njihovu imovinu, jednako su štetni za gospodarstvo zemlje, te oporavak regija zahvaćenih požarom traje jako dugo. Stoga se javlja potreba za prevencijom, koja polazi od sustava ranog obavještavanja, jer ukoliko se požar na vrijeme lokalizira i započne se sa gašenjem, šteta je manja. Australija je svake godine suočena sa požarima velikih razmjera, a jedan od većih problema je to što se požari događaju na udaljenim, nenaseljenim područjima, a kada se otkriju, već je učinjena velika materijalna šteta. Australski model⁵³ funkcioniра na slijedeći način: Preko informacija dobivenih sa promatračnica na terenu Voditelj (Fire Boss) usmjerava raspoložive snage, zračne i kopnene na lokaciju požara. Promatrači na temelju znanja, iskustva, očekivanoj promjeni vremena, obilježjima terena, razmjeru požara te mogućoj prijetnji naseljenim područjima daju Upravi savjete i procjenu situacije na temelju kojih se odlučuju mjere za gašenje. No, često se javlja zbrka oko komunikacije i procjene situacije i ugrožava efektivno gašenje požara.

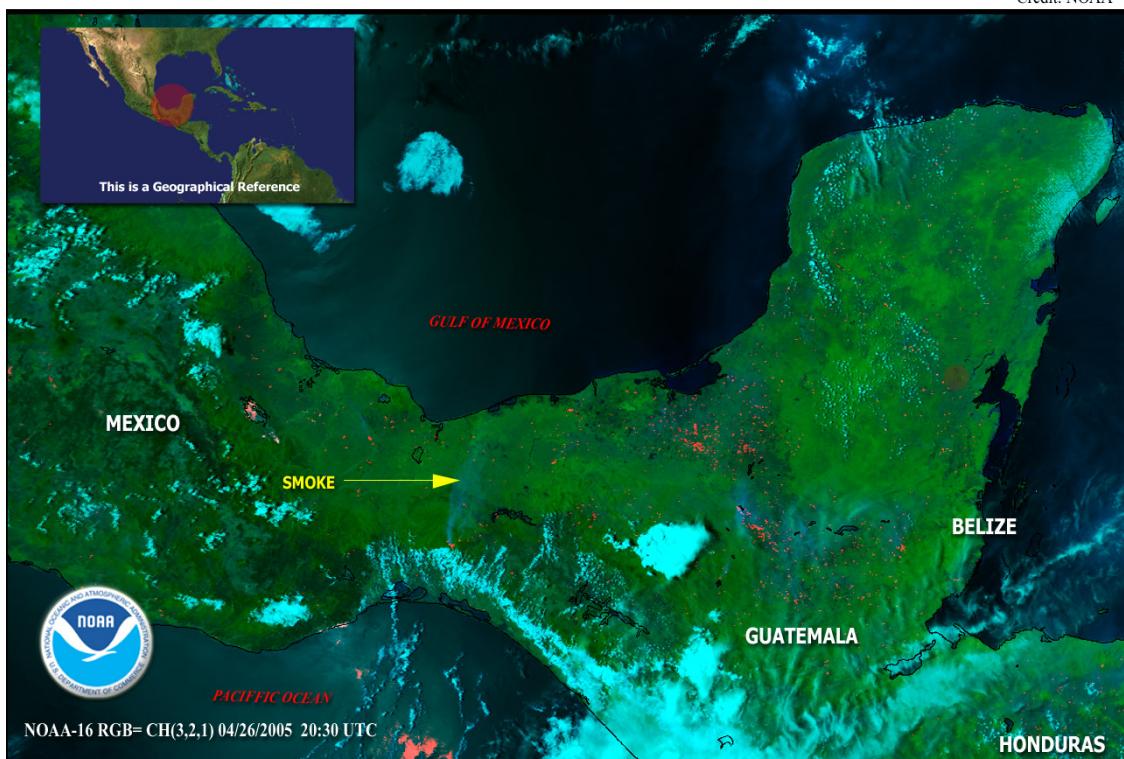
⁵³ 2003 Design Task: High Performance UAV for Bushfire Applications

Tu se upravo javlja potreba za sustavom koji će letjeti na visini, biti opremljen senzorima za nadgledanje i davati će sliku situacije na zemlji.

Jedna od varijanti nadzora područja požara je uporaba satelitskog sustava, čije usluge si mogu omogućiti najbogatije zemlje, jer osim troškova razvoja i lansiranja satelita, veliki udio igraju i troškovi održavanja sustava. Na slici 1 je prikazan satelitski snimak Središnje Amerike dana 26.4.2005. u 20:30. Na snimci su vidljivi velike količine dima i vatre koja su najvjerojatnije uzrokovana paljenjem žita.

Central America has large areas of smoke. The smoke could be due to the annual crop burns that are going on in Central America.

