

Urbana mobilnost u zraku

Divović, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:728746>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

URBANA MOBILNOST U ZRAKU

Rijeka, rujan 2022.

Stjepan Divović

0069081710

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Završni rad

URBANA MOBILNOST U ZRAKU

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vedran Kirinčić

Rijeka, rujan 2022.

Stjepan Divović

0069081710

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 10. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Osnove elektrotehnike II**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Stjepan Divović (0069081710)**
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Urbana mobilnost u zraku / Urban air mobility**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati pregled tehnologije i koncepte korištene u sustavima za urbanu mobilnost u zraku. Pritom je potrebno detaljno opisati princip rada i osnovne komponente. Prikazati primjere dostupnih tehnologija na tržištu i njihovih značajki. Dati primjere inovativnih rješenja, objasniti njihove prednosti i nedostatke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

Doc. dr. sc. Vedran Kirinčić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Prof. dr. sc. Viktor Sučić

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike

IZJAVA

Sukladno članku 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku preddiplomskih sveučilišnih studija/stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci od 1. veljače 2020., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku preuzetom dana 15. ožujka 2021. godine.

Rijeka, rujan 2022.



Stjepan Divović

Zahvala

Prvenstveno se želim zahvaliti svom profesoru i mentoru izv.prof.dr.sc Vedru Kirinčiću na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim diskusijama tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem gospodinu Goranu Ratkajcu koji mi je nesebično pomagao pri pronalaženju materijala. Također mu se zahvaljujem na trudu i vremenu koje je uložio kako bi me uveo u svijet zrakoplovstva i padobranstva.

Zahvaljujem gospodinu Enircu Eversu koji mi je prenesao svoja saznanja iz zrakoplovne industrije.

Na kraju bih se zahvalio svojoj obitelji na strpljenju i moralnoj podršci, te povjerenju koje su mi ukazali tokom studija.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PRIMJERI KORIŠTENIH TEHNOLOGIJA.....	2
2.1. Pogonska tehnologija	2
2.2. Autonomija.....	2
2.3. Komunikacija/U-space	4
2.3. Navigacija.....	4
2.4. VERTIPORTS - zemljana infrastruktura	5
3. VRSTE UPOTREBE.....	7
3.1. Segmenti leta	7
3.2. Slučaj korištenja unutar grada	8
3.3. Slučaj prijevoza do zračne luke.....	9
3.4. Upotreba UAM za hitne slučajeve	10
3.5. Upotreba letjelica za teretni prijevoz	11
4. TRENUTNI STATUS U INDUSTRIJI I PREDVIĐANJA	13
5. LETJELICE.....	14
5.1. Volocopter.....	15
5.1.1. Volocity.....	15
5.1.2. Voloconnect	16
5.1.3. Volodrone.....	16
5.1.4. Voloport i Voloiq	17
5.2. EHANG.....	17
5.2.1. Ehang 216.....	18
5.3. LILIUM JET	18
6. TRŽIŠTE	21
7. UAM U HRVATSKOJ	23
8. ANALIZA TROŠKOVA	24
8.1. Pregled godišnjih troškova	24
8.2. Primjeri uporabe u Republici Hrvatskoj.....	27
8.2.1. Cijena prijevoza putnika.....	27
8.2.2 Dostava hrane teretnom UAM letjelicom	29
9. ZAKLJUČAK	30
10. LITERATURA.....	32
11. DODACI	33
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	34
SUMMARY AND KEY WORDS	35

1.UVOD

Urbana mobilnost u zraku odnosi se na gradske prometne sustave koji ljude prevoze zrakom. Osnovna uloga ovih sustava je smanjenje prometnih gužvi u gradskim sredinama te upotrebom inovativnih tehnologija u potpunosti umanjiti utjecaj prijevoza na okoliš.

Ovaj način prijevoza predstavlja veliku promjenu i napredak samim time što se on skoro u potpunosti odvaja od svih trenutnih gradskih prijevoznih sredstava. Trenutno ne postoji komercijalna primjena ove vrste prijevoza jer još uvijek traje razvoj koncepata i same tehnologije koja će se koristiti u sustavima za urbanu mobilnost u zraku.

Prijevozna sredstva koja se trenutno koriste za prijevoz zrakom su helikopteri i zrakoplovi koji se koriste za komercijalni prijevoz već više od sto godina. Vrlo visoki troškovi održavanja, kao i prostor potreban za izvođenje njihovih operacija, čine ih nepraktičnim za upotrebu u gradskom zračnom prostoru.

U ovom radu, koristeći dosadašnja istraživanja i koncepte, dan je kompletan pregled osnovnih komponenti te njihov način rada. Prikazane su i trenutno dostupne tehnologije te njihova primjena na trenutnom tržištu i primjeri inovativnih rješenja te njihove prednosti i nedostaci.

Također su predstavljeni neki od modela letjelica u završnim fazama razvoja te su prikazane njihove najvažnije karakteristike.

Analizom troškova potrebnih za komercijalizaciju zračnih taksija prikazan je trošak sata leta te je uspoređen s do sada dostupnim opcijama prijevoza uzimajući u obzir cijenu i vrijeme potrebno za specifično putovanje. Praktičnim primjerima iz Republike Hrvatske ukazana je isplativost i korisnost letjelica za urbanu zračnu mobilnost (eng. Urban Air Mobility - UAM) u svakodnevnom životu.

2. PRIMJERI KORIŠTENIH TEHNOLOGIJA

U ovom poglavlju govorit će se o samim tehnologijama koje su korištene u razvoju sustava urbane mobilnosti u zraku, njihovim osnovnim značajkama te načinima primjene tih tehnologija u nekim već postojećim proizvodima na tržištu.

2.1. Pogonska tehnologija

Jedna od osnovnih karakteristika dronova koji se koriste za prijevoz je mogućnost vertikalnog polijetanja i slijetanja (eng. Vertical Take-off and Landing - VTOL). Takav način upravljanja dronovima za prijevoz ljudi je ključan zbog svoje praktičnosti u naseljenim područjima.

U aeronautici, raspodijeljena propulzija je raspored u kojem su propulzivna i povezana strujanja zraka raspoređena po aerodinamičkim površinama zrakoplova. Svrha je poboljšati aerodinamičku, propulzivnu i/ili strukturnu učinkovitost letjelice u odnosu na suvremeni dizajn. Iz tog razloga, letjelica na električni pogon je trenutno najidealnija opcija jer se njenim korištenjem izbjegavaju skupe i teške komponente poput kutije mjenjača, hidraulike i raznih zglobova za prijenos snage. Kod električnih sustava najveće prepreke stvara baterija. Veličina baterije kreće se od manje međuspremničke baterije za hibridni električni pogon do velikog spremnika za potpune električne sustave. Tehnologija baterija ključna je za realizaciju urbane mobilnosti u zraku, ne samo u vezi s omjerom energije i mase, već i u pogledu opasnih nesreća. Budući da oštećena baterija visokih performansi pokazuje sklonost samozapaljenju, potrebno je obratiti posebnu pažnju na zaštitu baterija od požara, zbog čega su električni pogonski sustavi veći izazov od sustava na fosilna goriva. Vrlo velike baterije potpuno električnih sustava zahtijevaju dodatne mjere za sigurnost kod sudara, koje mogu biti vrlo složene. Ublažavanje rizika od požara rezultira oklopom čineći vozilo manje učinkovitim. Razvoj baterija odnosno povećanje odnosa kWh/kg najvažnija je stavka u povećanju dometa letjelica. [2]

2.2. Autonomija

Razina autonomije označava stupanj automatizacije koji se koristi za upravljanje vozilom. Postoji nekoliko mogućih načina za kategorizaciju ove razine autonomije. Za specifični opis UAM-a koristi se NASA-ina ljestvica razvijenosti urbane zračne mobilnosti (eng. Urban Air Mobility

Maturity Level - UML) koja definira šest razina razvijenosti. Uz UML-1 koji opisuje predoperativnu razvijenost, ostalih pet razina razvijenosti automatizacije su: pomoćna automatizacija, sveobuhvatna automatizacija zbog osiguranja sigurnosti, kolaborativni i odgovorni automatizirani sustavi, visoko integrirane automatizirane mreže i popuni automatizirani sustavi.

Pristup koji se trenutno primjenjuje je dekonstruiranje vještina za koje su piloti obučeni da postignu, i prepoznavanje da neke od tih funkcija mogu učinkovitije i pouzdanije izvršavati automatizirani ili autonomni sustavi, dok druge funkcije može biti iznimno teško ili nepraktično automatizirati u svim željenim radnim situacijama. Pilotske vještine upravljanja zrakoplovom i navigacijom razlikuju se od vještina gdje su automatizirani sustavi dokazano superiorni u donošenju odluka do situacija gdje ljudi još uvijek imaju prednost.

Funkcije koje pilot obavlja mogu se podijeliti u devet kategorija zadataka: planiranje i donošenje odluka, upravljanje sustavima, osnovno upravljanje zrakoplovom, polijetanje i slijetanje, terminalne procedure, navigacija, komunikacija, otkrivanje i izbjegavanje te postupci u slučaju nužde. Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (eng. European Union Aviation Safety Agency - EASA) je također predložila da se napravi razlika između tri glavne razine umjetne inteligencije (eng. Artificial Intelligence - AI). Prva razina umjetne inteligencije je pomoć ljudima. Druga razina umjetne inteligencije je suradnja čovjeka i stroja dok se u trećoj razini radi o potpuno autonomnom stroju. Razina 1 umjetne inteligencije (AI) dalje se razlikuje u razinu 1A: ljudska augmentacija i razinu 1B: ljudska kognitivna pomoć u odabiru odluka i radnji. Razina 3 dijeli se na razinu 3A: Sustav temeljen na umjetnoj inteligenciji izvodi odluke i radnje koje čovjek može nadvladati, i razinu 3B: sustav temeljen na umjetnoj inteligenciji izvodi odluke i radnje koje nije moguće nadvladati.

