

Podrška odlučivanju u projektiranju i proizvodnji bespilotnih letjelica

Petrak, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:894612>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Petrak

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Predrag Čosić, dipl. ing.

Student:

Luka Petrak

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Predragu Ćosiću na vodstvu, savjetima te posvećenom vremenu prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se i prof. dr. sc. Milanu Vrdoljaku i Maji Trstenjak mag. ing. na pomoći pri pisanju ovog rada.

Luka Petrak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

| | |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Petrak** Mat. br.: 0035195716

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Podrška odlučivanju u projektiranju i proizvodnji bespilotnih letjelica**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design and Manufacturing of Unmanned Aerial Vehicle Using Decision Support System**

Opis zadatka:

U prvoj fazi, u radu primjenom AHP metode, metode za podršku odlučivanju, istražiti koju vrstu bespilotne letjelice bi se moglo projektirati/ili proizvoditi u Hrvatskoj. U tu svrhu treba definirati cilj istraživanja, razraditi stablo kriterija, razlučiti kvantitativne i atributivne kriterije te ih međusobno kvantificirati i vrednovati. Potom usporedbom promatranih kriterija analizirati dobivene rezultate kao polazište za narednu fazu. Dati podatke o postojećim mogućim proizvođačima dijelova u Hrvatskoj. Potom slijedi analiza što bi se od dijelova bespilotne letjelice trebalo kupovati od dobavljača, a što bi se moglo proizvoditi u Hrvatskoj. Potom se kreira zaključak te popis literature.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predvideni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Predrag Čosić

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | IV |
| POPIS KRATICA | V |
| SAŽETAK..... | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. DSS..... | 2 |
| 2.1. Povijest DSS-a | 2 |
| 2.2. Vrste DSS-a..... | 3 |
| 2.2.1. DSS zasnovan na modelu..... | 4 |
| 2.2.2. DSS zasnovan na podacima | 4 |
| 2.2.3. DSS zasnovan na komunikacijama | 4 |
| 2.2.4. DSS zasnovan na dokumentima..... | 5 |
| 2.2.5. DSS zasnovan na znanju | 5 |
| 2.2.6. DSS zasnovan na webu | 5 |
| 3. AHP METODA | 7 |
| 3.1. Primjena AHP metode | 7 |
| 3.2. Prednosti i nedostaci AHP metode..... | 10 |
| 3.2.1. Prednosti | 10 |
| 3.2.2. Nedostaci..... | 11 |
| 4. EXPERT CHOICE | 12 |
| 4.1. Značajke programa..... | 12 |
| 4.2. Struktura i sučelje programa | 13 |
| 4.3. Primjena programa | 13 |
| 5. BESPILOTNE LETJELICE | 17 |
| 5.1. Kratka povijest nastanka | 17 |
| 5.2. Podjela bespilotnih letjelica | 18 |
| 5.2.1. Podjela prema masi | 18 |
| 5.2.2. Podjela prema trajanju leta i dometu..... | 18 |
| 5.2.3. Podjela prema maksimalnoj visini | 19 |
| 5.2.4. Podjela prema vrsti motora | 19 |
| 5.2.5. Podjela prema opterećenju krila..... | 19 |
| 5.3. Odrednice bespilotnih letjelica..... | 20 |
| 5.3.1. Materijali..... | 20 |
| 5.3.2. Konfiguracija bespilotnih letjelica | 20 |
| 5.3.3. Elektronički sklopovi i senzori | 21 |
| 5.3.4. Stupanj autonomnosti..... | 22 |
| 5.4. Područja primjene | 22 |
| 5.5. Najpoznatiji proizvođači | 24 |

| | |
|---|----|
| 6. BESPILOTNE LETJELICE KAO PREDMET ODLUČIVANJA INVESTIRANJA U PROIZVODNJU..... | 26 |
| 6.1. Informacije o stanju tržišta u Hrvatskoj..... | 27 |
| 6.2. Cijene dijelova bespilotnih letjelica..... | 28 |
| 7. ODABIR VRSTE BESPILOTNE LETJELICE..... | 29 |
| 7.1. Kriteriji za odabir vrste bespilotne letjelice..... | 29 |
| 7.1.1. Trajanje leta..... | 29 |
| 7.1.2. Nosivost..... | 30 |
| 7.1.3. Polijetanje..... | 30 |
| 7.1.4. Složenost konstrukcije..... | 30 |
| 7.1.5. Cijena..... | 30 |
| 7.2. Hijerarhijska struktura..... | 30 |
| 7.3. Vrednovanje kriterija..... | 31 |
| 7.4. Rezultati AHP metode u Expert Choice-u..... | 32 |
| 8. PROJEKTIRANJE I PROIZVODNJA BESPILOTNIH LETJELICA..... | 35 |
| 9. ZAKLJUČAK..... | 37 |
| LITERATURA..... | 38 |
| PRILOZI..... | 40 |
| PRILOG I: Zakonski okviri bespilotnih letjelica u Hrvatskoj..... | 41 |

POPIS SLIKA

| | | |
|------------|---|----|
| Slika 3.1. | Strukturiranje problema – hijerarhijski model [3]..... | 8 |
| Slika 4.1. | Osnovno sučelje Expert Choice-a [7]..... | 13 |
| Slika 4.2. | Numeričko uspoređivanje [7]..... | 14 |
| Slika 4.3. | Opisno uspoređivanje [7] | 14 |
| Slika 4.4. | Grafičko uspoređivanje [7]..... | 15 |
| Slika 4.5. | Grafovi osjetljivosti [7] | 16 |
| Slika 5.1. | Yamaha R-MAX VTOL u uporabi [9]..... | 17 |
| Slika 5.2. | Letno računalo male letjelice s pogonskim baterijama [9]..... | 21 |
| Slika 5.3. | Taksi bespilotna letjelica, Ehang 184 [15] | 23 |
| Slika 5.4. | DJI Phantom 3 [17] | 24 |
| Slika 5.5. | Parrot AR Drone 2.0 [18] | 25 |
| Slika 5.6. | Typhoon Q500 [19] | 25 |
| Slika 7.1. | Hijerarhijska struktura | 31 |
| Slika 7.2. | Vrednovanje kriterija..... | 32 |
| Slika 7.3. | Rezultati alternativa i konzistentnost odabira | 32 |
| Slika 7.4. | Analiza rezultata, graf osjetljivosti..... | 33 |
| Slika 7.5. | Graf osjetljivosti s promijenjenim važnostima kriterija | 34 |
| Slika 18. | Kategorije letačkih operacija za RH [9] | 41 |

POPIS TABLICA

| | | |
|--------------|--|----|
| Tablica 3.1. | Saaty-eva skala relativne važnosti [3] | 9 |
| Tablica 5.1. | Podjela bespilotnih letjelica prema masi [12]..... | 18 |

POPIS KRATICA

DSS – *Decision Support System* – sustav podrške odlučivanju

IBM – *International Business Machines Corporation*

MIS – *Management Information System* – upravljački informacijski sustavi

IFPS – *Interactive Financial Planning System* – interaktivni sustav financijskog planiranja

OLAP – *Online Analytical Processing*

AHP – *Analytic Hierarchy Process* – analitički hijerarhijski proces

ISAHP – *International Conference on Analytic Hierarchy Process*

UAV – *Unmanned Aerial Vehicles* – bespilotne letjelice

RPA – *Remotely Piloted Aircraft* – bespilotne letjelice

VTOL – *Vertical take-off and landing* – vertikalno polijetanje i slijetanje

GPS – *Global Positioning System* – globalni pozicijski sustav

INS – *Inertial Navigation System* – inercijski navigacijski sustav

FPV – *First Person View*

EU – Europska Unija

RH – Republika Hrvatska

SAŽETAK

U ovom radu je primjenom analitičko hijerarhijskog procesa (AHP metode) odabrana vrsta bespilotne letjelice koja bi se mogla proizvoditi u Hrvatskoj. U tu svrhu najprije je opisan sustav podrške odlučivanju, analitičko hijerarhijski proces, programski alat *Expert Choice* i bespilotne letjelice. Zatim je na temelju pojednostavljenog ispitivanja mogućeg tržišta razrađeno stablo kriterija i odabrana alternativa. Na kraju je prikazana kratka analiza moguće proizvodnje bespilotnih letjelica.

Ključne riječi: podrška odlučivanju, analitičko-hijerarhijski proces, bespilotne letjelice, odabir vrste bespilotne letjelice

SUMMARY

Type of unmanned aerial vehicles which could be produced in Croatia is selected in this paper, using analytic hierarchy process (AHP method). For this purpose, decision support system, analytic hierarchy process, software program Expert Choice and unmanned aerial vehicles are described. Then, based on a simplified examination of the potential market, the criteria tree is elaborated and alternative is chosen. At the end, a brief analysis of the possible production of unmanned aerial vehicles is presented.

Key words: Decision Support System, Analytic Hierarchy Process, Unmanned Aerial Vehicle, selection of type of UAV

1. UVOD

Odlučivanje, odnosno donošenje odluka je odgovoran i ponekad zahtjevan proces. Posebno, kada je u pitanju neka ključna odluka. Da se pomogne donositeljima odluke i što više pokuša izbjeći subjektivnost, razvijen je sustav za podršku odlučivanja. Jedan od takvih sustava je AHP metoda čiji se proces odlučivanja temelji na više atributa s različitom važnošću. Kod problema s mnogo atributa, proces odlučivanja bi bio složen i dugotrajan pa su utemeljeni programi za podršku odlučivanju. Expert Choice je poznat programski alat koji pouzdano donosi odluke u postizanju zadanih ciljeva.

Cilj ovog rada je odabrati vrstu bespilotnih letjelica koja bi se mogla projektirati ili proizvoditi u Hrvatskoj. Bespilotne letjelice, letjelice bez posade, imaju sve veću primjenu kako u vojnom, tako i u civilnom sektoru. S obzirom na njihov gotovo logaritamski razvoj, projektiranje ili proizvodnja bespilotnih letjelica bili bi unosan posao. Prije spominjanja bilo kakvog posla potrebno se upoznati s poviješću nastanka, podjelom bespilotnih letjelica te njihovim značajkama. Tek kad se dobije uvid u osnove, mogu se predočiti vrste, a zatim i razviti kriteriji donošenja odluke.

Drugi dio rada je na neki način projekt u kojem se odabire vrsta bespilotnih letjelica koju bi imalo smisla projektirati, odnosno proizvoditi. Međutim, to je samo virtualni projekt koji uključuje samo osnovne faze provedbe. Provedeno je pojednostavljeno ispitivanje tržišta proučavanjem literature, podataka na webu te kontaktiranjem s proizvođačima bespilotnih letjelica. Nakon toga su definirane alternative i razrađeni kriteriji. Primjenom Expert Choice programa došlo se do rezultata. U ovom radu, razmatrane su samo bespilotne letjelice koje se koriste u civilnom sektoru.

2. DSS

DSS (eng. *Decision Support System*) je posebna vrsta računalno informacijskog sustava koji podržava aktivnosti donošenja odluka. To je interaktivni računalni sustav i podsustav koji namjeravaju pomoći donositeljima odluka koristeći podatke, dokumente, znanja i/ili modele za prepoznavanje i rješavanje problema te donošenja odluka. Bilo koji računalni program koji poboljšava sposobnost osobe ili grupe u procesu donošenja odluke mogao bi se svrstati u sustav podrške odlučivanju. DSS se koristi kao pomoć pri odlučivanju na bilo kojoj razini upravljanja, s naglaskom na odlučivanju kod slabo strukturiranih i nestrukturiranih podataka. Postoji nekoliko vrsta DSS-a čiji razvoj kroz povijest i karakteristike slijede u nastavku. [1], [2]

2.1. Povijest DSS-a

Razvoj sustava za podršku odlučivanja počeo je šezdesetih godina prošlog stoljeća potaknut razvojem računalnih sustava i opreme. Kako se razvijala tehnologija, tako su se proučavale i razvijale nove primjene za računalnu podršku odlučivanju. Istraživači su koristili različite okvire rada što im je pomoglo pri razvoju i razumijevanju tih sustava pa se tako povijest DSS-a može podijeliti u pet širokih kategorija: komunikacijske, podatkovne, upravljane dokumentima i sustave podrške temeljene na znanju i modelima. Sustavi su se razvijali kako bi omogućili i olakšali samostalno donošenje objektivnih odluka, dinamičan rad u timovima te bolju organizaciju hijerarhije poduzeća.

Šezdesetih godina su istraživači sustavno proučavali uporabu računalnih kvantitativnih modela kako bi pomogli u odlučivanju i planiranju. Glavna povijesna prekretnica je bilo disertacijsko istraživanje Scott Mortona na Sveučilištu Harvard koje je uključivalo razvoj, implementaciju i testiranje interaktivnog sustava podrške temeljene na modelu. Proučavao je kako računala i analitički modeli mogu pomoći menadžerima pri donošenju ključne odluke kod planiranja poslovanja.

IBM-ovim razvojem računala 360 i ostalih snažnih centralnih sustava omogućio se praktičniji i jeftini razvoj upravljačkih informacijskih sustava (eng. *Management Information System – MIS*) u velikim kompanijama. Raniji sustavi bili su usredotočeni na pružanje strukturnih i periodičkih izvješća, no nisu pružali interaktivnu podršku za pomoć menadžerima u donošenju odluka.