Credit: NOAA

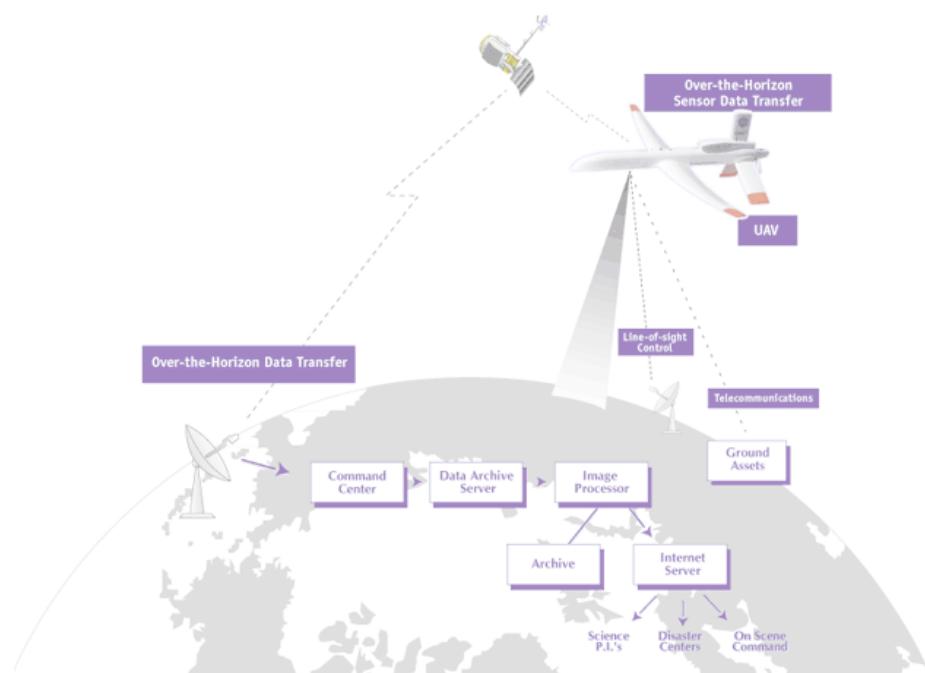


Slika 5.2.1-Satelitski snimak Središnje Amerike

Mnogo pristupačnija metoda nadzora požara je upotreba letjelica, a kako se nadzor često vrši kroz duži period, upotreba bespilotnih letjelica je idealno rješenje. Uz pomoć toplinskih senzora i kamera se informacija direktno šalje preko satelita u realnom vremenu na zapovjedno mjesto i jedinice na zemlji dajući sliku cijele situacije.

5.2.2.SUSTAV ZA NADZOR POŽARA

NASA radi na projektu **FiRE** (First Response Experiment) čija je zadaća stvoriti sustav bespilotne letjelice koja bi bila opremljena sa toplinskim senzorima i sustavom za emitiranje podataka u stvarnom vremenu. Na slici ispod je prikazana skica sustava i raspodjele podataka.



Slika 5.2.2.- Shema sustava FiRE

Sustav se sastoji od slijedećih elemenata:

1. Letjelice
2. Sustava za nadzor
3. Upravljačke stanice

1. Letjelica

Radi se o sustavu ALTUS II, koji je razvila tvrtka General Atomics Aeronautical Systems Inc. (GA-ASI) unutar programa ERAST, pod vodstvom NASA Aerospace Enterprise-a. Zrakoplov pogoni 4-cilindrični klipni motor tipa Rotax 914-2T sa dvostrukim turbo punjačem, tekućinom hlađen, snage 100 KS na visini 52000 ft (15853 m). Raspon krila mu je 55 ft (16,76 m), duljine 24 ft (7,32 m) i visine 10 ft (3,05 m). Vrhunac leta mu iznosi 65000 ft (19817 m). U zraku može izdržati 8 sati na visini 60000 ft (18288 m), 18 sati na visini 30000 ft (9144 m), 24 sata na visini 25000 ft (7620 m). Najveća brzina leta je 100 kts, a brzina krstarenja je 65 kts. Podvozje je klasični tricikl, koje se uvlači tijekom leta. Kapacitet tereta koji može nositi iznosi 150 kg. Sustav za upravljanje koristi radijsku frekvenciju C-područja, a može se postaviti i sustav za upravljanje preko satelitske veze. Upravljačka veza je nezavisna od veze za prijenos podataka i informacija koje zrakoplov skuplja tijekom leta.



Slika 5.2.3.- Letjelica ALTUS

2. Sustav za nadzor

Sustav čini toplinski skener AIRDAS koji je dizajniran za zračno snimanje šumskih požara i drugih katastrofa. Sustav je u stanju razlučivati jačine vatre do 600°C, te radi u 4 područja:

- Područje 1: 0.61-0.68 µm
- Područje 2: 1.57-1.70 µm
- Područje 3: 3.60-5.50 µm
- Područje 4: 5.50-13.0 µm

Svaki od područja pruža određene informacije potrebne za analizu požara. Područje 1 je prikladno za nadgledanje dima i površina koje nisu pokrivene dimom. Područje 2 se koristi za analizu vrsta vegetacije, te prikaza vatrenih fronta čija je temperatura iznad 300°C. Područje 3 radi u srednjem infracrvenom rasponu te je namijenjeno za temperaturni prikaz površina. Područje 4 je namijenjeno skupljanju toplinskih podataka vezanih uz temperaturu zemljine površine, temperaturu podzemnih slojeva zemlje te promjenu temperature. Uređaj skenira u rasponu od 108°, brzinom od 5-24

prolaza/sekundi te omogućava rezoluciju slike od 8 metara na visini leta od 10000 ft (3048 m) iako se požari manji od 8 metara mogu otkriti zahvaljujući detektorima u uređaju i kalibracijom sustava.



Slika 5.2.4.- Izgled upravljačke konzole

3. Upravljačka stanica

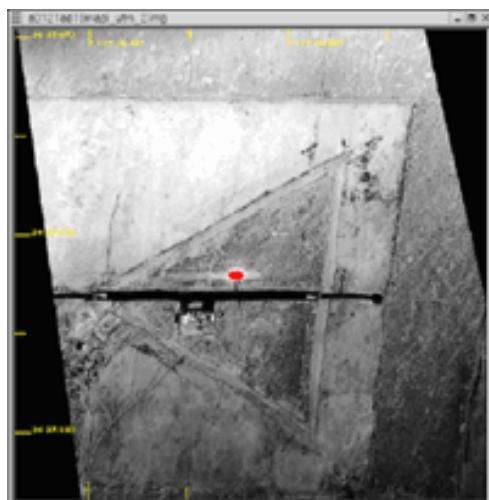
U upravljačkoj stanici se nalaze pilot i inženjer leta koji upravlja sustavom za nadzor. Inženjer leta preko kamere smještene u nosu letjelice nadgleda situaciju na zemlji, te preko GPS podataka i karte područja može odrediti područje požara te spremiti sliku situacije u memoriju u rezoluciji od 720 x 640 točaka u 3 područja te se slici pridružuju podaci o letu (vrijeme, smjer, visina...). Važno je napomenuti da se podaci direktno šalju sa letjelice na satelitski sustav INMARSAT koji dalje šalje podatke na Internet, konkretno na <http://geo.arc.nasa.gov/sqe/UAVFiRE/>, te je raspoloživa odmah svim službama koje sudjeluju u protupožarnoj službi. Na letjelici je locirana antena koja koristeći FTP protokol kodira podatke. Na slici 5.2.5 je prikazana antena za komunikaciju ALTUS-a i satelita.