Najjednostavnije rješenje za upravljanje vozilom bilo bi imati pilota u vozilu. Ova razina već može uključivati određeni stupanj automatizacije dok jedna ili više od devet kategorija zadataka mogu biti djelomično automatizirane. Međutim, pilot je veliki čimbenik troškova za kontinuirani rad zračnog prijevoza. Drugi čimbenik je ukupna težina, a budući da pilot nije u avionu, ima mjesta za još jednog klijenta koji plaća ili alternativno postoji značajno smanjenje težine vozila. Postojeće konfiguracije zračnih taksija obično imaju dva do pet sjedala. S jednim od sjedala rezerviranim za pilota, to ostavlja samo jedno do četiri sjedala za kupce koji plaćaju. [2]

2.3. Komunikacija

Komunikacija igra ključnu ulogu u kontroliranom zračnom prostoru kako bi se osigurao siguran let. Piloti moraju razmjenjivati informacije s kontrolorima zračnog prometa, a sustavi za izbjegavanje sudara oslanjaju se na komunikaciju između zrakoplova. Kako bi se integrirali novi korisnici zračnog prostora, poput zračnih taksija i autonomno letećih dronova u urbanim sredinama, postoji potreba za razmjenu informacija sa svim korisnicima zračnog prostora i infrastrukturom. Temeljna zabrinutost je visok rizik od sudara letećih vozila u zraku jer ugrožava ljudske živote u zraku i na zemlji. Oni moraju biti minimalizirani u najvećoj mogućoj mjeri. Kako bi se izbjegli sudari u zraku između letećih vozila u prenapučenom urbanom zračnom prostoru, pouzdana razmjena informacija o položaju i putanji između njih i s kontrolom zračnog prometa održiva je mjera. Međutim, trenutno niti jedan komercijalni komunikacijski sustav nije posebno dizajniran za rješavanje budućih zahtjeva, npr. gustoće zrakoplova, pouzdanosti, cjelovitosti, dometa i učestalosti poruka. Osim toga, urbano okruženje je vrlo zahtjevno za projektiranje komunikacijskog sustava. Sustav mora biti dovoljno učinkovit da se nosi s očekivanom velikom gustoćom zrakoplova budući da su komunikacijski resursi ograničeni i moraju se dijeliti među svim sudionicima, dok istovremeno mora biti otporan na smetnje signala i smetnje koje proizlaze iz specifičnih karakteristika propagacije urbanog komunikacijskog kanala s jakim višesmjernim raspršivanjem. Kao jedno od mogućih rješenja nameće se U-space. [2]

U-space je skup novih usluga i specifičnih postupaka dizajniranih za podršku sigurnom, učinkovitim pristupu zračnom prostoru za veliki broj dronova. Te se usluge oslanjaju na visoku razinu digitalizacije i automatizacije funkcija, bilo da se nalaze u samom dronu ili su dio zemaljskog okruženja. U-space pruža podršku rutinskim operacijama bespilotnih letjelica, kao i jasno i učinkovito sučelje za zrakoplovstvo s ljudskom posadom, agencijama za kontrolu zračnog prostora i vlast. [2]

2.3. Navigacija

Urbana zračna mobilnost zahtijeva pouzdane navigacijske informacije kako bi se sigurno upravljalo sa nekoliko vrsta vozila koja dijele zračni prostor u urbanim sredinama. Pouzdano procijenjena pozicija vozila ključna je za sigurnost kontrole vozila i upravljanja zračnim prometom.

Očekuje se da se UAM navigacijski sustavi temelje na redundantnim sensorima i informacijama kako bi se postigle potrebne razine točnosti, cjelovitosti, dostupnosti i kontinuiteta. Ovo je izazovno zbog nekoliko čimbenika. Prvo, zbog veličine i cijene. UAM vozila su vjerojatno opremljena pristupačnim sensorima koji imaju određeni gubitak performansi u usporedbi s onima vrlo visoke kvalitete. Drugo, za različite slučajeve upotrebe UAM-a i vrste operacija. Precizno navođenje mora biti zajamčeno čak i u izazovnim okolišnim situacijama kao što je slaba vidljivost globalnog navigacijskog satelitskog sustava (GNSS-a) i snažan ekološki višestazni učinak u dubokim urbanim područjima tijekom polijetanja ili slijetanja. Kao rezultat toga, potrebno je osigurati više senzorsko navigacijsko rješenje uključujući GNSS, kinematičke senzore kao što je IMU (Inercijalna mjerna jedinica) i optičke senzore kao što su kamere itd., kako bi se nosilo s novim izazovima. Kako bi se osigurao siguran i nesmetan rad usluge, navigacijski sustav treba osigurati dovoljnu točnost i istovremeno visoku pouzdanost, odnosno cjelovitost isporučenog rezultata pozicioniranja. Unatoč tome, praćenje integriteta navigacijskih elemenata temeljenih na spajanju više senzora još uvijek je otvorena tema. Mogućnost certificiranja rješenja uključujući takve nove tehnologije za sigurnosno kritične primjene kao što je UAM ostaje izazov. [2]

2.4. VERTIPOINTS - zemljana infrastruktura

Za početak rada UAM putničkog prijevoza nužna je namjenska infrastruktura. Vertiportovi, odnosno mjesta za polijetanje i slijetanje zračnih taksija očekuje da će se pojavljivati u različitim veličinama ovisno o očekivanom protoku putnika. U ovom trenutku njihov razvoj proizlazi iz suradnje proizvođača UAM vozila i iskusnih infrastrukturnih tvrtki. Najvećih vertiportova će biti svega nekoliko u gradu, dok se očekuje da će oni manji biti po cijelom gradu zbog što bolje povezanosti i iskoristivosti. [5]

Vertipadovi su najmanji što se tiče veličine tlocrta i obično sadrže samo jedno ili dva područja za polijetanje i slijetanje. Ukrcaj i iskrcaj putnika može se odvijati na istom prostoru. Vertipad nudi troškovno učinkovitu opciju za udaljene lokacije i može se koristiti za uključivanje određenih lokacija u mrežu visoke gustoće. Vertipad je opremljen potrebnom tehničkom infrastrukturom, ali ne nudi nikakve dodatne usluge u vezi s vozilom i putnikom, što svodi rad vertiporta na osnovnu obradu čistog prijevoznog zadatka. [5]

Vertibases i Vertihubs su veliki, i često traženi vertiportovi smješteni na primarnim odredištima kao što su središnje poslovne četvrti, glavna prometna čvorišta ili druge točke interesa. Dizajnirani su za velike količine prometa i nude sustave brzog punjenja. Vertiportovi mogu biti dodatno

opremljeni infrastrukturom koja nudi usluge održavanja, popravka i remonta za flotu zračnih taksija. Naravno, sve vrste vertiporta opremljene su sa svim tehničkim uređajima i opremom koja je potrebna (vremenska prognoza, komunikacija, navigacija itd.) za pružanje i održavanje sigurnog rada. [5]

Veliki gradovi		Srednji gradovi			
Veliki, gust, urbani grad s visokim prihodima, npr. Pariz, Berlin, Madrid, Barcelona		Srednje, manje naseljeno, srednji prihodi, urbani grad, npr. Sevilla, Lisabon, Atena, Riga, Zagreb			
Predgrađe, područje od interesa ili privatna upotreba	3-5	Vertipads 	3-5	Glavne stanice za prijevoz na posao u predgrađu, privatna upotreba	
Mjesta sa velikom koncentracijom putnika, poslovne zone	5-10	Vertibases 	3-7	Glavna poslovna četvrt i trgovački centri	
Glavne zračne luke, gradska središta i glavna prometna čvorišta	2-3	Vertihubs 	1-2	Glavna zračna luka, središte grada i glavno prometno čvorište	
40-60		Ukupan broj mjesta za slijetanje			20-45

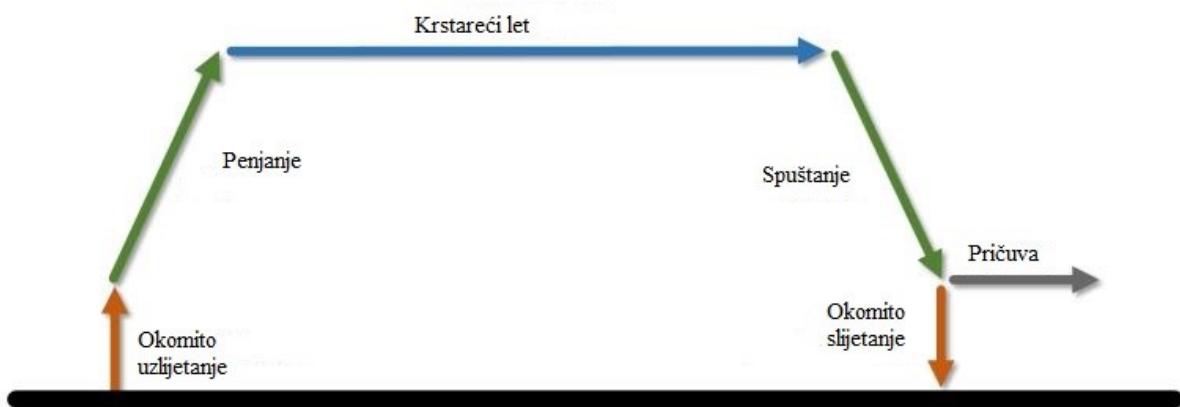
Slika 2.1. Očekivani broj Vertiporta u različito razvijenim gradovima[5]

3. VRSTE UPOTREBE

UAM letjelice imaju širok opseg primjene u svakodnevnom životu i izvanrednim situacijama, te se svaka letjelica razvija za specifično područje primjene.