Oko 1970. godine su se u poslovnim časopisima pojavili prvi članci na temu DSS-a, strateškog planiranja i sustava podrške donošenju odluka. Scott Morton i njegovi kolege McCosh i Stephens objavili su članak vezan uz podršku odlučivanja u kojem su tvrdili da je upravljački informacijski sustav prvenstveno fokusiran na strukturirane odluke i predložili da se informacijski potporni sustavi za polu strukturirane i nestrukturirane odluke trebaju nazvati sustavi podrške odlučivanju odnosno DSS.

1974. godine, Gordon Davis, profesor sa Sveučilišta u Minnesoti je objavio utjecajan tekst o upravljačkim informacijskim sustavima. Definirao je MIS kao „integrirani čovjek/stroj sustav za pružanje informacija pri podršci u operacijama, menadžmentu i funkcijama donošenja odluka u organizaciji“.

Početak osamdesetih je razvijena nova kategorija DSS-a, sustav podrške odlučivanja zasnovan na podacima. Krajem osamdesetih je predstavljen koncept i metode kojima se donošenje odluka omogućuje korištenjem sustava podrške temeljenih na činjenicama. To mogu biti knjige, izvještaji ili informacijski sustavi. Zatim se razvio DSS zasnovan na komunikacijama, a 1994. godine su mnoge tvrtke počele s nadogradnjom mrežne infrastrukture zbog razvoja Interneta. Nakon toga se počeo razvijati DSS zasnovan na webu i s razvojem Interneta, razvoj DSS-a je također počeo rasti i njegova se primjena počela puno brže širiti. [1], [2]

2.2. Vrste DSS-a

Postoji nekoliko vrsta DSS-a koje se razlikuju s obzirom na stupanj razvoja, vrijeme u kojem su nastale i jednostavnost primjene.

DSS se dijeli na:

- DSS zasnovan na modelu
- DSS zasnovan na podacima
- DSS zasnovan na komunikacijama
- DSS zasnovan na dokumentima
- DSS zasnovan na znanju
- DSS zasnovan na webu [1], [2]

2.2.1. DSS zasnovan na modelu

DSS zasnovan na modelu naglašava pristup i upravljanje financijskih, optimizacijskih i/ili simulacijskih modela. Jednostavni kvantitativni modeli osiguravaju najstabilniju razinu funkcionalnosti. DSS zasnovan na modelu koristi ograničene podatke (nisu potrebne velike baze podataka za DSS zasnovan na modelu) i parametre dobivene od donositelja odluke kako bi budućim donositeljima odluke pomogao u analizi situacije. Prvi komercijalni alat DSS-a zasnovanog na modelu koristeći financijske i kvantitativne modele je interaktivni sustav financijskog planiranja – IFPS (eng. *Interactive Financial Planning System*). Drugi DSS alat za korištenje specifičnih sustava temeljenih na Analitičkom hijerarhijskom procesu (Saaty) je Expert Choice.

2.2.2. DSS zasnovan na podacima

Većina DSS-a zasnovanog na podacima su namijenjena menadžerima, osoblju i dobavljačima proizvoda ili usluga. Koristi se za ispitivanje baze ili skladišta podataka u traženju određenih odgovora za određene svrhe. DSS zasnovan na podacima je najčešći DSS. Naglašava stratešku i operacijsku poslovnu inteligenciju koja koristi interne i eksterne podatke tvrtke. DSS zasnovan na podacima odlikuje se lakom i brzom pristupu velikom broju pouzdanih, dobro organiziranih i višedimenzijskih podataka. Korisnicima je omogućeno sistematsko pretraživanje i vađenje podataka pohranjenih u računalu, korištenje različitih vrsta prikaza podataka i proračun deskriptivnom statistikom kako bi se sumirali opisani podaci, kreirale linije trenda kretanja podataka i međusobno povezali podaci.

2.2.3. DSS zasnovan na komunikacijama

DSS zasnovan na komunikacijama koristi mrežne i komunikacijske tehnologije kako bi olakšao suradnju i komunikaciju. On može, a i ne mora biti uključen u donošenju odluka. Općenito, grupni programi, oglasne ploče, audio i videokonferencija su primarne tehnologije kod DSS-a zasnovanog na komunikacijama. U posljednjih nekoliko godina, glas i video isporučeni putem interneta uvelike su proširili mogućnosti sinkronog komunikacijskog DSS-a.

2.2.4. DSS zasnovan na dokumentima

DSS zasnovan na dokumentima koristi tehnologiju računalne obrade i pohranjivanja dokumenata kako bi omogućio pronalaženje i analizu tih dokumenata pri donošenju odluke. Velike baze podataka dokumenata mogu uključivati razne oblike dokumenata, no najčešće kategorije su: oralni, pisani i vizualni. Primjeri pisanih dokumenata su pisani izvještaji, katalozi, pisma potrošača ili e-mailovi, u oralne dokumente spadaju prepisani razgovori, a u vizualne, reportaže s vijestima ili televizijske reklame. Pristup velikim bazama podataka koje se sastoje od dokumenata u obliku teksta, slika, zvukova i video zapisa omogućuje web. Tražilice su snažna i korisna pomoć u DSS-u zasnovanom na dokumentima.

2.2.5. DSS zasnovan na znanju

DSS zasnovan na znanju može predložiti ili preporučiti radnje menadžerima pri donošenju odluka. To su čovjek-računalo sustavi s posebnim stručnim znanjem rješavanja problema. Posebna stručna znanja se temelje na znanjima o određenoj domeni, razumijevanju problema unutar te domene i vještinama pri rješavanju tih problema. Slični je koncept „rudarenja podataka“ (eng. *Data mining*), proces pretraživanja velike baze podataka kako bi se ostvarile poveznice između podataka.

Kod tog sustava postoji mogućnost samoučenja, identifikacije povezanosti između podataka i ako je potrebno, izvođenje heurističkih operacija. Ove mogućnosti ga pretvaraju u inteligentni sustav. Alati koji koriste DSS zasnovan na znanju ponekad se nazivaju *Inteligentna potpora odlučivanju* (eng. *Intelligent Decision Support Methods*).

Glavnu ulogu kod ovog sustava ima predstavljanje znanja. Razlika između DSS zasnovanog na modelu i DSS zasnovanog na znanju je u načinu na koji je znanje prezentirano i kako se obrađuje. Dobro definirano znanje uključuje sustave bazirane na pravilima, webu i okvirnim sustavima gdje primjerice sustav baziran na pravilima sadrži pravila u bazi podataka.

2.2.6. DSS zasnovan na webu

DSS zasnovan na webu dostavlja informacije kao podršku odlučivanju ili alate za podršku odlučivanju menadžeru ili poslovnom analitičaru pomoću web preglednika koji ima pristup globalnom internetu ili internetu tvrtke. Web tehnologije mogu se koristiti za provedbu bilo koje kategorije DSS-a. Zasnovan na webu znači da se cijela primjena provodi pomoću web tehnologija.

Prema trendovima i potrebama korisnika, istraživanja DSS-a su se tijekom vremena usmjerila u četiri pravca:

- prema inteligentnim računalnim sustavima,
- prema primjenama modela,
- prema modelu rješavanja problema i
- prema korisničkom sučelju.

Primarni DSS je sadržavao *ad hoc* upite, alate za izvještavanje, optimizacijske i simulacijske modele, OLAP, pretraživanje podataka i njihovu vizualizaciju. S vremenom su DSS aplikacije proširene na kolaborativni DSS, pregovarački DSS, DSS temeljen na znanju i DSS temeljen na webu. Web se danas sve više koristi kao klijent/server platforma u poslovnim organizacijama radi niskih troškova softvera, instalacije i održavanja. Zbog toga rješenja temeljena na webu imaju olakšan pristup, analizu i distribuciju informacija iz baze podataka organizacije, putem OLAP-a. OLAP je tehnologija koja omogućava upravljanje podacima organizacije kroz više dimenzija kao što su proizvod, vrijeme, mjesto itd. Internet je tijekom godina pružio široku mogućnost izgradnje DSS-a koji se može nositi s problemima globalne prirode.

Glavna prednost DSS zasnovanog na webu u odnosu na klasični DSS je korištenje weba koje olakšava unos podataka i analizu istih, poboljšava način donošenja odluka i smanjuje troškove razvoja. Također je i olakšan pristup sustavu i jednostavnije dobivanje korisnih informacija.

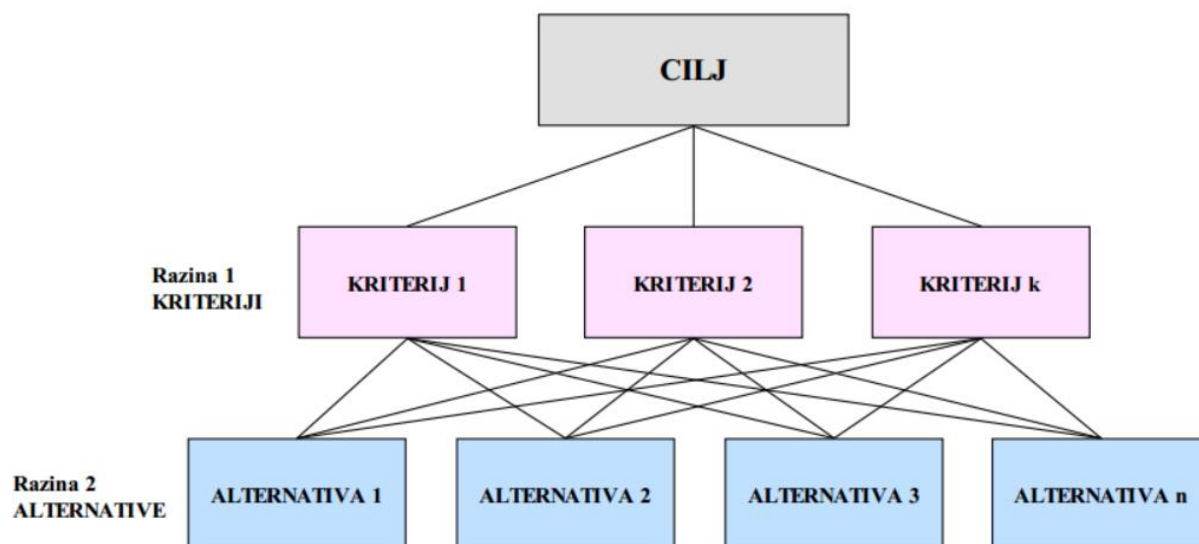
3. AHP METODA

Metoda analitički hijerarhijski proces (AHP, eng. *Analytic Hierarchy Process*) spada u najpoznatije i najviše korištene metode za odlučivanje kada se proces odlučivanja temelji na više atributa koji imaju različitu važnost, a izražavaju se pomoću različitih skala. AHP metoda omogućava fleksibilnost procesa odlučivanja i pomaže menadžerima odnosno donositeljima odluke da donesu kvalitetnu odluku uzevši u obzir kvalitativne i kvantitativne aspekte odluke. AHP metodu je razvio profesor Thomas Saaty početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a ona predstavlja vrlo važnu metodu za odlučivanje i rješavanje kompleksnih problema. Metoda je detaljno proučavana i unapređivana putem mnogih znanstvenih radova te se svake dvije godine održava međunarodna znanstvena konferencija ISAHP (eng. *International Conference on Analytic Hierarchy Process*) posvećena AHP metodi što dovoljno govori o važnosti metode. [3]

3.1. Primjena AHP metode

Primjena AHP metode može se objasniti u četiri osnovna koraka [3]:

1. **Strukturiranje problema odlučivanja i izbor kriterija.** Razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama te alternativama na dnu modela. Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću AHP metode bazira se na njihovom razlaganju u hijerarhijsku strukturu čiji elementi su cilj, kriteriji (podkriteriji) i alternative. Element u zadanoj razini ne mora funkcionirati kao kriterij za sve elemente ispod, no svaki element može predstavljati različiti dio problema što znači da hijerarhija ne mora biti kompletna. Složenost problema raste s brojem kriterija i s brojem alternativa. Slika 3.1. prikazuje hijerarhijski model u dvije razine gdje je na vrhu cilj, na sljedećoj razini su kriteriji i podkriteriji, a na zadnjoj razini se nalaze alternative.



Slika 3.1. Strukturiranje problema – hijerarhijski model [3]

2. **Uspoređivanje elemenata na svakoj razini hijerarhijske strukture.** Drugi važan korak AHP metode je matematički model pomoću kojeg se računaju prioriteta elemenata. Donositelj odluke uspoređuje elemente u paru na istoj razini hijerarhijske strukture koristeći svoje subjektivne procjene koje su proizašle od prethodnog znanja i iskustva. Potrebno je provesti ukupno $n \cdot (n-1) / 2$ usporedbi. Kod uspoređivanja parova koristi se Saatyeva skala relativne važnosti (Tablica 3.1.) koja se sastoji od devet stupnjeva. Neparnim brojevima pridružene su osnovne vrijednosti, a parni opisuju njihove međuvrijednosti. Za preciznije izražavanje razlika mogu se koristiti i decimalne vrijednosti od 1.1 do 1.9.