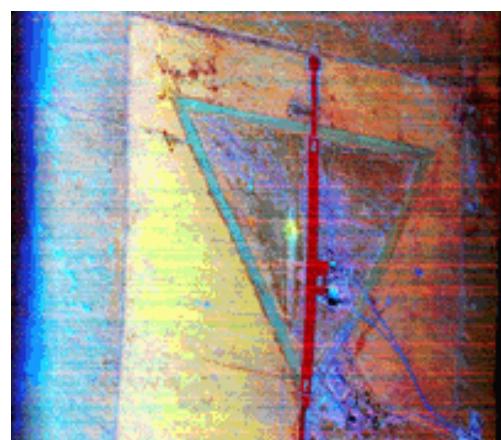
Slika 5.2.5. Antena za prijenos podataka sa ALTUS-a

5.2.3. Demonstracija sustava FiRE

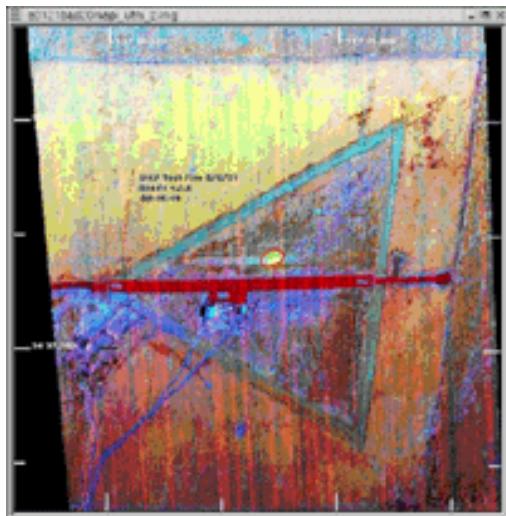
U suradnji sa svim agencijama i službama koje sudjeluju u FiRE projektu, održana je demonstracija funkcionalnosti sustava 6.9.2001. u El Mirageu, Kaliforniji. Prije polijetanja ALTUS-a, postavljen je požar neposredno uz USS-u. Plan je bio da ALTUS napravi brojne prelete preko požarišta tijekom 1 sata, na visini leta od 6000 ft (1828 m). Tijekom 1 sata i 5 preleta prikupljeni su podaci te su proslijedjeni na zemaljske stanice na obradu. Istovremeno je vatrogasno osoblje moglo pregledavati podatke na web stranici NASA-inog servera.



Slika 5.2.6.



Slika 5.2.7.



Slika 5.2.8.

Slike (5.2.6,7 i 8) prikazuju snimke koje je ALTUS snimio i poslao na web stranicu. Ovisno o filteru, prikazani su različiti prikazi situacije požara. Svi podaci sa ALTUS-a su poslani na INMARSAT-ov satelit (na udaljenosti preko 400 NM) te preko njega na NASA-in server.

Mogli bi reći da je ovakav sustav prekretnica u prevenciji i nadgledanju požarišta jer osim što pruža bolji pregled situacije zapovjedništvu, ne dolazi do zbrke oko informacija koje šalju promatrači sa zemlje ili iz zraka neposredno uz požarište, brže i efektivnije se može odlučiti koje će se mjere poduzeti, koliko će se snaga aktivirati, zavisno o veličini požara, pregled već uništenog područja te smjer kuda se požar kreće. Jedna od prednosti je da se svi podaci mogu prenijeti na male PDA uređaje, te vatrogasne snage na zemlji i zraku imaju stvarni pregled situacije, mogu se bolje organizirati u akciji gašenja. Sa pogleda sigurnosti za pilotsko osoblje, tijekom dugotrajnih misija, vrlo je jednostavno zamijeniti pilota i operatera AIRDAS-a, bez prekidanja misije, te se pri letu u nestabilnim uvjetima leta ne ugrožava život pilota (koji bi upravljao u konvencionalnom zrakoplovu). Još jedna od

prednosti ovakvog sustava jest da je nadgledanje u dužim periodima (18, 24 sata i više) moguće jedino upotrebom bespilotnih sustava, pogotovo sa aspekta umora pilota i teškim uvjetima leta (vrućina, dim, vatra). Ovaj će sustav donijeti revoluciju u protupožarnoj zaštiti, kako sa aspekta smanjenja troškova, povećanja efikasnosti sustava i rasterećenjem pilotskog i drugog osoblja koje sudjeluje u vatrogasnim postrojbama.

5.2.4. ZAKLJUČAK

Problem vatrogasne zaštite je u „neisplativosti“ službe. Naime, velika se sredstva moraju ulagati u nabavu nove opreme, održavanju stare, uvježbavanje ljudi a to sve troši veliki novac. Naravno da je šteta nakon što izgori šuma mnogo veća nego što izgleda, od promjene ekološke ravnoteže, javljanje erozije tla, sušenja zemlje zbog nestanka prirodnog zaklona od sunca i mnogih drugih aspekata koji nisu odmah vidljivi. Stoga je vrlo važno razvijati sustave uzbunjivanja da bi se požar što prije počeo gasiti, a bespilotne letjelice, koje bi primjerice mogle patrolirati na rizičnom području nekoliko tjedana, su pravo rješenje za tu zadaću.