3.1. Segmenti leta

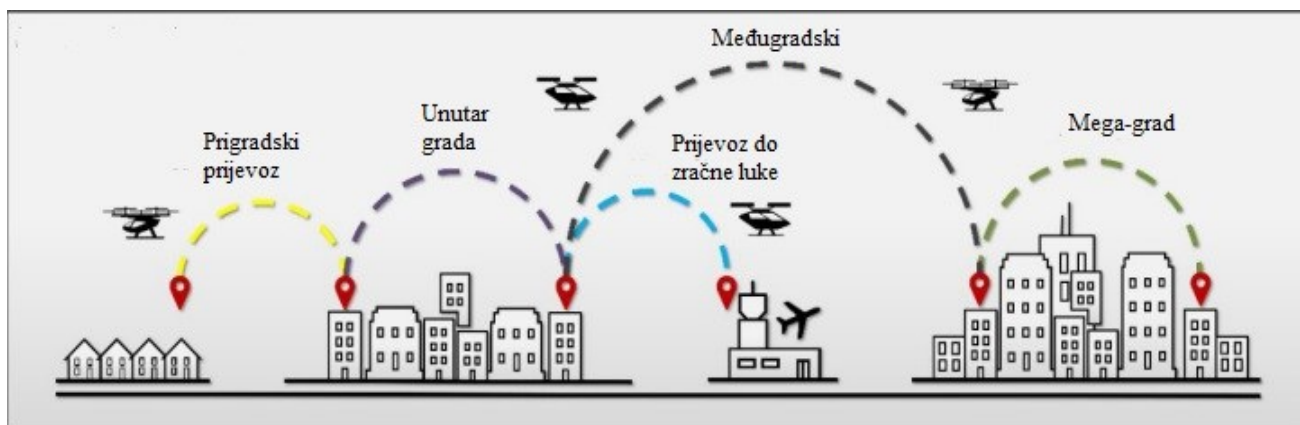
Upotreba zračnog prijevoza je različita, no svaka se sastoji od istih segmenata leta. Za svaku uporabu mora se definirati tijek putovanja kako bi se izračunala potrebna količina energije da bi putovanje bilo uspješno. Na primjer, tipičan jednosmjerni prijevoz može se opisati s pet segmenata; kratko lebdjenje na početku, uspon, faza krstarenja, spuštanja i konačno slijetanje. Dvije faze lebdjenja obuhvaćaju sve zadatke za pokretanje sustava, a to su polijetanje, manevriranje u blizini vertiporta, slijetanje i gašenje. Kompozicija segmenata leta daje dizajneru vozila smjernice za podešavanje performansi vozila u pogledu lebdjenja, penjanja ili krstarenja. Potrebna snaga za lebdjenje i penjanje obično je veća nego za krstareći let.



Slika 3.1. Segmenti leta [2]

Slika 3.1 prikazuje pojednostavljeni prikaz svakog transportnog leta neovisno o udaljenosti. Ovdje su svi jednosmjerni letovi prikazani u pet spomenutih segmenata leta. Svaka upotreba ima rezervni segment na kraju nakon transportnog zadatka pritom je odlučujući čimbenik broj jednosmjernih transportnih letova koje vozilo mora obaviti bez punjenja energijom. Ovo je u interakciji s različitim problemima u smislu opskrbe energijom. Ispitivanjem ukupnog vremena leta, fokusirajući se i na ukupno vrijeme za polijetanje, penjanje i slijetanje za razliku od

krstarenja, slučajevi upotrebe pokazat će različite uvjete letenja najviše razine koje treba optimizirati. Na primjer, projektirana ruta s tri transportna leta i manjom udaljenošću u jednom smjeru (tri puta polijetanje i slijetanje) ima jači utjecaj na performanse lebdjenja nego na krstareći let. U sadašnjim slučajevima upotrebe ukupni broj segmenata po projektiranoj ruti varira od šest do šesnaest. U kontekstu UAM-a raspravlja se o mnogim različitim područjima primjene. Fokus projekta UAM bit će na pet različitih slučajeva uporabe (slika 3.2). Svaki od slučajeva upotrebe ima svoje značajke koje nameću različite zahtjeve vozilima, infrastrukturi, operacijama i upravljanju zračnim prometom pokrivajući širok raspon izazova za cjelokupni UAM sustav i svaku komponentu sustava. Prigradski, unutar gradski, međugradski te prijevoz do zračne luke dizajnirani su tako da prikazuju uvjete u većini europskih država s obzirom na veličinu gradova kao i gustoću i visinu zgrada. Slučaj upotrebe Mega-City naglašava zahtjeve globalnog mega-grada (npr. u Aziji ili Sjevernoj Americi) s nekoliko milijuna stanovnika i većim brojem visokih zgrada. Karakteristike svakog slučaja upotrebe opisane su u nastavku. [2]



Slika 3.2. Potencijalni slučajevi korištenja [2]

3.2. Slučaj korištenja unutar grada

Pojam UAM povezuje se sa zračnom taksi službom, a odnosi se na sustav zračnog prijevoza na zahtjev unutar urbane sredine. UAM zahtjeva gustu mrežu vertiporta (sletišta) kako bi se zadovoljila rasprostranjena potražnja unutar grada. Pod uvjetom da se što više mjesta u gradu poveže sustavom zračnog prometa, od UAM-a se očekuje poboljšanje prometne situacije u užem gradskom području brzom i udobnom mogućnošću prijevoza.

Plan pokriva letove unutar središnjeg područja i izgrađenih urbanih područja europskih gradova. Ti se letovi odvijaju bez posebnog reda letenja te se nude kao usluga na zahtjev. Prema tome, UAM usluga izravno je usmjerena na potražnju.

Berlin, kao najveći njemački grad korišten je za definiranje zadatka prijevoza. Osim velikog broja stanovnika, Berlin ima i najveće urbano područje u Njemačkoj. Maksimalno proširenje je oko 45 kilometara u smjeru istok-zapad. Stoga, kako bi se omogućio unutar gradski zračni taksi prijevoz u Njemačkoj, vozilo mora pokriti domet prijevoza od najmanje 50 kilometara uz rezervu. Zbog kratkih relacija prijevoza unutar UAM mreže u Njemačkoj, relativno niske brzine krstarenja između 80 i 100 km/h smatraju se prikladnima. S nižom potrošnjom energije omogućuju korištenje tišeg multirotora. Pretpostavlja se prijevozni kapacitet vozila do četiri osobe s ručnom prtljagom. [2]

3.3. Slučaj prijevoza do zračne luke

Prijevoz putnika do zračne luke jedan je od glavnih stavki unaprjeđenja zračne povezanosti. Ova vrsta prijevoza uključuje usluge prijevoza između zračne luke i odabranih lokacija, kao što su centar grada i središnje poslovne četvrti, koje će se odvijati prema rasporedu i fiksnim rutama. Prema analizi Volocoptera, velika većina ruta između zračnih luka i gradskih središta u svijetu je ispod 30 kilometara. Budući da su multirotori prikladniji za kratke udaljenosti takve letove treba izvoditi multirotor s konfiguracijom za brzine od 100 do 150 km/h.

Očekuje se da će potražnja za ovom vrstom zračnog taksi prijevoza biti velika stoga postoji mogućnost korištenja i većih letjelica. S obzirom da putnici mogu nositi prtljagu na putu do zračne luke letjelica mora biti projektirana s većom nosivošću kako bi mogla prevoziti četiri putnika i njihovu prtljagu.

Jedan od glavnih izazova za prijevoz do zračne luke je integracija sustava u zračnoj luci. Integracija u sustav upravljanja zračnim prometom, kao i infrastrukturna implementacija od posebne su važnosti. Drugi izazov pojavljuje se u pogledu veličine kao i dizajna kabine vozila zbog količine prtljage i broja putnika.

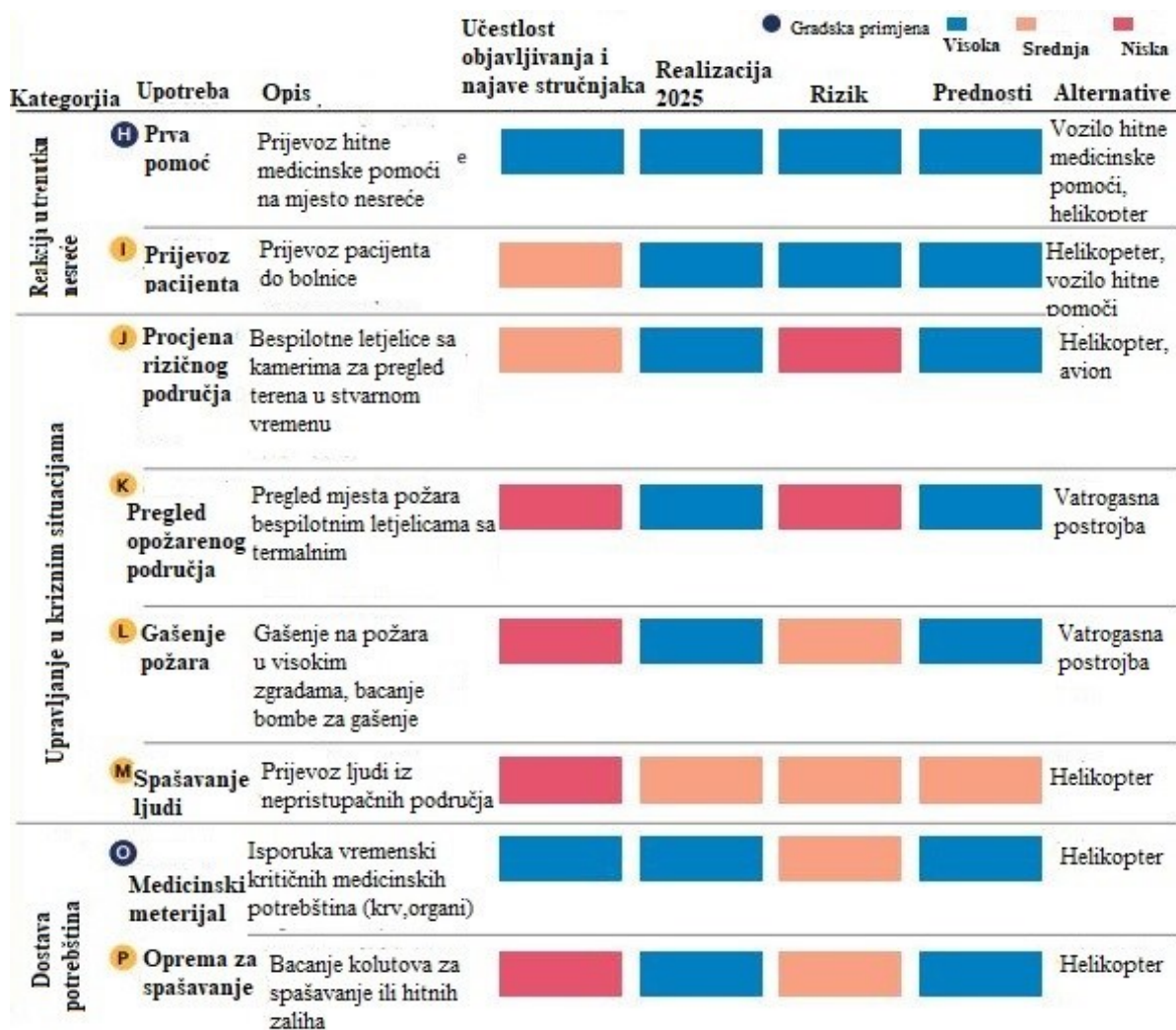
3.4. Upotreba UAM za hitne slučajeve

Letjelice koje služe za uporabu u hitnim slučajevima jedne su od najvažnijih u doprinosu zračne mobilnosti u gradovima. Takve letjelice mogu pokriti aplikacije kao što su prijevoz medicinskog osoblja hitne pomoći na mjesto nesreće, prijevoz pacijenata u bolnicu, pregled i procjenu područja za intervenciju kao i izravno gašenje požara te isporuka medicinskih i hitnih potrepština.