Tablica 3.1. Saaty-eva skala relativne važnosti [3]

| Intenzitet važnosti | Definicija | Objašnjenje |
|---------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Jednako važno | Dvije aktivnosti jednako doprinose cilju. |
| 3 | Umjereno važnije | Na temelju iskustva i procjena, daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu. |
| 5 | Strogo važnije | Na temelju iskustva i procjena, strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu. |
| 7 | Vrlo stroga, dokazana važnost | Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi. |
| 9 | Ekstremna važnost | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću. |
| 2,4,6,8 | Međuvrijednosti | |
| 1.1 – 1.9 | Decimalne vrijednosti | Pri usporedbi aktivnosti koje su po važnosti blizu jedna drugoj, potrebne su decimalne vrijednosti kako bi se preciznije izrazila razlika u njihovoj važnosti. |

AHP metoda se temelji na četiri aksioma [3]:

- *Aksiom recipročnosti.* Ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je element B $1/n$ puta značajniji od elementa A.
- *Aksiom homogenosti.* Usporedba ima smisla jedino ako su elementi usporedivi – npr. ne može se uspoređivati težina komarca i težina slona.
- *Aksiom zavisnosti.* Dozvoljava se usporedba među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, tj. usporedbe na nižem nivou zavise od elemenata višeg nivoa.
- *Aksiom očekivanja.* Svaka promjerna u strukturi hijerarhije zahtjeva ponovno računanje prioriteta u novoj hijerarhiji.

3. **Određivanje prioriteta kriterija.** Nakon procjene važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema se pomoću matematičkog modela izračunavaju lokalni prioriteti (težine) kriterija, podkriterija i alternativa. Zatim se to spaja u ukupne prioritete alternativa tako da se zbroje njezini lokalni prioriteti ponderirani s težinama

elemenata više razine. Računanje težina kriterija i prioriteta alternativa iz usporedbi elemenata u parovima se provodi u tri koraka: formiranje matrice omjera prioriteta (težina), formiranje normalizirane matrice i izračunavanje težina kriterija i prioriteta alternativa.

4. **Provođenje analize osjetljivosti.** Provjerava se stabilnost dobivenih rezultata tako da se simulira odnos između težina kriterija i prioriteta alternativa.

3.2. Prednosti i nedostaci AHP metode

Kao što je spomenuto AHP metoda je jedna od najviše korištenih metoda odlučivanja upravo zbog brojnih prednosti koje ima, no AHP metoda ima i neke nedostatke odnosno ograničenja. U nastavku su navedene najznačajnije prednosti i nedostaci u primjeni AHP metode.

3.2.1. Prednosti

- AHP metoda hijerarhijski pristupa rješavanju problema i uspješno simulira proces donošenja odluka.
- Uključuje kvalitativne i kvantitativne podatke pri odlučivanju.
- Kod procjenjivanja, programski alat korisniku pravovremeno ukazuje je li procjenjivanje konzistentno što je važno jer su donositelji odluka rijetko kada konzistentni u svom procjenjivanju.
- Uspoređivanje u parovima smanjuje mogućnost greške u procjenjivanju.
- AHP metoda je prilagođena i za grupni rad; poboljšava komunikaciju među članovima grupe i pomaže u strukturiranju diskusije i postizanju konsenzusa. Svaki pojedinac individualno unosi svoju procjenu i mišljenje čime se izbjegava pritisak na pojedinca koji ima drugačije mišljenje.
- Odlučivanjem AHP metodom dolazi se do okvirnog rješenja problema i to brže nego na većini sastanaka te s manjim troškovima procesa donošenja odluka.
- Omogućena je analiza osjetljivosti rezultata.
- Postoje dobre računalne implementacije AHP metode (*Expert Choice*) koje imaju mnoge dodatne mogućnosti.
- Dokazana je u praksi i ima široko područje primjene. [3], [4]

3.2.2. Nedostaci

- Kod složenih struktura ima puno kriterija i podkriterija pa je i potreban velik broj usporedbi u parovima.
- Nedovoljno velika skala, odnosno teško je odabrati broj na skali od jedan do devet.
- Vrlo je teško postići prihvatljiv omjer konzistencije.
- Subjektivnost pri strukturiranju i procjenjivanju što se može izbjeći razmjenama mišljenja odnosno grupnim radom.
- Nisu dozvoljene neusporedive alternative. [3]

4. EXPERT CHOICE

Expert Choice je jedan od najpoznatijih programskih alata za podršku odlučivanju koristeći više kriterija. Utemeljen je početkom osamdesetih godina dvadesetog stoljeća kako bi pomogao organizacijama i tvrtkama diljem svijeta pri donošenju bolje, brže i jasnije odluke. Razvili su ga Thomas Saaty i Ernest Forman, a prodaje ga tvrtka *Expert Choice Inc* koja se bavi razvojem softvera za donošenje odluka. Zasnovan je na AHP procesu te na taj način funkcionira i prikazuje rezultate. Expert Choice je sustav za analizu, sintezu i donošenje složenih odluka te povećava sposobnost donošenja kvalitetnih odluka unatoč kompleksnosti problema. [5]

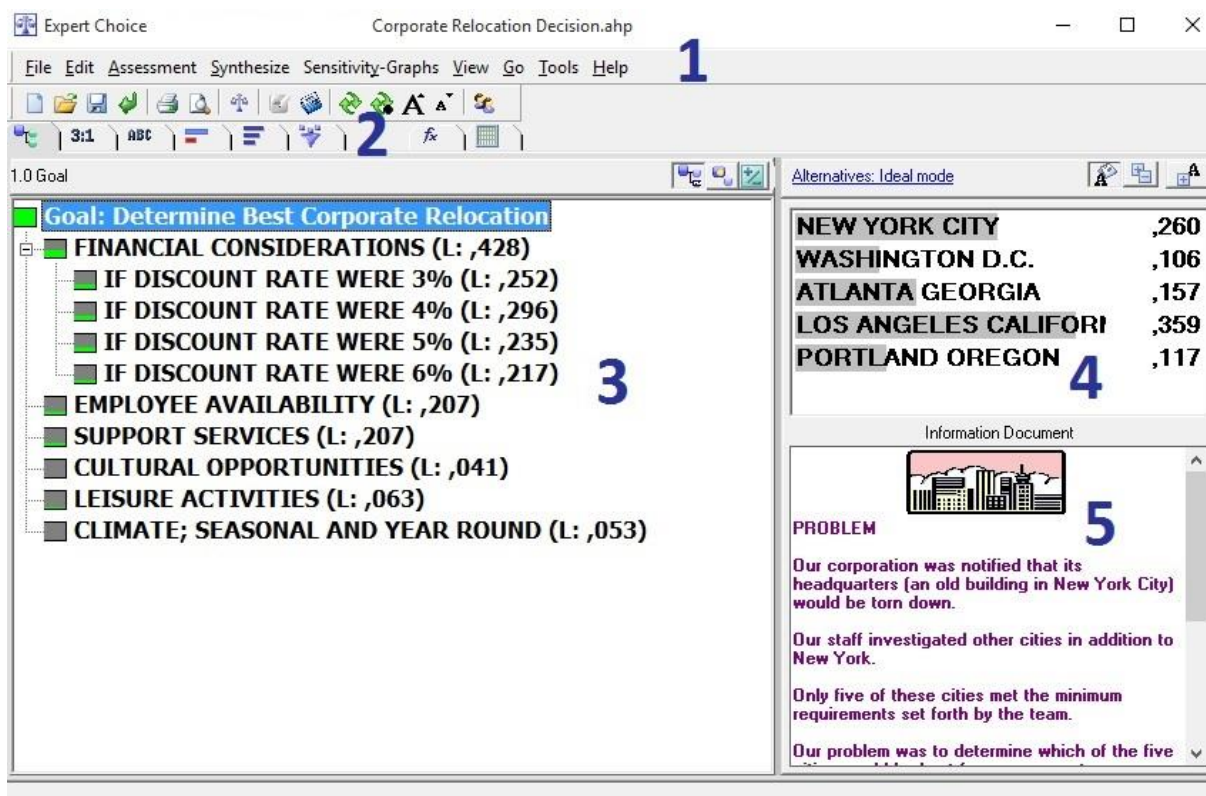
4.1. Značajke programa

Expert Choice je složen računalni program, koji omogućuje dodjeljivanje prioriteta alternativama, razvrstavanje po prioritetima i pouzdano donošenje odluka u postizanju zadanih ciljeva. U cijelosti primjenjuje AHP metodu te podržava sve potrebne korake. Expert Choice omogućuje postavljanje strukture modela problema odlučivanja na više načina i uspoređivanje alternativa i kriterija također na više načina. Izmjenama vrijednosti težina kriterija i alternativa se provodi analiza osjetljivosti. Problem višekriterijalnog odlučivanja rješava efikasno i brzo. Program je omogućuje korisnicima da pokažu znanje i inteligenciju grupa koje sudjeluju u procesima donošenja odluka te omogućava unošenje različitih izvješća. Kod grupnog donošenja odluka Expert Choice olakšava komunikaciju uzimajući u obzir potpuna razmatranja grupe koja su dostupna i razumljiva svim pojedincima grupe. Tako se olakšava postizanje konsenzusa i sprečava usvajanje odluke „jačeg“ člana grupe. S obzirom da su svi sudionici grupe upoznati s problemom, omogućena je lakša podjela njihovih stručnosti s drugima u grupi.

Iako ima mnoge mogućnosti, Expert Choice ne može i ne treba zamijeniti ljudske procjene jer čak i kad postoje jasne informacije o budućnosti, osnova za donošenje dobrih odluka je upravo ljudska procjena o vrijednostima i izborima. Expert Choice možda ne može osigurati „pravi“ odgovor, no može osigurati to da odluka bude donesena potpunim analizama i sintezama značajnih informacija, znanja i iskustva, za razliku od ljudske intuicije. [6]

4.2. Struktura i sučelje programa

Model Expert Choice-a strukturira elemente problema u hijerarhiju koja je slična obiteljskom stablu. Svaki element u hijerarhijskoj strukturi se naziva presjecište pa se tako na najvišoj razini nalazi presjecište cilja, u sredini su kriteriji i podkriteriji i na najnižoj razini se nalaze alternative. [6] Slika 4.1. prikazuje osnovno sučelje Expert Choice-a s primjerom modela koji je napravljen kao pomoć korisnicima.



Slika 4.1. Osnovno sučelje Expert Choice-a [7]

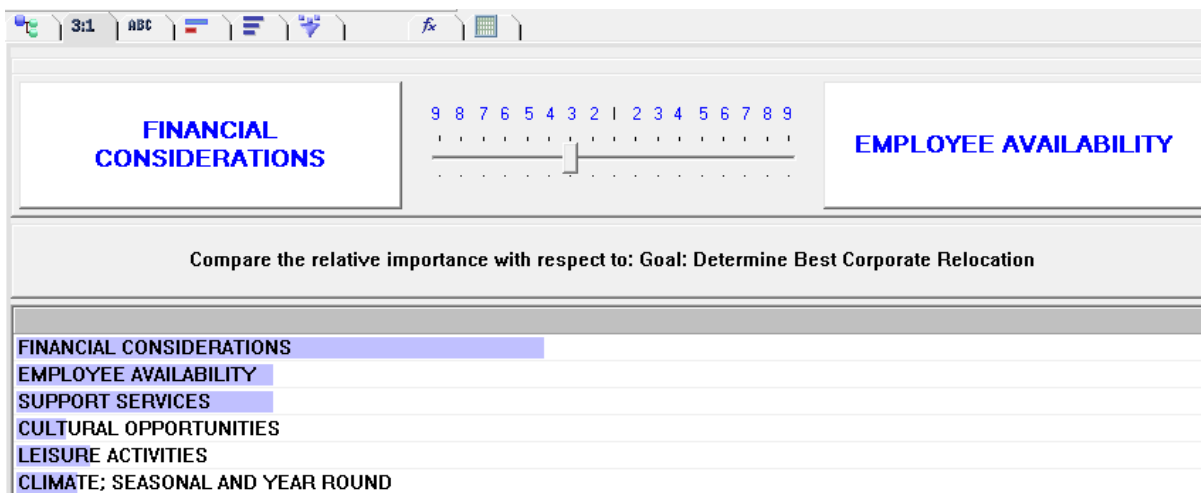
Osnovno sučelje se sastoji od naslovne trake (1), izborne trake (2), hijerarhijske strukture s ciljem koji je u ovom primjeru odabir novog uredskog mjesta, kriterijima i podkriterijima (3). Na desnoj strani se nalazi popis alternativa (4) te opći opis (5) odnosno prostor u kojem se upisuju informacije o problemu.

4.3. Primjena programa

Za rješavanje problema u Expert Choice-u može se ili izgraditi model ili koristiti već postojeći model. Nakon definiranja modela, započinje se s procjenjivanjem vrijednosti i prioriteta za koje se koriste podaci, znanje i iskustvo. Radi se usporedba u parovima s čime se iskazuje važnost i vjerojatnost kriterija i alternative. Neki problemi mogu zahtijevati usporedbu relativnu vjerojatnost nesigurnih događaja pa se te procjene temelje na iskustvu.