U okviru MUP-a RH malo je vjerojatno da bismo mogli u bližoj budućnosti mogli nabaviti takav sustav ili ga čak sami razviti, ali potencijal za to postoji. Hrvatska Vojska raspolaze sa bespilotnim letjelicama Mah 01, koje su razvijene uz stranu pomoć. Naime, Mah 01 je vrlo sličan po izgledu i performansama izraelskoj bespilotnoj letjelici Malat. Uz vrlo jednostavnu zamjenu starijeg foto-sustava sa video sustavom opremljenim toplinskim senzorom koji bi pratio zagrijanost površine i slike slao podatkovnom vezom u središte gdje bi se vršila analiza. Prema potrebi bi se na to mjesto uputila vatrogasna interventna ekipa i saniralo moguće požarište. Osobno mislim

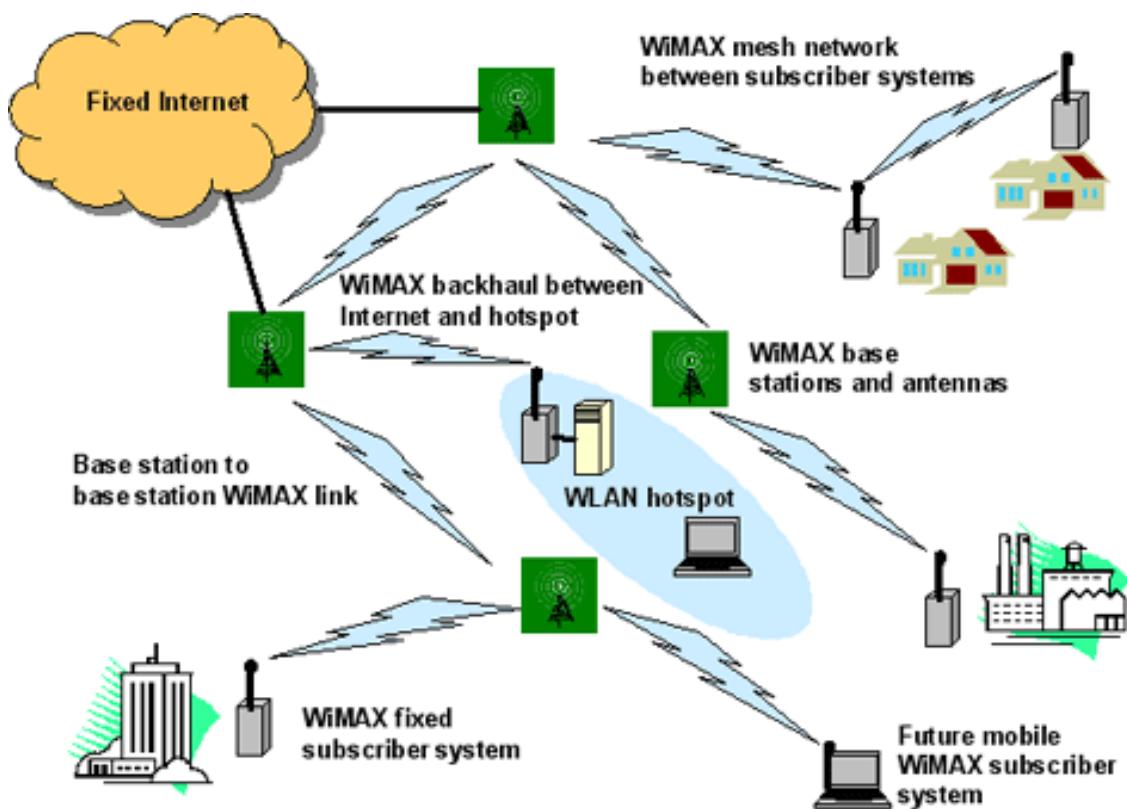
kako bi to rješenje moglo uvelike pridonijeti zaštiti okoliša od požara, smanjenje izdataka za saniranje štete, povećanjem raspoloživih letnih posada čime bi se zadaća pilota usmjerila samo na gašenje požara.

5.3. PRIMJENA BESPILOTNIH LETJELICA U KOMUNIKACIJI

Komunikacijske veze su osnovica svih službi koje sudjeluju u sustavu civilne zaštite i predstavljaju jednu od najvažnijih poveznica službi koje surađuju. U ovom odlomku je obrađena problematika komunikacijskih letjelica, čiji je glavni pokretač civilno-komercijalna djelatnost kao što su ponuditelji telekomunikacijskih usluga.