Čini se da razvoj UAM zrakoplova za hitne situacije za sada nije u fokusu europskih proizvođača letjelica. Jedino Volocopter surađuje s ADAC Luftrettung, njemačkim neprofitnim pružateljem medicinskih usluga u zračnom prometu, na korištenju Volocopterove putničke letjelice za letenje liječnika hitne pomoći na mjesta nesreće. Međutim, svaki prijevoz putnika UAM bi u načelu mogao koristiti za prijevoz liječnika, dok bi za prijevoz pacijenata bila potrebna namjenska modifikacija kabine. Stoga zrakoplovne medicinske usluge više ovise o operativnim propisima. [2]

Kompanije poput Airobotics, DJI, IAI i Parrot planiraju koristiti vozila za vizualnu procjenu hitnih lokacija, dok ih EHang planira koristiti za gašenje požara u visokim zgradama. Svi pregledani koncepti bili su daljinski upravljani i imaju električni pogonski sustav koji se napaja iz baterija.

Upotreba letjelica za slučajeve pružanja prve pomoći kao i dostavu lijekova i organa, prepoznata je kao najkorisnija uz najmanje rizika te se očekuje da takva primjena letjelica bude u fokusu kod komercijalnog uvođenja UAM letjelica. Prvih godina upotrebe očekuje se da će letjelice koje prevoze timove za hitnu medicinsku pomoć imati pilota koji upravlja njom. Također, očekuje se da će upotreba letjelica za prijevoz lijekova i organa biti znatno brža i pouzdanija od svih do sad postojeći oblika dostave. [5]



Slika 3.3. Upotreba u hitnim slučajevima[5]

3.5. Upotreba letjelica za teretni prijevoz

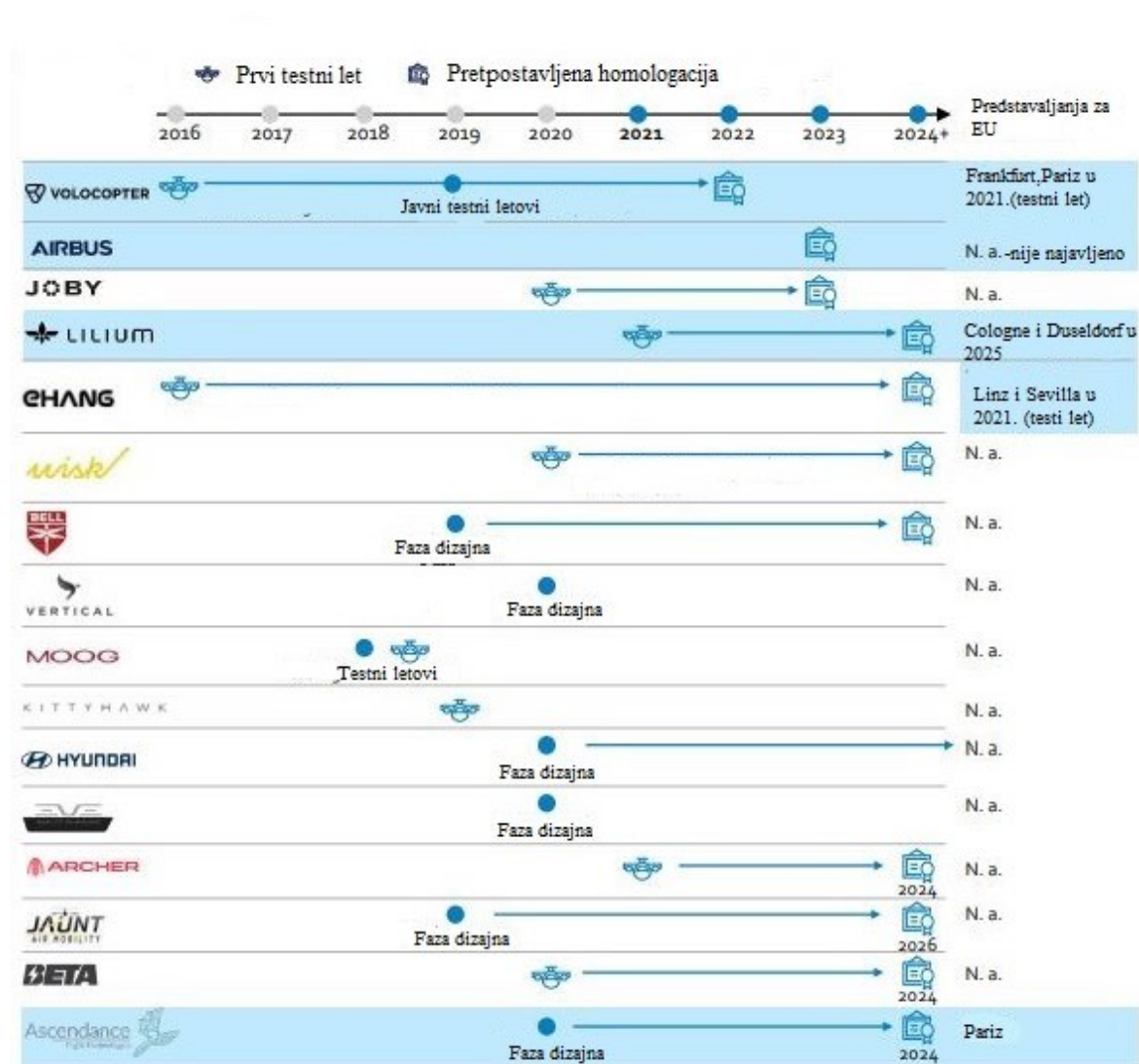
Teretni, odnosno cargo prijevoz pokriva prijevoz robe UAM letjelicom za komercijalne ili industrijske primjene. To može uključivati, na primjer, dostavu paketa do kućnog praga što je u dostavnom lancu najskuplji dio jer zahtjeva najviše vozila, zaposlenika i vremena. Takvi dronovi mogu nositi pakete do 2,3 kilograma, postižu brzinu do 160 kilometara na sat, a vrijeme koje može provesti u dostavi trenutno je 30 minuta. Tvrtka Amazon odradila je već brojne uspješne probne letove. [2]

Automatizacija proizvodnih pogona također je unaprijeđena razvojem dronova koji služe za ubrzavanje proizvodnog procesa. Tako u Audijevoj tvornici u Ingolstadtu popuno autonoman dron pomoću senzora leti kroz tvornicu i dostavlja dijelove na proizvodnu traku.

Teretni dronovi koje razvija tvrtka Elroy Air potpuno su autonomni, a mogu prenositi do 225 kilograma tereta na udaljenosti do 500 kilometara. Time pružaju puno fleksibilniju i bržu dostavu od dosadašnje upotrebe kamiona ili vlakova.

4. TRENUTNI STATUS U INDUSTRIJI I PREDVIĐANJA

UAM tržište je još uvijek u ranoj fazi no pokazuje sve veći zamah. Mnogi start-upovi i tvrtke pojavljuju se u cijelom razvojnem procesu. Trenutno se istražuje više od 200 dizajna i koncepata eVTOL-a, poput Volocoptera, Jobyja, Liliuma, Airbusa ili Kitty Hawka. Neka od ovih zračnih vozila već su u naprednim fazama certifikacije.



Slika 4.1. Faze razvoja putničkih letjelica[5]

5. LETJELICE

Tri su glavne podjele UAM letjelica za vertikalno polijetanje i slijetanje s obzirom na njihovu građu.

1. Vektorski (vektORIZIRANI) potisak

Iste pogonske jedinice prvo osiguravaju uzgon tijekom lebdjenja, a zatim se okreću kako bi stvorile potisak u fazi krstarenja. Tijekom krstarenja, potisak stvaraju krila. Ovakav princip prikladniji je za letove na većim udaljenostima te je kao sustav učinkovitiji, ali i puno složeniji u usporedbi sa ostalim konceptima.

2. Podizanje (uzgon) i krstarenje

Ovaj način ima zasebne pogonske jedinice za faze lebdjenja i krstarenja. Krila stvaraju neophodni pritisak u fazi krstarenja. Krstarenje s uzgomom prikladnije je za letove na kraćim udaljenostima od onih sa vektorskim potiskom.

3. Bez krila (multicopter)

Ovdje su pogonske jedinice fiksirane u jednom položaju te cijelo vrijeme stvaraju uzgon. Ovakav način pogodan je za kraće udaljenosti i općenito je najjednostavniji koncept s obzirom da izbjegava sve nepotrebne pomične dijelove.