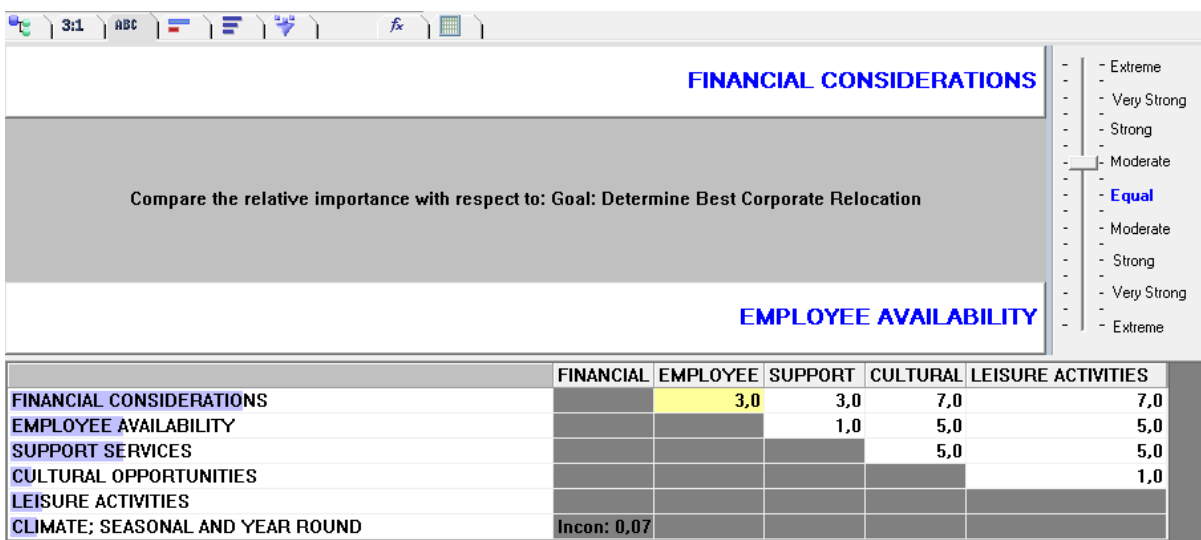
Ostale procjene uglavnom se temelje na čvrstim podacima i analizi, primjerice na raznim izvješćima. [6]

Uspoređivanje kriterija i alternativa se može vršiti na više različitih načina koji se biraju u izbornoj traci. Prvi način je **numeričko uspoređivanje** kod kojeg se značajnost kriterija, podkriterija i alternativa označava brojem. Na skali su brojevi od jedan do devet, gdje broj jedan označava jednaku važnost. Slika 4.2. prikazuje numeričko uspoređivanje.



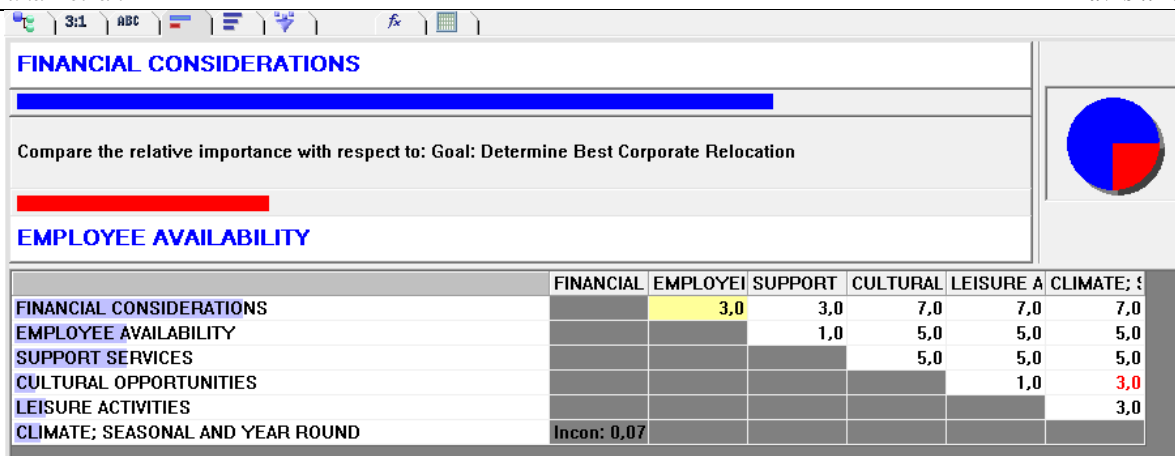
Slika 4.2. Numeričko uspoređivanje [7]

Sljedeći način uspoređivanja je **opisno uspoređivanje** kod kojeg se važnost kriterija, podkriterija i alternativa označava odabirom opisa. Na skali opisa se odabire koliko je koji element važniji od drugoga, gdje *Equal* označava jednaku važnost, a *Extreme* najveću važnost. Slika 4.3. prikazuje opisno uspoređivanje.



Slika 4.3. Opisno uspoređivanje [7]

Posljednji način uspoređivanja je **grafičko uspoređivanje** kod kojeg se važnost kriterija, podkriterija i alternativa određuje grafički. Slika 4.4. prikazuje grafičko uspoređivanje.



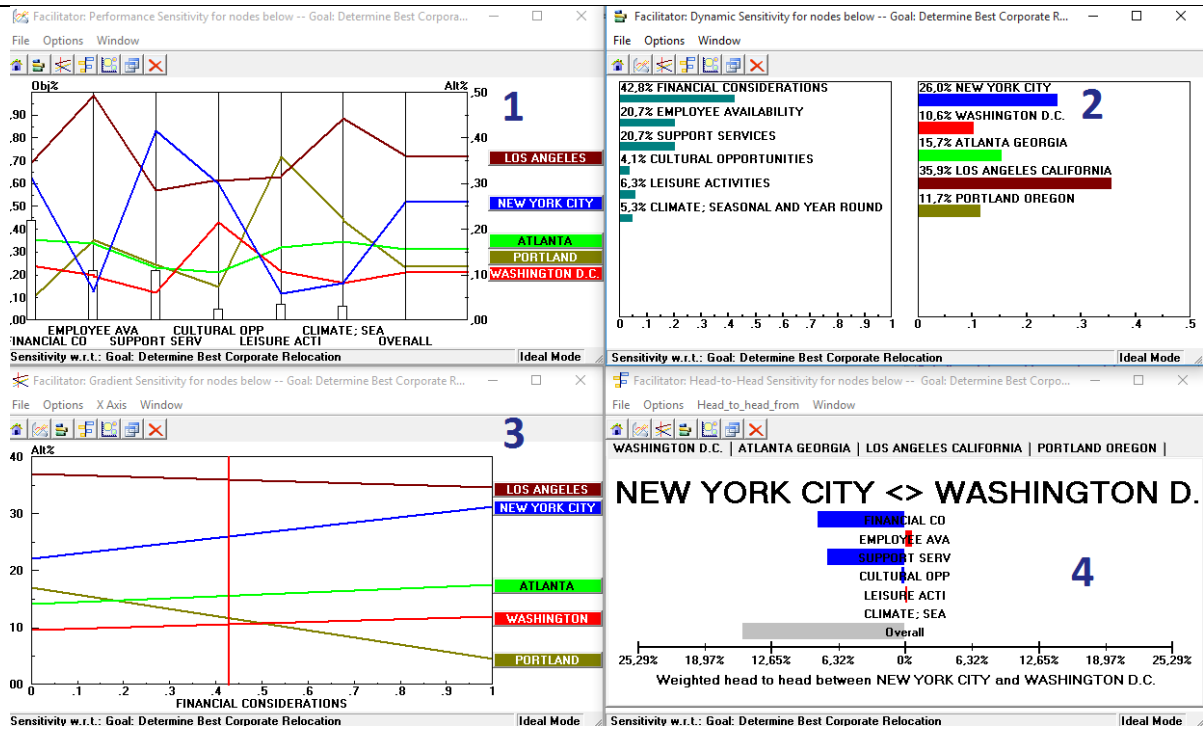
Slika 4.4. Grafičko uspoređivanje [7]

Nakon što se završe sve usporedbe u parovima dolazi se do rezultata koji se prikazuju grafom osjetljivosti. Na grafovima osjetljivosti lako se može provoditi analiza osjetljivosti kojom se utvrđuje kako će promjena važnosti kriterija utjecati na promjenu vrijednosti prioriteta alternativa te se na taj način vrši optimizacija konačnog rješenja postavljenog problema. [6]

Cilj primjera koji je prikazan je bio odabrati koji od pet gradova će biti najbolji za preseljenje poduzeća. Kriteriji koji su pri tome izabrani su financijski, dostupnost radnika, usluge podrške, dostupnost kulturnih i slobodnih aktivnosti te klima. Kao najvažniji kriteriji odabrani su financijski, dostupnost radnika i usluge podrške dok ostali kriteriji nemaju toliku važnost. Usporedbom alternativa odnosno u ovom slučaju gradova pri određenim kriterijima došlo se do rezultata. Odabran je *Los Angeles*, a u sljedećim grafovima se može vidjeti kako je koji kriterij utjecao na odabir konačnog rezultata. Prema kriteriju usluge podrške bolje stoji *New York*, no u ostalim važnijim kriterijima je bolji *Los Angeles* pa je zato i odabran.

Slika 4.5. prikazuje četiri grafa osjetljivosti i to su:

1. *Performance*
2. *Dynamic*
3. *Gradient*
4. *Head to head*



Slika 4.5. Grafovi osjetljivosti [7]

5. BESPILOTNE LETJELICE

Bespilotne letjelice su letjelice koje imaju mogućnost zadržavanja u zraku bez posade i mogućnost da se njima upravlja [8]. Postoji više izraza za bespilotne letjelice kao što su dronovi (eng. *drones*), UAV (eng. *Unmanned Aerial Vehicles*) i RPA (eng. *Remotely Piloted Aircraft*). Bespilotne letjelice su razvijene zahvaljujući vojnoj industriji, a koristile su ih i znanstvene zajednice te manje skupine entuzijastičnih modelara i hobista. Širenje primjene u komercijalni civilni sektor omogućio je nagli razvoj i minijaturizacija tehnologije i dostupnost profesionalnije i kvalitetnije opreme. [9]

5.1. Kratka povijest nastanka

Iako mnogi vjeruju da su bespilotne letjelice nedavni izumi od prije dva ili tri desetljeća, bespilotni let ima bogatu povijest koja seže od davnih vremena, no prvi sustavi koji se mogu definirati kao moderne bespilotne letjelice su razvijeni nedavno. [10] Prvi baloni s ljudskom posadom poletjeli su krajem 18. stoljeća (braća Montgolfier). Temelje tehnologije daljinskog upravljanja koji su vrlo bitni za današnji razvoj bespilotnih letjelica je postavio Nikola Tesla 1917. godine. Povijest leta prati povijest modernog ratovanja. Tijekom svakog rata zaraćene strane su na sve moguće načine pokušavale tehnologijom ostvariti vojnu prednost pa tako i razvojem sustava letjelica za let bez ljudske posade, upravljanih sa zemlje. [9]

Zahvaljujući vojnim i znanstvenim projektima bespilotne letjelice su se proširile i razvile i u civilnom sektoru. To su najprije bile velike i skupe letjelice koje su nosile senzore potrebne za prikupljanje podataka, napravljene za određeno znanstveno istraživanje ili projekt. Prva prava komercijalna primjena bespilotnih letjelica je započela krajem osamdesetih u Japanu korištenjem bespilotnih helikoptera Yamaha R-MAX. Slika 5.1. prikazuje bespilotni helikopter Yamahu R-MAX koji se koristio za precizno zapašivanje rižinih polja, promatranje vulkanske aktivnosti te za prikupljanje informacija pri katastrofama. [9]



Slika 5.1. Yamaha R-MAX VTOL u uporabi [9]

Bespilotne letjelice danas imaju sve veću primjenu u civilnom sektoru i to od profesionalnih snimanja iz zraka za filmsku i fotografsku industriju do primjena u industriji, državnoj upravi, šumarstvu, poljoprivredi. Razvoj bespilotnih letjelica i potrebnih tehnologija nastavlja se ubrzavati gotovo logaritamskom progresijom. [9]

5.2. Podjela bespilotnih letjelica

Bespilotne letjelice mogu se podijeliti prema širokom broju karakteristika izvedba. Aspekti kao što su masa, trajanje leta, domet, brzina i opterećenje krila su značajne karakteristike koje razlikuju različite modele bespilotnih letjelica. Cijena, raspon krila, maksimalna visina, vrsta motora i snaga također su značajke prema kojima se bespilotne letjelice mogu dijeliti. Podjela prema karakteristikama izvedbe je važna za konstruktore, proizvođače i potencijalne kupce stoga u nastavku slijedi takva podjela bespilotnih letjelica. [12]

5.2.1. Podjela prema masi

Raspon masa kod bespilotnih letjelica je jako širok, od minijaturnih bespilotnih letjelica od nekoliko kilograma do masivnih koji teže i preko desetak tona (npr. *Global Hawk*). Tablica 5.1. prikazuje podjelu prema masi. [12]