5.3.1. UVOD

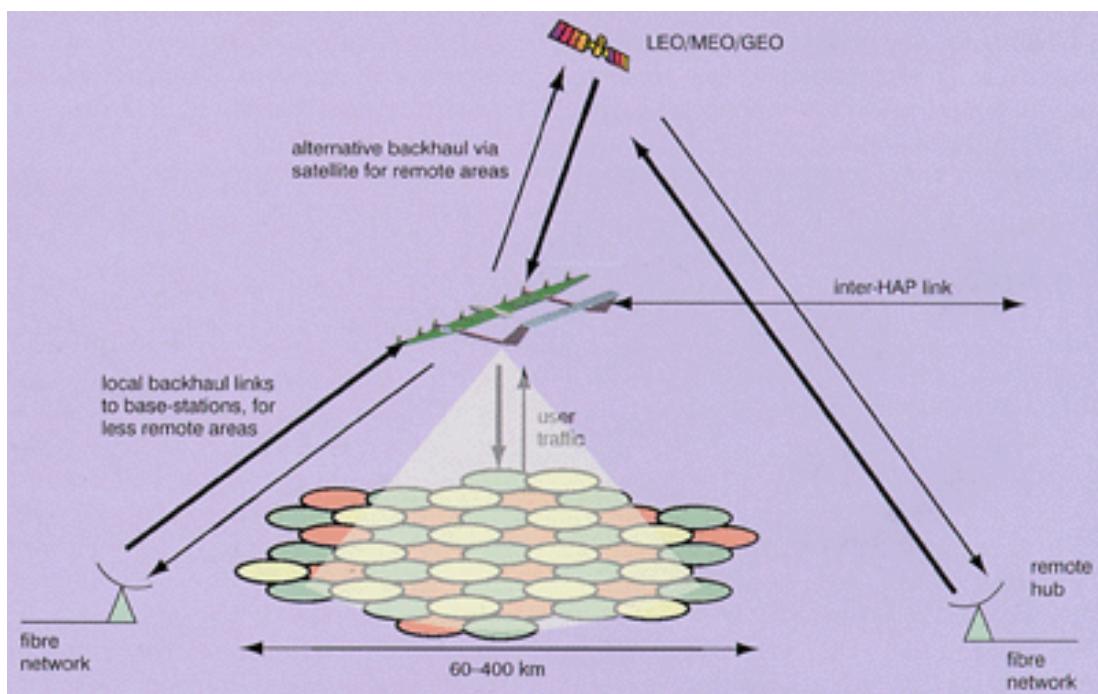
Lansiranje satelita u orbitu oko Zemlje je skup i riskantan zadatak te ne može pratiti zahtjeve tržišta za povećanjem prometa u komunikaciji, telefoniji i prijenosu podataka. S porastom mogućnosti mobilne telefonije poput UMTS-a te porastom tržišta širokopojasnog interneta operateri su u poziciji da traže idealno rješenje za postavljeni problem. Već danas su gradovi prepuni baznih stanica za mobilnu telefoniju, WLAN odašiljača i javlja se potreba za uvođenjem bespilotnih letjelica koje bi kružile nad gradom i imale ulogu servera preko kojega bi se korisnici spajali na Internet. Na slici 5.2.9. je prikazana organizacijska skica WiMax koji predstavlja novi standard u pristupanju na Internet.



Slika 5.2.9-Skica WiMax sustava

Stanica ima doseg od 50-ak km, no zbog gustoće zgrada u gradovima taj domet pada te se na površinu grada mora staviti veći broj stanica ne bi li se zadovoljile potrebe. Prednost ovakve strukture je u tome što se Internet pristup može omogućiti korisnicima bez izgradnje skupocjene infrastrukture kao što je kod postavljanja ISDN-a ili DSL-a. Primjerice, želimo li omogućiti pristup internetu na području na kojemu ne postoji ISDN ili DSL infrastruktura, a zahtjeva je premalo da bi se isplatila investicija ulaganja u novu infrastrukturu, jednostavnim postavljanjem WiMax odašiljača od postojeće infrastrukture možemo stvoriti „lanac“ odašiljača koji će prenositi signal do krajnjeg korisnika. Prednost WiMax-a u odnosu na WLAN je da ovakvoj arhitekturi ne smetaju vremenske neprilike i vлага (što je slučaj s WLAN-om). Iako je WiMax još u probnoj fazi, on zasad ima kapacitet od 74

Mbit/s te radi u područjima od 6 do 11 GHz i od 2,5 do 2,7 GHz, što omogućava korisniku brzinu pristupa na Internet od 2,5 Mbit/s. U bližoj budućnosti se očekuje brzina veze od 200-300 Mbit/s po odašiljaču i najizglednije je da će WiMax funkcionirati na nižim frekvencijama, pošto na frekvencijama od 5 GHz rade vojni radari stvarajući smetnje istima. Prednost nižeg područja je manja snaga odašiljača i niža cijena opreme no to je područje već prilično zagušeno pa bi se mogli javljati problemi s međusobnim ometanjem. Gore sam naveo kako se lančanom strukturom mogu povezati udaljena područja, no pravo rješenje ovakvog problema se nazire u mogućnosti konstrukcije bespilotne letjelice. Ona bi letjela na 70000-ak stopa (21000 m) i preuzela funkciju zemaljskog odašiljača te bi 2-3 takve letjelice mogle „opsluživati“ čitav grad čime bi zamijenile desetak i više zemaljskih stanica što bi dovelo do smanjenja troškova održavanja i smanjenje cijene usluge pristupa na internet. Slika 5.2.10. prikazuje princip rada bespilotne letjelice kao poslužitelja telekomunikacijskih usluga. Prednost bespilotnog sustava u odnosu na „klasični“ zemaljski očituje se u angažiranju dodatne letjelice na mjesto veće potrebe za kapacitetom mreže u vrijeme vršnog sata. Time bi se povećao kapacitet sustava i održavala konstantna brzina pristupa internetu. Usluge takve bespilotne letjelice bi mogle koristiti službe policije, vatrogasaca, hitne pomoći i druge državne službe jer WiMax nudi napredak u komunikaciji, daje veće mogućnosti u prijenosu podataka te bolju zaštitu od neovlaštenih ulaza i prisluškivanja.



Slika 5.2.10. – Princip rada bespilotne letjelice kao komunikacijskog poslužitelja

5.3.2. LETJELICA

Kod primjene bespilotnih letjelica možemo razmotriti dva tipa letjelica kojima bismo se mogli poslužiti kao „zračnim“ odašiljačima :

- **Bespilotne letjelice teže od zraka** koje mogu biti pokretane gorivim čelijama ili solarnom energijom (primjer je letjelica Helios)
- **Bespilotne letjelice lakše od zraka - zračni brodovi** (en. Airship) koji bi krstarili na 70000-ak stopa (21000m), gdje su zračne struje prilično mirne, a preko solarnih čelija bi se pokretali motori koji bi radili ispravke kursa leta. [1]

Ovakve letjelice bi u bliskoj budućnosti mogle u potpunosti zamijeniti postojeće sustave telefonije, kako fiksne tako i mobilne, spajanja na Internet, radio i tv odašiljače te omogućiti prođor novih usluga.