	Vektorski potisak Potisnici služe za uzgon i krstarenje	Podizanje + krstarenje Odvojeni potisnici za krstarenje i podizanje	Multirotor - bez krila Multirotor za podizanje krstarenje preko nagiba rotora
Primjer	 Hyundai SA1 eVTOL	 Wisk (Kitty Hawk) Cora	 Volocopter 2X
Prednosti	Optimizirani za lebdjenje i krstarenje Uzgon osiguravaju krila za najveću učinkovitost krstarenja Najveća brzina krstarenja	Korištenje određenih prednosti multi rotora bez aktiviranja cijelog sustava Krila omogućuju veću brzinu u krstarenju	Visoka isplativost i jednostavne kontrole Znatno tiši od helikoptera Lakši i jeftiniji za održavanje

Slika 5.1. UAM tipovi letjelica[5]

5.1. Volocopter

Volocopter je tvrtka sa središtem u njemačkom gradu Bruchsalu, a urede ima u Münchenu i Singapuru. Tvrtka radi na razvoju svih grana urbane gradske mobilnosti (UAM), a njihovi glavni projekti su Volocity, Voloconnect, Volodrone, Voloport i Voloiq. Testiranja su u završnoj fazi te se prvi komercijalni letovi očekuju 2024. godine u Parizu i Singapuru.

5.1.1. Volocity

Najnapredniji je projekt tvrtke Volocopter. Pravi je primjer zračnog taksija te će njegova primjena, zajedno sa Voloportovima, u potpunosti promijeniti gradski prijevoz. Izgrađen je po pravilima Europske Zračne Sigurnosne Agencije (eng. European Union Aviation Safety Agency - EASA) te ima višestruke sigurnosne sustave; ključni elementi za siguran let; rotor, električni motor, baterije i zaslon, imaju najmanje dvije zamjene čime i premašuje tehničke zahtjeve.

Može prevoziti dvije osobe uključujući njihovu ručnu prtljagu. Nosivost mu je 200 kilograma dok sama letjelica ima masu od 700 kilograma.

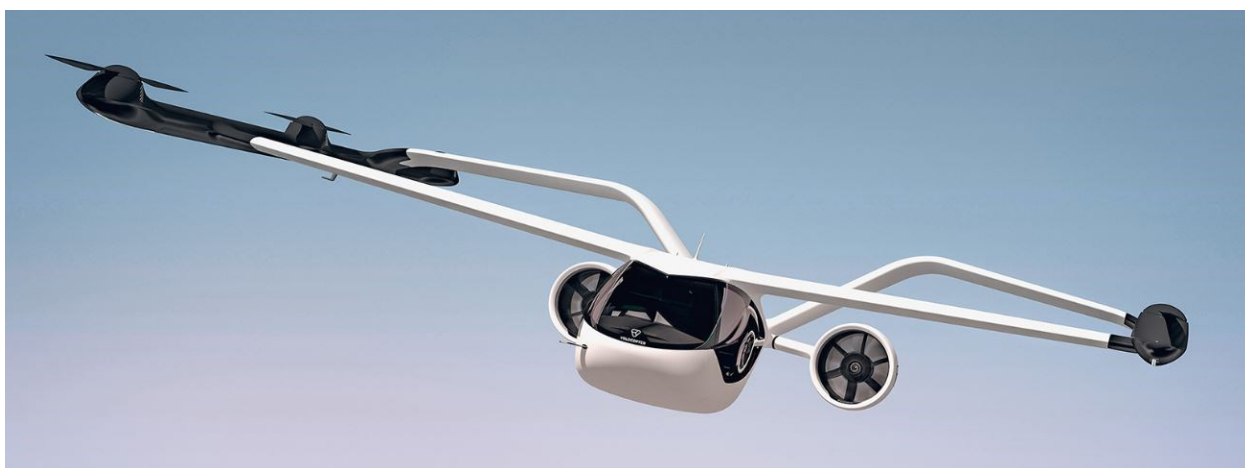
Pogoni ga 18 elektromotora, a svaki od njih pogoni zasebni propeler promjera 2,3 metra. Motori su DC bez četkica, a napajaju se iz devet paketa litij-ionskih baterija. Baterije su višenamjenske, tj. mogu se ponovno puniti, no za njihovu potpunu zamjenu potrebno je i do pet minuta. S jednim punjenjem baterija, letjelica ima domet od 35 kilometara, a maksimalna brzina koju može postići iznosi 110 kilometara na sat. Za njegovu stabilnost i kontrolu u zraku zaduženo je više od 100 mikroprocesora. [11]



Slika 5.2. VOLOCITY letjelica[11]

5.1.2. Voloconnect

Voloconnect je letjelica sa fiksnim krilima, a pokreću ga dva pogonska ventilatora i šest elektromotora i propelera. Radi na principu podizanja i krstarenja, a može prevoziti do četiri putnika. S jednim punjenjem ima domet od 100 kilometara. Maksimalna brzina koju može postići je 250 kilometara na sat dok je brzina u fazi krstarenja 180 kilometara na sat. Glavna namjena Voloconnecta nije upotreba unutar grada, već prijevoz putnika iz jednog grada u drugi kao i prijevoz do aerodroma. [11]



Slika 5.3. VOLOCONNECT[11]

5.1.3. Volodrone

Volodrone je osmišljen kao radni dron koji se može primjenjivati u svakodnevnim zahtjevnim zadacima. Širine je 9,15 metara, a visine 2,15 metara. Ima mogućnost prenošenja paketa veličine euro palete, težine do 600 kilograma na maksimalnoj visinu od 22 metra. U slučaju potrebe prijevoza paketa, ima mogućnost da paket mase do 200 kilograma preveze na 40 kilometara udaljenu lokaciju. Zbog navedenih činjenica očekuje se njegova velika primjena u industriji i gradnji jer je u potpunosti autonoman i električan. [11]



Slika 5.4. VOLODRONE[11]

5.1.4. Voloport i Voloiq

Voloport i Voloiq neophodna su podrška koja omogućava funkcioniranje UAM sustava. Voloport je fiksna stanica koja može biti izgrađena na zemlji, vodi ili platformi. Veličine je otprilike 500 metara kvadratnih što se može usporediti sa dva teniska terena. Ona omogućava ukrcaj i iskrcaj putnika, punjenje baterija te potrebno održavanje koje letjelica zahtjeva. [11]

Voloiq je digitalna podrška cijelom sustavu Volocopterove urbane mobilnosti. Voloiq omogućava trenutne i realne informacije o letjelicama, njihovo rezerviranje te je direktna veza između putnika i letjelice.

5.2. EHANG

Pojam autonomno zračno vozilo (eng. Autonomous Aerial Vehicles-AAV) prvi je upotrijebio EHANG, kineska UAM tvrtka koja je predstavila Ehang 184, prvo AAV vozilo u svijetu, 2016. godine u Las Vegasu. Pokreće ga osam 12 kW električnih motora i daljinski se njime upravlja s računala. Ehang 184 nije zahtijevao pilota, a mogao je prevesti jednog putnika na 20-minutnu vožnju. Njihovi glavni principi pri gradnji letjelica su „sigurno, pametno, kontrolirano, povezano i ekološki prihvatljivo“.

Daljnijim razvojem Ehang, proizvedene su naprednije verzije Ehang 116 te model sa dva sjedala Ehang 216 koji je sigurniji i snažniji zahvaljujući 8 dodatnih motora i propelera.

5.2.1. Ehang 216

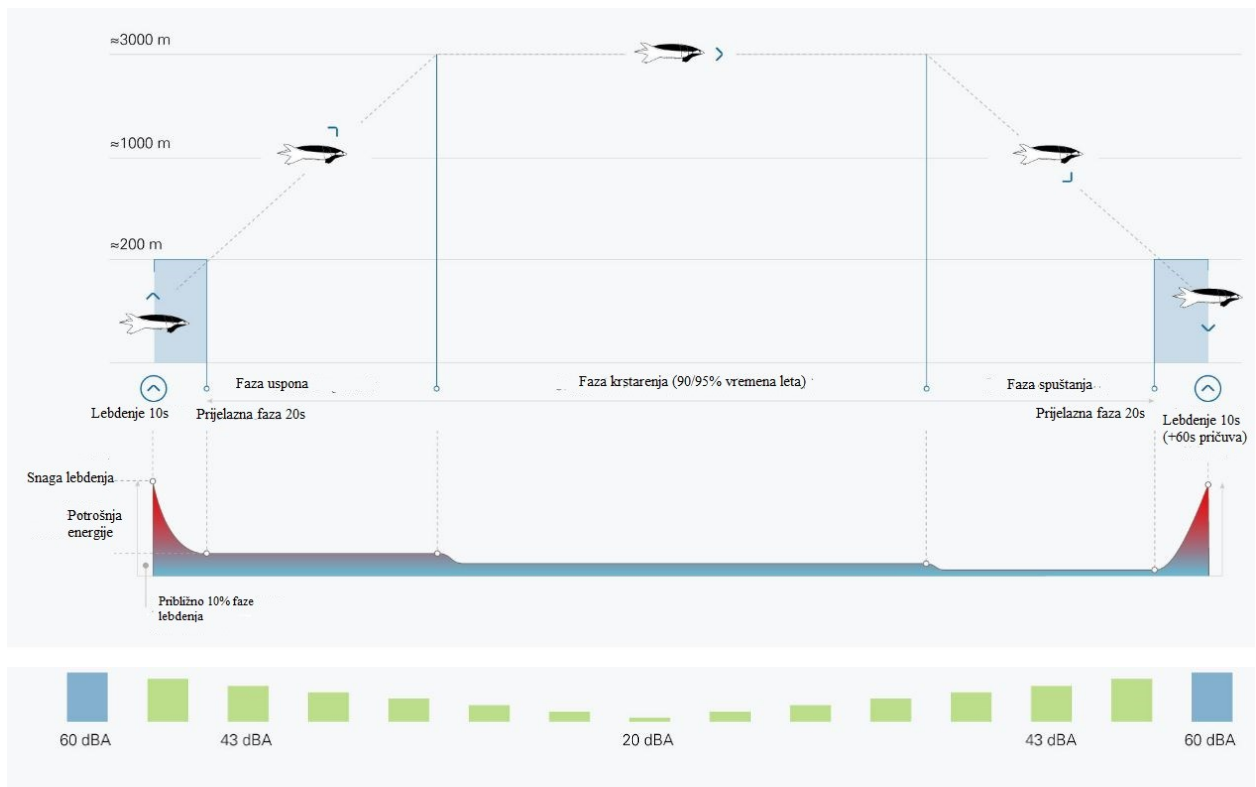
Ehang 216, kao najnaprednija letjelica tvrtke Ehang ima nosivost od 220 kilograma, a s njom se može prijeći udaljenost od 30 kilometara. Maksimalna brzina koju može postići ograničena je na 130 kilometara na sat. Visine je 1,85 metara, a širine 5,63 metara, a kada je parkirana postoji mogućnost sklapanja propelera te u tom slučaju zauzima samo 5 metara kvadratnih. [3]



Slika 5.5. Ehang 216[3]

5.3. LILIUM JET

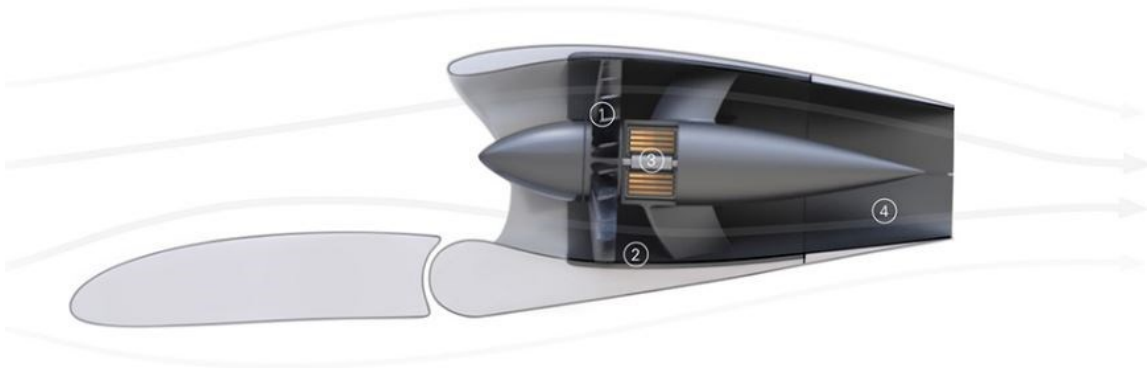
Lilium Jet je eVTOL letjelica koja može prevoziti do sedam putnika. Domet letjelice je 200 kilometara, dok maksimalna brzina iznosi 300 kilometara na sat. Glavna uloga Lilium Jeta u urbanom zračnom transportu biti će međugradsko i regionalno povezivanje.



Slika 5.6. Vizualni prikaz putanje Lilium Jeta [10]

Na slici 5.6, vidljiva je potrošnja energije za vrijeme putovanja Lilium Jeta te količina buke koju proizvodi u tom periodu.

Vlastita tehnologija u jezgri Lilium Jeta je Kanalni električni vektorizirani potisak (eng. Ducted Electric Vectored Thrust - DEVT). Električni mlazni motori integrirani u zakrilca krila pružaju prednosti u nosivosti, aerodinamičkoj učinkovitosti i nižem profilu buke. Također pružaju kontrolu vektora potiska za manevriranje Lilium Jeta kroz svaku fazu leta. Tehnologiju mlaznih motora koristi 95 posto komercijalnih zrakoplova, a Lilium Jet se temelji na istim principima, ali jednostavnijim, dok ostatak proizvođača UAM letjelica svoj pogon temelji na propelerima. [10]



Slika 5.7. Lilium Jet - pogon[10]

Karakteristični dijelovi pogonskog sustava Lilium Jeta označeni su na slici 5.7, pod brojem 1. Kanalni ventilatori koji imaju visoku učinkovitost zbog smanjenja gubitaka na vrhu lopatice, uklonjenog izlaznog vrtloga i vođenog protoka. Broj 2 označava akustične obloge koje pomažu uhvatiti i raspršiti buku prije nego što se proširi u okolinu. Pod brojem 3 označen je električni motor izrađen prema zrakoplovnom standardu, dok varijabilne mlaznice označene brojem 4 osiguravaju vrhunsku učinkovitost motora u krstarećem i lebdećem letu. [10]

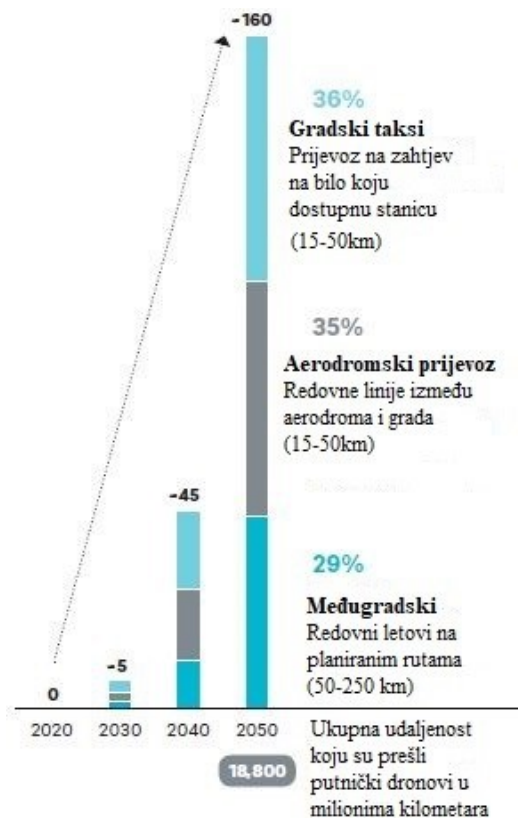
6. TRŽIŠTE

Međunarodno udruženje zračnog prometa (eng. International Air transport Association-IATA) procjenjuje da bi se broj putnika koji putuju zrakoplovom mogao udvostručiti na 8,2 milijarde do 2037. Prema UN-u, očekuje se da će 68 posto stanovništva živjeti u urbanim područjima do 2050. godine. Rastući broj vozila u urbanim područjima rezultiralo je nekoliko problema u prometu i mobilnosti, što zauzvrat potiče potražnju za UAM letjelicama. Oni se uvode na tržište kao letjelice u kojima će se putnički prostor dijeliti sa drugim ljudima, odnosno po principu zračnog taksija. Cijena vožnje eVTOL-om niža je u usporedbi s helikopterima. Uber Elevate procjenjuje da bi potpuno električni zračni taksiji imali kratkoročne operativne troškove od oko 700 USD po satu, najmanje 35% manje od usporedivih jednomotornih helikoptera. S obzirom na takve prednosti, očekuje se porast potražnje za urbanom mobilnošću u zraku u nadolazećim godinama.[7]

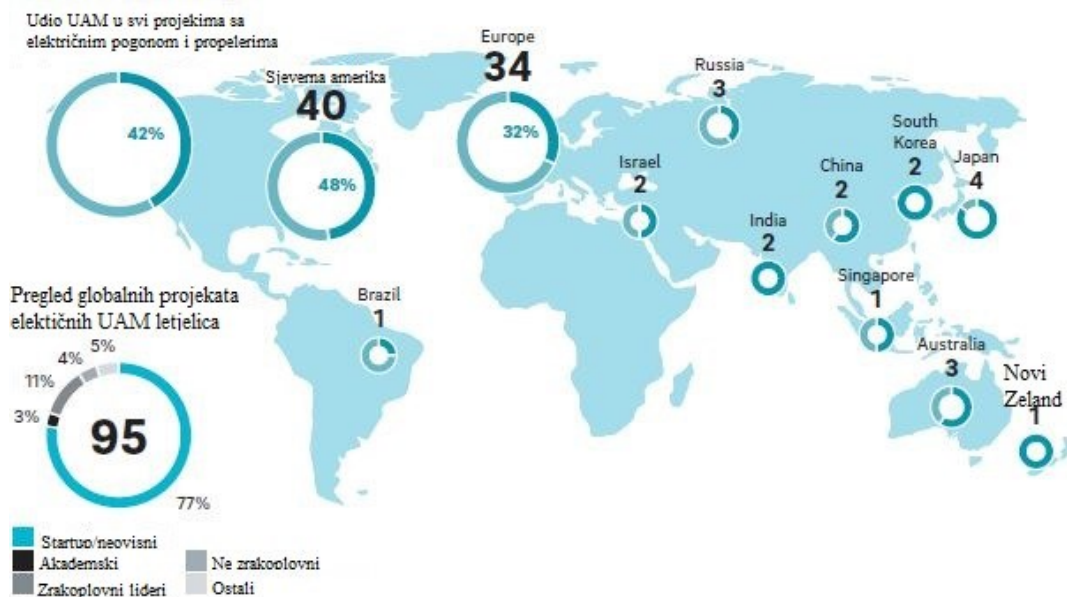
Na lanac opskrbe UAM-a utjecala je epidemija COVID-19. Zbog blokada u centrima za istraživanje i razvoj vozila UAM-a, predviđa se da će širenje COVID-19 u SAD-u i Europi imati štetan učinak. Na primjer, u prosincu 2020. Uber je prodao svoj posao Elevatea Joby aviationu, tvrtki koja je bila na rubu isporuke zrakoplova na zahtjev na nekoliko lokacija do 2023. godine. Mnogi start-upovi u UAM industriji izgubili su posao kao rezultat zatvaranja azijsko-pacifičkog područja. Zbog kašnjenja u razvoju i nedostatka novca, mnoge tvrtke nisu uspjele nastaviti s radom u sektoru. U usporedbi s uvjetima prije COVID-19, čini se da je komercijalizacija UAM-a odgođena za dvije godine.[7]

Na temelju platforme, tržište je segmentirano na zračne taksije, zračni prijevoz i zračni metro, osobna zračna vozila, teretna zračna vozila i dostavu do krajnjeg korisnika. Predviđa se da će segment dostave do zadnjeg korisnika biti vodeći na tržištu tijekom predviđenog razdoblja, zahvaljujući procesu isporuke koji je najkritičniji i njime treba dobro upravljati za brzu otpremu. [9]

Predviđa se da će tržište urbane zračne mobilnosti porasti s 2,6 milijardi USD u 2022. godini, na 28,3 milijarde USD do 2030. godine. CAGR je srednja godišnja stopa rasta ulaganja u određenom vremenskom razdoblju dužem od jedne godine. Predstavlja jedan od najpreciznijih načina izračuna i određivanja povrata za pojedinačnu imovinu, investicijske portfelje i sve što može rasti ili padati u vrijednosti tijekom vremena. Za UAM se očekuje da će iznositi 34,3 posto od 2022. do 2030. godine. Broj UAM projekata nastavlja rasti, no on ovisi o strogim propisima država u kojima se primjenjuje te kako će tržište, odnosno krajnji korisnici prihvatiti taj oblik prijevoza i usluga. [7]



Slika 6.1. Grafički prikaz porasta broja UAM letjelica[9]



Slika 6.2. Karta svijeta sa prikazanim UAM projektima[9]

7. UAM U HRVATSKOJ

Urbana zračna mobilnost u Hrvatskoj trenutno postoji samo kao ideja bez konkretnih projekata i planova u proizvodnji letjelica. Stoga, najveća prilika za gospodarstvo RH, kako bi bili dio ovog velikog i perspektivnog tržišta, je stavljanje u prostorne planove lokalnih samouprava lokacije na kojima bi dronovi imali sigurno okruženje za uzlijetanje i slijetanje, te za opskrbu energije i održavanje. Prvenstveno, povezivanje turističkih odredišta sa prometno frekventnim lokacijama u unutrašnjosti. Takva vrsta prijevoza također bi znatno mogla podići kvalitetu života na otocima i slabo naseljenim područjima jer bi pristup njima bio znatno brži i povoljniji.

Najveća primjena takve vrste urbane mobilnosti očekuje se kod dostave paketa dronovima. Za njih je potrebna puno jednostavnija i jeftinija infrastruktura, a njihova primjena u trenutnoj fazi najviše ovisi o sigurnosnim odredbama i propisima.

Tri grada u RH imaju više od 100 000 stanovnika, a samo njih osam više od 50 000 stanovnika prema najnovijem popisu stanovništva. Stoga, primjenu UAM u svrhu unutar gradskog prostora možemo očekivati samo u nekoliko najvećih gradova. Najveća potreba za zračnim taksijima kao komercijalnom opcijom prijevoza u RH, pojavljuje se kod povezivanja gradova i zračnih luka jer trenutno prosječno vrijeme vožnje od centra grada do zračne luke je između 20 i 30 minuta dok bi sa trenutno razvijenim letjelicama taj put trajao od 2 do 4 minute. Trenutno na našoj obali imamo primjere malih VTOL letjelica koje se koriste u privatne svrhe kako bi putnici jednostavnije stigli s obale do svojih plovila na moru.

8. ANALIZA TROŠKOVA

8.1. Pregled godišnjih troškova

Postoji nekoliko metoda za procjenu operativnih troškova, a svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke. Metoda kojom ćemo se koristiti računa sa sljedećim troškovima: održavanje letjelice i pogonskog postrojenja, skladištenje i rad na vertiportu, kontrolora leta, energiju, osiguranje. Troškovi energije od velike su važnosti za pouzdanost rezultata. Punjač koji smo koristili za izračun vremena punjenja je Tesla V3 Supercharger, komercijalno dostupan od 2019. godine, a osigurava vršnu snagu od 250kw po automobilu. [4]

Prva vrsta operacija (misija) koju letjelica mora obaviti uključuje maksimalnu masu polijetanja od 1 434 kilograma i potrebu za energijom od 217kWh, a zatim slijedi 63 minutni ciklus podijeljen u tri leta svaki od 67 kilometara. Punjenje baterije kod ove vrste zadatka je 58 minuta. Pokazujući omjer vremena leta i punjenja od 82 posto, što znači da za svaku minutu leta letjelica mora stati 50 sekundi na punjenje. [4]

Druga vrsta operacija (misija) je bez opterećenja i bez uračunatog vremena za ukrcaj i iskrcaj tzv. mrtve misije, sa potrebom energije od 188 kWh, a sastoji se od 28 minutnog ciklusa podijeljenog u 3 leta svaki po 33 km. Omjer vremena leta i punjenja je 100 posto što znači da za svaku minutu leta letjelica se mora puniti jednu minutu. [4]

Dnevno vrijeme upotrebe letjelica je od 7:00 sati do 00:00 sati u koje se uračunava razdoblje od 1,7 sati u kojem letjelica nije u funkciji zbog manjka klijentele. To znači da u ovoj analizi ne računamo maksimalan broj letova, već prosječan tako da svaki dan imamo dvije operacije bez putnika i godišnje tri tjedana održavanja letjelice. [4]

Tablica 8.1. Dnevna i godišnja procjena vremena leta

Dnevna procjena letova	
Broj dnevnih „ mrtvih misija (deadhead missions)“	2
Broj dnevnih operacija uključujući punjenje (petak-nedjelja)	9
Broj dnevnih operacija uključujući punjenje (ponedjeljak-četvrtak)	8
Maksimalan broj operacija u jednom danu	12
Godišnji broj operacija	2891
Sati dostupni za letenje u vremenu od 07:00 do 00:00 sati	17 sati
Vrijeme u kojem ne leti	1.7 sati
Godišnji sati leta	
Broj sati leta godišnje	2652 sati
Broj sati punjenja godišnje	2233 sati
Tjedni u godini/tjedni u godini bez leta	52/3
Omjer sati leta i punjenja	84%

$$\frac{Iznos_{Energija}}{Godina} = \frac{0.96 \text{ HRK}}{kWh} * broj \text{ tjedana u godini} * [(Dani * Broj_{operacija_{1vikend}} * Energija_{operacija1}) + (Dani * Broj_{operacija_{1radni dan}} * Energija_{operacija1}) + (Dani * Broj_{operacija_{2tjedan}} * Energija_{operacija2})]$$

Tablica 8. 2 Procjena troška energije

Trošak energije		
Sati punjenja godišnje	sati/godišnje	2233
Prosječna cijena električne energije	HRK/kWh	0,96 HRK
Ukupni godišnji trošak energije	HRK/godišnje	543448,50 HRK

Cijena nabave letjelica izračunata je korištenjem aproksimacije troška prazne težine od 5697 HRK/kg (772\$/kg). S obzirom da je ukupna težina trenutnog projekta 1 074 kg, ukupni trošak procijenjen je na 6 115 371 HRK, ako se uzme u obzir da će se letjelica otplatiti u roku 10 godina uz kamatnu stopu od 7,5%. Kada izračunamo ukupnu godišnju ratu za ovu investiciju dolazimo do informativnog iznosa od 890 924 HRK godišnje. [4]

Iznos osiguranja za ovu vrstu letjelica vrlo je teško procijeniti prije završetka njihove homologacije. Kao okvirnu cijenu osiguranja uzet ćemo u obzir cijenu za već postojeće letjelice za prijevoz putnika uvećanu za 2.5% zbog većeg rizika zbog primjena novih tehnologija. Tim izračunom dolazimo do okvirne cijene od 156 572 HRK godišnje. [4]

Ciklus koji može odraditi jedna baterija odnosno njeno vijek trajanja pretpostavljen je na 2000 sati leta dok je cijena nove baterije procijenjena na 468 895,6 HRK.[4]

$$Cijena_{održavanja} = 0.6 * \frac{cijena\ sata[HRK]}{sat} * sati\ leta + \frac{Operacije_{godišnje}}{Ciklus_{baterije}} * Cijena_{baterije}$$

Tablica 8.3 Pretpostavka troškova održavanja

Trošak održavanja letjelice i vertiporta		
Sati potrebni za održavanje po satu leta		0.6
Cijena sata školovanog mehaničara	HRK/sat	442
Broj ciklusa jedne baterije		2000
Broj sati godišnje	sati/godišnje	2652
Godišnji trošak održavanje letjelice i vertiporta	HRK/godišnje	1 325066 HRK

Pretpostavka troška kontrolora leta koji sjedi u vertiportu i istovremeno upravlja sa osam letjelica prikazana je u tablici 4, dok trošak spremanja letjelice uključujući garažu, nadzor i podršku iznosi 634 654 HRK. Trošak remonta na godišnjoj razini iznosi 664 164 HRK.

Tablica 8.4. Trošak kontrolora leta

Trošak kontrolora leta		
Broj letjelica po kontroloru		8
Cijena sata po kontroloru	HRK/sat	516,55
Godišnji trošak kontrolnog centra po letjelici	HRK/godišnje	171236 HRK

U tablici 5 dolazimo do konačnog iznosa od 1 653 HRK po satu leta uzimajući u obzir da za svaku sekundu leta letjelica se mora puniti 50 sekundi. Također, prikazan je u postotcima udio svake stavke u iznosu konačne cijene jednog sata.

Tablica 8.5. Ukupni godišnji trošak i operativni trošak po satu

Vrijednost letjelice	6 115 371 HRK	
Pregled godišnjih troškova		
Trošak održavanja i pogonskog postrojenja	1 325 066 HRK	30%
Trošak ulaganja u kupnju letjelice	890 924 HRK	20%
Trošak remonta	664 164 HRK	15%
Trošak skladištenja	634 654 HRK	14%
Trošak električne energije	543 448 HRK	12%
Trošak kontrolora leta	171 236 HRK	4%
Trošak osiguranja	156 572 HRK	4%
Ukupni godišnji trošak	4 386 065 HRK	100%
Sati punjenja godišnje	2233	
Sati leta (rada) godišnje	2652	
Omjer sati leta i punjenja	84%	
Operativni trošak po satu	1 653 HRK	

8.2. Primjeri uporabe u Republici Hrvatskoj

Kako bi se prikazale prednosti mobilnosti u zraku prikazat ćemo informativni izračun cijene jednog leta UAM letjelicom i usporediti s do sada dostupnim načinima prijevoza. Stavke na temelju kojih ćemo raditi usporedbu su vrijeme i novac.

8.2.1. Cijena prijevoza putnika

Za usporedbu prijevoza putnika na udaljene lokacije imamo tri opcije, a to su prijevoz UAM letjelicom, taxijem i helikopterom. Kao polazišnu točku izabrali smo zračnu luku Pleso kao mjesto

sa najvećom frekvencijom putnika. Za odredišnu točku izabrana je luka za brodove u Poreču kao mjesto s kojeg putnici mogu nastaviti prijevoz brodom ili odsjesti u hotelu.

1. Prijevoz putnika taksijem; taksi vozila direktno su dostupna u zračnoj luci te pružaju uslugu prijevoza na točno odredište bez presjedanja i dodatnog troška vremena. Na aplikaciji „Bolt“ za prijevoz putnika informativni izračun cijene jednosmjernog prijevoza na relaciji Pleso-Poreč iznosi 1350 HRK, a vrijeme potrebno za ovo putovanje je 185 minuta u idealnim uvjetima bez gužve na prometnicama.
2. Prijevoz putnika helikopterom moguć je od zračne luke Pleso sve do male privatne piste u predgrađu Poreča, što znači da za dolazak na krajnje odredište moramo koristiti taksi u iznosu od 30 HRK. Prosječna cijena najma jednog sata leta helikopterom je 7800 kn što je 130 HRK po minuti. Zračna udaljenost između zračne luke Pleso i Poreča je 190km, a prosječna brzina kretanja helikoptera je 230 km/sat, s toga vrijeme leta iznosi 50 minuta, a cijena vožnje u jednom smjeru 6500kn . Ukupno potrebno vrijeme je 55 minuta, a cijena prijevoza 6530 HRK.
3. Prijevoz putnika UAM letjelicom pruža usluge prijevoza direktno sa jedne lokacije na drugu zbog mogućnosti slijetanja na male površine. Zračna udaljenost iznosi 191 kilometar, a brzina UAM letjelice „Lilium jet“ koja može pružiti ovu vrstu prijevoza je 300 km/sat. Vrijeme potrebno da se izvrši ovo putovanje je 38 minuta. U prethodnom poglavlju prikazana je informativna cijena troška jedne UAM letjelice po satu koja iznosi 1653 HRK/sat, no to ne uključuje profit pružatelja usluge te ćemo tu cijenu povećati za 50% kako bi dobili vjerodostojniji prikaz. Ukupna cijena sata leta je 2478 HRK što je 41.3 HRK po minuti, što nam dovodi do konačne cijene ovog putovanja od 1570 HRK.

Tablica 8.6. Prikaz cijena i vremena za različite vrste prijevoza

Vrsta prijevoza	Taksi prijevoz	Helikopter	UAM letjelica
Vrijeme	185 minuta	50 minuta	38 minuta
Cijena	1350 HRK	6530 HRK	1570 HRK

8.2.2 Dostava hrane teretnom UAM letjelicom

Dostava hrane UAM letjelicama znatno bi ubrzala proces dostave zbog izbjegavanja gradskih gužvi. Kao primjer uzeli smo restoran u užem centru grada Zagreba, a kao dostavno mjesto izabrali smo poslovnu zgradu na glavnom trgu. Tako na primjer za takvu dostavu automobilom koja je udaljena 4,1 kilometar, potrebno vrijeme bez prometnih poteškoća je deset minuta, a za vrijeme najvećih gužvi i do dvadeset minuta. Ako bi identičnu dostavu obavljali UAM letjelicom zračna udaljenost te dvije lokacije je 1,9 kilometara, uz brzinu letjelice od 80 km/sat potrebno vrijeme za obavljanje dostave je 90 sekundi što je 85% brže od klasičnog načina dostave u idealnim uvjetima.

Ušteda novca druga je i najvažnija prednost uporabe dronova za pružatelja usluga. Uzmemo li u obzir da dostavna letjelica može koštati kao i dostavni automobil i da je potrebna jedna osoba za upravljanje i dalje dolazimo do velikih ušteda jer za dostavu do 10 kilometara troškovi automobila za gorivo i amortizaciju su približno 30 HRK dok je za UAM letjelicu taj iznos i do 10 puta manji.

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu govori se o urbanoj mobilnosti u zraku, koja predstavlja budućnost gradskog prijevoza. UAM letjelice još su fazi razvoja te nisu u komercijalnoj upotrebi. U potpunosti se prilagođavaju zahtjevima današnjeg gradskog prometa, ekološki su prihvatljivi zbog svojih motora na električni pogon te imaju nultu stopu zagađivanja okoliša za vrijeme upotrebe. Njihov razvoj od iznimne je važnosti za smanjivanje gužvi unutar gradova, a samim time i za podizanje kvalitete života.

UAM letjelice su višestruko funkcionalne te je njihova primjena moguća u svim sferama prijevoza kao što su prijevoz ljudi, prijevoz tereta, upotreba za prijevoz u hitnim slučajevima kao i pružanje zračne podrške pri izvođenju poslova ili upravljanja kriznim situacijama.

Većina projekti u završnim su fazama razvoja, no njihova komercijalna upotreba ovisi o strogim sigurnosnim propisima. Baterije visokih performansi imaju tendenciju samozapaljenja u slučaju fizičkog oštećenja. UAM letjelice namijenjene su za upotrebu u gusto naseljenim područjima te bi se u slučaju njihovog potencijalnog pada mogla dogoditi velika materijalna šteta, a u najgorem slučaju i pad na velik broj ljudi ako se radi o gradskim trgovima.

Propeleri helikoptera, koji su namijenjeni za prijevoz ljudi prilikom leta iznad gradskog područja, stvaraju iznimnu buku dok kod UAM letjelica taj utjecaj se pokušava smanjiti razvojem specifičnih manjih propelera, no ako u jednom trenutku iznad manjeg gradskog područja bude nekoliko desetina letjelica buka će biti neizbježna.

Kod UAM ističu se tri tipa vozila od kojih se kao najprimjenjiviji ističe letjelica sa vektorskim potiskom za podizanje i spuštanje te krilima za krstareći let. Primjena krila uvelike smanjuje potrošnju energije za vrijeme leta i omogućuje postizanje većih brzina. Samim time, takva letjelica se nameće kao najbolja opcija za prijevoz na duže i kraće relacije.

Količina energije koje baterija može skladištiti, odnosno omjer kWh/kg, ključna je stavka vezana za domet letjelica. Razvoj novih oblika baterija i unapređenje do sada dostupnih odredit će opseg primjene ove vrste prijevoza.

U ovom radu također je prikazana procjena i analiza troškova jedne letjelice te je uspoređena sa do sada dostupnim oblicima prijevoza. Možemo primijetiti da UAM letjelice imaju mjesta na tržištu prijevoza prvenstveno zbog brzine obavljanja zadataka kao i zbog procijenjenog iznosa po minuti koji bi trebao biti znatno niži od prijevoza helikopterom.

Primjena letjelica na našem području od izuzetne je važnosti prvenstveno u gospodarskom smislu. Trenutno, u Republici Hrvatskoj ne postoje poduzeća koja se bave razvojem letjelica, ali nužno je da lokalne i gradske samouprave počnu raditi na razvoju vertiportova, odnosno mjesta za uzlijetanje i slijetanje te stavljanje takvih mjesta u gradske planove jer UAM je sigurno budućnost gradskog prijevoza te je njegova primjena na našem tržištu od iznimne važnosti za gospodarstvo.

10. LITERATURA

- [1] evtol.com, s interneta, <https://evtol.com/features/simplified-vehicle-operations-svo-reshaping-automation/>, 05.06.2022
- [2] Urban Air Mobility Use Cases, Missions and Technology Scenarios for the HorizonUAM Project - DLR - German Aerospace Center, Germany, 2021
- [3] Ehang.com- <https://www.ehang.com/ehangaav/>
- [4] Conceptual Design of an Urban Air Mobility Solution - Augusto Manuel Frazao Reis : Tecnico Lisboa,2020
- [5] Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe – EASA 2021
- [6] URBAN AIR MOBILITY (UAM) MARKET STUDY –NASA 2018
- [7] Emergen research,s interneta, <https://www.emergenresearch.com/industry-report/urban-air-mobility-market> , 15.05.2022
- [8] Cargo-drones: The future of parcel delivery – Roland Berger, 2020
- [9] Urban Air Mobility:Focus- Roland Berger, 2020
- [10] Lilium air mobility, s interneta, <https://lilium.com/> , 10.06.2022
- [11] Volocopter, s interneta, www.volocopter.com ,10.06.2022
- [12] Informacije dobivene usmenim putem u razgovoru sa gosp. Goranom Ratkajecem

11. DODACI

Popis tablica

Tablica 8.1. Dnevna i godišnja procjena vremena leta	25
Tablica 8.2 Procjena troška energije	25
Tablica 8.3 Pretpostavka troškova održavanja	26
Tablica 8.4. Trošak kontrolora leta	26
Tablica 8.5. Ukupni godišnji trošak i operativni trošak po satu.....	27
Tablica 8.6. Prikaz cijena i vremen za različite vrste prijevoza	28

Popis slika

Slika 2.1. Očekivani broj Vertiporta u različito razvijenim gradovima	6
Slika 3.1. Segmenti leta.....	7
Slika 3.2. Potencijalni slučajevi korištenja.....	8
Slika 3.3. Upotreba u hitnim slučajevima	11
Slika 4.1. Faze razvoja putničkih letjelica.....	13
Slika 5.1. UAM tipovi letjelica	14
Slika 5.2. VOLOCITY letjelica.....	15
Slika 5.3. VOLOCONNECT.....	16
Slika 5.4. VOLODRONE.....	17
Slika 5.5 Ehang 216	18
Slika 5.6. Vizualni prikaz putanje Lilium Jeta	19
Slika 5.7. Lilium Jet - pogon	19
Slika 6.1. Grafički prikaz porasta broja UAM letjelica.....	22
Slika 6.2. Karta svijeta sa prikazanim UAM projektima	22

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom radu govori se o urbanoj mobilnosti u zraku, koja predstavlja budućnost mobilnosti u gradovima. Obrađene su osnovne tehnologije koje se koriste kod razvoja letjelica te su prikazane letjelice sa njihovim osnovnim obilježjima. Prikazane su i okvirne analize troškova te su uspoređene s trenutno dostupnim vrstama prijevoza.

Ključne riječi: urbana mobilnost u zraku (UAM), letjelica, prijevoz,

SUMMARY AND KEY WORDS

This paper talks about urban air mobility, which represents the future of mobility in cities. The basic technologies used in the development of aircraft, and the aircraft itself are presented with their basic characteristics. Preliminary cost analyzes are presented and compared with currently available types of transportation.

Keywords: urban air mobility (UAM), aircraft, transport,