Tablica 5.1. Podjela bespilotnih letjelica prema masi [12]

| Naziv | Raspon mase |
|--------------------|---------------|
| Super teške | > 2000 kg |
| Teške | 200 – 2000 kg |
| Srednje teške | 50 – 200 kg |
| Lagane | 5 – 50 kg |
| Minijaturne (male) | < 5 kg |

5.2.2. Podjela prema trajanju leta i dometu

Još jedna korisna podjela bespilotnih letjelica je podjela prema trajanju leta i dometu. Ove dvije karakteristike su u ovisnosti i to što je veće trajanje leta to će biti i veći domet. Potrebno je razmotriti trajanje leta i domet jer se prema tome određuje letjelica za određenu namjenu. Prema tome se također određuje koliko često se treba puniti te koliko vremena će zbog toga letjelica biti prizemljena. Postoji podjela na:

- Dugo trajanje leta prema kojoj беспилотна letjelica može ostati u zraku 24 sati i duže. Domet ovih беспилотnih letjelica je velik, od 1500 do 22000 km.
- Srednje trajanje leta prema kojoj letjelica može biti u zraku između 5 i 24 sata, s dometom između 100 i 400 km. To je najčešći tip беспилотnih letjelica.
- Kratko trajanje leta kod koje letjelica može u zraku provesti manje od 5 sati, a domet se kreće do 100 km. [12]

5.2.3. Podjela prema maksimalnoj visini

Maksimalna visina je još jedna karakteristika prema kojoj se беспилотne letjelice mogu dijeliti. Ova podjela je jako korisna za konstruktore odnosno za kupce kako bi mogli odabrati letjelicu koja može doseći potrebnu visinu. Беспилотne letjelice se prema maksimalnoj visini dijele na:

- Mala visina leta, do 1000 m.
- Srednja visina leta, od 1000 do 10000 m. Najveći dio беспилотnih letjelica spada u ovu kategoriju.
- Velika visina leta, visine preko 10000 m. [12]

5.2.4. Podjela prema vrsti motora

Беспилотne letjelice koje se koriste za različite zadatke odnosno namjene koriste i različite motore. Motori koji se koriste kod беспилотnih letjelica su: turbo-ventilatorski (eng. *turbofan*), dvotaktni, klipni, turbo-propelerski (turbo-elisni), propelerski, električni. Kod беспилотnih letjelica se najčešće koriste električni motori. [12]

5.2.5. Podjela prema opterećenju krila

Opterećenje krila također je korisna karakteristika prema kojoj se vrši podjela беспилотnih letjelica. Da bi se izračunalo opterećenje krila, ukupna masa беспилотne letjelice se dijeli s površinom krila. Pa tako postoje:

- Nisko opterećenje krila, do 50 kg/m².
- Srednje opterećenje krila, od 50 do 100 kg/m².
- Visoko opterećenje krila, preko 100 kg/m². [12]

5.3. Odrednice bespilotnih letjelica

Od mnogih odrednica bespilotnih letjelica, izdvojene su neke koje osiguravaju kvalitetu i omogućuju široku primjenu u raznim granama. Opisani su materijali bespilotnih letjelica koji nemaju tako stroge zahtjeve kao materijali zrakoplova s ljudskom posadom, konfiguracija, elektronički sklopovi i senzori bez kojih letjelica ne bi mogla obavljati zadatke. Spomenut je stupanj autonomnosti kojim se određuje samostalnost bespilotne letjelice.

5.3.1. Materijali

Materijali bespilotnih letjelica odabiru se slično kao i materijali letjelica s ljudskom posadom, na temelju procjene i proračuna dinamičkih strukturalnih opterećenja, no kod bespilotnih letjelica strukturalna čvrstoća i izdržljivost igraju manju ulogu nego kod letjelica s ljudskom posadom. [9] Bespilotne letjelice su konstruirane od mnogo različitih materijala, a u posljednje vrijeme sve više se koriste kompozitni materijali¹. [11]

5.3.2. Konfiguracija bespilotnih letjelica

Konfiguracija bespilotnih letjelica se dijeli na:

- Konfiguracija s nepokretnim krilima, odnosno, letjelice s fiksnim krilima. Osnovne značajka te konfiguracije je mogućnost ostvarivanja duljeg leta pri većim brzinama i na većim visinama. Time se omogućuje nadgledanje velikih površina u jednom preletu. Manje letjelice se mogu lansirati iz ruke (letjelice težine do oko 5 kg) ili s manje lansirne rampe (do 25 kg), a veće letjelice s fiksnim krilima (teže od 25 kg) zahtijevaju stazu za polijetanje i slijetanje.
- Konfiguracija s pokretnim krilima kod koje imamo helikoptere koji su klasična konfiguracija te letjelice multirotor² tipa. Upravljanje letjelicom s više rotora postiže se promjenom brzine vrtnje pojedinih motora čime se ostvaruje ubrzavanje, usporavanje, propinjanje, skretanje i valjanje letjelice.

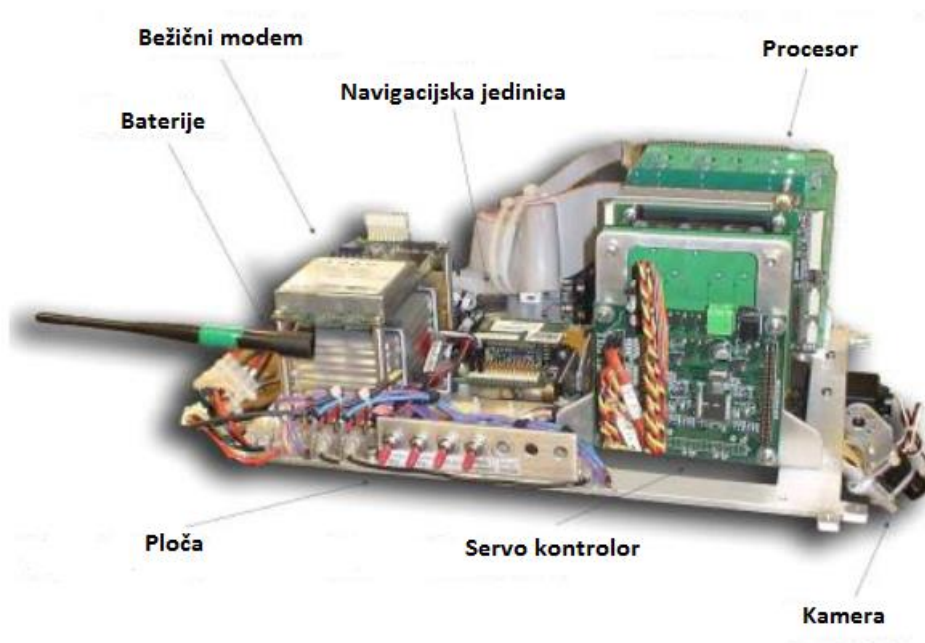
¹ Kompozitni materijali su tvorevine dobivene umjetnim spajanjem dvaju ili više materijala (komponenata) sa svrhom postizanja specifičnih karakteristika i svojstva kakva ne posjeduje niti jedan materijal sam za sebe. Imaju nekoliko prednosti koje im daju univerzalnu ulogu u izradi bespilotnih letjelica. Najraširenija konstrukcijska primjena kompozita u zrakoplovstvu su kompoziti s polimernom matricom koji imaju nisku gustoću, visoku specifičnu čvrstoću te niz drugih povoljnih svojstava. Korištenjem tih kompozita u izradi zrakoplovne konstrukcije može se smanjiti težina zrakoplova i time ostvariti povećanje korisne nosivosti ili smanjiti potrošnja goriva (energije). [13]

² Letjelica s više rotora.

- Hibrдна konfiguracija. To su letjelice koje imaju sposobnost vertikalnog polijetanja uz pomoć rotora, a nakon polijetanja lete kao letjelice s fiksnim krilima. Takvom konfiguracijom želi se uz dobre karakteristike letjelice s fiksnim krilima dodati sposobnost vertikalnog polijetanja i slijetanja, čime raste složenost i cijena letjelice.
- Ostale konfiguracije u koje spadaju letjelice s „mašućim“ krilima (ornikopteri) i letjelice lakše od zraka (baloni, zračni brodovi-dirizabli). [9]

5.3.3. Elektronički sklopovi i senzori

Elektronički sklopovi bespilotnih letjelica se sastoje od ugrađenog letnog računala, komunikacijskog sustava (podatkovna veza) s kojim je letjelica povezana sa zemljanom kontrolnom jedinicom, navigacijskim sensorima i sustavima za lansiranje i prizemljivanje letjelice. Kontrolna jedinica, ovisno o složenosti zadatka i vrsti letjelice može biti kompletna zemljana kontrolna stanica ili upravljačka aplikacija koju je moguće pokrenuti preko pametnog telefona. Letno računalo čine ploča, procesor, navigacijska jedinica koja sadrži osnovne navigacijske senzore, baterije, bežični modem za prijenos podataka na upravljačku stanicu i servo kontrolor. Slika 5.2. prikazuje jedno takvo letno računalo. Bespilotne letjelice koje imaju funkciju autopilota imaju dodatno i osnovni navigacijski par GPS (eng. *Global Positioning System*) i INS (eng. *Inertial Navigation System*). Općenito, što je veći stupanj autonomije, više senzora (modularnih ili integriranih) se nadograđuju. [9]



Slika 5.2. Letno računalo male letjelice s pogonskim baterijama [9]

Svi ostali senzori koji su potrebni za obavljanje zadatka za koji je letjelica namijenjena svrstavaju se u korisni teret. Bepilotne letjelice koriste elektro-optičke senzore, radare (optičke, laserske) i senzore čestica koji se koriste pri mjerenjima parametra okoliša. Da bi se iz podataka prikupljenih preko senzora dobila potrebna analiza i rezultati, potrebno ih je obraditi na odgovarajući način. Iz tog razloga se u sustave bespilotnih letjelica uključuje i softver za obradu dobivenih podataka (najčešće je instaliran na zemaljskoj stanici) bez kojeg prikupljeni podaci nemaju smisla. [9]

5.3.4. *Stupanj autonomnosti*

Za uključivanje bespilotnih letjelica u svakodnevni život zaslužna je autonomnost ili drugim riječima samostalnost letjelice. Važno je razlikovati pojmove *automatizirani sustav* i *autonomni sustav*. Automatizirani sustav je sustav koji je programiran da slijedi predefimirani skup pravila čime ponašanje letjelice čini predvidljivim i ponovljivim. Autonoman sustav je sposoban, s obzirom na stanje očitano s vlastitih senzora, odabrati (između određenog broja alternativa) određenu akciju ispravljanja tog stanja bez upravljanja ili kontrole ljudi. Postoji 10 razina autonomije. Što je manja razina autonomije, to je veći posao operatera. Za potpuno upravljane letjelice je potreban stalan nadzor te unos parametara i to su zapravo daljinski upravljani sustavi. Najraširenija grupa upravljanja su polu-autonomne bespilotne letjelice koje zahtijevaju ručni unos parametara za određene manevre (polijetanje, slijetanje), ali imaju mogućnost automatskog vođenja leta, neovisnog slijeđenja putanje leta, osnovno izbjegavanje sudara i prepoznavanje terena. Potpuna autonomnost je danas još uvijek nedostižna jer let bez ikakve ljudske intervencije nije moguć. [9]

5.4. **Područja primjene**

Određivanje primjena za bespilotne letjelice je težak zadatak jer postoji toliko mnogo mogućnosti i nema dovoljno sustava u toj grani za razvoj svih tih mogućnosti. Time se ne želi reći da se nikad nije o tome razmišljalo i da se nisu radili sveobuhvatni popisi primjena. Međutim, kad se takvi popisi naprave, ubrzo postanu zastarjeli jer se novi koncepti primjena neprestano kreiraju. Dvije glavne podjele primjena bespilotnih letjelica su civilna i vojna, a među njima je najveća pojedinačna primjena izviđanje i nadzor. Izviđanje i nadzor su dvije primjene koje se često kombiniraju, no bitno se razlikuju. Izviđanje je aktivnost kojom se vizualno ili drugim načinima detekcije dobivaju informacije o tome što se događa u nekom

trenutku u nekom području. Nadzor je sustavno promatranje zraka, površine ili podzemne površine vizualnim, zvučnim, elektronskim, fotografskim ili nekim drugim sredstvima. [11]

Državne službe koriste bespilotne letjelice u svrhama spašavanja, za nadzor i upravljanje prometom, za izviđanje i djelovanje u katastrofama i velikim nesrećama, zadacima spašavanja, nadzor i zaštita mora, nadzor velikih skupova, kopnenih i morskih granica, za pomoć u policijskim akcijama, nadzor šuma i slično. Znanstveno područje koristi bespilotne letjelice za praćenje i prikupljanje meteoroloških podataka i podataka o kvaliteti zraka, vode i ostalih parametara okoliša. Koriste ih također i za proširivanje telekomunikacijske infrastrukture i povezivanje satelitskih i zemaljskih signala. U komercijalnom-profesionalnom području bespilotne letjelice se koriste za nadzor velikih gradilišta, kontrolu građevina, dalekovoda, naftovoda, daljinska istraživanja, transport tereta, u zaštiti sprječavanja požara, u šumarstvu, poljoprivredi, filmskoj i fotografskoj industriji itd. [9]

Primjena bespilotnih letjelica i dalje će se nastaviti razvijati, a to dokazuje i Airbus-ov razvoj zračnog taksija. Bespilotni zrakoplov *CityAirbus* je letjelica koja ima vertikalno polijetanje i slijetanje, a koristi četiri rotor motora te bi mogla prevoziti četiri putnika na kraćim letovima u gustom urbanom području s ciljem povezivanja glavnih prometnih čvorišta. Osmišljeno je da za početak upravlja pilot, a prijelaz na autonomnu letjelicu bit će kad se sve tehnološki provjeri i uspješno realizira. [14]

Kineska tehnološka kompanija EHang Inc. je neki dan (14.02.2018.) predstavila prvu bespilotnu letjelicu na svijetu koja je sposobna prevoziti putnike. Doduše, njihova taksi bespilotna letjelica je jednosjed i može prenijeti jednog putnika mase do 100 kg. Letjelicu je razvijalo 150 inženjera i obavljeno je tisuće sati probnoga leta. No, još uvijek se postavljaju pitanja, neočekivanih prepreka i smetnji, loših vremenskih uvjeta i autonomnosti. [15]



Slika 5.3. Taksij bespilotna letjelica, Ehang 184 [15]

5.5. Najpoznatiji proizvođači

S razvojem bespilotnih letjelica pojavljivalo se sve više proizvođača istih koji žele ostati zapaženi ističući svoje inovacije i prednosti. U nastavku su izdvojena tri najpoznatija proizvođača bespilotnih letjelica sa slikom njihovog najpoznatijeg modela letjelice.