Prednosti su:

- Brzo i jednostavno postavljanje odašiljača nad željeno područje;
- Bolja pokrivenost područja od dosadašnjih zemaljskih uređaja;
- Puno manja visina krstarenja nego kod satelitskih sustava, što utječe na slabiji odašiljač, manju bateriju i jednostavniju tehnologiju;
- Sposobnost da se prema potrebi lako i jednostavno mijenja i održava postojeća oprema, te nadograđuje postojeći sustav;
- Niža cijena početnog ulaganja. [1]

5.3.2.1. Bespilotne letjelice teže od zraka

U principu one spadaju u klasične bespilotne sustave koji su podijeljeni u 3 osnovne kategorije:

- TUAV (Tactical UAV) sa visinama leta od najviše 5000 stopa (1500 m) i teretom od najviše 50 kg,
- MAE UAV (Medium Altitude Endurance) sa visinama leta od najviše 20000 stopa (6000 m) i teretom od 300 kg
- HAE UAV (High Altitude Endurance) sa visinama leta preko 30000 stopa (9100 m) te teretom preko 800 kg.

Danas se HAE bespilotni sustavi kreću po cijeni od 10 milijuna USD, s tim da će razvojem postojećih sustava te cijene padati te će i postajati

dostupniji široj industriji, poput TV, radio, telefonskim kompanijama i drugim sustavima.

Tendencija je da se razviju bespilotne letjelice koje će koristiti solarnu energiju za pogon i moći će letjeti na visinama od 25-30 km. Na slici 5.2.11. je NASA-ina letjelica Helios koju pogone elektromotori, a energiju dobiva iz solarnih čelija.



Slika 5.2.11. – Letjelica Helios

5.3.2.2. Bespilotne letjelice lakše od zraka

Pod ovom kategorijom podrazumijevamo tzv. balone i upravljive balone (zračne brodove) koji bi u bližoj budućnosti mogli služiti kao „nosioci“ komunikacijskih sustava nad gradskim i drugim područjima. Prema konceptu Sky Stationa⁵⁴, telekomunikacijske kompanije iz SAD-a, takav brod bi bio dugačak 150 metara koji bi letio na 20000 metara visine, koristio bi motore

⁵⁴ <http://www.skystation.com/>

za popravak kursa, a potrebnu energiju bi dobivao iz solarnih čelija koje bi se nalazile poslagane po njegovoj oplati⁵⁵. Odašiljao bi na frekvenciji od 47 GHz, te bi mogao pružati usluge downloada od 10 Mbit/s, te uploada od 2 Mbit/s. U Japanu čak razmišljaju od postavljanju 10-ak zračnih brodova čime bi se pokrilo područje čitavog Japana te bi ih se koristilo kao servere za internet te nositelje mobilne telefonije.



Slika 5.2.12.- Bespilotni zračni brod

⁵⁵ UAVs and HAPs- Potential Convergence for Military Communications, Tim Tozer, David Grace – University of New York, Jon Thompson, Peter Baynham – DERA Defford

5.3.3. PRIMJENA

Potencijalne primjene u komunikacijskim sustavima možemo podijeliti u sljedeće osnovne skupine:

- Mobilna telefonija,
- Radio-komunikacija za vojsku, policiju, hitnu pomoć, vatrogasce i druge civilne službe i
- Alternativa satelitskim sustavima.

Mobilna telefonija - GSM i UMTS mreže

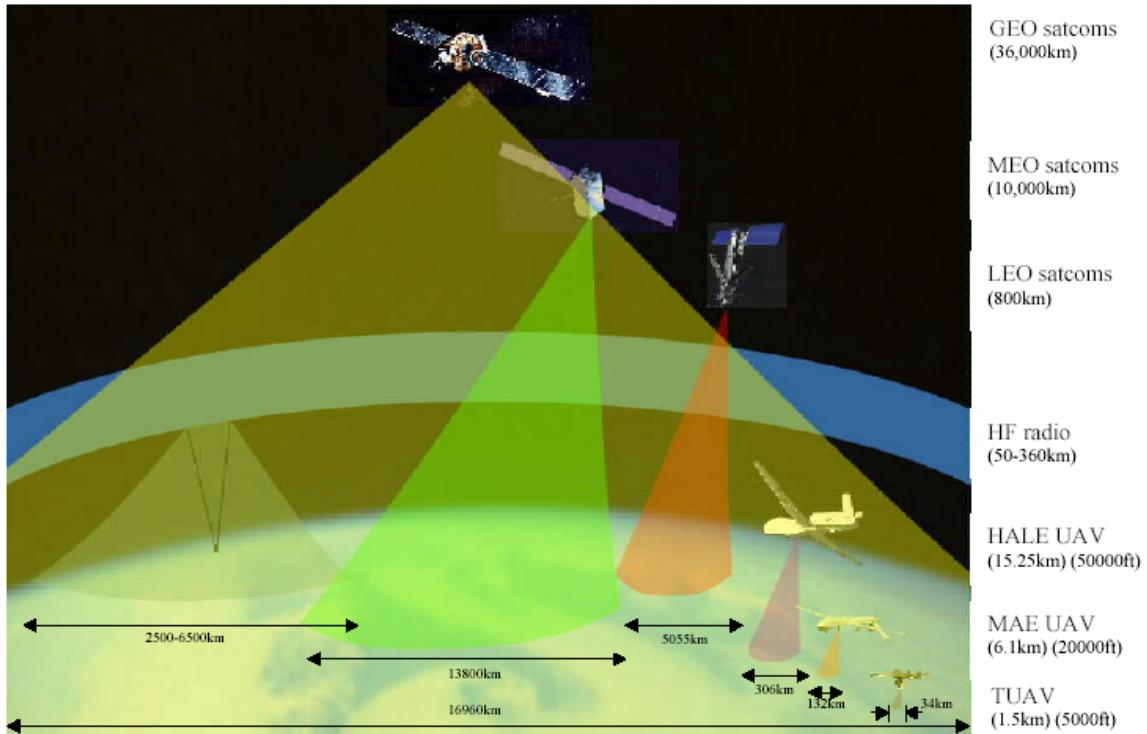
U sustavu mobilne telefonije, postoje naznake da bi se TUAV letjelice mogle koristiti kao zamjena baznih stanica. Naime, zemaljska bazna stanica za mobilnu telefoniju pokriva površinu radijusa od 35 km kao i 1 bespilotna letjelica sa visine od 5000 stopa (1500 m), ali sa tom razlikom da se u slučaju opterećenja mreže može preusmjeriti letjelica na zagušeno područje. Uspješna simulacija je izvedena sa zrakoplovom u SAD-u, u suradnji DERA-e i Nortela, koji je imao na sebi ugrađen odašiljač za GSM uređaje. Iako se to čini kao dobra alternativa zemaljskim baznim stanicama, spoznaja da se nad gradom nalazi 10-ak i više UAV koji lete na visini od 1500 m je uz nemiravajuća, pa se jedna od izglednijih primjena u mobilnoj telefoniji vidi u primjeni HAE letjelica koji će pružati istovremeno usluge mobilne telefonije i interneta.

Radio-komunikacija

Zasada samo vojske i organizacije pod vojnom upravom koriste se bespilotnim sustavima za komunikacijske svrhe, jer osim što su vrlo jednostavni, značajno su jeftiniji od satelitskih sustava te omogućuju komunikaciju na nepovoljnem terenu gdje je teško postaviti infrastrukturu (brdovita područja, mora i oceani). U budućnosti će se zasigurno naći zadatak u civilnom zrakoplovstvu, no tek kada tehnologija postane dostupnija, pouzdanija i jeftinija.

Alternativa satelitskim sustavima

Bespilotne letjelice imaju značajnu prednost u komunikacijskim sustavima u odnosu na zemaljske sustave, jer se prije svega mogu koristiti u području frekvencije od 45 GHz, koje je jako pouzdano, a znakovito mu je da ima veliku točnost od greške u prijenosu. Kod satelitskih sustava potrebne su velike antene jake snage te velika infrastruktura koja za sobom ima velike troškove održavanja. Vrlo je izgledno je da će kroz desetak godina većina strukture mobilne telefonije, televizije i internet usluga počivati na sustavima bespilotnih letjelica. Problemi poput visinskih struja, sustava koji će održavati zadanu poziciju letjelice na 20-ak km visine su samo neki od mnogih koji će se morati riješiti ne bi li jednoga dana takvi sustavi zaživjeli u svakodnevnici.



Slika 5.2.13.- Pregled komunikacijskih sustava i opseg područja koje opslužuju

Na slici 5.2.13. je prikazana karta opsega područja rada komunikacijskih sustava, od satelita u visokim orbitama do TUAV letjelica. Očigledno je da jedan satelit može zamijeniti nekolicinu bespilotnih letjelica, ali uzmemو li u obzir činjenicу da TUAV košta oko 100000 USD, MAE oko 1 milijun USD i HAE oko 10 milijuna USD još uvijek su značajno jeftiniji od jednog satelitskog sustava koji sa infrastrukturom, razvojem i troškovima opreme premašuje uvelike najskulplju bespilotnu letjelicu.

| | Zemaljski sustavi | HAP | Satelitski sustav u nižoj orbiti-LEO | Satelitski sustav u visokoj orbiti-GEO |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|---|---|
| Područje pokrivanja | <1km | do 200km | >500km | Cijeli planet |
| Brzina veze | 155Mbit/s | 25-155Mbit/s | <2Mbit/s upload 64Mbit/s download | 155Mbit/s |
| Uvođenje sustava | Zahtjeva više baznih stanica | Prilagodljiv | Potrebna nekolicina satelita | Prilagodljiv, no zahtjeva dugo vrijeme uvođenja |
| Približni trošak infrastrukture | Varijabilan | 50 milijuna USD | 9 milijardi USD | Preko 200 milijuna USD |

Tablica 5.2.14.-Usporedba karakteristika komunikacijskih sustava

U tablici su navedene razlike među pojedinim sustavima i što se najbolje vidi iz podataka da HAP⁵⁶ sustav, odnosno sustav bespilotnih letjelica je jeftiniji, pruža jednaku kvalitetu usluge i može pokrivati značajno područje.

5.3.4. ZAKLJUČAK

Za zaključiti je ukoliko telekomunikacijske tvrtke prepoznaju ovakav način upotrebe bespilotnih letjelica, zasigurno je da će u bliskoj budućnosti veliki zračni brodovi krstariti iznad svjetskih metropola i pružati raznolike telekomunikacijske usluge korisnicima. Možda će tome i pogodovati činjenica

⁵⁶ HAP-(High Altitude Platforms) su bespilotni sustavi letjelica koji krstare na visinama od 20 km

da razvojem mobilne telefonije i stalnim povećanjem zahtjeva za većim kapacitetom prijenosa podataka telekomunikacijske kompanije ulažu sve više i više novca u razvoj novih tehnologija, te stvaranjem postojećih još ekonomičnjima. Na nama je da čekamo taj dan kada će budućnost postati stvarnost.

6. ZAKLJUČAK

Pogledamo li razvoj bespilotnih letjelica unatrag 20-ak godina, vidimo da je postignut veliki napredak na tom području. Potencijalne mogućnosti primjene i dostupnost tehnologije su omogućile da se te strogo vojne letjelice prenamijene u civilnu svrhu. Poslovi poput nadzora granice, komunikacijskih releja, kontrole zone zabrane ribolova, traganja na moru, nadzora područja pogodjenog elementarnom nepogodom, policijskog nadzora i borbe protiv požara su samo neki od mogućih primjena bespilotnih letjelica. Nažalost, visoka cijena razvoja, održavanje sustava i obuke osoblja su glavni problemi zašto se u široj mjeri ne koriste bespilotne letjelice.

U radu sam htio ukazati na probleme regulative, sadašnje stanje industrije, rješenja koja se nude te mogućnosti primjene bespilotnih letjelica danas i u bližoj budućnosti. Dinamiku razvoja bespilotnih letjelica će nažalost diktirati vojna industrija, jer bez obzira na opseg primjene u civilne svrhe, bespilotne letjelice imaju svoju budućnost u vojnim strukturama. U prilog tome ide i podatak da je SAD do danas uložio 2 milijarde USD a do 2010. godine će uložiti još 1 milijardu USD. Možda najizglednija primjena bespilotnih letjelica izvan vojske je u korištenju zračnih brodova kao alternative satelitskih sustava. Odnos ukupne mase, potrebne snage i zahtjev za energijom je idealan za primjenu solarnih ćelija koje bi omogućile zračnom brodu istrajnost na nebu od par mjeseci, uz predviđene termine za održavanje i zamjenu komponenti.

U skladu sa mogućnostima i pristupu tehnologiji u Republici Hrvatskoj, bespilotne bi se letjelice mogle iskoristiti u okviru MUP-a i to na područjima visokog rizika od požara gdje bi se iste uz male preinake i ugradnju novijih optičkih sustava iskoristile u borbi protiv požara, a danjim razvojem možda

proširila zadaća na kontrolu državne granice, naročito sa ulaskom u Europsku uniju i pomicanjem granice na jug.

Razvojem autonomnih letjelica i sustava umjetne inteligencije, letjelica (odnosno računalo) bi prema podacima dobivenim preko vanjskih senzora odlučivala o smjeru leta radi izbjegavanja opasnosti. Razvoj bespilotnih letjelica će u velikoj mjeri utjecati i na svemirska istraživanja. U bliskoj bi se budućnosti mogla poslati bespilotna letjelica u atmosferu planeta ili mjeseca.

Sigurno je da su bespilotne letjelice na samome početku razvoja i da će biti potrebno još dugo vremena, istraživanja i neuspjeha prije nego postanu ravnopravni sudionici zračnog prometa.

LITERATURA

- [1] UAV Roadmap 2002-2027, Department of Defence
- [2] UAV Task Force Final Report - Principles of Regulation
- [3] UAV Task Force Final Report – Licence and Ratings
- [4] Steiner, S. : *Elementi sigurnosti zračnog prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 1998.
- [5] EUVS
 - <http://uav.navair.navy.mil/vtuav>
 - www.mcwl.quantico.usmc.mil/images/downloads/dragoneye
 - www.dod.gov
 - <http://www2.acc.af.mil/library/factsheets/predator>
 - <http://uav.navair.navy.mil/pioneer>
 - www2.acc.af.mil/library/factsheets/globalhawk
 - [www.darpa.mil/tto/programs/mav](http://darpa.mil/tto/programs/mav)
 - <http://www.uvs-international.org>- Terms and Definitions
 - www.uvs-international.org
 - <http://www.nasa.org>
 - "Aviation Today", Avionics Magazine, 01.06.2005.
 - Održavanje i tehnička eksploatacija zrakoplova", E.Bazijanac, B. Galović
 - UAV Roadmap 2000
 - www.wikipedia.com
 - Charles Wardell, "Dreams of the New Power Grid," Popular Science 260, no. 3 (Ožujak, 2002) US Department of Transportation, Vision 2020: An Integrated National Transportation System, Veljača 2001, <http://scitech.dot.gov>
 - ."Boeing to Explore Electric Airplane," Boeing Company news release, 27.11.2001, http://www.boeing.com/news/releases/2001/q4/nr_011127a.html
 - "Boeing to design aircraft fuel cells", www.DJC.com, 4.9.2002.
 - Thomas Reitz, Air Force Research Laboratory, Propulsion Directorate, Wright-Patterson AFB, OH, telephone interview by the author, 27.3.2002.
 - US Department of Energy, tablica, <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/table81.html> (Travanj , 2002).
 - US Department of Energy, "Methane Hydrates,"
 - www.defenselink.mil
 - Department of Energy, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieor>
„Pentagon Plans Heavy Investment in UAV Development“, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieor>
 - UAVs and HAPs- Potential Convergence for Military Communications, Tim Tozer, David Grace – University of New York, Jon Thompson, Peter Baynham – DERA Defford
 - 2003 Design Task: High Performance UAV for Bushfire Applications
 - J.H. Hirschenhofer, D.B. Stauffer, R.R. Engleman, and M.G. Klett: Fuel Cell Handbook, Fourth Edition, 1998.

POPIS KRATICA

ACAS – Airborne Collision Avoidance System
AFC – Alkaline Fuel Cell
C of A – Certificate of Airworthiness
CAA – Civil Aviation Authority
DHS – Department of Homeland Security
FAA – Federal Aviation Administration
FBI – Federal Bureau of Investigation
FL – Flight Level
Gbps – Gigabyte per second
GCS – Ground control station
HAE – High Altitude Endurance
HALE – High Altitude Long Endurance
JAR – Joint Aviation Regulation
JAR-FCL – JAR Flight Crew Licensing
MALE – Medium Altitude Long Endurance
MSFC – Molten Carbonate Fuel Cell
MSP – Mass Specific Power
MR – Mishap Ratio
MTBF – Mean Time Between Failure
MUAV – Micro Unmanned Aerial Vehicle
NASA – National Aeronautics and Space Administration
PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell
OS – Operating System
R – Reliability
RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum
SFC – Specific Fuel Consumption
TCAS – Traffic Collision and Avoidance System

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

WG – Working Group