1. Sa sjedištem u Shenzhenu (Kina), **DJI** proizvode izvrsne bespilotne letjelice za široku namjenu. Posebno se ističu sa serijom Phantom kvadrokoptera. Osim bespilotnih letjelica koje koriste i profesionalci i hobisti, DJI razvija i jako dobre uređaje za bespilotne letjelice. Njihov najpoznatiji model je DJI Phantom 3 koji ima niz raznih video mogućnosti. Slika 5.3. prikazuje DJI Phantom 3. [16]



Slika 5.4. DJI Phantom 3 [17]

2. **Parrot**, francuska tvrtka sa sjedištem u Parizu je relativno novi proizvođač bespilotnih letjelica koja se uglavnom bavila proizvodnjom bežičnih uređaja za mobilne telefone i automobile. Njihov model AR Dron 2.0 s integriranim FPV (eng. *First Person View*) sustavom je privukao velik dio tržišta jer se može upravljati pomoću aplikacije na pametnom telefonu. Slika 5.4. prikazuje model AR Dron 2.0. [16]



Slika 5.5. Parrot AR Drone 2.0 [18]

3 Yuneec je svjetski lider u elektroničnom zrakoplovstvu. Sjedište mu je u Kunshanu, Jangsu (Kina), a imaju urede u Sjevernoj Americi, Europi i Aziji. Nude dobro opremljene bespilotne letjelice s mnogo mogućnosti kamera. Slika 5.5. prikazuje njihov najpoznatiji model, Typhoon Q500. [16]



Slika 5.6. Typhoon Q500 [19]

6. BESPILOTNE LETJELICE KAO PREDMET ODLUČIVANJA INVESTIRANJA U PROIZVODNJU

Mogućnosti primjene bespilotnih letjelica su brojne. Stoga su zanimljive za razvoj i investiranje u proizvodnju. Da bi se krenulo u razvoj, odnosno, u stvarni projekt, a kasnije i u proizvodnju, potrebna je detaljna analiza i priprema koja bi uključivala:

- realno istraživanje tržišta (u Hrvatskoj i šire),
- upoznavanje trenutne konkurencije i njihovih tehničkih, organizacijskih i financijskih mogućnosti,
- definiranje izvora financiranja izrade prototipa i usvajanje pojedinačne/maloserijske proizvodnje (EU fondovi, poticajna sredstva RH, poticaji *StartUp* tvrtkama, sredstva banaka),
- formiranje tima različitih profila eksperata (projektiranje konstrukcije letjelice, elektronika, senzori, softver, obrada podataka...),
- traženje najpovoljnijih kooperanata i dobavljača,
- traženje potencijalnih partnera za širenje potencijalnog tržišta.

Cilj je odabrati koju vrstu ili koje dijelove bespilotne letjelice bi se moglo projektirati i proizvoditi u Hrvatskoj. Iako je primjena bespilotnih letjelica široka, razmatrat će se samo letjelice za primjenu u komercijalnom i civilnom sektoru. Ako se i uvedu dodatna ograničenja zbog konkretnosti odabira, i dalje će mogućnosti primjene biti široke. Ograničenja su sljedeća:

- male letjelice (masa je manja od 5 kg),
- kratko trajanje leta (manje od 5 sati kod kojeg se domet kreće do 100 km),
- mala visina leta (do 1000 m),
- bespilotne letjelice na električni pogon.

Bespilotne letjelice s korisnim teretom za snimanje i nadzor ne premašuju masu malih letjelica te ne trebaju letjeti na visinama većim od 1000 m. Za zadatke snimanja je dovoljno kratko trajanje leta dok bi kod zadataka nadziranja ponekad bilo potrebno i duže. Za duža trajanja leta potrebne bi bile baterije većeg kapaciteta koje su ujedno i teže pa bi se ograničenje mase moglo prekoračiti. Bespilotne letjelice koje nisu na električni pogon su većih dimenzija, samim time i većih masa zbog čega se i ovo ograničenje postavilo. U Prilogu I. nalazi se i zakonski okvir bespilotnih letjelica u Hrvatskoj.

Ovaj dio Završnog rada može se smatrati virtualnim projektom jer zbog ograničenog vremena i kompleksnosti područja nije bilo moguće provesti detaljnu analizu i pripremu. U nastavku slijedi prikaz prikupljenih informacija o stanju mogućeg tržišta u Hrvatskoj. Informacije su prikupljene proučavanjem dostupne literature, podataka na webu te iz razgovora s nekim proizvođačima bespilotnih letjelica³.

6.1. Informacije o stanju tržišta u Hrvatskoj

U Hrvatskoj kao i u ostatku svijeta bespilotne letjelice iznimno su popularne. Registrirano je više od 340 tvrtki koje koriste bespilotne letjelice u svom poslu. Neslužbene procjene su da građani i tvrtke raspolažu s više od 6500 bespilotnih letjelica, a taj broj i dalje raste. [20] Ti podaci daju povoda o razmišljanju investiranja u proizvodnju bespilotnih letjelica. Potvrdu o tome daje informacija da u Hrvatskoj postoje tri tvrtke koje se bave proizvodnjom odnosno razvojem bespilotnih letjelica.

Zainteresiranih u Hrvatskoj ima i to su uglavnom geodetske tvrtke, tvrtke koje nude usluge snimanja različitih događaja i objekata te tvrtke poljoprivredne proizvodnje. Kod tih primjena se najčešće podaci obrađuju tek nakon snimanja pa nisu potrebni kompleksni elektronički sklopovi. Bespilotne letjelice s naprednijim elektroničkim sklopovima mogle bi se koristiti za nadzor prometa, prikupljanje podataka o parametrima zraka, nadzor požarišta, velikih poplava i ostalih elementarnih nepogoda.

S obzirom da pojedina grana primjene bespilotnih letjelica ne treba velik broj bespilotnih letjelica isplativa je jedino pojedinačna ili maloserijska proizvodnja. Pojedinačna i maloserijska proizvodnja su skuplje što predstavlja problem jer pritisak na tržište vrše i europski i kineski proizvođači bespilotnih letjelica. Što se tiče cijene cjelokupne bespilotne letjelice, konkurentniji bi bili europski i kineski proizvođači. Iz toga razloga se ne isplati proizvoditi cijelu letjelicu, već neke dijelove kojima se cjenovno može konkurirati stranim proizvođačima. Detaljnom analizom i ispitivanjem tržišta moglo bi se otkriti koje dijelove bi se isplatilo proizvoditi, a koje uvoziti.

³ Marko Marković iz tvrtke Tarsier Drones, Luka Kapeter iz tvrtke Kapetair.

6.2. Cijene dijelova bespilotnih letjelica

Cijene bespilotnih letjelica za komercijalne i civilne svrhe se kreću u rasponu od dvije tisuće eura za multirotor letjelice koji se koriste za snimanje, do dvjesto tisuća eura za bespilotne letjelice s fiksnim krilima koje se koriste za dugotrajno snimanje iz zraka. Najskuplji dio bespilotnih letjelica općenito je propulzijski sustav⁴, a nakon njega sustav autopilota. Što se tiče tijela letjelica, kod letjelica s fiksnim krilima to je najskuplji dio, a kod multirotor letjelica je to relativno jeftino u odnosu na ukupnu cijenu jer je sama konstrukcija relativno jednostavna.

⁴ Pogonski sustav zrakoplova kojim se razvija potisna ili vučna sila. Sastoji se od motora koji je izvor snage, uređaja koji tu snagu pretvara u potisak te pripadnih uređaja i opreme. [21]

7. ODABIR VRSTE BESPILOTNE LETJELICE

Odabir vrste bespilotne letjelice najvažnija je faza provedbe projekta. Nakon pojednostavljenog ispitivanja mogućeg tržišta došlo se do kriterija koji su važni u primjeni bespilotnih letjelica. Cilj ove faze je odabrati vrstu bespilotne komercijalne letjelice koja bi većim dijelom zadovoljavala kriterije. Primjenom analitičko-hijerarhijskog procesa (AHP) pomoću računalnog programa Expert Choice 11 proveden je proces odabira vrste bespilotne letjelice.

7.1. Kriteriji za odabir vrste bespilotne letjelice

Da bi se dobro odabrala vrsta bespilotne letjelice najprije se moraju dobro odrediti i kriteriji i podkriteriji. Mnogo kriterija kod bespilotnih letjelica su međusobno usko povezani pa se razmatranjem utvrđuje koji će se uzimati u obzir.

7.1.1. Trajanje leta

Trajanje leta je u ovisnosti s dometom i to što je duže trajanje leta, veći je domet. Letjelice s električnim pogonom imaju kraće trajanje leta od letjelica s motorima s unutarnjim izgaranjem. Također, letjelice s rotorima imaju kraće trajanje leta od letjelica s fiksnim krilima. Za primjenu kod snimanja s bespilotnim letjelicama nije potrebno dugo trajanje leta, tako da bi letjelice s trajanjem leta do sat vremena bile dovoljne. Kod nadzora prometa i požarišta te ostalih nepogoda bolje je duže trajanje leta, poslužile bi i letjelice s kraćim trajanjem leta.

Prepreka u dužem trajanju leta kod električnih pogona je ograničenost kapaciteta baterije. Elektronički sklopovi na bespilotnim letjelicama koriste energiju iz baterije što dodatno smanjuje trajanje leta. Znači da što je veća količina opreme, odnosno korisni teret, potrebna je baterija s većim kapacitetom. Naime, daljnjim razvojem baterija nastoji se postići baterija velikog kapaciteta, a manje mase i volumena kako ne bi povećavala masu letjelice.

Tvrtka Plurato iz Hrvatske ponudila je zanimljivo rješenje za dovoljno trajanje leta. Pomoću patentiranog i inovativnog sustava pametne namatalice, njihova letjelica spojena kabelom na izvor napajanja, može ostati u zraku neograničeno dugo. Time bi se prepreka dužeg trajanja leta kod letjelica električnog pogona riješila, ali bi je ograničavala njena fizička povezanost s izvorom napajanja. [9]

7.1.2. Nosivost

Uz veću nosivost bespilotne letjelice omogućuje se nošenje više korisnog tereta, odnosno, letjelica bi mogla ponijeti više složenijih senzora. Nosivost je važan kriterij kod letjelica sa složenijim namjenama i zadaćama. Takve letjelice tada imaju i veću cijenu i složenije su konstrukcije.

7.1.3. Polijetanje

Letjelice s fiksnim krilima polijeću iz ruke operatera ili s manje lansirne rampe ili sa staze za polijetanje i slijetanje. Multirotor letjelice polijeću i slijeću vertikalno s mjesta. S obzirom na namjenu letjelice i mogućnost manevara, određuje se koji način polijetanja je važniji pa se tako i daje prednost određenoj vrsti letjelice.

7.1.4. Složenost konstrukcije

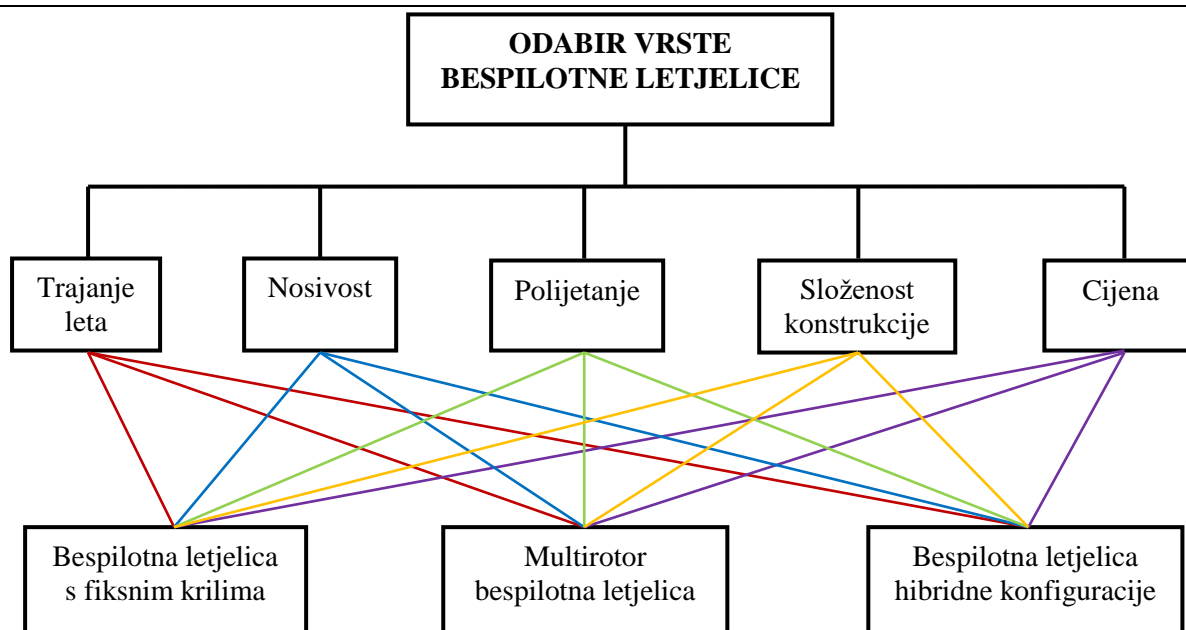
Složenost konstrukcije je čimbenik koji utječe na cijenu bespilotne letjelice i na projektiranje, odnosno, proizvodnju. Uz veću složenost konstrukcije, složenija je i proizvodnja. Prije odabira letjelice složene konstrukcije potrebno je razmotriti može li se tehnološki proizvesti. Isto tako, treba istražiti jesu li kupci spremni na veću cijenu uz koju bi dobili bespilotnu letjelicu većih mogućnosti primjene.

7.1.5. Cijena

Iako je cijena navedena kao posljednji kriterij pri odabiru vrste bespilotne letjelice nije i najmanje važna, upravo naprotiv. Cijena nabave i proizvodnje letjelice za komercijalne svrhe je bitna i kupcima i proizvođačima. Bespilotne letjelice hibridne konfiguracije su skuplje od ostalih zbog složene konstrukcije.

7.2. Hijerarhijska struktura

Slika 7.1. prikazuje hijerarhijsku strukturu problema u tri razine. Cilj je odabir bespilotne letjelice i on se nalazi na vrhu hijerarhijske strukture. Na drugoj razini se nalaze kriteriji, a zatim i alternative.



Slika 7.1. Hijerarhijska struktura

Kao alternative su odabrani bespilotna letjelica s fiksnim krilima, multirotor bespilotna letjelica i bespilotna letjelica hibridne konfiguracije. Mogle su se odabrati i helikopter bespilotne letjelice te letjelice ostale konfiguracije, s „mašućim“ krilima i letjelice lakše od zraka. Letjelice ostale konfiguracije imaju ograničenu primjenu pa nisu odabrane kao jedna od alternativa. Bespilotne letjelice klasične konfiguracije s pokretnim krilima kao što je helikopter su se mogle uzeti u obzir, no zbog loših strana nisu. Helikopteri vertikalno polijeću i mogu lebdjeti što je prednost, ali su opasni, teže je njima upravljati i zahtijevaju posebno održavanje zbog mehaničke složenosti.

Kriteriji mogu biti kvantitativni i kvalitativni (atributivni). Od odabranih kriterija, trajanje leta, nosivost i cijena su kvantitativni, dok su polijetanje i složenost konstrukcije kvalitativni. Trajanje leta, nosivost i cijena se za pojedinu alternativu kreću u širokom rasponu vrijednosti i ne može se odrediti točna kvantitativna vrijednost. Stoga će se ti kriteriji promatrati kao kvalitativni. Iako je općenito teško točno procijeniti važnost jednog kvalitativnog kriterija naspram drugog, u ovom slučaju je to dosta pouzdano.

7.3. Vrednovanje kriterija

Nakon unosa kriterija u računalni program Expert Choice potrebno ih je vrednovati. Prema Saaty-evoj skali (Tablica 3.1.) definira se važnost svakog kriterija u odnosu na drugi. Poredak kriterija prema važnosti je sljedeći:

1. Cijena
2. Trajanje leta
3. Nosivost
4. Složenost konstrukcije
5. Polijetanje.

Priorities with respect to:
Goal: Odabir vrste bespilotne letjelice

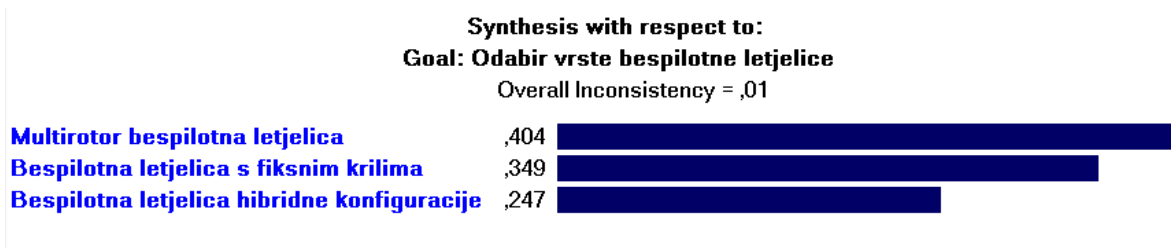


Slika 7.2. Vrednovanje kriterija

Slika 7.2. prikazuje kako to izgleda u Expert Choice-u. Da bi postupak bio konzistentan, indeks konzistentnosti mora biti manji od 10 %. Vrijednost indeksa konzistentnosti je 0,02, odnosno 2% što znači da je postupak usporedbe kriterija dobro proveden.

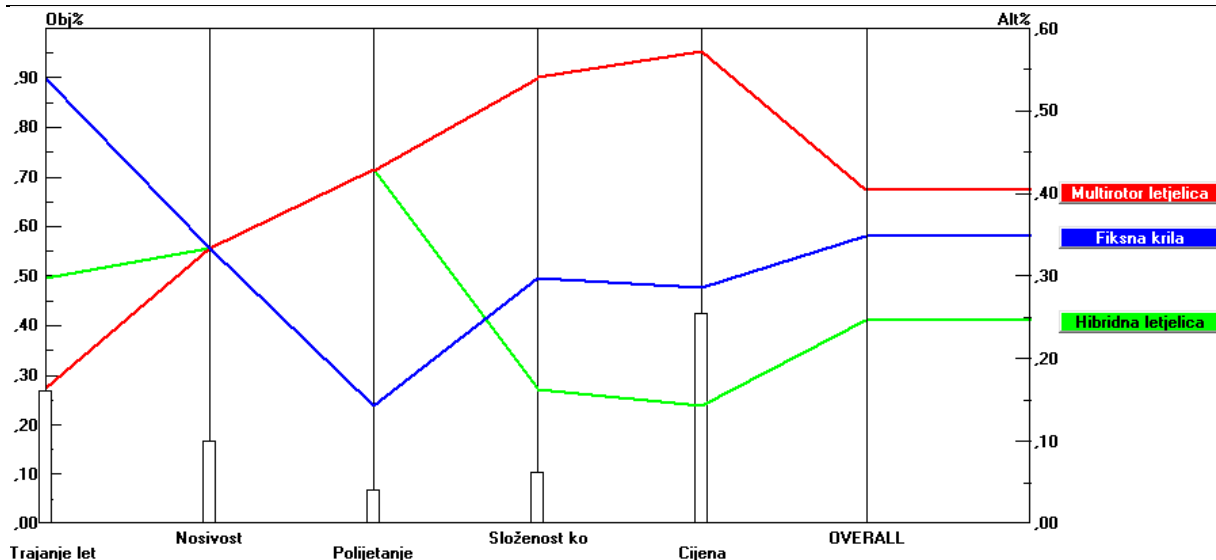
7.4. Rezultati AHP metode u Expert Choice-u

Nakon kriterija, unose se i alternative koje se međusobno uspoređuju s obzirom na kriterije. Slika 7.3. prikazuje rezultate dobivene AHP metodom u Expert Choice-u. Kao najbolja alternativa izabrana je multirotor bespilotna letjelica.



Slika 7.3. Rezultati alternativa i konzistentnost odabira

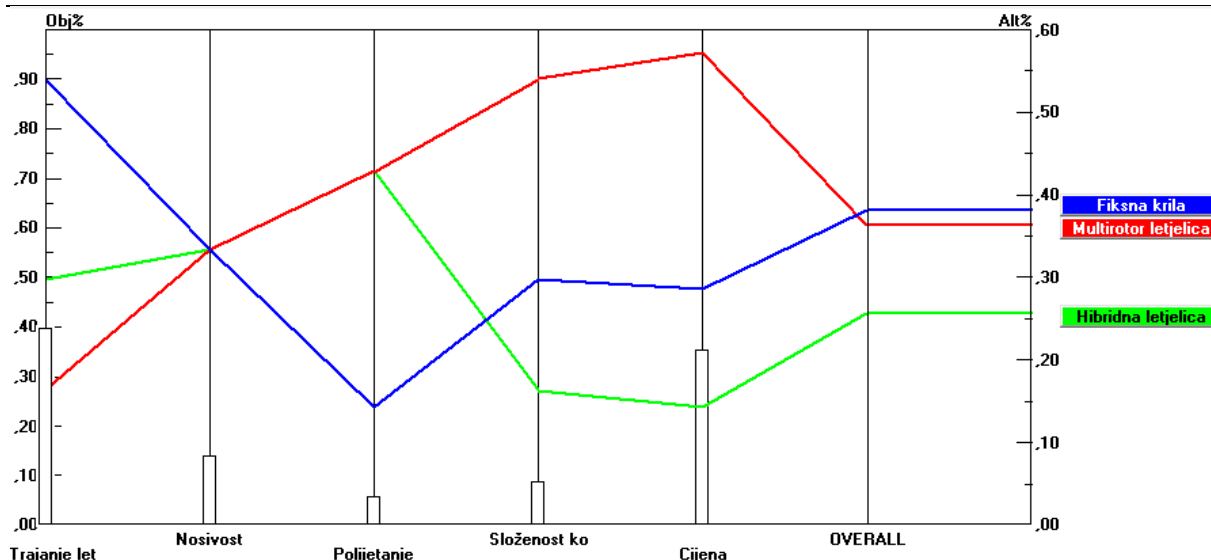
Na slici se vidi da je konzistentnost 1% što znači da je rezultat opravdan i valjan. Prvi izbor je multirotor bespilotna letjelica, zatim je bespilotna letjelica s fiksnim krilima i bespilotna letjelica hibridne konfiguracije. Kako pojedini kriterij utječe na odabir bespilotne letjelice prikazuje Slika 7.4.



Slika 7.4. Analiza rezultata, graf osjetljivosti

Multirotor bespilotna letjelica (multirotor letjelica na slici) je za kriterije cijene, složenosti konstrukcije i polijetanja najbolji izbor. Što se tiče trajanja leta, tu je najbolja bespilotna letjelica s fiksnim krilima (fiksna krila na slici), a ukupno najbolja alternativa je kod toga kriterija najlošija. S ovako vrednovanim kriterijima dobili smo letjelicu čija bi primjena obuhvaćala široko područje. Ako bi se željele projektirati ili proizvoditi bespilotne letjelice onda bi se trebale proizvoditi upravo multirotor bespilotne letjelice zbog velikih mogućnosti primjene. U prilog tome idu niža cijena od ostalih vrsta bespilotnih letjelica, kao i manja složenost konstrukcije.

Ako bi se usmjerili na bespilotne letjelice određene primjene, kao npr. inspekcija cjevovoda ili nadzor usjeva, važnost kriterija bi se promijenio. Potrebno bi bilo duže trajanje leta, a složenost konstrukcije i cijena ne bi imali toliku važnost. Graf osjetljivost koji je na Slika 7.4. ima mogućnost „*what-if*“ analize pa povećanjem važnosti kriterija trajanja leta se može vidjeti hoće li se promijeniti redoslijed alternativa. Slika 7.5. prikazuje graf osjetljivosti s povećanim utjecajem kriterija trajanje leta.



Slika 7.5. Graf osjetljivosti s promijenjenim važnostima kriterija

Promjenom važnosti kriterija i redosljed alternativa se promijenio. Zbog veće važnosti trajanja leta, najbolja alternativa je bespilotna letjelica s fiksnim krilima (fiksna krila). Ovdje se vidi kako vrednovanje kriterija bitno utječe na konačni rezultat. Donositelj odluke ima veliku odgovornost i stoga mora dobro odabrati najvažnije kriterije te ih dobro vrednovati.

Kod stvarnih projekata subjektivnost donositelja odluke bila bi prerizična. U tom se slučaju okuplja grupa ljudi s dobrim poznavanjem razmatranog područja i razmjenom mišljenja grupe se dolazi do odabira kriterija i važnosti istih. Time se otklanja jedna od najvećih nedostataka AHP metode.

8. PROJEKTIRANJE I PROIZVODNJA BESPILOTNIH LETJELICA

Primjenom AHP metode u odabiru vrste bespilotne letjelice određena je najbolja alternativa, multirotor bespilotna letjelica. Ovu vrstu letjelica zbog širokog područja primjene, niže cijene i manje složene konstrukcije u odnosu na druge vrste letjelica bi se moglo proizvoditi. Kod multirotor letjelica je samo tijelo letjelice u odnosu na ukupnu cijenu dosta jeftino. Ostali dijelovi i sustavi su skupi i za njihovu proizvodnju potrebno je zasebno istraživanje tržišta i razvoj novog projekta.

Pojednostavljenim ispitivanjem tržišta otkriveno je da u Hrvatskoj ima zainteresiranih za bespilotne letjelice, no općenito, tržište Hrvatske je malo. Iz toga razloga, niti proizvodnja ne može biti velika. Pojedinačna ili maloserijska proizvodnja je poprilično skupa pa zainteresirani biraju vanjsko tržište. Npr. kineski proizvođači imaju serijsku proizvodnju čime su konkurentniji na tržištu.

Tijelo multirotor bespilotne letjelice najčešće se proizvodi od kompozitnih materijala. Cijena samo tijela letjelice ovisila bi o cijeni materijala, rada i alata. Cijena alata, koji bi ovom slučaju bio kalup, bi za male količine bila jako velika. Porastom broja izradaka, cijena kalupa bila bi manja, a time i ukupna cijena tijela bespilotne letjelice. Upravo cijena je glavna prepreka proizvodnji bespilotnih letjelica u Hrvatskoj.

Proizvodnjom bespilotnih letjelica u Hrvatskoj se bave tri tvrtke:

- Hipersfera koja proizvodi zračni balon s vlastitim pogonom. Takva letjelica primjenjivala bi se za nadzor granica, prometnica i sl. [22]
- Kapetair, razvijaju bespilotnu letjelicu fiksnih krila s vertikalnim polijetanjem. Sjedište im je u Hrvatskoj i Danskoj. [23]
- Tarsier drones, karlovačka tvrtka koja je do sada razvila i prodala desetak multirotor bespilotnih letjelica iz vlastite proizvodnje. Tvrtka je trenutno u mirovanju, a to vrijeme koriste za ispitivanje tržišta i pregrupiranje. Problem im stvaraju kineski proizvođači bespilotnih letjelica s niskim cijenama. [24]

Pritisak na tržište multirotor bespilotnih letjelica vrše kineski proizvođači letjelica. Oni nude više raznih modela multirotor letjelica po relativno niskim cijenama. Iz toga proizlazi da bi proizvodnja multirotor bespilotnih letjelica u Hrvatskoj teško „zaživjela“.

Rješenje proizvodnje bespilotnih letjelica moglo bi biti pokretanje StartUp tvrtke koja bi razvijala bespilotnu letjelicu koja bi se isticala posebnim karakteristikama. S obzirom da već

postoji mnogo multirotor bespilotnih letjelica, mogla bi se razviti ili multirotor bespilotna letjelica s karakteristikama koje još nema postojeća letjelica ili bespilotna letjelica neke druge konfiguracije koja bi se također isticala u odnosu na letjelice iz njezine kategorije. Za razvijanje takvih letjelica potrebna je „originalnost“, odnosno nešto drugačije. Nakon upoznavanja konkurencije i njihovih mogućnosti započelo bi se s istraživanjem potreba tržišta u Hrvatskoj i šire. Sa saznanjima o potrebama, okupio bi se tim sa širokim znanjima u tom području i krenulo bi se u razvoj. Definirao bi se izvor financiranja izrade prototipa i usvojila pojedinačna ili maloserijska proizvodnja.

9. ZAKLJUČAK

Bespilotne letjelice stvar su budućnosti. Već sada se masovno koriste, no još uvijek samo sa zadacima snimanja, nadziranja, istraživanja i sl. U budućnosti će se ti zadaci proširiti, postat složeniji i bespilotne letjelice će početi prevoziti putnike. Mnoge velike tvrtke koriste letjelice u svom poslovanju, a i dalje su zainteresirane za nove modele. Iako odluka o projektiranju i proizvodnji bespilotnih letjelica je složena, nije suluda.

Postavlja se pitanje kakvu bespilotnu letjelicu projektirati ili proizvoditi, da bi tehnološki bilo izvedivo, a da bi zaživjela i istaknula se na tržištu. Podloga za odabir vrste bespilotne letjelice je upoznavanje sa značajkama i vrstama bespilotnih letjelica općenito. Zatim se prikupljanjem podataka na mogućem tržištu dolazi se do kriterija koji su ključni pri odluci. Uz više kriterija, do odluke se dolazi primjenom AHP metode koja se može relativno brzo provesti programom Expert Choice. Expert Choice omogućujući dodjeljivanje prioriteta kriterijima i alternativama te pouzdano donosi odluke. Kod odabira vrste bespilotne letjelice važno je dobro odrediti kriterije koji su međusobno ovisni, ali i suprotstavljeni. Financijski kriterij jedan je od važnijih, no za malu cijenu ne dobije se letjelica s velikim mogućnostima. Bilo bi dobro da se pri odabiru i vrednovanju kriterija uključi više ljudi kako bi se izbjegla subjektivnost pojedinca. Nakon donošenja odluke potrebna je nova detaljna analiza kako bi se odlučilo što točno kod bespilotnih letjelica projektirati i proizvoditi, a što kupovati.

Za stvarno odlučivanje u projektiranju i proizvodnji bespilotnih letjelica potrebno je izraditi realni Start Up projekt koji bi uključivao realno istraživanje tržišta, upoznavanje konkurencije, definiranje izvora financiranja i dr. Tada bi se uz dodatne informacije obuhvatili svi potrebni kriteriji pa bi rezultat dobiven primjenom AHP metode bio još bolji.

LITERATURA

- [1] Decision Support System Resources. <http://dssresources.com/> (11.12.2017.)
- [2] Trstenjak, Maja; Završni rad: Podrška odlučivanju pri odabiru alatnih strojeva u investicijskom projektu. FSB. Zagreb, 2015.
- [3] Begičević, Nina; Doktorska disertacija: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja. FOI. Varaždin, 2008.
- [4] Lisjak, Dragutin; Održavanje. Održavanje. FSB. Zagreb, 2014.
- [5] Expert Choice; <http://expertchoice.com/> (03.01.2018.)
- [6] Cerovšek, Katarina; Projekt: Primjena programskog paketa Expert Choice. FSB, Zagreb, 2013.
- [7] Expert Choice 11, programska podrška korisnicima.
- [8] Mladen Kolarek: Беспилотне летјеліце за потребе фотограметріје. Ексцентар, број 12, стр. 70-73, 2010.
- [9] Ivković, Ivona; Završni rad: Odabir vrste беспилотне летјеліце примјеном подршке одлуčivanja. FSB. Zagreb, 2017.
- [10] Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos; Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer, 2015.
- [11] Paul Gerin Fahlstrom, Thomas James Gleason; Introduction to UAV Systems. Fourth Edition, Wiley, 2012.
- [12] Maziar Arjomandi; Classification of Unmanned Vehicles. MECH ENG 3016, Aeronautical Engineering, University of Adelaide, Australia.
- [13] Ćorić Danko, Filetin Tomislav; Materijali u zrakoplovstvu. FSB. Zagreb, 2012.
- [14] TechCrunch. <https://techcrunch.com/10/05/airbus-on-track-to-fly-its-electric-aerial-taxi-in-2018/> (13.01.2018.)
- [15] <http://www.index.hr/vijesti/clanak/kinezi-predstavili-letece-taksije-pogledajte-snimku/1025775.aspx> (15.02.2018.)
- [16] Air Drone Craze. <https://www.airdronecraze.com/drone-manufacturers/> (15.01.2018.)
- [17] DJI. <https://www.dji.com/phantom-3-pro> (15.01.2018.)
- [18] Parrot. <https://www.parrot.com/be/> (15.01.2018.)
- [19] Yuneec. <http://us.yuneec.com/typhoon-4k-overview> (15.01.2018.)

- [20] Poslovni dnevnik. <http://www.poslovni.hr/tehnologija/po-hrvatskoj-leti-6500-dronova-u-biznisu-340-tvrtki-326131> (1.02.2018.)
- [21] Enciklopedija. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=50682> (3.02.2018.)
- [22] Hipersfera. <https://hipersfera.hr> (10.02.2018.)
- [23] Kapetair. <http://kapetair.com> (12.02.2018.)
- [24] Tarsier Drones. <http://tarsierdrones.com> (12.02.2018.)

PRILOZI

- I. Zakonski okviri bespilotnih letjelica u Hrvatskoj
- II. CD-R disc

PRILOG I: Zakonski okviri bespilotnih letjelica u Hrvatskoj

U Hrvatskoj vrijedi Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (u nastavku: Pravilnik) iz Narodnih novina br. 49, od 6. svibnja 2015. Ovim Pravilnikom se propisuju opći, tehnički i operativni uvjeti za sigurnu uporabu bespilotnih zrakoplova, sustava bespilotnih zrakoplova i zrakoplovnih modela te uvjeti kojima moraju udovoljavati osobe koje sudjeluju u upravljanju tim zrakoplovima i sustavima. Odredbe ovog Pravilnika se primjenjuju na sustave bespilotnih zrakoplova, operativne mase bespilotnog zrakoplova do i uključujući 150 kilograma koji se koriste u Republici Hrvatskoj. Odredbe ovoga Pravilnika ne primjenjuju se na sustave bespilotnih zrakoplova kada se koriste za državne aktivnosti (vojne, policijske, sigurnosno-obavještajne, carinske, potrage i spašavanja, gašenja požara, obalne straže i slične aktivnosti ili službe). [9]

U članku 2.11 Pravilnika određena su ograničenja za rukovanje bespilotnim zrakoplovima: zrakoplovom se smije upravljati samo unutar vidnog polja rukovatelja i na udaljenosti ne većoj od 500 m od rukovatelja. Letačke operacije korištenjem sustava FPV (eng. *First Person View*) Hrvatskoj dozvoljene su isključivo uz prisustvo još jedne osobe.

Prema članku 3. Pravilnika, letačke operacije koje izvode bespilotnih zrakoplovi dijele se u kategorije prema operativnoj masi letjelice i klasi područja izvođenja leta (Slika 18.).

Jedno od najvećih zakonskih ograničenja uporabe bespilotne letjelice je dozvola leta isključivo unutar vidnog polja operatera.

Letjelice su tako prema svojoj operativnoj masi klasificirane na sljedeći način:

1. Klasa 5: letjelice do 5 kilograma
2. Klasa 25: letjelice od 5 kilograma do 25 kilograma
3. Klasa 150: letjelice od 25 kilograma do i uključujući 150 kilograma.

| Klasa sustava bespilotnog zrakoplova | Klasa područja izvođenja letenja | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | I Neizgrađeno područje | II Izgrađeno nenaseljeno područje | III Naseljeno područje | IV Gusto naseljeno područje |
| 5 OM < 5kg | A | A | B | C |
| 25 5 ≤ OM < 25kg | A | B | C | D |
| 150 25 ≤ OM ≤ 150kg | B | C | D | D |

Slika 6. Kategorije letačkih operacija za RH [9]

U odnosu na izgrađenost, naseljenost i prisutnost ljudi, područja letenja se dijele na klase (prema članku 4. Pravilnika):

1. Klasa I – Područje u kojem nema izdignutih građevina ili objekata i u kojem nema ljudi, osim rukovatelja i osoblja koje je nužno za letenje.
2. Klasa II – Područje u kojem postoje pomoćni gospodarski objekti ili građevine koje nisu namijenjene za boravak ljudi i u kojem nema ljudi, osim rukovatelja i osoblja koje je nužno za letenje. Dozvoljen je samo povremeni prolazak, bez zadržavanja, ljudi kroz područje (biciklisti, šetači i sl.).
3. Klasa III – Područje u kojem postoje građevine ili objekti primarno namijenjeni za stanovanje, poslovanje ili rekreaciju (stambene zgrade, stambene kuće, škole, uredi, sportski tereni, parkovi i slično).
4. Klasa IV – Područje uskih urbanih zona (središte gradova, naselja i mjesta)

Navedene podjele omogućavaju kategorizaciju letačkih operacija u kategorije A, B, C i D (Slika 18.) i postavljanje zakonskog okvira za letačke operacije bespilotnim letjelicama.

1. Kategorije A i B – operator smije izvoditi letačke operacije ove kategorije ako je prije izvođenja letačkih operacija Agenciji⁵ dostavio Izjavu propisanu Pravilnikom.
2. Kategorija C – operator smije izvoditi letačke operacije ove kategorije ako je izradio operativni priručnik i prije izvođenja letačkih operacija Agenciji dostavio Izjavu propisan Pravilnikom.
3. Kategorija D – za izvođenje letačkih operacija ove kategorije operator mora dobiti odobrenje Agencije. [9]

⁵ Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo.