

Planiranje i razvoj vertiportova

Šopić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:168539>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PLANIRANJE I RAZVOJ VERTIPORTOVA
VERTIPORTS PLANNING AND DESIGN**

Mentor: doc.dr.sc. Matija Bračić

Student: Ivana Šopić

JMBAG: 01350800

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 17.rujan 2024.

Zavod: **Zavod za zračni promet**

Predmet: **Planiranje aerodroma**

DIPLOMSKI ZADATAK br.

Pristupnik: **Ivana Šopić (0135080041)**

Studij: **Promet**

Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Planiranje i razvoj vertiportova (Vertiport Planning and Design)**

Opis zadatka:

Prezentirati svrhu i cilj istraživanja. Utvrditi razmjere utjecaja razvoja zrakoplova s mogućnošću vertikalnog polijetanja i slijetanja na razvoj infrastrukture vertiportova te na razvoj zračnog prostora i navigacijskih procedura. Analizirati postojeću regulativu Europske unije, SAD i Ujedinjenih Arapskih Emirata. Rezultati istraživanja će biti prikazani kroz studiju slučaja područja aglomeracije Munich.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

doc. dr. sc. Matija Bračić

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U skladu sa razvojem zrakoplova na električni pogon s mogućnošću vertikalnog uzlijetanja i slijetanja (*eVTOL*), dolazi do potrebe i za razvojem infrastrukture na kojima će se provoditi operacije slijetanja i uzlijetanje te prihvat i otprema takvih zrakoplova. Vertiportovi, aerodromi za prihvat *eVTOL* zrakoplova, nalaziti će se u urbanim i ruralnim sredinama te u sklopu već postojećih aerodroma. Trendovi i smjernice razvoja vertiportova kao i primjena *eVTOL* zrakoplova regulirani su regulatorskim tijelima. U korak s novim vidom transporta ljudi i dobara u urbanim i ruralnim sredinama razvija se i adekvatan sustav kontrole leta. S obzirom na zahtjeve i mogućnosti razvoja sustava vezanih uz *eVTOL*-ove, cilj ovog diplomskog rada bio je razmotriti utjecaj *eVTOL* zrakoplova na razvoj infrastrukture i navigacijskih procedura te prikazati studiju slučaja razvoja mreže vertiportova u aglomeraciji Munich. Pregledom literature razvidno je da je neophodna suradnja znanstvenika i industrijskog sektora za daljnji razvoj i implementaciju *eVTOL* zrakoplova u urbanom transportu. Analiza studije slučaja pokazala je razmjernu opravdanost za uvođenje novog modela prijevoza zbog velike gustoće naseljenosti te velikog broja turista. Razvidno je da daljnji razvoj i primjenu letjelica uvjetuju proizvođači letjelica i lokacija vertiporta, razina buke, uvođenje zaštitnih pregleda putnika i prtljage. Kako bi ova nova mogućnost mobilnosti bila prihvaćena, podržana i primjenjiva, potrebno je uzeti u obzir dodatne faktori poput osiguranja i odgovornosti u slučaju izvanrednih događaja, ekološka održivost, cjenovna pristupačnost te kvaliteta urbanizacije.

KLJUČNE RIJEČI: *eVTOL*, VTOL, vertiportovi, EASA, FAA, GCAA

Prijevod sažetka na engleski jezik.

SUMMARY AND KEYWORDS

With the emergence of electric-powered aircraft capable of vertical takeoff and landing (*eVTOL*), there is a growing need for airports specifically designed to handle these aircraft. Vertiports, which are airports tailored for *eVTOL* aircraft, are set to be established in urban and rural settings, as well as integrated into existing airport infrastructures. The development of vertiports and the deployment of *eVTOL* aircraft are guided by standards and regulations set by relevant authorities. Concurrent with this innovative approach to transporting people and goods across both urban and rural landscapes, a suitable air traffic control system is under development.

Given the specific requirements and potential for eVTOL-related systems, this paper aims to explore the impact of eVTOL aircraft on infrastructure and navigational procedures, showcasing a case study on the development of a vertiport network in the Munich area. The literature review highlights the critical importance of collaboration between academia and the industry for the advancement and integration of eVTOL aircraft into urban transportation. The case study analysis provides a compelling rationale for adopting this new mode of transport, driven by high population density and significant tourist numbers. The future growth and adoption of these aircraft will depend on factors such as manufacturer requirements and specifications, vertiport locations, noise pollution, and the implementation of security measures for passengers and their belongings. For this innovative mobility solution to gain acceptance, support, and practical application, it is crucial to address additional considerations like insurance and liability in emergency situations, environmental sustainability, affordability, and the impact on urban quality of life.

KEY WORDS: eVTOL, VTOL, vertiports, EASA, FAA, GCAA

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ ZRAKOPLOVA SA VERTIKALNIM UZLIJETANJEM I SLIJETANJEM	3
2.1 Podjela VTOL zrakoplova.....	4
2.1.1 Standardni VTOL zrakoplovi.....	8
2.1.1.1 Helikopteri.....	8
2.1.1.2. Žirokopteri.....	10
2.1.1.3 Zrakoplovi sa tiltrotorom - konvertiplan.....	10
2.1.1.4. Zrakoplovi sa pogonskim uzgonom.....	13
2.2.2 eVTOL zrakoplovi.....	14
2.2.2.1 Beskrilni eVTOL zrakoplovi (Multikopteri)	15
2.2.2.2 eVTOL zrakoplovi sa pogonskim uzgonom.....	17
3. ANALIZA POSTOJEĆE REGULATIVE I KONCEPTA VERTIPORTOVA	19
3.1 Regulativa Ujedinjenih Arapskih Emirata.....	20
3.1.1. Primjer razvoja vertiportova u Dubaiju.....	22
3.2 Regulativa Sjedinjenih američkih država	23
3.2.1 Primjer razvoja vertiportova u Sjedinjenim Američkim Državama.....	27
3.3 Regulativa Europske unije.....	28
3.3.1 Primjer razvoja vertiportova na području Europe	30
4. PROCEDURE I OGRANIČENJA U ZRAČNOM PROSTORU.....	32
4.1 Regulatorni okviri.....	33
4.1.1 Regulativa Sjedinjenih Američkih Država.....	33
4.1.2 Regulativa Europske Unije	35
4.2 Klasifikacija zračnog prostora	38
4.3 Ograničenja u zračnom prostoru urbanih naselja.....	42
5. UTJECAJ ZRAKOPLOVA S VERTIKALNIM SLIJETANJEM I UZLIJETANJEM NA RAZVOJ VERTIPORTOVA	44
5.1 Integriranje mreže vertiportova unutar urbanih sredina	44
5.2 Kapacitet vertiporta	47
5.3 Ograničenja prilikom prijehvata i otpreme.....	51
5.4 Studija slučaja prihvatljivog UAM zrakoplova za određenu mrežu	53

vertiportova	53
6. ANALIZA STUDIJE SLUČAJA RAZVOJA VERTIPORTOVA U URBANOJ AGLOMERACIJI MUNICH	57
7. ZAKLJUČAK	68
LITERATURA	70
POPIS KRATICA	76
POPIS SLIKA	80
POPIS TABLICA	81

1. UVOD

Razvojem tehnologije, čovječanstvo je postalo mobilnije, omogućujući brži dolazak do željenih destinacija. Migracijom stanovništva, urbane sredine postaju sve gušće naseljene dok u ruralnim područjima dolazi do smanjenja broja stanovnika što rezultira velikim zahtjevima za mobilnošću u urbanim sredinama i neadekvatnom povezanošću ruralnih sredina.

U skladu s različitim potrebama urbanih i ruralnih sredina, u zrakoplovstvu se razvijaju sustavi koji potencijalno predstavljaju moguća rješenja zagušenja urbanih sredina, a omogućavaju bolju povezanost s ruralnim sredinama. Jedno od inovativnih rješenja predstavlja elektrifikacija pogona zrakoplova s mogućnošću vertikalnog polijetanja i slijetanja (eVTOL).

Koncept Urbane zračne mobilnosti (engl. Urban Air Mobility) uveden je kao potencijalno rješenje problema gradskih prometnih zastoja, ubrzano povezivanje ruralnih sredina, ali i smanjenje emisije stakleničkih plinova. Ovim bi načinom gradovi potencijalno dobili i dodatnu vrijednost, uslugu prijevoza u vidu zračnog taxija. Međutim, ova je usluga još uvijek u fazi razvoja. S obzirom na činjenicu da u Sjedinjenim Američkim Državama postoje velika prostranstva koje je potrebno adekvatno prometno povezati, NASA je osmislila koncept Napredne zračne mobilnosti (engl. Advanced Air Mobility). Pri Naprednoj zračnoj mobilnosti povezivale bi se urbane sredine, ali i predgrađa te ruralna i regionalna područja. Navedene se koncepte mobilnosti nastoji uklapati u već postojeće modalitete prijevoza određenih sredina. S obzirom na specifične zahtjeve geografskih područja i zahtjeva u području mobilnosti, ovaj diplomski rad ima za cilj utvrditi postojeće stanje razvoja te mogućnosti integracije eVTOL zrakoplova i vertiportova u postojeći sustav prijevoza, kao i predstaviti studiju slučaja razvoja mreže vertiportova u aglomeraciji grada Munich.

Rad je podijeljen na sedam cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj zrakoplova sa vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem
3. Analiza postojeće regulative i koncepata vertiportova
4. Procedure i ograničenja u zračnom prostoru
5. Utjecaj zrakoplova s vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem na razvoj vertiportova
6. Analiza studije slučaja razvoja vertiportova u urbanoj aglomeraciji Munich
7. Zaključak

U uvodnom poglavlju definirane su osnovne postavke koncepta Urbane zračne mobilnosti, zahtjevi i problematika zagušenja u urbanim sredinama te je prikazana struktura diplomskog rada.

Drugo poglavlje opisuje podjelu zrakoplova s vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem te njihove karakteristike.

U trećem poglavlju analizirane su postojeće regulative SAD-a, Europe i Ujedinjenih Arapskih Emirata. Dodatno, dati su primjeri razvoja vertiporta za svako pojedino područje.

Procedure i ograničenja u zračnom prostoru obrađena su u četvrtom poglavlju. Ono obuhvaća analizu regulative, klasifikaciju zračnog prostora te opis projekta Corus-Xuam.

Peto poglavlje se bavi utjecajem *eVTOL* zrakoplova na razvoj vertiportova, gdje se ističe važnost izbora lokacije, kapacitet i veličinu vertiportova. U petom poglavlju predstavljena je i studija slučaja analize izravnih operativnih troškova u odnosu na odabrani *eVTOL* zrakoplov.

U šestom poglavlju provedena je analiza slučaja implementacije zračne mobilnosti u aglomeraciju Munich, odnosno razvoj mreže vertiportova te njihovu moguću primjenjivost s obzirom na gustoću naseljenosti, stupanj razvoja mreže vertiportova i postojeću transportnu mrežu postojećih modaliteta prijevoza.

2. RAZVOJ ZRAKOPLOVA SA VERTIKALNIM UZLIJETANJEM I SLIJETANJEM

Prve idejne skice helikoptera izradio je Leonardo da Vinci čime je omogućio budući dizajn i razvoj zrakoplova s vertikalnim uzlijetanjem i slijetanjem. Trebalo je proći nekoliko stoljeća kako bi zrakoplov s mogućnošću vertikalnog uzlijetanja i slijetanja (engl. *Vertical Take-off and Landing* - VTOL) izvršio svoj prvi let i to do 1939. godine zahvaljujući inženjeru i izumitelju Igoru Sikorskom, dok je prvi VTOL zrakoplov s operativnom primjenom bio Hawker Siddeley Harrier 60-tih godina prošlog stoljeća [1]. Prva operativna primjena prvenstveno je bila vojne svrhe. Kasnije su se uvidjele prednosti primjene VTOL zrakoplova i u civilne svrhe, pogotovo u vidu traganja i spašavanja (engl. *Search and Rescue-SAR*), Hitna helikopterska medicinska služba (engl. *Helicopter Emergency Medical Service* - HEMS) i drugo.

Zrakoplovi Urbane zračne mobilnosti (engl. *Urban Air Mobility* – UAM) su zrakoplovi koji zbog razvoja novih tehnologija omogućavaju prijevoz putnika i tereta u urbanim sredinama. Prema značajkama duljine uzletno-sletne staze potrebne za polijetanje odnosno slijetanje, ovi se zrakoplovi svrstavaju u one koji vertikalno uzlijeću i slijeću, te im stoga nije potrebna značajna duljina uzletno sletne staze. Zrakoplovi s takvim značajkama se nazivaju VTOL zrakoplovi (engl. *Vertical Takeoff and Landing*) [2].

Glavni značaj razvoja urbane zračne mobilnosti je brže i lakše povezivanje unutar samih gradova odnosno povezivanja unutar regije, zbog toga što će, prema prognozama Ujedinjenih naroda (engl. *United Nations-UN*), do 2050. godine dvije trećine građana živjeti u urbanim sredinama [3]. Primjena VTOL zrakoplova omogućila bi brži i efikasniji prijevoz putnika i dobara te bi se koristila za potrebe javnog pružanja medicinske pomoći. Bepilotne letjelice bile bi brže za čak 73 % od ambulantnih vozila hitne pomoći za dostavu lijekova ili organa, pogotovo u velikim urbanim sredinama prema EASA-inim istraživanjima u Berlinu za vrijeme najveće prometne gužve [2].

Prema istraživanja Europske agencije za zrakoplovnu sigurnost (EASA) koje je provedeno od studenog 2020. do travnja 2021. godine, većina građana Europske unije (83 %) podržava implementaciju zrakoplova urbane mobilnosti. Prema istom istraživanju, 49 % građana bi koristilo takve zrakoplove u vidu zračnog taksija.

Helikopteri, kao prvi predstavnici VTOL kategorije zrakoplova, pokazali su se kompleksnim za upravljanje i održavanje te stoga nisu imali značajniju komercijalnu primjenu. Ono što čini značajnu razliku između helikoptera i novih VTOL zrakoplova je prvenstveno što helikopteri koriste propulziju za podizanje u zrak i generiraju visoki nivo buke, dok VTOL zrakoplovi nove generacije koriste više od dvije jedinice propulzije najčešće na električni pogon i generiraju značajno nižu razinu buke.

Kao referentni primjer može poslužiti NASA-ino testiranje Jobyijevog *eVTOL* zrakoplova koji na visini od 100 m proizvodi zvuk jačine manje od 65 dB, dok helikopter na visini od 150 m proizvodi zvuk od 87 dB [4].

Prema istraživanju Europskog instituta za inovacije i tehnologije urbane mobilnosti, na razini Europske Unije prometna zagušenja rezultiraju gubitkom od 130 milijardi eura godišnje dok prema istom istraživanju tijekom životnog vijeka osoba provede jednu godinu u prijevozu između mjesta stanovanja i posla [5].

Prema procjenama EASA, korištenje autonomnih VTOL zrakoplova za dostavu lijekova s primjenom bi započelo do 2025. godine u Europi, dok bi se VTOL letjelice kojima upravljaju piloti za prijevoz putnika, započele s primjenom do 2030. VTOL zrakoplovi se zbog razvoja novih tehnologija i razvoja mobilnosti unutar urbanih sredina naziva i zrakoplovima urbane mobilnosti (engl. *Urban Air Mobility* - UAM), te bi zbog svojih karakteristika trebali biti prihvatljivi za okoliš i za ljude. Glavni izazov oko korištenja navedenih zrakoplova vezan je uz sigurnost i emisiju buke, ali i brigu oko životinjskog svijeta, pogotovo ptica. Iz tog razloga, Regulatorska tijela pokušavaju postaviti okvir unutar kojeg će se proizvođači VTOL zrakoplova prilagoditi standardima, prvenstveno onima vezanih za sigurnost. Agencija Europske unije za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Aviation Safety Agency* - EASA) zaprimila je određeni broj zahtjeva za certifikacijom VTOL zrakoplova novije generacije. Ono što te novije zrakoplove razlikuje od prijašnjih jest pogon koji je prvenstveno orijentiran na električnu energiju. U razvoju su i drugi vidovi pogona, poput onog hibridnog (kombinacija električnog i klasičnog pogona sa gorivom). Bilo o kojem sustavu pogona da se radi, regulatori su postavili standarde sa niskim faktorima rizika otkazivanja pogonskih sustava. U konačnici, zračni promet i dalje želi ostati najsigurniji vid prijevoza bez obzira na buduće tehnologije. Budući ciljevi zračnog prometa primarno su vezani uz sigurnost te stratešku odrednicu da ostane najsigurniji modalitet transporta (u 2018. godini bilo 0,01 unesrećenih po milijardu putničkih kilometara).

2.1 Podjela VTOL zrakoplova

Prema istraživanju McKinsey centra za budućnost mobilnosti, za istraživanje i razvoj, proizvodnju zrakoplova za urbanu mobilnost i infrastrukturu (vertiportova, punionica baterija i dr.) potrošiti će se oko 4,2 milijarde eura do 2030. godine. Prema određenim procjenama navedeno tržište može generirati i do 90 000 radnih mjesta [6].

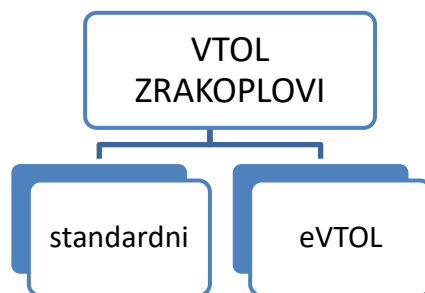
Zrakoplovi koji će se koristiti u budućoj eksploataciji moraju zadovoljavati zahtjeve vezane za sigurnost i ekonomičnost te moraju biti jednostavni za izradu i za primjenu, a da pri tome osiguravaju održivost u korištenju energije i doprinose sprečavanju onečišćenja i zagađenja okoliša.

Takvim zrakoplovima se smatraju oni zrakoplovi koji mogu vertikalno polijetati i slijetati (VTOL) što znači da dužina uzletno-sletne staze (USS) nije relevantna i kao takvi su optimalni za povezivanje unutar urbanih sredina jer im nije potreban veliki prostor za operacije slijetanja i uzlijetanja te stoga nisu potrebna značajnija ulaganja u infrastrukturu.

U ovom poglavlju dan je pregled kategorizacije VTOL zrakoplova temeljem kojih će se adekvatno sagledati potreba i zahtjevi vezani za razvoj. U znanstveno-stručnoj literaturi se koriste različiti nazivi za razvoj novih vrsta zračne mobilnosti. Već je u radu prije spomenuta urbana zračna mobilnost (UAM), no NASA je željela proširiti koncept zračnu mobilnost ne želeći se fokusirati samo na područje urbanih sredina već obuhvatiti i ruralna područja stoga je svoj koncept nazvala Napredna zračna mobilnost (engl. *Advanced Air Mobility* - AAM).

Pojam Urbana zračna mobilnost je u upotrebi već nekoliko desetljeća od kada se spominje koncept letećih automobila. Znanstvenici sa Sveučilišta Berkeley (SAD) te Sveučilišta u Torontu, 2021. godine su objavili rad [7] u kojem su predstavili koncept razvoja UAM kroz šest faza. Prva faza uključuje samo spominjanje letećih automobila, druga faza uključuje povezivanje na zahtjev unutar urbane sredine helikopterom, dok treća faza, u kojoj se zrakoplovna industrija trenutno nalazi je povezivanje helikopterima unutar urbanih sredina uz pomoć informatičkih tehnologija. Slijedeće faze definiraju se udaljenostima koje se povezuju VTOL zrakoplovima. Četvrta faza određena je kratkim do srednjim udaljenostima po utvrđenim rutama (npr. povezivanje aerodroma i urbane sredine), dok je peta faza definirana srednjim do velikim udaljenostima povezujući brojne vertiportove unutar urbane sredine. Šesta i kao takva posljednja faza je povezivanje velikih udaljenosti [7]. Važno je naglasiti kako VTOL zrakoplovi kojima će se provoditi povezivanje unutar urbane sredine, su zrakoplovi koji će biti na električni odnosno hibridni pogon, održivi u pogledu ekologije odnosno utjecaja na okoliš, upravljani od strane pilota ili pak autonomni [8].

Analizom znanstvene i stručne literature, VTOL zrakoplovi mogu se podijeliti na:



NASA je 2020. godine proširila pojam UAM, shvativši da povezivanje *eVTOL* zrakoplovima se neće provoditi samo unutar urbanih sredina nego i regionalno odnosno između pojedinih regija. Stoga su uveli pojam Napredna zračna mobilnost koji obuhvaća prijevoz tereta i putnika zrakoplovima naprednih tehnologija i vertikalnog slijetanja i uzlijetanja izvan urbanih područja, ali prethodno navedeni zahtjevi primjenjivati će se i unutar ovog koncepta [9].

Prema Društvu za unaprjeđenje vertikalnih letnih operacija (engl. Vertical Flight Society-VFS) standardni VTOL zrakoplovi mogu se kategorizirati u slijedeće skupine [10]:

1. Helikopteri
2. Žirokopteri
3. Zrakoplovi s tiltrotorom
4. Zrakoplovi s pogonskim uzgonom

Prema znanstvenicima sa Sveučilišta u Birminghamu (UK) a u skladu sa vrstom pogona *eVTOL* zrakoplovi mogu se podijeliti na [11]:



Prema vrsti energije za pokretanje *eVTOL* zrakoplova isti se mogu podijeliti na one koji su pogonjeni s [10]:

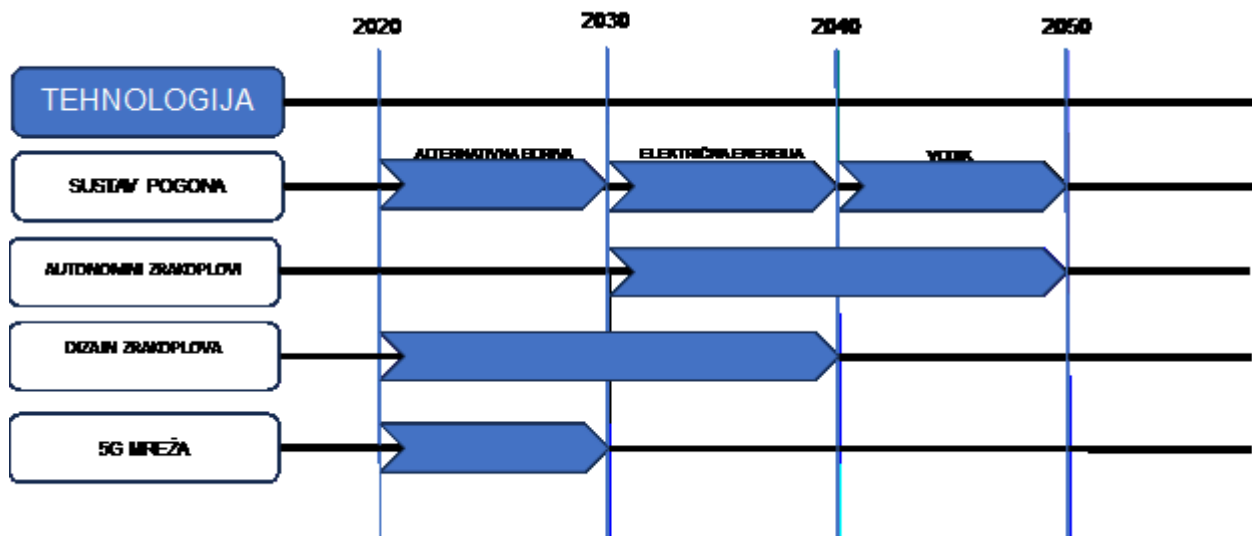
1. Električnom baterijom
2. Električno - hibridnom baterijom
3. Električno - hidrogenskom baterijom

Obzirom na mogućnosti povezivanja *eVTOL* zrakoplovi mogu se podijeliti na:

1. Povezanost unutar grada
 - a) povezivanje zračne luke sa gravitacijskim područjem
 - b) zračni taksi
2. Međugradska povezanost
 - a) Radi poslovnih obaveza
 - b) Putovanja unutar regije

Prema načinu upravljanja *eVTOL* zrakoplovi se dijele na one koji su autonomni i na one kojima upravlja pilot. Za primjenu autonomnih zrakoplova u budućnosti, potrebno je istraživati i pratiti razvoj te primjenu VTOL zrakoplova kojima upravlja pilot, kao što je to provedeno primjerice za cestovni prijevoz putnika u urbanim sredinama.

Slika 1 predstavlja vremenski prikaz pojedinih tehnologija *eVTOL* koje se razvijaju unutar koncepta Urbane zračne mobilnosti.



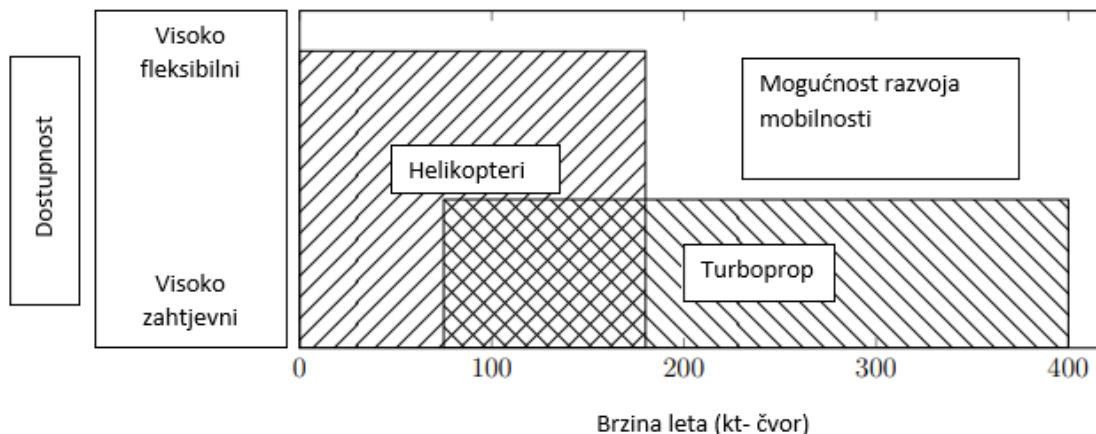
Slika 1. Vremenski prikaz tehnologije razvoja (prilagođeno)
Izvor: [12]

2.1.1 Standardni VTOL zrakoplovi

2.1.1.1 Helikopteri

Tehnika leta helikoptera uključuje pogonski motor koji se u pravilu nalazi iznad kabine te koji putem vratila pogoni rotore helikoptera. Rotor helikoptera u poprečnom presjeku imaju formu aeroprofila. Upravljački manevri se izvode na način da se promjeni nagib rotora gdje se posljedično mijenja i promjena nagiba leta helikoptera, dok se promjena smjera leta helikoptera mijenja uz pomoć repnog rotora i promjene njegovog nagiba. Također, repni rotor pomaže održavati stabilnost helikoptera te sprječava okretanje helikoptera oko vlastite osi.

Helikopteri kao što je već i prije spomenuto, imaju određene prednosti, ali i nedostatke u odnosu na zrakoplove. Kao prednosti može se navesti činjenica da im nije potrebna sveobuhvatna aerodromska infrastruktura za slijetanje i uzlijetanje te imaju mogućnost slijetanja i transport osoba sa nepristupačnih terena. Najznačajniji nedostaci helikoptera očituju se u činjenicama da ne mogu letjeti na velikim visinama i operirati velikim brzinama. Kao dodatni nedostatak javlja se visoka razina buke koja je prisutna, a posebno kod operacija slijetanja i uzlijetanja. Na slici 2 prikazane su brzine helikoptera u odnosu na turboprop zrakoplove gdje su iskazani odnosi između helikoptera i turboprop zrakoplova u pogledu dostupnosti i mogućnosti razvoja određenih brzina. Iako helikopteri u pravilu razvijaju manje brzine od turboprop zrakoplova, s druge strane helikopteri imaju veću fleksibilnost po pitanju infrastrukture.



Slika 2. Prikaz brzina helikoptera u odnosu na turboprop zrakoplove
Izvor: [14]

Za razvoj mobilnosti zanimljiva je mogućnost razvoja zrakoplova novim tehnologijama koje omogućuju zadržavanje prednosti i helikoptera i turboprop zrakoplova iz perspektive brzine, a u skladu sa zahtjevima usklađivanja sa zahtjevima očuvanja okoliša [13]. To se prvenstveno odnosi na smanjivanje emisija stakleničkih plinova i buke te ekološki prihvatljivog dizajna.

U Europi se provodi razvojni projekt „Čisto nebo 2“ (engl. *Clean Sky 2*) čiji je cilj razviti ekološki prihvatljiv dizajn zrakoplova, smanjiti emisije stakleničkih plinova te smanjiti buku zrakoplova. Program obuhvaća tri platforme razvoja i to kod velikih i regionalnih zrakoplova te brzih rotokoptera. Brzi rotokopteri (engl. *Fast Rotorcraft*) na tržištu će ponuditi učinkovitiju hitnu medicinsku pomoć kao i traganje i spašavanje unesrećenih te bolju mobilnost korisnika, pogotovo iz perspektive transporta od vrata do vrata. Grupacija Airbus Helikopteri [13] u suradnji sa 40 partnera iz 13 europskih zemalja unutar programa „Čisto nebo 2“ razvila je projekt pod nazivom „Brzi i isplativi rotokopteri“ (engl. *Rapid and Cost-Effective Rotorcraft* - RACER) čiji se prvi demonstracijski let očekuje uskoro [15]. Demonstracijski RACER (slika 3), je rotokopter srednje klase čija je brzina krstarenja nešto manja od 220 kt, čime će se omogućiti povezivanje velikih udaljenosti u kratkom vremenu. Primjerice, procjenjuje se da će let od Londona do Pariza sa navedenim rotokopterom trajati sat vremena. Također, tehnologija razvoja RACER-a doprinijela je razvoju helikoptera čija je razina buke na razini autobusa u javnom gradskom prometu [16].



Slika 3. RACER
Izvor: [13]

RACER zadržava principe složenog rotokoptera koji se očituju u vidu krila i propelera odnosno lateralnih rotora. Inovacije koje su implementirane u izradu složenog rotokoptera su:

- *box-wing* dizajn koji povećava aerodinamičku učinkovitost,
- hibridna metalno-kompozitna konstrukcija helikoptera koja omogućava manju težinu,
- novi visokonaponski generator sa istosmjernom strujom,

- stražnji dio trupa koji ima asimetrični poprečni presjek radi boljih performansi lebdjenja pri čemu nisu ugrožene performanse prilikom letenja unaprijed i krstarenja,
- manje vibracije prilikom leta pri većim brzinama,
- trup koji ima manji otpor.

2.1.1.2. Žirokopteri

Žirokopteri, kao i helikopteri, pripadaju u skupinu rotokoptera koji imaju mogućnost vertikalnog polijetanja i slijetanja, odnosno pripadaju u skupinu VTOL zrakoplova (slika 4). Koncept žirokoptera je razvijen u 40-tim godinama prošlog stoljeća, gdje je čak 1947. godine postigao brzinu od 129 mph (~208 km/h) pri helikopterskim natjecanjem u G klasi [17]. Žirokopteri postižu uzgon rotorima koji se nalaze na vrhu trupa dok potisnu silu u horizontalnom letu postižu uz pomoć tradicionalnih propelera.



Slika 4. Žirokopter Fairey F-1

Izvor: [18]

2.1.1.3 Zrakoplovi sa tiltrotorom - konvertiplan

Konvertiplan je specifična vrsta zrakoplova koja predstavlja kombinaciju helikoptera i aviona, a čiji se rotori mogu okretati. U fazama polijetanja, slijetanja i lebdjenja rotori su okrenuti vertikalno i na takav način stvaraju uzgon potreban za polijetanje, slijetanje i lebdjenje, dok kod horizontalnog leta rotori se okreću horizontalno stvarajući vučnu silu, a aerodinamički uzgon se postiže na krilima. Postavljanjem rotora u horizontalni položaj izbjegnuto je veliki otpor pri horizontalnom letu, a taj otpor je uzrok male brzine helikoptera.

Tiltrotor zrakoplovi s aspekta tehnike i tehnologije omogućuju veće brzine, imaju manje vibracija od helikoptera i generiraju manju razinu buke, osim u fazama lebdjenja.

Već je 1952. godine Transcendal Aircraft razvio eksperimentalni model tiltrotor jednosjeda 1-G u suradnji s američkom vojskom. Iako se tri godine kasnije dogodio pad zrakoplova pri letu, otvorile su se mogućnosti za daljnja istraživanja vezana uz izvedbu navedenog tipa zrakoplova. Tvornica Bell Aircraft je nastavila razvijati tiltrotore na osnovu modela 1-G te već 1951. razvila model XV-3 koji je pao prilikom testnog leta 1956. godine, no razvoj je unatoč neprilikama nastavljen te je model XV-3 na kraju postigao brzinu od 115 kt pri horizontalnom letu. Nadalje, razvijen je model XV-15 koji je imao veoma uspješan let 1979. godine te se iz tih modela razvio se i model JVX koji je naknadno preimenovan u V-22 Osprey. Modeli su se prvenstveno razvijali u vojne svrhe i zajedničkom suradnjom NASA-e, Boeing-a i američke vojske. Model V-22 Osprey je imao poteškoća pri razvoju, no svejedno je nakon 16 godina istraživanja i razvoja uspješno korišten u vojne svrhe [18].

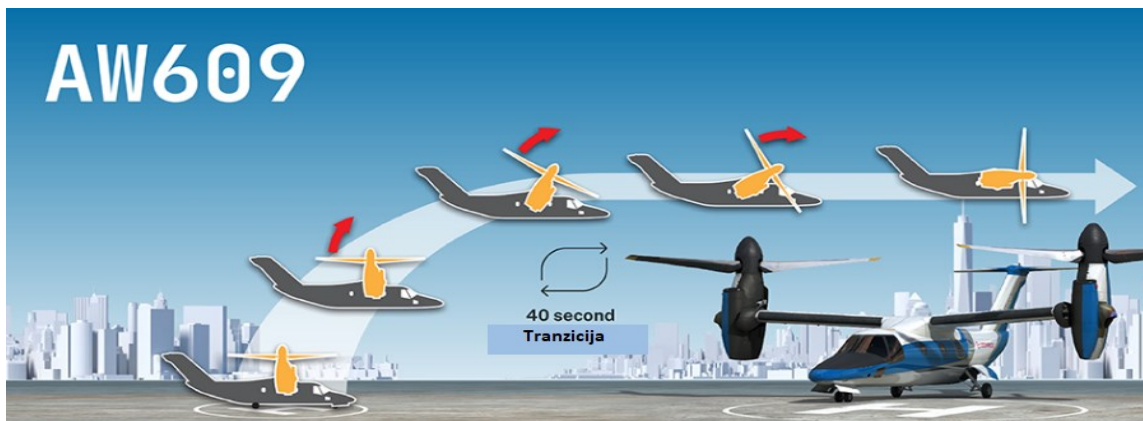
Bell je nastavio razvoj tiltrotora i u civilne svrhe sa partnerom iz Italije, Augustom, te je prvi prototip poletio početkom 2003. godine kao BA609 [19]. Kako je Bell izašao iz projekta, projektu se 2011. priključio Westland te je letjelica preimenovana u AW609 (slika 5) pod kojim imenom je i danas poznata, iako je kompanija Leonardo preuzela razvoj ovog tiltrotora [20].



Slika 5. Tiltrotor AW609
Izvor: [20]

Tiltrotor AW609 razvijen je za privatni i poslovni VIP prijevoz te u svrhe traganja i spašavanja odnosno medicinskih letova.

Zrakoplov može letjeti brzinom od 270 kt te ima dolet od maksimalno 1852 km, a za svega 40 sekundi se transformira iz helikoptera u zrakoplov (slika 6). Kako ima kabinu pod pritiskom, može letjeti do najviše visine od 25000 ft i pri tome prevesti 9 putnika odnosno pacijenta i četvero medicinskog osoblja [21].



Slika 6. Tranzicija AW609 iz helikoptera u zrakoplov horizontalnog leta
Izvor: [21]

Trenutno ovaj zrakoplov u svojoj testnoj verziji ima preko 1900 sati leta. Simulatori leta su postavljeni u Philadelphiji gdje se mogu školovati budući piloti i mehaničari, no glavna prekretnica za komercijalnu upotrebu je certifikacija koja je trenutno u završnim fazama i pri američkoj Saveznoj upravi za civilno zrakoplovstvo (engl. *Federal Aviation Administration*- FAA) kao i pri europskoj Agenciji za zrakoplovnu sigurnost (engl. *European Aviation Safety Agency* - EASA) [22]. Dužnosnici FAA i EASA su u 2023. godini izvršili testne letove što je još jedan u nizu koraka do certifikacije.

U 2024. godini se očekuje certifikacija zrakoplova pri FAA obzirom da se pripremaju izmjene u zakonodavstvu gdje će tiltrotorima, odnosno zrakoplovima sa potiskom, biti omogućena olakšana certifikacija, obzirom da FAA već dugi niz godina nije izdala certifikat za novi tip zrakoplova [23]. To dovodi i do lakšeg certificiranja *eVTOL* zrakoplova. Kako za tiltrotore nema odvojene kategorije moralo se pribjeći certifikaciji po dijelovima 23, 25 i 29. Naime, AW609 je teži od standardnih zrakoplova sa rotirajućim krilima (engl. *rotorcraft/ rotary-wing aircraft*), no može prevesti manje putnika od transportnih rotokrafta odnosno zrakoplova. Ono što je jedna od važnijih karika za certifikaciju su rotirajući motori koji prilikom uzlijetanja i slijetanja su kreatori uzgona, dok kod horizontalnog leta su kreatori potiska [24].

EASA je napravila, već prije spomenuti program Slijedeća generacija tiltrotora (engl. *Next-Generation Tiltrotor*) pri programu *Čisto nebo* kojemu je osnova ušteda energije i briga za okoliš.

Pa tako i sklopu programa Slijedeće generacije tiltrotora fokus je na smanjenju emisije stakleničkih plinova, smanjenju buke, smanjenje troškova posjedovanja te maksimiziranje učinkovitosti, produktivnosti i brzine. Proizvođač Leonardo je također dio ovog programa zajedno sa svojim partnerima [25].

NASA u sklopu svojih programa ima za cilj razvoja velikih civilnih tiltrotora (slika 7) koji bi mogli prevesti do 90 putnika pri brzini od 300 kt. Ono što NASA prvenstveno čini je razvoj tehnologija u pogledu materijala konstrukcije, smanjenja razine buke pri lebdenju i unapređenje rada motora kako bi se smanjila potrošnja goriva [26].



Slika 7. NASA veliki civilni tiltrotor
Izvor: [26]

2.1.1.4. Zrakoplovi sa pogonskim uzgonom

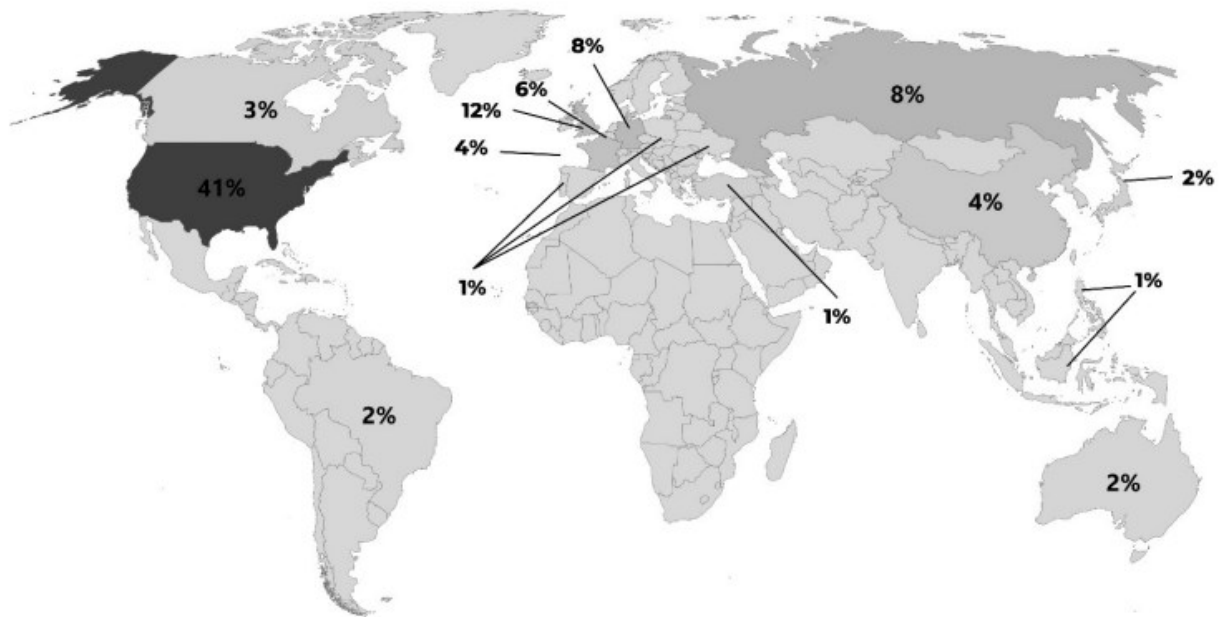
Zrakoplovi sa pogonskim uzgonom (engl. *power lift*) su oni koji mogu mijenjati smjer pogona ovisno u kojoj fazi leta se nalaze. Tiltrotor AW609 spada u ovu kategoriju zrakoplova obzirom da ima mogućnost okretanja motora i prilagodbe istih različitim fazama leta. Svakako će uvođenje ove kategorije zrakoplova u američku i europsku regulativu omogućiti lakšu certifikaciju samih zrakoplova bez obzira na vrstu pogona. Trenutno, FAA je dala prijedlog licenciranje samih pilota koji bi morali imati određeni broj sati naleta isključivo na toj vrsti zrakoplova čime se želi omogućiti veća sigurnost [27].

2.2.2 eVTOL zrakoplovi

eVTOL zrakoplovi su zrakoplovi koji imaju električni odnosno hibridni pogon i kao takvi predstavljaju inovativni koncept u zrakoplovstvu. eVTOL zrakoplove je prvi spomenu Dr. Moore u svojoj doktorskoj disertaciji 2009. godine, iako je i Henry Ford još u ranim dvadesetim godinama 20. stoljeća govorio o letećim jednosjednim automobilima [28]. Doktor Moore je predstavio koncept *Puffin* eVTOL zrakoplova [29], dok je službeni koncept eVTOL zrakoplova objavilo Američko udruženje za aeronautiku i astronautiku (engl. *American Institute of Aeronautics and Astronautics* - AIAA) kao i američko helikoptersko udruženje (engl. *American Helicopter Society* - AHS) a trenutno djeluje pod nazivom Društvo za vertikalni let (engl. *Vertical Flight Society-VFS*) [30].

U ovom trenutku postoji preko 900 eVTOL zrakoplova u različitim fazama razvoja. U taj su broj uključeni konceptualni modeli, prototipovi i već proizvedeni zrakoplovi. No, bez obzira na veliki broj eVTOL zrakoplova i dalje postoji problem oko certificiranja ovakve vrste zrakoplova. Vjeruje se da će 2024. godina biti godina novih regulatornih zahtjeva od strane FAA, a koje će slijediti i ostali regulatori, EASA i posebno napredna Generalna uprava za civilno zrakoplovstvo Ujedinjenih Arapskih Emirata (engl. *General Civil Aviation Authority* - GCAA). Očekuje se kako će eVTOL zrakoplovi, kao zračni taksi, se početi koristiti već 2025. godine u Ujedinjenim Arapskim Emiratima [31]. U ovom trenutku kompanija Lilium iz Njemačke je jedina dobila suglasnost EASA-e te zatražila certifikaciju i od FAA dok sami proces certifikacije je započeo u 2017. godini.

Teškoće s kojima se proizvođači ovakvih zrakoplova, ali i regulatori susreću su primarno vezani uz sigurnosne aspekte, a dodatno uz certifikaciju samih proizvođača i zrakoplova nego i certifikaciju pilota i sustava održavanja. Navedeni tipovi zrakoplova ne zahtijevaju uzletno-sletnu stazu većih dimenzija, stoga vertiportovi neće imati značajne prostorne zahtjeve kao standardni aerodromi, ali će trebati imati odgovarajući prostor za punjenje baterija eVTOL zrakoplova što će predstavljati sigurnosni rizik.



Slika 8. Prikaz razvoja *eVTOL* zrakoplova na globalnoj razini u periodu od 2014. – 2020. godine
Izvor: [11]

Na slici 8 je prikazan udio razvoja *eVTOL* zrakoplova, gdje je SAD predvodnica razvoja sa 41 %, potom slijedi Velika Britanija sa 12 %. Najviše kompanija koji se bave proizvodnjom *eVTOL* zrakoplova su *startupovi*, čak 68 % od ukupnog broja proizvođača u svijetu.

Ipak veliki proizvođači poput Boeing, Airbus i Embraer također prate trendove pa zajedno čine 24 % od ukupne proizvodnje *eVTOL* zrakoplova [11].

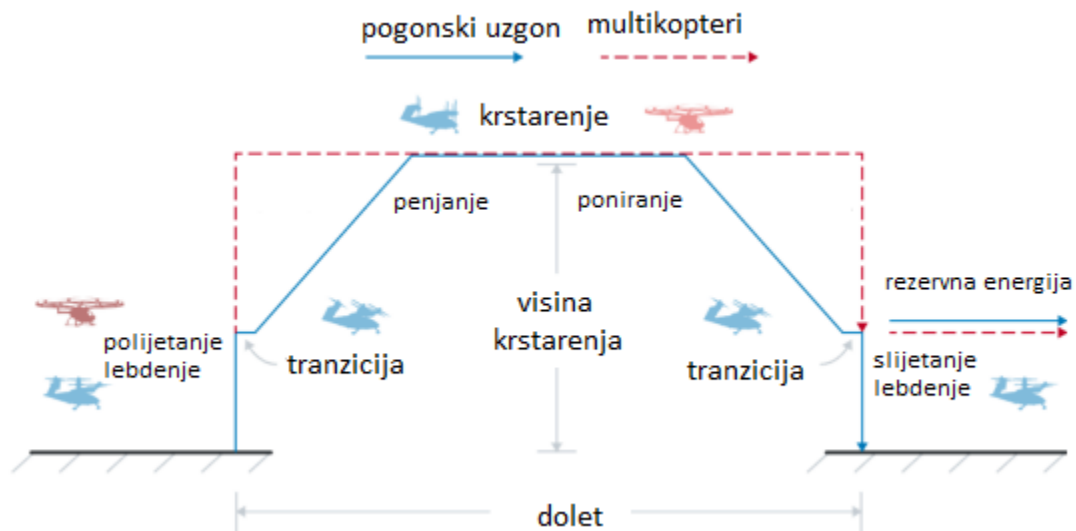
2.2.2.1 Beskrilni *eVTOL* zrakoplovi (Multikopteri)

Beskrilni *eVTOL* zrakoplovi, su zrakoplovi bez klasičnih mehanizama za povećanje uzgona dok potisak za polijetanje/slijetanje/lebdenje i horizontalan let dobivaju iz zasebnih jedinica [11]. Multikopteri su također beskrilni zrakoplovi koji imaju dva ili više rotora [32]. S obzirom na činjenicu da Multikopteri nemaju krila, rezultat je da s takvom konfiguracijom ne mogu postići velike visine, a ni prijeći velike udaljenosti. U trenutnom tehnološkom napretku, korištenje Multikopteri, tj. beskrilnih zrakoplova će biti u svrhu prijevoza do 10 km i to unutar grada odnosno kao osobna vozila (engl. *Personal Air vehicles-PAV*) [33].



Slika 9. Volocopter, VoloCity - primjer multikoptera
Izvor: [34]

Na slici 10. se vidi usporedba profila leta zrakoplova s pogonskim uzgonom i multikoptera, gdje se vidi kako multikopteri u fazama polijetanja, penjanja, poniranja i slijetanja lete vertikalno i nemaju kao takvi tranziciju između polijetanja i penjanja odnosno poniranja i slijetanja kakvu imaju zrakoplovi s pogonskim uzgonom.



Slika 10. Profil leta za VTOL zrakoplove sa pogonskim uzgonom i za multikoptere
Izvor: [33]

2.2.2.2 eVTOL zrakoplovi sa pogonskim uzgonom

eVTOL zrakoplovi s pogonskim uzgonom, za razliku od multikoptera, imaju i krila. Spominjanje ovih tipova zrakoplova u civilnom aspektu je počelo nedavno s pojavom prvih eVTOL zrakoplova koji su koristili ovu tehnologiju. Prednosti zrakoplova s pogonskim uzgonom su mogućnost prelaska većih udaljenosti, veća brzina, mogućnost prijevoza većih količina plaćenog tereta u odnosu na beskrilne zrakoplove. Nedostatak ovog tipa zrakoplova su kompleksnost dizajna, sama izrada, obzirom na ugrađeno krilo, te sustavi koji su potrebni za stvaranje uzgona pri krstarenju kao i potreba za dodatnu ugradnju jedinica za uzgon/potisak. Također, s obzirom na postojanje krila, prilikom polijetanja i slijetanja stvara se veliki otpor pri čemu dolazi i do smanjenja brzine u tim fazama leta [33].

Zrakoplovi s vektorskim potiskom, kao što se može vidjeti na slici 10., da bi došli do faze tranzicije zakreću neke od elemenata nakon vertikalnog polijetanja odnosno lebdenja [35]. Ti zakretni elementi su krilo (slika 11.), propeler (slika 12.), ventilator (engl. *tilt fan*) (slika 13.) i cijela struktura odnosno kabina (engl. *tilt body*) (slika 14.). Najčešće se u izradi koriste zakretni elementi krila i propelera.

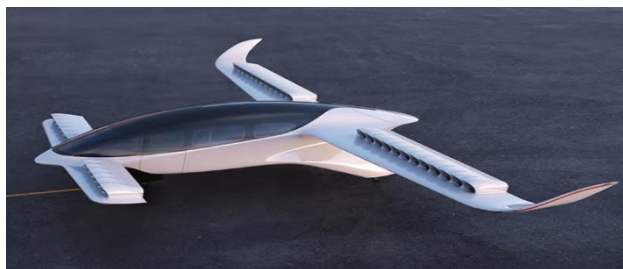
Zrakoplovi s vektorskim potiskom se služe krilom prilikom krstarenja za stvaranje uzgona, dok u fazama polijetanja/slijetanja/lebdenja i krstarenja se služe jednim od pogonskih sustava [36].



Slika 11. Dufour Aero 3 - *tilt wing* Izvor: [37]



Slika 12. Joby Aviation S4 - *tilt prop* Izvor: [34]



Slika 13. Lilium Jet - *tilt fan* Izvor: [34]



Slika 14. Eve – Embraer Izvor: [34]

Zrakoplovi s neovisnim potiskom imaju odvojene jedinice za uzgon/potisak kod vertikalnog leta odnosno kod horizontalnog leta. Pri vertikalnom letu jedinice za uzgon/potisak su aktivne, dok one za horizontalan let nisu, i obratno. Ovakav način funkcioniranja jedinica stvara izazove zato što neaktivne jedinice postaju teret. Primjer zrakoplova prikazan je na slici 14.

Zrakoplovi s kombiniranim tipom potiska (Slika 15) koji se u literaturi nazivaju i „uzgon+krstarenje“ (engl. *lift+cruise*), imaju mogućnost zakretanja pojedinih elemenata (krila, propelera i ventilatora) kao što to imaju i zrakoplovi sa vertikalnim potiskom. Zrakoplovi s kombiniranim tipom potiska koriste krila za stvaranje uzgona prilikom horizontalnog leta, dok propulzivni sustav koriste za vertikalni let, a dio tog sustava se koristi i za krstarenje [38].



Slika 15. Vertical Aerospace VX4
Izvor: [39]

Infrastruktura koja bi podržavala razvoj modernih VTOL zrakoplova bi se trebala razvijati unutar samih urbanih sredina, oko već postojećih aerodroma te u ruralnim sredinama radi bolje povezanosti.

3. ANALIZA POSTOJEĆE REGULATIVE I KONCEPTA VERTIPORTOVA

Vertiportove, EASA definira kao područja na vodi, zemlji ili objektu koji služi za polijetanje i slijetanje VTOL zrakoplova gdje je naglasak na nekonvencionalne VTOL zrakoplove. Generalna uprava za civilno zrakoplovstvo Ujedinjenih Arapskih Emirata vertiportove kategorizira kao infrastrukturu koja podupire prihvat i otpremu *eVTOL* zrakoplova.

Prva regulativa koja definira projektiranje vertiportova donesena je od strane Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (FAA) 1991. godine. Savjetodavne smjernice (engl. *Advisory Circular*) su izdane zbog pojave civilnih tiltrotor zrakoplova, no kako tiltrotor zrakoplovi nisu ušli u upotrebu, smjernice su poništene 2010. godine [40]. Trenutno jedina odobrena i aktualna regulativa je ona izdana od ICAO-a i vezana je za heliodrome, a nalazi se u ICAO Dodatak 14, dio II te u Dokumentu 9261. S obzirom na razvoj VTOL zrakoplova odnosno zrakoplova s namjenom urbane mobilnosti takva regulativa nije adekvatna. FAA je izdao 2022. godine Sažetak za inženjere br. 105 (engl. *Engineering Brief number 105*) o dizajnu vertiportova, a u suradnji s NASA-om, 2023. godine je izdan i Operacijski koncept 2.0 (engl. *Concept of Operations - CONOPS*) u kojem su definirani parametri operacija UAM-a [41].

Privremena regulativa koja je vezana za vertiportove izdana je i od strane EASA-e kroz dokument naziva Prototip tehničkih specifikacija vertiportova (engl. *The Prototype Technical Design Specifications for Vertiports*). Civilna agencija za zrakoplovstvo Velike Britanije je također izdala CAP2538 koji služi za aerodrome i vertiportove na kojima će se provoditi operacije zrakoplova za vertikalno polijetanje i slijetanje. Ipak, iz britanske Nacionalne zrakoplovne vlasti (engl. *Civil Aviation Authority- CAA*) za kraj 2024. godine najavljuje se izdavanje tehničkih zahtjeva vertiportova koji će definirati strukturu i uvjete za izgradnju vertiportova.

Ujedinjeni Arapski Emirati su u suradnji sa ICAO donijeli dokument naziva Regulativa civilnog zrakoplovstva za Heliportove (na kopnu – na obali) i vertiportove (na kopnu) (engl. *Civil Aviation Regulation - Heliports (Offshore-Onshore) and Vertiports (Onshore)- CAR-HVD*) [42]. Regulativni dokument je izdan u ožujku 2023. godine, a temelji se na već spomenutom ICAO Dodatku 14 i Dokumentu 9261.

Kako bi regulativa bila u skladu sa sigurnosnim standardima, regulatori surađuju sa proizvođačima VTOL odnosno *eVTOL* zrakoplova, obzirom da zbog karakteristika *eVTOL* zrakoplova uvelike ovisi i planiranje vertiportova. Sigurnosni aspekti su prioritetni, pa se razmatra primjerice o mjestima za punjenje električnom energijom, načinima punjenja gorivim za hibridne *eVTOL* zrakoplove, sprečavanje te gašenje požara, utjecaj vremenskih neprilika na operacije i dr.

3.1 Regulatorna Ujedinjenih Arapskih Emirata

Generalna uprava za civilno zrakoplovstvo Ujedinjenih Arapskih Emirata (GCAA) osnovana je 1996. godine saveznom odredbom Vlade, te je postavljeno osam osnovnih ciljeva. Neki od njih su razvoj regulatornih okvira koji će stimulirati razvoj poslova i investicija, poticanje digitalne transformacije regulative i nadzora civilnog zrakoplovstva, upravljanje sigurnošću, zaštitom i sustavima zračnog prijevoza u civilnom zrakoplovstvu. Kao zadnji, osmi cilj se navodi poticanje inovacija temeljenih na fleksibilnosti, pro aktivnosti i spremnosti unutar radnog sustava. Navedeno je omogućilo daljnji razvoj regulative ostalim regulatornih tijelima na globalnoj razini.

Generalna uprava je izdala detaljan dokument o regulatorni vertiportova izgrađenim na zemlji odnosno zemaljskim objektima. Dokument se u dijelovima veže na:

- Dodatak 14, dio II
- Dodatak 9261 - Poglavlja pet i sedam ,
- EASA dokument SC-VTOL 2115
- Prototip tehničkih specifičnosti dizajniranja vertiportova [42].

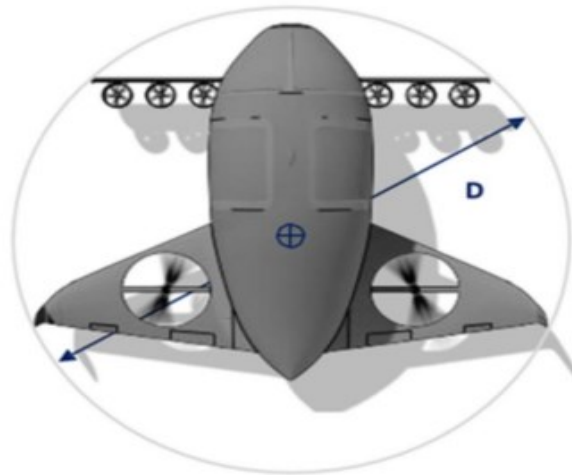
Generalna uprava se nije ograničila samo na VFR letove i na vizualne neprecizne prilaze nego je i uvela mogućnosti implementacije IFR letova odnosno preciznih prilaza. Cjelokupna regulatorna je detaljno obrazložena, osim u segmentu mogućnosti napajanja i cjelokupne električne infrastrukture gdje su mogućnosti napajanja ostavljene otvorene u odnosu na tehnološki razvoj samih zrakoplova. Ipak, regulator je unio referentne točke sigurnosti, poput vatrogasnih propisa države te skladištenja baterija koje ne smiju biti u blizini zone dodira i polijetanja (engl. *Touchdown and Lift-off Areas-TLOF*), zone završnog prilaza i uzlijetanja (engl. *Final Approach and Take-off Area- FATO*) i sigurnosnih zona.

U nastavku su definirani neki od pojmova koji se mogu naći u pravilniku za vertiportove na kopnu:

1. Vertiport - označava područje na zemlji, vodi ili strukturi (građevini) koja je namijenjena za polijetanje/slijetanje i kretanje VTOL zrakoplova (VCA)
2. Vertipad - bilo koji dio zemljišta, zgrade ili strukture ili jednog njenog dijela koji je označen i odobren od nadležnih tijela za polijetanje/slijetanje VTOL zrakoplova (VCA)
3. Zrakoplov sposoban za vertikalno uzlijetanje i slijetanje (engl. VCA - VTL Capable *Aircraft*) - zrakoplov teži od zraka osim aviona ili helikoptera koji ima mogućnosti

izvođenja vertikalnog polijetanja i slijetanja koristeći pri tome više od dvije jedinice za uzgon/pogon a koje omogućuju uzgon za vrijeme polijetanja i slijetanja

4. Vertiport na povišenom položaju (engl. *Elevated vertiport*) - vertiport smješten na povišenoj strukturi na zemlji ili na krovu odnosno na drugoj povišenoj strukturi gdje su TLOF i FATO postavljeni na visinu od minimalno 0,8 m u odnosu na okruženje
5. Vertipad za hitnu evakuaciju (engl. *Emergency Evacuation Vertipad*) - područje za hitno slijetanje na vrhu zgrade koje se isključivo koristi za žurnu evakuaciju zgrade
6. Bolnički vertiport (engl. *Hospital Vertiport*) - vertiport smješten u bolnici ili drugoj liječničkoj ustanovi s ciljem prihvata VCA koji sudjeluje u pružanju hitne medicinske pomoći odnosno drugim medicinskim funkcijama
7. Vertiport ograničene veličine (engl. *Limited sized Vertiport*) - vertiport na kojem je vatrogasna oprema koncentrirana na TLOF i FATO, a nema zahtjeva da se oprema za raspršivanje vode i/ili pjene premjesti
8. Vertiport na razini površine (engl. *Surface Level Vertiport*) - vertiport koji je lociran na površini ili vodi
9. D - oznaka za promjer (engl. *Diameter*) najmanjeg zatvorenog kruga projekcije VCA na horizontalnoj ravnini dok je zrakoplov u konfiguraciji polijetanja ili slijetanja s rotorom/rotorima u pokretu, u slučaju primjene (slika 16)



Slika 16. oznaka D

Izvor: [42]

3.1.1. Primjer razvoja vertiportova u Dubaiju

U veljači 2023. godine odobren je dizajn vertiporta u blizini međunarodne zračne luke Dubai (IATA kod: DXB) od strane Generalne uprave za civilno zrakoplovstvo Ujedinjenih Arapskih Emirata. Arhitektonski studio Fosters + Partners zajedno s partnerima razvili su plan sustava vertiportova na četiri lokacije u Dubaiju [43]. Prva lokacija će biti izgrađena u blizini međunarodne zračne luke i stanice podzemne željeznice. Cilj Agencije za ceste i transport (engl. *Roads and Transport Authority* - RTA) je izgraditi mrežu vertiportova kako bi se korisnici lakše i brže kretali kroz grad. Slijedeći vertiportovi bi se trebali nalaziti u centru Dubaia, marini te Palm Jumerira. Agencija za ceste i transport, kao jedan od važnih dionika implementacije vertiportova, planira do kraja 2026. godine integrirati putovanja s *eVTOL* zrakoplovima unutar javnog gradskog prijevoza [43].

Vertiport neposredno uz međunarodnu zračnu luku je planiran kao cirkularni, gdje se u sredini vertiporta na povišenoj platformi nalazi prostor za polijetanje/slijetanje i parkiranje *eVTOL* zrakoplova dok se terminalna zgrada nalazi oko tog prostora (slika 17). Operater vertiporta će biti kompanija *Skyport*, koja će izgraditi te ujedno biti i vlasnik vertiporta [44].



Slika 17. Vertiport pored međunarodne zračne luke Dubai (DXB)

Izvor: [45]

Razvoj mreže vertiporta u Dubaiju provodi se u sklopu projekta koji predvodi kompanija za razvoj i izgradnju vertiportova, *Vport* u partnerstvu s *Muhammed bin Rashid Aerospace Hub-om*. *Vport* sa svojim partnerom fokusira se na razvoj svjetskog integracijskog centra za zračnu mobilnost u južnom dijelu Dubai-a (engl. *Dubai South*) u blizini međunarodnog aerodroma al Maktoum (IATA: DWC). Vertiport naziva Ras Al Khaimah (IATA: RAK)(slika 18) [46] trenutno je u fazi certifikacije dizajna koji provodi Generalna uprava za civilno zrakoplovstvo [47]. Testiranje *eVTOL* zrakoplova će se omogućiti u integracijskom centru, gdje će se ustanoviti i *Vport*-ov operativni kontrolni centar (engl. *Vports' Operation Control Center - VOCC*). *VOCC* će imati ulogu integrirati zračni promet i ustoličiti komunikacijske protokole između *eVTOL* zrakoplova, vertiportova i pružatelja zrakoplovnih usluga (engl. *Air Navigation Service Provider - ANSP*) [48].



Slika 18. Vport integracijski centar
Izvor: [46]

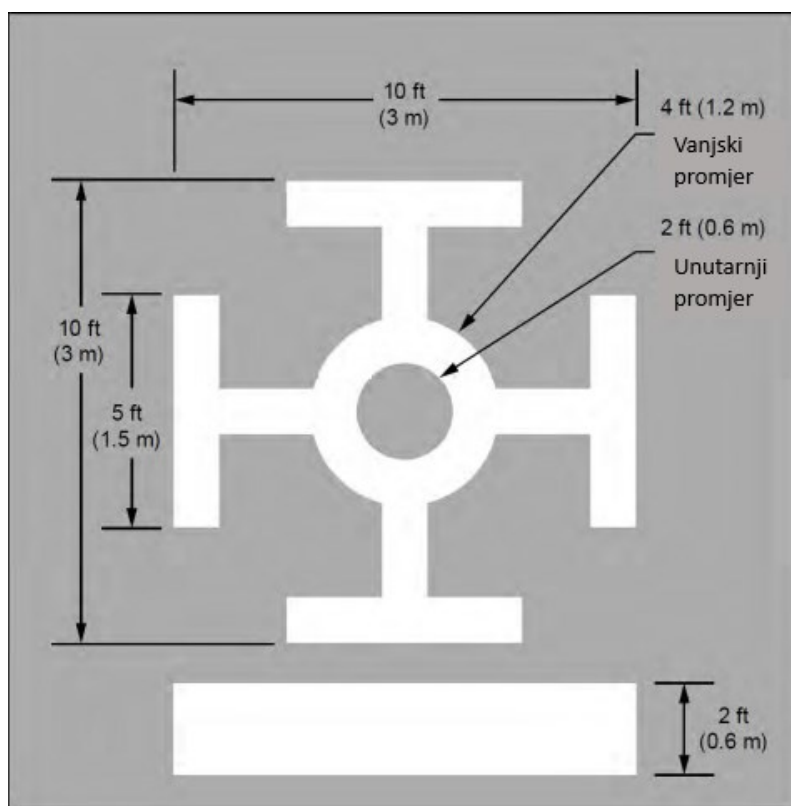
3.2 Regulatorna Sjedinjenih američkih država

Američka Savezna uprava za zrakoplovstvo (FAA) je još 1991. godine izdala Savjetodavnu obavijest vezanu uz razvoj vertiportova i vertistopova s obzirom da su u tom periodu razvijali prvi civilni tiltrotor zrakoplovi. No, kako nije došlo do primjene tiltrotor zrakoplova u civilne svrhe, Savjetodavna obavijest je ukinuta sredinom 2010. godine.

Ipak, razvojem samih VTOL zrakoplova, pogotovo onih koji pripadaju u kategoriju *eVTOL* zrakoplova, Savezna uprava odlučila je u rujnu 2022. godine izdati Tehnički sažetak (engl. *Engineering Brief*) broj 105, kako bi osigurala smjernice za budući razvoj vertiportova.

U 2024. godini se očekuje objava sveobuhvatnih smjernica za izgradnju vertiportova, tako da se postojeći tehnički sažetak 105 smatra privremenim [40].

Savezna uprava je izdala dokument koji se može smatrati dovoljno informativnim, ali obzirom na činjenicu da ne posjeduju adekvatne i dostatne podatke o samim *eVTOL* zrakoplovima naglašavaju kako Tehnički sažetak nije pravno obvezujući upravo zbog nedovoljno podataka. No daju mogućnost razvoja regulative u segmentu pogonskih sustava (električnih, hibridnih i sustava na vodik), razvoja gustoće pogonskih baterija, autonomiju te frekvenciju i cjelokupnu kompleksnost samih operacija na objektima. Kao identifikacijsku oznaku vertiporta preporuča se oznaka „potrganog kotača“ s pripadajućim dimenzijama, postavljenog u sredini TLOF (slika 19).



Slika 19. Identifikacijska oznaka za vertiport
Izvor:[40]

Savezna uprava je prema referentnom zrakoplovu napisala Sažetak (tablica 1). Referentni zrakoplov je prosjek specifikacija devet zrakoplova koji su bili u razvoju u trenutku pisanja Tehničkog sažetka, a maksimalna težina pri polijetanju nije viša od 5670 kg (engl. *Maximum Take-off Weight* - MTOW), dok se letenje operativno provodi u vizualnim uvjetima (engl. *Visual Flight Rules* - VFR).

Tablica 1. Karakteristike referentnog zrakoplova

PROJEKTNE KARAKTERISTIKE	KRITERIJI
Pogon	pogonjen baterijom, koristeći distribuirani električni pogon
Pogonske baterije	2 ili više
Sistemi baterija	2 ili više
Najveća težina pri polijetanju (MTOW)	1250 pound (5670 kg) ili manje
Dužina zrakoplova	50 feet (15,2 m) ili manje
Širina zrakoplova	50 feet (15,2 m) ili manje
OPERATIVNI UVJETI	KRITERIJI
Lokacija operacije	na tlu (na zemlji ili povišenom objektu) - bez amfibijskih ili plutajućih operacija
Pilot	u zrakoplovu
Uvjeti leta	VFR
PERFORMANSE	KRITERIJI
Lebdenje	lebdenje van efekta tla pri normalnim operacijama (HOGE)
Polijetanje	vertikalno
Slijetanje	vertikalno
Silazno strujanje/strujanje prema van	treba se uzeti u obzir pri određivanju veličine TLOF/FATO, te područja ulazaka/izlazaka kako bi se osiguralo da nema ugrožavanja ljudi/imovine koji/a se nalaze u blizini, odnosno da nema utjecaja na sigurnost važnih navigacijskih uređaja i površina, dodatne opreme, zrakoplova u blizini. Uzeti u obzir sveobuhvatnu sigurnost.

Izvor: [40]

Detaljnost Tehničkog Sažetka se očituje u smjernicama izvedbe zone polijetanja i slijetanja (TLOF) te korištenja materijala za izradu, detaljnom opisu horizontalnih oznaka, svjetla prilaza, vjetrulje, zrakoplovni far (engl. *Identification beacon*) i dr. Iako u trenutku izdanja ovog dokumenta izrađivači nisu imali sve potrebne informacije, morali su se u pojedinim segmentima (npr. napajanje, električna infrastruktura) nadovezati na postojeću nacionalnu regulativu. Referentni zrakoplov ima snagu baterija do 350kW kao i službena električna vozila za koje već postoje standardi definiran u specifičnim regulativama. Kao primjer potencijalno bi mogli poslužiti standardi o vatrogasnoj zaštiti na aerodromima i to: Međunarodni protupožarni kodeks iz 2021., NFPA 70, NEC članak 625 koji govori o sistemu napajanja električnih vozila, zatim NFPA 110 standard za žurne i rezervne pogonske sustave, i dr.

Nadalje u dokumentu su definirane preporuke o onim vertiportovima koji se nalaze na aerodromu gdje se opisuje potreba za razdvajanjem VTOL zrakoplova i ostalih zrakoplova u trenucima prilaza i polijetanja kao i potreba za zaštitnim pregledima putnika i prtljage. Naglašene su i potrebni razmaci između središnje linije uzletno-sletne staze za polijetanje i slijetanje VFR letova i središta FATO-a kod vertiporta prema veličinama zrakoplova (Tablica 2).

Tablica 2. Razmak između središnje linije i centra FATO-a

REFERENTNI VTOL ZRAKOPLOV (MTOW)	VELIČINA ZRAKOPLOVA	UDALJENOST
1250 pounds (5670 kg) ili manje	mali zrakoplovi (1250 pounds(5670kg) ili manje)	300 ft (91m)
	veliki zrakoplovi (12 500-300 000pounds (5670-136 079kg))	500 ft (152m)
	teški zrakoplovi (preko 300 000pounds (136 079kg))	700 ft (213m)

Izvor: [40]

Savezna agencija u ovom Tehničkom sažetku je stavila naglasak i na aspekt sigurnosti, gdje je dala preporuke o postavljanju automatskog sustava za promatranje vremenskih prilika (engl. *Automated Weather Observing System - AWOS*) na udaljenosti od 30,5 m do maksimalnih 213 m od TLOF. Na vertiportovima se preporuča i olakšan pristup osobama smanjene pokretljivosti s obzirom da se i vertiport smatra aerodromom. U dokumentu se nalazi i znak koji treba biti postavljen u blizini TLOF kako bi upozorio korisnike odnosno službeno osoblje o pokretnim dijelovima samih letjelica (slika 20).



Slika 20. Znak upozorenja
Izvor :[40]

U dokumentu se navode opisi nekih skraćenica i termina koji se mogu naći u Tehničkom sažetku:

1. Sustav baterija (engl. *Battery System*) - Sastoji se od baterije, punjača baterije i svake zaštitne, nadzorne i alarmne sklopove ili hardvera unutar/izvan baterije. Uključuje i otvore za ventilaciju (gdje je potrebno) i ambalažu.
2. Kontrolirana dimenzija (engl. *Controlling Dimension -D*) - Promjer najmanjeg kruga koji obuhvaća projekciju VTOL zrakoplova na horizontalnoj ravnini dok je zrakoplov u konfiguraciji polijetanja ili slijetanja, s rotorskim propelerima u pokretu, ako je primjenjivo.
3. Silazno strujanje/strujanje prema van (engl. *Downwash/Outwash*) - Silazno i bočno kretanje zraka uzrokovano djelovanjem rotirajuće lopatice rotora, propelera ili usmjerenog ventilatora. Kad taj zrak udari u tlo ili neku drugu površinu, uzrokuje turbulentni izlazni zrak iz zrakoplova.
4. Vertiport - Područje na zemlji ili građevini koje se koristi ili namjerava koristiti za slijetanje i polijetanje električnih, vodikom pogonjenih i hibridnih VTOL zrakoplova, uključujući pripadajuće zgrade i objekte.
5. Elevacija vertiporta (engl. *Vertiport elevation*) - Najviša elevacija od svih upotrebljivih površina za vertikalno slijetanje i polijetanje (TLOF) unutar vertiporta, izražena u stopama iznad prosječne razine mora (engl. *Main Sea Level - MSL*)
6. Vertistop - Pojam koji se općenito koristi za opisivanje minimalno razvijenog vertiporta namijenjenog ulasku i izlasku putnika i tereta (bez točenja goriva, pražnjenja goriva, održavanja, popravaka ili skladištenja zrakoplova, itd.)

3.2.1 Primjer razvoja vertiportova u Sjedinjenim Američkim Državama

Krajem 2023. godine Savezna uprava za zrakoplovstvo (FAA) je izdala prvo privremeno odobrenje za vertiport u saveznoj državi Virginia na mješovitom aerodromu (koristi se u civilne i vojne svrhe) Allen C. Perkinson Blackstone (ICAO: KBKT). Predlagatelj za razvoj ovog vertiporta je NAVOS Air koji je ujedno i pružatelj usluga u zračnoj plovidbi države Virginia. Oni će uz pomoć bespilotnih letjelica, za početak, testirati sustave prilaza i potrebne infrastrukture u zračnoj plovidbi [49]. Projekt će poslužiti za daljnji razvoj napredne zračne mobilnosti (AAM), kako bespilotnih letjelica tako i letjelicama kojima upravlja pilot. Prema istraživanju *Virginia Innovation Partnership Corporation* (VIPIC) ustanovljeno je da će više od 21 000 putnika dnevno putovati pomoću AAM unutar države Virginia do 2045. godine.



Slika 21. Potencijalna izvedba vertiporta u Los Angelesu

Izvor: [50]

3.3 Regulative Europske unije

Agencija Europske unije za sigurnost zračnog prometa (EASA) je 2022. godine izdala Prototip tehničkih specifikacija za VFR vertiportove na kojima operiraju VTOL zrakoplovi sa posadom, a certificirani su u unaprijeđenoj (engl. *enhanced*) kategoriji. VTOL zrakoplovi u unaprijeđenoj kategoriji su oni koji mogu prevesti do 9 putnika, a maksimalna težina pri polijetanju ne prelazi 3175 kg. Zrakoplov ima mogućnost i kontinuiranog leta do alternativnog vertiporta nakon kvara. Primjena regulative je prikazana u tablici 3 gdje je prikazano koja kategorija zrakoplova se koristi i u koje svrhe.

Tablica 3. Prikaz matrice primjenjivosti EASA regulative

	Certifikacija zrakoplova prema SC-VTOL kategorijama				
	Unaprijeđena			Osnovna	
	Prijevoz putnika		Teret	Putnički (ne-komercijalni)	Teret
	Komercijalni	Nekomercijalni			
Ne autonomne	Da	Da	Da	n/a	n/a
Autonomne	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Izvor: [2]

EASA je, obzirom na trenutno stanje u ovoj industriji, ostavila prostora za daljnji razvoj regulative, pa je Prototip tehničkih specifikacija, koju su razvijali 15 mjeseci, samo prva faza [51]. U drugoj fazi se planiraju implementirati potpuna pravila za vertiportove vezano za ovlasti, zahtjeve za operatora vertiporta te zahtjeve i za sam rad vertiporta [2]. EASA se prilikom izrade Prototipa tehničkih specifikacija također vodila ICAO regulativom, obzirom da su to jedini dokumenti na koje se regulator može referirati, jer tehničke specifikacije samih VTOL zrakoplova kao i njihovih performansi nisu adekvatno definirane. EASA nema poglavlje o vertiportovima koji se nalaze na visini tj. na građevini kao što je taj aspekt definiran pri GCAA Ujedinjenih Arapskih Emirata. S druge strane, GCAA se značajno poslužila EASA dokumentom i na temelju tog dokumenta kreirala je svoj regulatorni okvir [42].

Neke od definicija koje se mogu naći u dokumentu Prototip tehničkih specifikacija su:

1. Unaprijeđena kategorija (engl. *Category Enhanced*) - označava certifikacijsku kategoriju za zrakoplove sposobne za vertikalno polijetanje i slijetanje (VTOL), prema kojoj zrakoplov zadovoljava zahtjeve za nastavak sigurnog leta i slijetanja nakon kritičnog kvara pri performansama
2. Bazična kategorija (engl. *Category Basic*) - označava certifikacijsku kategoriju za zrakoplove sposobne za vertikalno polijetanje i slijetanje (VTOL), prema kojoj zrakoplov zadovoljava zahtjeve za kontrolirano prisilno slijetanje nakon kritičnog neuspjeha u performansama
3. Zrakoplov dizajniran na način da ima karakteristike VTOL (engl. *Design VTOL-capable aircraft*) - podrazumijeva vrstu zrakoplova sposobnog za VTOL koji je namijenjen korištenju vertiporta, a koji ima najveći skup dimenzija, najveću maksimalnu masu pri polijetanju (MTOM) i najkritičnije kriterije izbjegavanja prepreka. Te karakteristike ne moraju biti prisutne u istom tipu zrakoplova s vertikalnim polijetanjem i slijetanjem (VTOL).
4. Zrakoplov koji ima VTOL mogućnosti (engl. *VTOL-capable aircraft*) - zrakoplov teži od zraka, izuzev aviona ili helikoptera, sposoban za izvođenje vertikalnog polijetanja i slijetanja putem više od dvije jedinice za uzgon/potisak koji se koriste za podizanje tijekom polijetanja i slijetanja.
5. Vertiport - definira se kao područje na kopnu, vodi ili strukturi koje se koristi ili ima namjeru koristiti za slijetanje, polijetanje i kretanje zrakoplova dizajniranog na način da ima karakteristike VTOL-a zrakoplova.
6. D za VTOL zrakoplove - označava promjer najmanjeg kruga koji obuhvaća projekciju VTOL zrakoplova na horizontalnoj ravnini dok je zrakoplov u konfiguraciji polijetanja ili slijetanja, s rotorskim propelerima u pokretu, ako je primjenjivo. Dodatak: Ako se dimenzije VTOL zrakoplova mijenjaju tijekom vožnje po uzletno-sletnoj stazi ili parkiranja (npr. preklapanje krila), treba također pružiti odgovarajuće *Dtaxiing* ili *Dparking*.

3.3.1 Primjer razvoja vertiportova na području Europe

U zračnom pristaništu *Pontoise-Cormeilles* nedaleko od Pariza je izgrađen prvi europski vertiport (Skyport Infrastructure) (slika 22). Vertiport bi trebao poslužiti kao mjesto od kuda bi se dostavljale medicinske potrepštine za vrijeme Olimpijskih igara koje će se odvijati 2024. godine u Parizu. Također, vertiport trenutno služi kao mjesto testiranja različitih sustava koje Skyport testira u suradnji sa svojim partnerima. Testiranja se provode kako bi se spoznali svi potrebni parametri od samog dolaska putnika na vertiport pa do njegovog odlaska (polijetanja) s istog. Testiranja su provedena u putničkoj zgradi u procesima prijehvata i otpreme putnika, te na zračnoj strani kako bi se determinirao prihvat i otprema samih VTOL zrakoplova. Proces u putničkoj zgradi vertiporta koji su testirani su: procesi registracije putnika, zaštitni pregledi, utovar prtljage putnika te brzina kretanja putnika kroz terminal [52]. Za potrebe testiranja korišten je sustav kontrole polazaka (engl. *Departure Control System – DCS*) proizveden od strane SITA. Osim ponašanja putnika u pojedinim procesima testirano je i vremensko trajanje svih navedenih procesa.

Na zračnoj strani vertiporta dionike su zanimali potrebni procesi za prihvat i otpremu *eVTOL* zrakoplova kao i trajanje tih procesa[53].



Slika 22. Slijetanje Volocopter eVTOL zrakoplova na pristanište Pontoise-Cormeilles
Izvor: [53]

Kompanija koja se bavi razvojem infrastrukture vertiportova, UrbanV i Lilium, njemački proizvođač *eVTOL* zrakoplova, imaju u planu u Italiji i na Azurnoj obali razviti mrežu vertiportova. Gradovi u kojima bi se ti vertiportovi nalazili su Rim, Bologna, Venecija, Cannes, Nica i St. Tropez.

Plan je da vertiport u Rimu bude operativan do Uskrsa 2025. godine. Naime, vertiport je već izgrađen prema EASA standardima, nadomak aerodroma Fiumicino (Rim, IATA: FCO) gdje se već provode testiranja prijehvata i otpreme putnika i tereta [54]. Vrijednost veličine D je 15,2 m (Slika 23).



Slika 23. Testni vertiport u blizini aerodroma Fiumicino (Rim)
Izvor: [54]

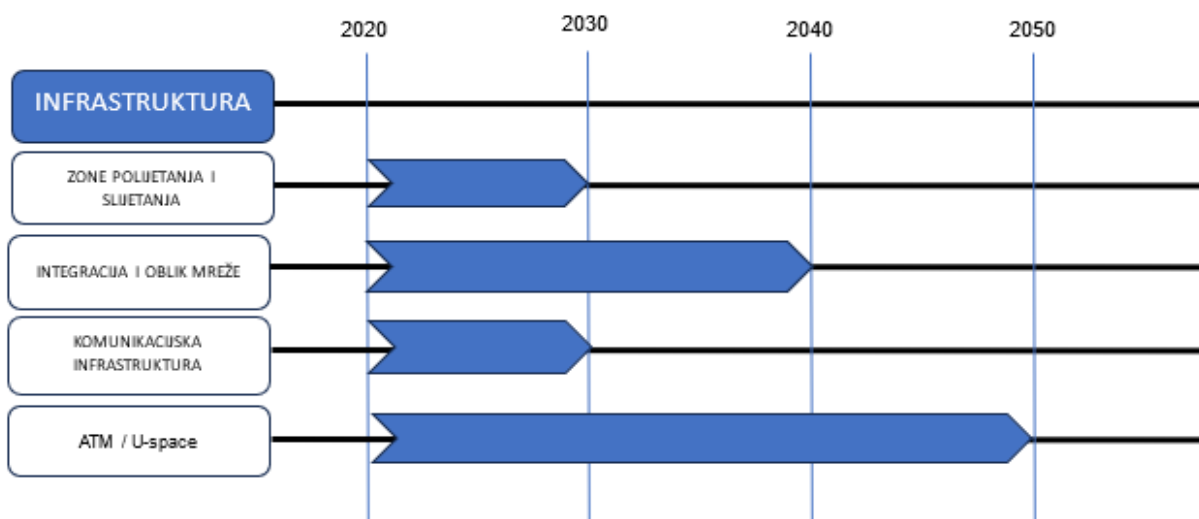
4. PROCEDURE I OGRANIČENJA U ZRAČNOM PROSTORU

Zračni prostor ima svoja ograničenja, pogotovo onaj iznad Europe koji je i fragmentiran, te u kojem postoji 40 različitih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi [56]. Osim ograničenog zračnog prostora, ono što čini izazov u pružanju usluga u zračnoj plovidbi, je i trenutni nedostatak kontrolora zračnog prometa.

Značajan dio UAM prometa će se odvijati u urbanim sredinama odnosno u nižim slojevima zračnog prostora koji nije reguliran u mjeri u kojoj su regulirani viši slojevi zračnog prostora. Regulatori nadograđuju i razvijaju novu regulativu u skladu s razvojem i certifikacijom samih *eVTOL* zrakoplova, ali i prema potrebama razvoja samog zračnog prostora. U inicijalnoj fazi EASA i FAA razvijaju Operacijske koncepte (engl. *Concept of Operations-ConOps*) za urbane sredine. EASA razvija novu regulativu u sloju zračnog prostora U-prostor (engl. *U-space*) dok FAA koristi već postojeću regulativu zasnovanu na rutama za helikoptere.

Procjena je da će se UAM promet odvijati i izvan urbanih sredina te će potencijalno interferirati s reguliranim prometom pogotovo onaj koji će se odvijati u blizini aerodroma odnosno zračnim rutama za komercijalni promet. Razvoj samih *eVTOL* zrakoplova utjecati će na mogućnosti odvijanja prometa uz komercijalne (regulirane) zrakoplove, gdje će oprema u *eVTOL* zrakoplovima trebati biti na razini komercijalnih zrakoplova, pogotovo ona oprema tj. oni uređaji koji sprječavaju sudare u zraku, meteorološki uređaji, uređaji za praćenje pozicije i dr. [56].

Na slici 24 prikazan je okvirni vremenski slijed s procjenom napretka infrastrukture koja je potrebna kao podrška za UAM. Mreža vertiportova i vertistopova će utjecati i na mrežu i konfiguraciju ruta i koridora koje će trebati biti uklopljene u već postojeći sustav upravljanja zračnom plovidbom (engl. *Air Traffic Management – ATM*). Već postojeći sustavi komunikacije, navigacije i nadzora će se trebati razviti i unutar UAM sustava kako bi cjelokupni sustav bio autonoman [12]. Na slici 24 je vidljivo da će se sustav ATM-a najduže razvijati.



Slika 24. Procjena napretka razvoja UAM infrastrukture
Izvor: [12]

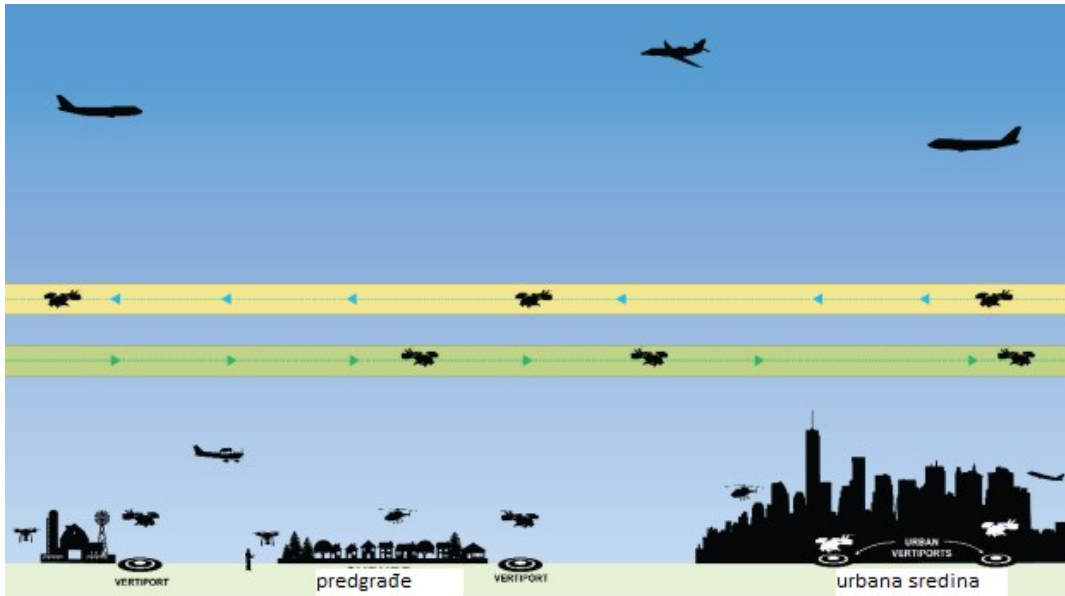
4.1 Regulatorni okviri

4.1.1 Regulatorna Sjedinjenih Američkih Država

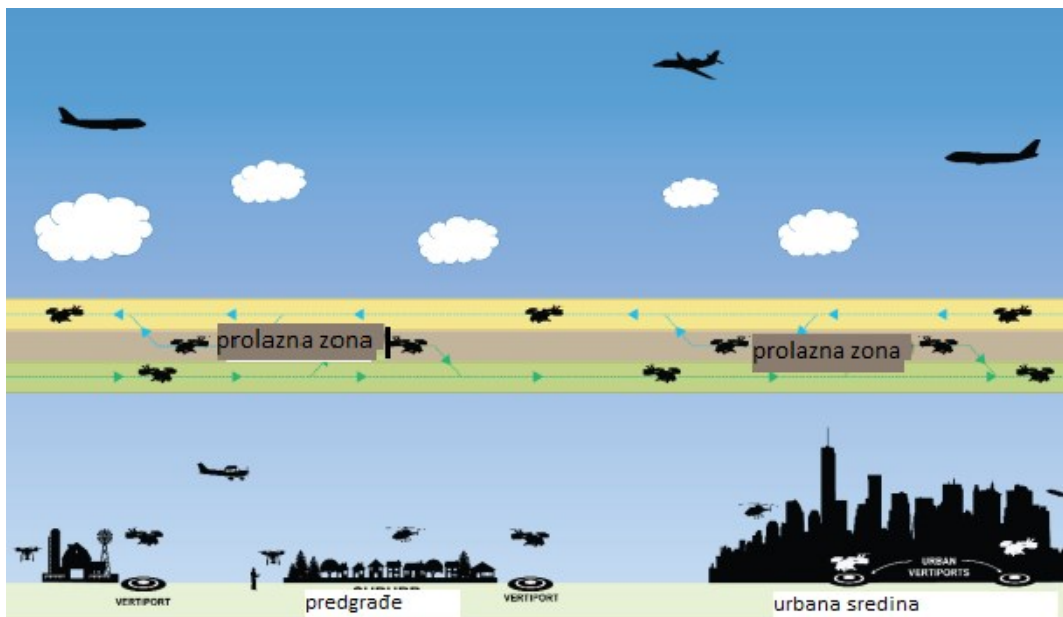
Američka savezna uprava za civilno zrakoplovstvo je 2020. godine izdala prvi Operacijski koncept (ConOps v1.0), da bi nakon konzultacija s dionicima i prihvaćanja mišljenja i sugestija nakon tri godine izdao i drugi ConOpsv2.0. Oba Operacijska koncepta se i dalje odnose isključivo na urbanu zračnu mobilnost (UAM), s tendencijama rasta na regulativu vezanu za Naprednu zračnu mobilnost (AAM), gdje su regulatori svjesni velike mogućnosti napretka cjelokupnog sustava, no i dalje je jasno da taj konačni korak napredne zračne mobilnosti nije još blizu.

Nacionalni sustav zračnog prostora (engl. *National Airspace System-NAS*) pruža usluge korisnicima zračnog prostora kroz razdvajanje, protok zračnog prometa, nadzor, komunikaciju i navigaciju. Kada će UAM zrakoplovi koristiti usluge u zračnom prometu (engl. *Air Traffic Services-ATS*), moraju taj zračni prostor koristiti prema ATS pravilima. Okruženje za UAS će biti pri proširenom upravljanju prometom (engl. *Extensible Traffic Management – xTM*) koji će biti kooperativno okruženje, no prijelaz prometa iz xTM u ATS sustav i obrnuto će se zasigurno odvijati. FAA je želio pružiti mogućnosti zajedničkog napretka zrakoplova i sustava u kojemu će se provoditi operacije letjelica. Definirane su i točke prijelaza između ATS i xTS, odnosno granični koridori koji se nazivaju ulazno/izlaznim točkama koridora (engl. *Corridor Entry/Exit Points – CEPs*) koje su dio UAM koridora [56].

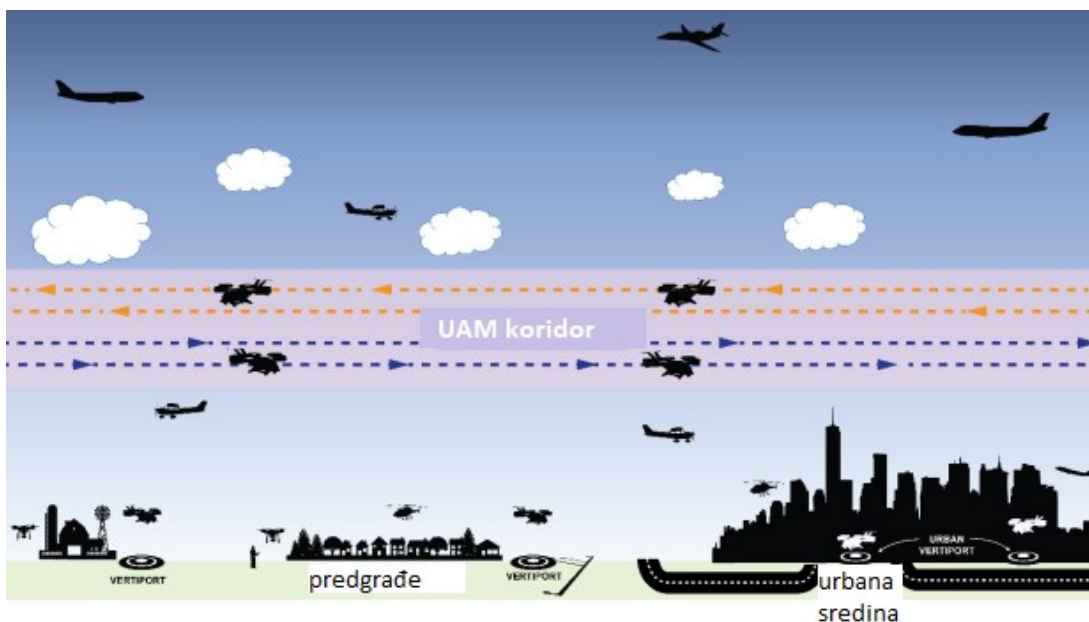
UAM koridor ima svoju planiranu evoluciju rasta. Smatra se da će prvi koridor biti jednostavan jer će imati samo jedan smjer (slika 25), a kako će mogućnosti UAM-a rasti omogućit će se i korištenje kompleksnijih koridora s prolaznim zonama (engl. *passing zones*) (slika 26). U ovom trenutku razvoja UAM, kao zadnji stadij razvoja koridora, smatra se onaj u kojem će biti definirani višestruki koridori (engl. *tracks*) (slika 27).



Slika 25. Jednostavan UAM koridor
Izvor: [56]



Slika 26. UAM koridor - prolazna zona
Izvor: [56]



Slika 27. UAM koridor sa višestrukim "trakama"

Izvor: [56]

U regulativi je predstavljeno rješavanje konfliktnih situacija (interakcija UAM zrakoplova s drugim UAM zrakoplovom unutar UAM zone, interakcija UAM zrakoplova i terena odnosno objekata). Također, postavlja se i pitanje rješavanja problema okupiranosti same rute, ali i vertiportova odnosno vertistopova. FAA nudi rješenja u obliku strateškog rješavanja konfliktnih situacija putem planiranja UAM operativnih namjera (eng. *UAM Operational Intent*). U taktičkom smislu, rješavanje konfliktnih situacija će se rješavati uz pomoć federalne servisne mreže. FAA je svjestan da se ovakvi slučajevi tek trebaju podrobnije regulirati, no ta regulacija i dalje ovisi o tehnologiji napretka samih UAM zrakoplova. Za rješavanje okupiranosti zračnog prostora koristio bi se sustav balansiranja između potražnje i kapaciteta (eng. *Demand-Capacity Balancing-DCB*) koji je dio sustava usluga kooperativnog protoka (engl. *Cooperative Flow Management-CFM*). Naime, kooperativno operativno područje xTM nadopunjuje ATS odnosno tradicionalno pružanje usluga u zračnom prometu.

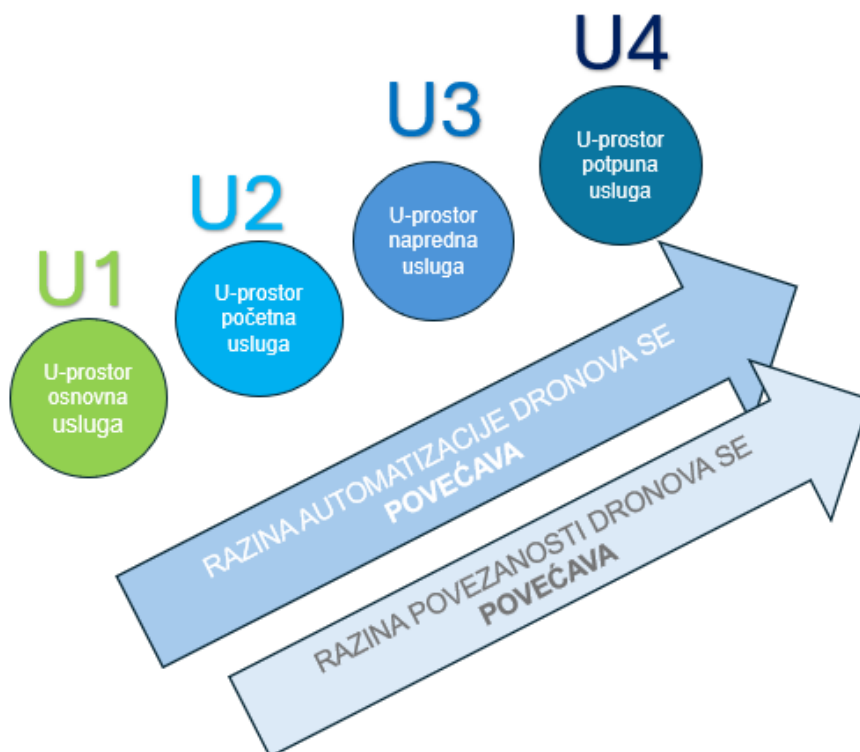
4.1.2 Regulativa Europske Unije

Europska Komisija je donijela Uredbe 2021/664, 665 i 666 koje su vezane za regulaciju U-prostora. Reguliraju se bespilotni zrakoplovni sustavi (engl. *Unmanned Air System - UAS*) odnosno sustavi bespilotnih letjelica, kolokvijalno zvani dronovima. Iako je Europska Komisija donijela Uredbe još 2021. godine, a pravno je bilo moguće uvesti U-prostor 2023. godine, ipak ih još ni jedna država članica nije implementirala [58].

Razlog tomu je kompleksnost cjelokupnog sustava, jer se ovdje ne radi samo o uvođenju novog zračnog prostora, nego i o uvođenju sustava registracije pilota dronova, njihovoj edukaciji, zatim sustava razmjene informacija između pilota dronova i pružatelja usluga zračne plovidbe.

Prema Uredbi 2021/666 U-prostor je definiran kao zemljopisno područje za UAS-ove koje su odredile države članice, a u kojem su dopuštene UAS operacije uz potporu U-prostor usluga. U-prostor usluga je definirana kao ona koja se oslanja na digitalizirane i automatizirane usluge, kako bi se osigurao siguran, učinkovit i zaštićen pristup U-prostoru velikom broju UAS-ova. Zrakoplovi s posadom, a koji se nalaze u U-prostoru, moraju biti stalno elektronički vidljivi pružateljima usluga u U-prostoru. Prema Uredbi 2021/665 zrakoplovima s posadom bi trebala biti pružena usluga zračne plovidbe unutar određenog U-prostora u kontroliranom zračnom prostoru, gdje bi pružatelji usluga trebali odrađivati i dinamičku rekonfiguraciju između UAS i zrakoplova s posadom.

U sklopu projekta Corus-Xuam, 2023. godine donesen je i europski Operacijski koncept (engl. ConOps 4), koji služi kao savjetodavni dokument i nije obligatoran [59]. Europski U-prostor je prvenstveno namijenjen dronovima, no ima plan razvoja za letjelice upravljane pilotima. U-prostor usluga temelji se na setu usluga koje će se pružati kroz različite faze (slika 28).



Slika 28. Razvoj usluga unutar U-prostora

Izvor: [59]

U prvom osnovnom setu usluga (U1) je omogućena e-identifikacija, e-registracija i geografsko ograđivanje (engl. *geofencing*). U drugom početnom, setu usluga koje bi prema CONOPS 4 trebao trajati od 2023. godine do 2030. godine, definiran je U-prostor zračni prostor kao:

- Kontrolirani zračni prostor gdje zrakoplovi s posadom ne smiju pristupiti. Ipak kontrola leta smije rekonfigurirati U-prostor kako bi kroz jedan njegov dio prošao zrakoplov s posadom koristeći koncept dinamičke rekonfiguracije zračnog prostora (engl. *Dynamic Airspace Reconfiguration – DAR*). Kontrola leta će obavijestiti U-prostor pružatelja usluga (engl. *U-space Service Providers*) ako će i kada koristiti U-prostor kako bi pružatelj sluga unutar U-prostora mogao prilagoditi letenje dronova.
- U nekontroliranom zračnom prostoru zrakoplovi s posadom smiju slobodno ući u U-prostor pod uvjetom da su elektronički vidljivi
- Unutar U-prostora konflikti se rješavaju na strateškoj razini
- U ovom periodu očekuje se niska gustoća prometa
- Iskustvo u korištenju UAS-a i U-prostora će rasti u razdoblju drugog seta usluga, te se očekuje napredak u komunikaciji, navigaciji i nadzoru (engl. *Communication, Navigation, Surveillance- CNS*) koji će onda dovesti do većih sigurnosnih mjera na U-prostor taktičkoj razini

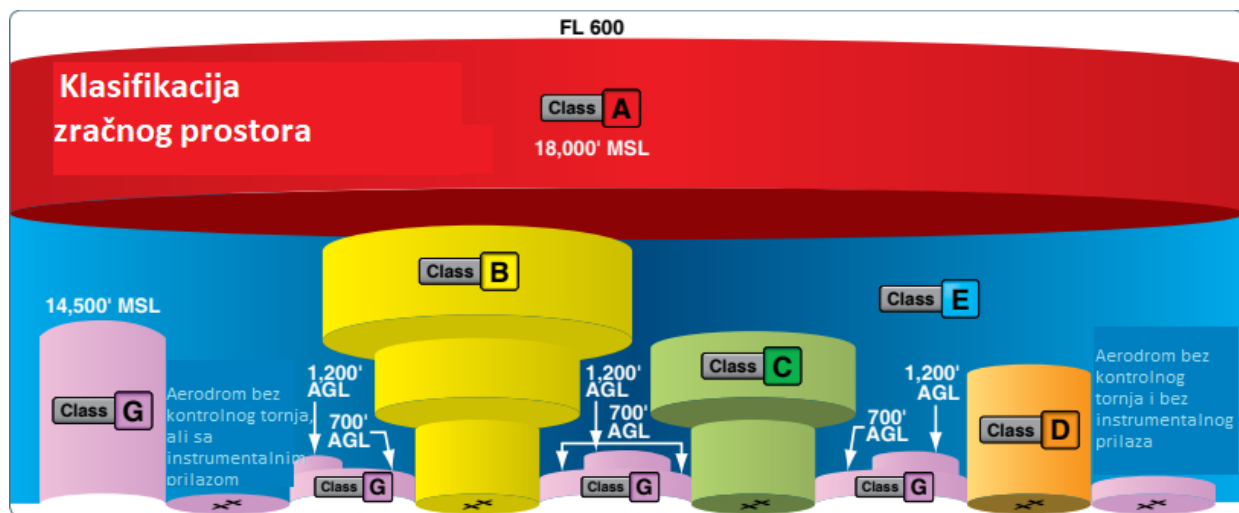
Pri projektu Corus - Xuam su naveli i razmotrili još jedan korak u razvoju U-prostor usluga. Taj korak su nazvali Opći U-prostor (engl. *General U-space*) te se nalazi između U2 i U3 i započinje s 2030. godinom. Sami obujam U-prostor zračnog prostora je većinom definiran. Nekontrolirani zračni prostor, gdje se obavlja većina letova dronovima biti će ispod 500 ft iznad zemlje (engl. *Above Ground Level – AGL*) odnosno na veoma niskim razinama leta (engl. *Very Low Level – VLL*). Za one letove UAS-a koji će prevoziti putnike i/ili teret postoje koridori za letove između gradova, a takvi koridori su objavljeni u Zborniku zrakoplovnih informacija (engl. *Aeronautical Information Publication – AIP*). U kontroliranom zračnom prostoru, letovi UAS te rješavanje konfliktnih situacija odvijati će se na taktičkoj razini, gdje kontrola leta ima nadležnost unutar U-prostora.

U periodu Naprednih usluga pri U-prostoru smatra se da su UAS operacije kao i korištenje U-prostora posve uobičajeni, te da je porastao broj pružanja usluga unutar U-prostora i zrakoplovima s posadom. Unutar U-prostor pravila letenja (engl. *U-space Flight Rules – UFR*) uobičajeno je letenje na taktičkoj razini. Razina leta u periodu Naprednih usluga će biti iznad 500 ft AGL sve do visine od nekoliko tisuća stopa, ovisno o prometnim potrebama.

Razina usluga, posljednje U4 faze je takva da je uobičajeno korištenje U-prostora od strane letjelica s posadom kao i onih bez posade. Letenje prema UFR je uobičajeno. Letjelice bez posade imaju sposobnost same detektirati druge objekte i izbjeći koliziju.

4.2 Klasifikacija zračnog prostora

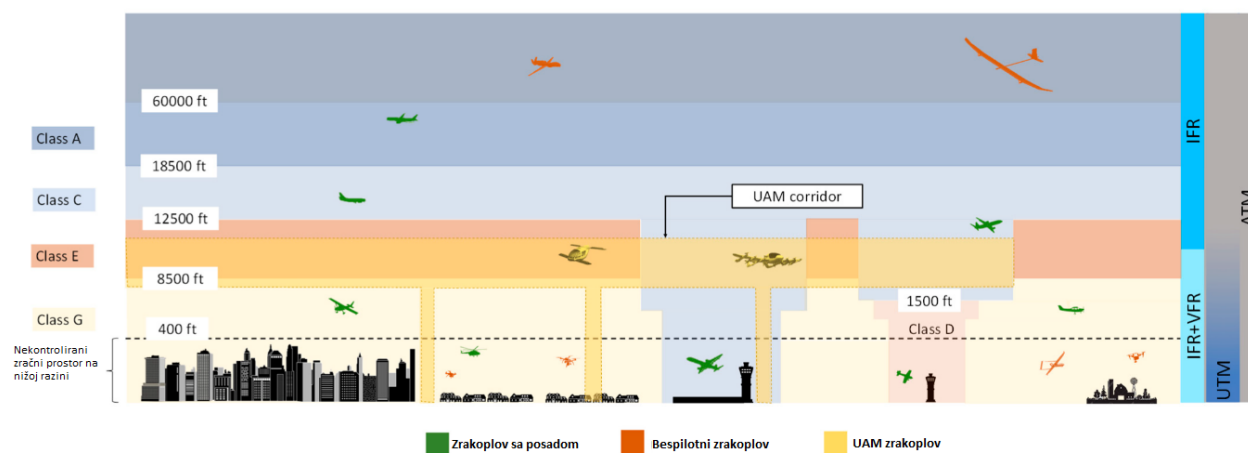
Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva je podijelila zračni prostor na kontrolirani i nekontrolirani. Kontrolirani zračni prostor se klasificira kao A,B,C,D i E, dok se nekontrolirani klasificira kao F i G (slika 29) [60]. Svaka država za sebe određuje koje će klase zračnog prostora operativno koristiti. Na Slici 29 je prikazan sustav koji je prisutan u SAD-u.



Slika 29. Klasifikacija zračnog prostora prema ICAO
Izvor: [60]

Letenje u svakoj od klasa ima svoje zakonitosti odnosno pravila letenja, te razinu usluge koju kontrola leta pruža korisnicima. Letenje se može odvijati u vizualnim ili instrumentalnim uvjetima letenja (engl. *Visual Flight Rules – VFR / Instrumental Flight Rules - IFR*), ovisno o dopuštenjima unutar klase zračnog prostora. U klasi A se sve operacije vrše isključivo kao IFR te je razdvajanje obavezno, a kontrola leta pruža usluge. Kod klase B razdvajanje se provodi od strane kontrole leta, a svim zrakoplovima koji lete prema IFR i VFR pravilima su pružene usluge kontrole leta. Letovi prema IFR i VFR pravilima su dopušteni u klasi C, a razdvajanje se provodi između IFR, IFR i VFR letova. VFR letovi dobivaju informacije o drugim VFR letovima. Kao i kod klase C, i u klasi D su dopušteni IFR i VFR letovi, gdje se provodi separacija između IFR letova, dok letovi koji lete prema IFR pravilima dobivaju informacije o VFR letovima. VFR promet dobiva informacije o drugom prometu. Kod klase E dopuštenje za korištenje imaju IFR i VFR letovi, a razdvajanje se provodi između IFR letova. Zračni prostor klase E se ne nalazi iznad kontroliranih zona. Letovi prema IFR i VFR pravilima su dopušteni u klasi F. Sav promet dobiva informacije o drugom prometu na zahtjev, dok IFR letovi dobivaju uslugu preporuke (engl. *advisory service*).

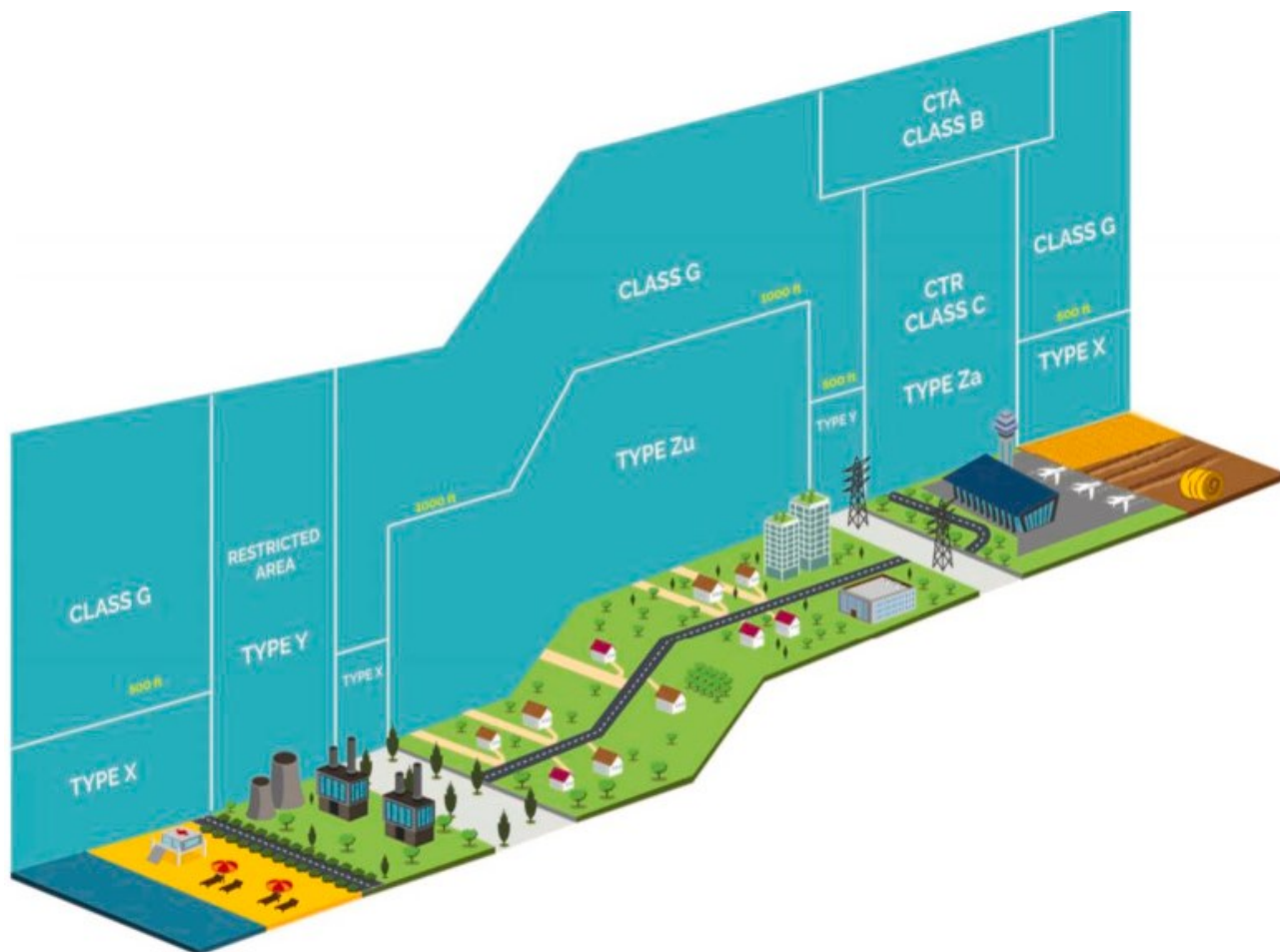
Letovi u klasi G dobivaju informacije na zahtjev. Letovi se u klasi G mogu se provoditi prema IFR i VFR pravilima [61]. Planirano je da promet zrakoplovima urbane zračne mobilnosti u početku se odvija u nižim slojevima zračnog prostora, a s razvojem UAM se očekuje odvijanje zračnog prometa u svim klasam osim u klasi A [7]. U ovom trenutku, prema Američkoj saveznoj upravi za civilno zrakoplovstvo, UAS upravljanja zračnim prometom (engl. *UAS Traffic Management* – UTM) će se odvijati na veoma niskim razinama leta do 400 ft iznad zemlje. Kako se letjelice, a i promet bude razvijao, biti će potrebno ustanoviti pravila, ali i podršku od strane ATC-a pri prelasku između kontroliranog i nekontroliranog zračnog prostora. Također će biti potreban nadzor nad interoperabilnosti i koordinacijom bespilotnih letjelica i kontrole leta. Na slici 30 prikazana je trenutna podjela zračnog prostora koji je FAA razradio u suradnji sa NASA-om [62].



Slika 30. FAA klasifikacija zračnog prostora

Izvor: [62]

Unutar CORUS-XUAM projekta Europske Komisije, donijele su se odluke o razvoju zračnog prostora te njegovim klasifikacijama. Na slici 31 vidljiv je trenutni prikaz klasifikacije U-prostora. Konačni izgled zračnog prostora nije u potpunosti donesen, s obzirom na razvoj tehnologije. Važno pitanje koje treba riješiti je rješavanje konfliktnih situacija. U slučaju kada se koriste samo UAS, konflikte situacije se rješavaju na strateškoj razini. Trenutno su zone letenja UAS postavljene statički (engl. *Static geofences*), a u kasnijim fazama se očekuje da te granice budu postavljene dinamički, odnosno da se mijenjaju ovisno o potrebama.



Slika 31. Prikaz U-prostor prema slojevima X,Y i Z
Izvor: [61]

U-prostor je podijeljen na slojeve X, Y i Z [59]. Sloj X označava zračni prostor male gustoće, gdje se razdvajanje odvija na strateškoj razini, a ako je potrebno razdvajanje na taktičkoj razini, onda su za razdvajanje odgovorni operatori i/ili piloti. U-prostoru sloj Y će biti zračni prostor srednje gustoće prometa u kojemu postoji mogućnost konflikta između letova koji lete prema U-prostor pravilima letenja (engl. *U-space Flight rules* – UFR) i zrakoplova, a zrakoplovima se ne može garantirati samo razdvajanje. Letovi koji će se odvijati prema UFR letnim pravilima se moraju unaprijed najaviti. Komunikacija unutar sloja Y za UFR letove će se vršiti digitalnim putem zemlja-zrak i zemlja-zemlja uz pomoć ATM/UTM sučelja. Kao i kod sloja Y, UFR letovi će morati najaviti svoje planove prije ulaska u U-prostor te će morati surađivati na taktičkoj razini radi izbjegavanja konflikta, ali odgovornost ostaje na operaterima ili pilotima. U-prostor zadržava odgovornost razdvajanja između UFR i IFR letova u svim Z slojevima. Trenutno se razmatraju samo dva pod sloja Zu i Zz.

S obzirom na operativne usluge zračne plovidbe (engl. *Air Traffic Services – ATS*) zračni prostor za UFR će trebati biti interoperabilan između ATS jedinica i usluga U-prostora jer je izrazito važna integracija UFR letova s IFR, VFR letovima te letovima koji lete prema specijalnim vizualnim pravilima (engl. *Special Visual Flight Rules -SVFR*). SVFR pravila su ona u kojima kontrola leta odobri VFR letu let unutar kontrolirane zone, a meteorološki uvjeti su ispod minimuma. Oba sustava će morati razmjenjivati podatke ovisno o klasi, a trebati će se obratiti i pažnja kod prelazaka granica odgovornosti svakog zrakoplova. U tablici 4 se može vidjeti klasifikacija zračnog prostora s U-prostorom u kojem je navedeno razdvajanje unutar klase zračnog prostora, prometne usluge koje se pružaju, ograničenja brzine, potreba radio komunikacije i ATS odobrenje, koje se tek treba utvrditi.

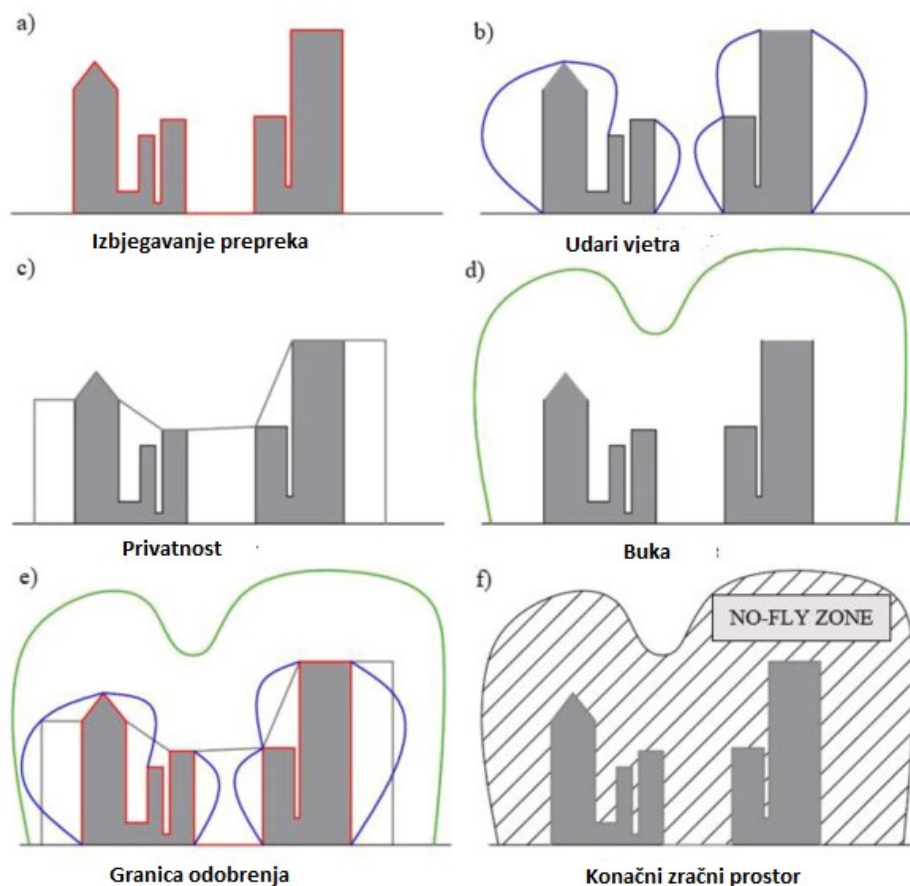
Tablica 4. ICAO klasifikacija zračnog prostora

ICAO KLASIFIKACIJA ZRAČNOG PROSTORA	B	C	D	E	G	OGRANIČENO PODRUČJE		
						Y	Zu	Zz
KLASIFIKACIJA U-prostor								
OSIGURANO TAKTIČKO RAZDVAJANJE	UFR <-> IFR, U(S)VFR	UFR <-> IFR, SVFR		Nema razdvajanje		NE	DA	NE (samo savjetodavno)
U-prostor PROMETNE USLUGE	UFR <-> VFR, UFR		UFR <-> VFR	UFR <-> IFR, SVFR, UFR	UFR <-> IFR*, SVFR*, UFR	DA		
OGRANIČENJA BRZINE	Treba utvrditi				Nije primjenjivo	Vjerojatno		
RADIO- KOMUNIKACIJA	Nema					NE		
POTREBNO ATS ODOBRENJE?	DA			NE				

Izvor:[59] * U-prostor obavezna zona (engl. *U-space Mandatory Zone – UMZ*)

4.3 Ograničenja u zračnom prostoru urbanih naselja

Regulacija zračnog prometa uvelike će ovisiti i o tehničkim mogućnostima *eVTOL* letjelica, njihovim mogućnostima izbjegavanja objekata, brzini, performansama, komunikacijskoj opremi i dr. Očekuje se da se promet odvija u gusto naseljenim urbanim sredinama koje imaju ograničenja buke, privatnosti, vremenskih uvjeta, turbulencije, mogućnosti izbjegavanja objekata, zona zabranjenog odnosno ograničenog letenja i dr. [63]. Na slici 32 može se vidjeti faktori koji utječu na geometriju zračnog prostora. Kao što je već navedeno, *eVTOL* zrakoplovi trebaju izbjegavati prepreke odnosno zgrade. Oko zgrada se očekuju i udari vjetra (slika 32b) odnosno nestalna strujanja zraka koja mogu utjecati na sigurnost letenja. Da bi se ustanovila granica odobrenja treba uzeti u obzir i privatnost (slika 32c) koju stanovnici tog urbanog naselja očekuju te buku (slika 32d). Kada se svi faktori uzmu u obzir dolazi se do *No-Fly zone* odnosno zone bez letenja.



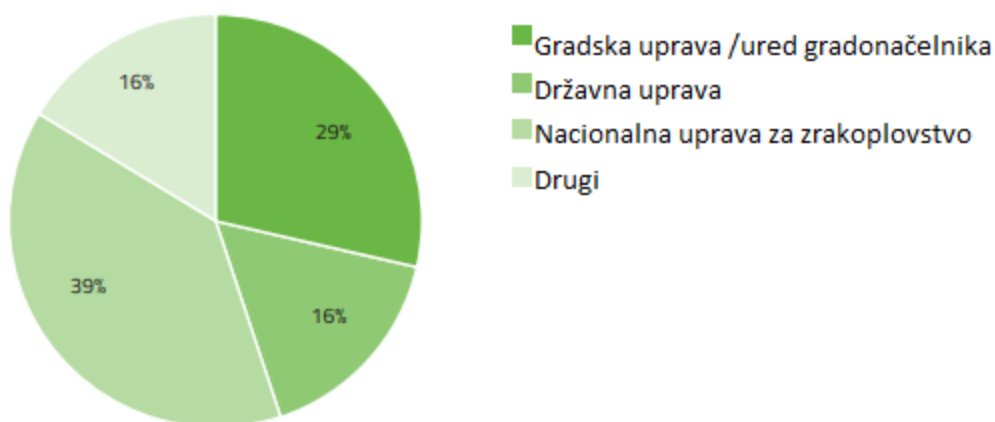
Slika 32. Faktori koji utječu na geometriju zračnog prostora

Izvor: [63]

Jedan od ograničavajućih faktora su i kolizije zrakoplova i ptica, koje se prvenstveno događaju na visinama do 1 500 ft, prema izvješću iz 2021. godine koje je izradila FAA. Istraživanje je provedeno u periodu od 1990-2020. godine i objavljeno kao izvještaj pod nazivom „Kolizija divljih životinja i zrakoplova u SAD“. U izvješću se ne spominju kolizije ptica i eVTOL zrakoplova, nego se kolizije odnose na zrakoplove s rotirajućim krilima. Prema istom izvješću dijelovi zrakoplova s rotirajućim krilom s kojima se ptice najviše sudaraju su vjetromotorsko staklo i glavni rotor. U preko 90 % slučajeva, kolizija se dogodila samo s jednom pticom, a u preko 4 % slučajeva sa 1-10 ptica[64].

Kako bi se osigurala kontinuirana komunikacija između dionika, a unutar urbanih sredina, treba obratiti pažnju i na komunikacijske kanale i mreže koje zbog visine zgrada mogu biti blokirane. Stoga će se u narednom periodu svakako trebati ulagati u 5G mrežu, data link ili neku drugu informatičku tehnologiju [7].

Na slici 33 može se vidjeti na koji način su stručnjaci odgovorili na pitanje autoriteta koji će upravljati zračnim prostorom u urbanim sredinama [61]. Istraživanje je proveo Europski institut za inovacije i tehnologiju (engl. *European Institute for Innovation and Technology – EIT*) u sklopu projekta za zračnu mobilnost. Iz grafičkog prikaza, vidljivo je da stručnjaci nisu u potpunosti složni. Pa tako 39 % njih smatra da bi zračni prostor trebao biti upravljan od strane Nacionalne uprave za zrakoplovstvo, dok 29 % njih smatra da bi upravljanje trebalo biti u nadležnosti gradske uprave odnosno gradonačelnika. Prema ovom istraživanju, svakako se nameće pitanje čija će biti nadležnost upravljanja urbanim zračnim prostorom, te regulacija istog.



Slika 33. Mišljenje stručnjaka o načinu regulacije urbanog zračnog prostora
Izvor: [57]

5. UTJECAJ ZRAKOPLOVA S VERTIKALNIM SLIJETANJEM I UZLIJETANJEM NA RAZVOJ VERTIPORTOVA

Prema istraživanju EIT-a provedenom među stručnjacima (uključujući znanstvenike, pripadnike javnog i privatnog sektora upoznatim sa UAM industrijom), utvrđeno je da je za uspješnu implementaciju UAM potrebno 67 % podrške javnosti kako bi se zaključilo da je implementacija benefit za društvo u cjelini [57]. Važan aspekt prihvaćenosti UAM u društvu će biti i položaj vertiportova odnosno adekvatno postavljena mreža vertiportova. Uz pomoć adekvatno postavljene mreže vertiportova, stanovništvo će imati priliku biti bolje povezano i trošiti manje vremena na putovanja unutar grada odnosno urbane aglomeracije. Integriranost UAM u javni gradski prijevoz koji bi bio dostupan široj javnosti bio bi još jedan od benefita bolje prihvaćenosti samog sustav. Ipak, inicijalni troškovi razvoja mreže vertiportova kao i razvoj UAM će biti visoki pri pružanju usluga na zahtjev [65].

Iako je proces certifikacije samih *eVTOL* zrakoplova opsežan i detaljan, ipak u samim počecima korištenja *eVTOL* zrakoplova neće biti dostupne sveobuhvatne činjenice o samim operacijama i performansama tih zrakoplova. Značajan utjecaj na operacije *eVTOL* zrakoplova imat će meteorološki uvjeti poput vidljivosti, smjera i jačine vjetera te mogućnost zaleđivanja. Preporuka je da za početak operacija trebati izabrati okruženja koja imaju blaže vremenske prilike [65].

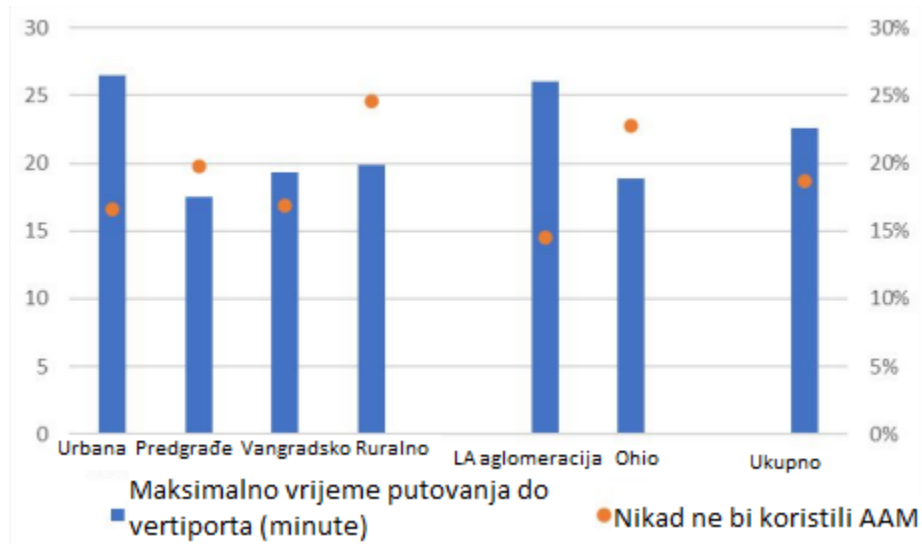
S obzirom na gustoću prometa koja se očekuje na danom vertiportu te stupnju razvoja cjelokupnog UAM sustava, vertiportovi se mogu razlikovati prema elementima, kapacitetu, veličini i propusnosti[66]. Jedan od ključnih elemenata je FATO, koji je prva odnosno zadnja dodirna točka *eVTOL* zrakoplova sa vertiportom. Veličina FATO-a je uvjetovana i veličinom *D*, odnosno promjerom *eVTOL* zrakoplova te sigurnosnom zonom. Kapacitet, veličina i propusnost vertiporta će ovisiti i o broju FATO-a, staza za vožnju, ali i broju parkirnih pozicija. Vertiport može imati jedan ili više FATO-a odnosno TLOF-a, dok vertipad ima samo jedan FATO i jedan TLOF. U literaturi se može naći i pojam vertihub za kojeg se smatra da ima više od 10 TLOF [67].

5.1 Integriranje mreže vertiportova unutar urbanih sredina

Prema prognozama analitičara, očekuje se da će UAM imati stopu rasta od 45,9 % do 2040. godine na globalnoj razini. Očekuje se da će zemlje Bliskog istoka biti među prvima koje će uvesti sustav vertiportova zbog značajnog financijskog kapitala[66]. Smatra se da izgradnja jednog vertiporta košta između 500 000 \$ i 800 000 \$ [68], u ovisnosti o smještaju vertiporta.

Prilikom integracije vertiportova u postojeće objekte treba razmotriti mogućnosti napajanja, te alternativnog napajanja u slučajevima nestanka struje. Vertiportovi će trebati imati i priključke za napajanje kao i protupožarnu zaštitu i plan evakuacije.

Proizvođači *eVTOL* zrakoplova dobili su preporuku da priključke za napajanje standardiziraju kako bi priključci bili kao i oni za električne automobile [69]. Istraživanje koje je provedeno krajem 2021. godine u SAD, na području grada Los Angelesa i države Ohio [70] među populacijom koja živi u urbanim, ruralnim i vangradskim sredinama, te predgrađima ustanovljeno je koliko su stanovnici pojedinih regija spremni putovati do vertiporta (slika 34). Također, na slici 34 može se vidjeti i broj građana koji ne bi koristio usluge AAM. Taj broj je veći što je sredina manje urbana.



Slika 34. Prikaz istraživanja
Izvor: [70]

U istom istraživanju je i postavljeno pitanje gdje bi bile adekvatne lokacije za vertiport, odnosno neadekvatne lokacije, a odgovori su prikazani u tablici 5.

Tablica 5. Adekvatne i neadekvatne lokacije vertiportova

POREDAK	ADEKVATNE LOKACIJE	NEADEKVATNE LOKACIJE
1.	Tranzitna stanica javnog prijevoza	Škola
2.	Polje	Park
3.	Na krovu parking garaže	Trgovački centar
4.	Krov zgrade	Krov zgrade
5.	Parkiralište	Sportski objekt
Najčešći odgovori	Postojeći aerodrom/heliport	Ne blizu moje kuće!

Izvor: [70]

Kako bi javnost bolje prihvatila korištenje UAM i izgradnju vertiportova, treba se izgraditi kvalitetna mreža vertiportova koja će omogućiti građanima svakodnevno, cjenovno prihvatljivo korištenje. Stoga se mreža vertiportova treba integrirati u već postojeći javni gradski prijevoz, te bi na taj način javni gradski prijevoz postao multi modalan i dostupan široj javnosti [75]. Svakako bi takav vid prijevoza skratio i vrijeme putovanja unutar urbane sredine. Na slici 35 se može vidjeti prikaz tranzitnog vertiporta, koji se nalazi na krovu objekta, ima integrirane stepenice za evakuaciju, čekaonicu, prostor za zaštitnu provjeru i prodaju karata, te lift.



Slika 35. Prikaz tranzitnog vertiporta

Izvor: [75]

Kod urbanih vertiportova, poput ovoga na slici 35, nedostatak može biti manjak lokacija za punjenje baterija, mogućnost zaleđivanja površine za slijetanje te nedostatak mogućnosti održavanja *eVTOL* zrakoplova [69].

5.2 Kapacitet vertiporta

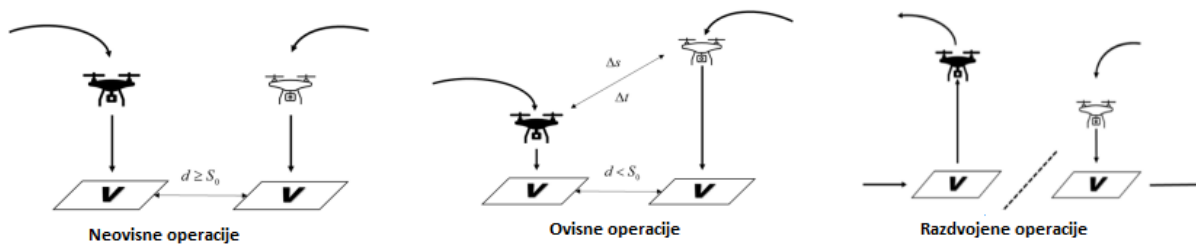
Osim samog lokacijskog smještaja vertiporta, za adekvatan razvoj mreže vertiportova važna je i veličina vertiporta, u smislu dimenzija i broja površina za slijetanje/polijetanje, broja parkirnih pozicija, odnosno pozicija za punjenje baterija i broj izlaza za putnike. Pa tako veličina vertiporta ovisi o veličini samih *eVTOL* zrakoplova, redu letenja, potražnji te optimizaciji reda letenja. Kapacitet, odnosno protok odlazaka i dolazaka (kretanja zrakoplova), također ovisi o veličini vertiporta. Očekuje se da bi kao usko grlo samog vertiporta mogla biti zona slijetanja i polijetanja *eVTOL* zrakoplova, kapacitet zračnog prostora, kapacitet putničkog terminala te povezanost s ostalim vidovima prijevoza [71].

Znanstvenici sa Fakulteta za civilno zrakoplovstvo, Nanjing, Kina su napravili istraživanje na temu kapaciteta vertiporta na kojem se provodi prihvat i otprema bespilotnih zrakoplova (UAV). Ocijenili su da će kapacitet najbolje ustanoviti ako vertiport ima 4 područja za polijetanje i slijetanje (TLOF).

Testirali su operacije koje se mogu izvoditi neovisno, ovisno i razdvojeno, te ustanovili kako kod neovisnih operacija ukupno kašnjenje je za 100 s manje nego kod razdvojenih operacija. Stopa iskoristivosti TLOF je pri neovisnim operacijama 54,42 %, dok kod ovisnih i razdvojenih operacija ona iznosi ispod 50 %.

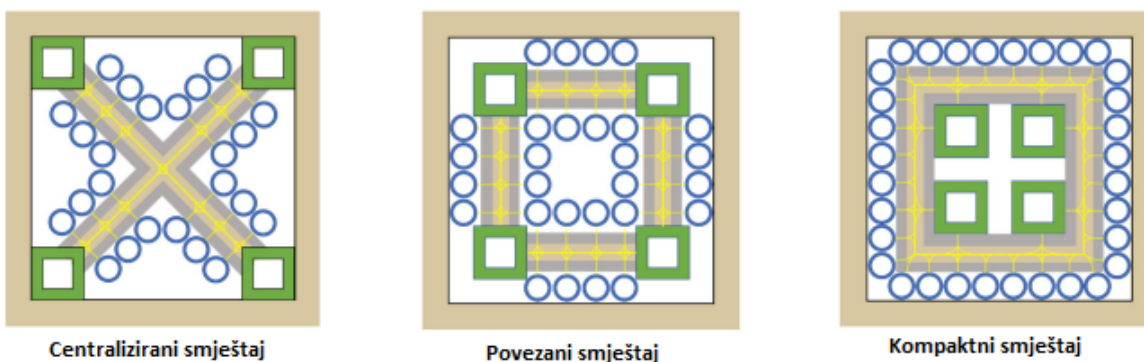
Na slici 36 može se vidjeti prikaz modela operacija na vertiportu, gdje oznaka d označava udaljenost između TLOF-a, S_0 označava minimalnu udaljenost kod koje nema utjecaja na aerodinamičke karakteristike zrakoplova, Δs je oznaka za sigurnosni interval udaljenosti, a Δt za sigurnosni vremenski interval. Kod modela s neovisnim operacijama razdvojenost između TLOF područja je dovoljno velika pa prilazi mogu biti neovisni jedan od drugog jer nema sigurnosnih limita.

Kod modela s ovisnim operacijama udaljenost između TLOF područja je manja od potrebne, stoga operacije zrakoplova između dva TLOF-a imaju utjecaja jedna na drugu. Kod modela s razdvojenim operacijama, uzeto je u obzir kako se pojedini TLOF koriste samo za operacije prilaza odnosno odlaske.



Slika 36. Modeli operacija na vertiportu
Izvor: [72]

Razmatrana su tri načina smještaja TLOF-a (zeleno), izlaza za putnike (plavo) i staza za vožnju (sivo), prikazanih na slici 37 [72].



Slika 37. Položaj osnovnih elemenata vertiporta
Izvor: [79]

Istraživanja su pokazala da kod centraliziranog smještaja u kombinaciji s neovisnim operacijama, vertiport postiže maksimalni kapacitet. Kašnjenja su stabilnija kod neovisnog modela operacija.

Kapacitet vertiporta je veoma značajan, a trenutno se o njemu može raspravljati u znanstvenim sredinama i uz pomoć različitih matematičkih modela. Realno stanje kapaciteta vertiporta će se utvrditi prilikom razvoja samih vertiportova te njihovih korištenja. Predviđanja znanstvenika u NASA su da će mreža vertiportova biti veoma gusta, te da će vertiport imati 15 000 letova/danu, što je prosjek od 1250 kretanja letjelica/satu unutar 24 sata [78]. Predviđanja se NASA-e temelje i na podacima s heliporta Silverstone (SAD) koji drži svjetski rekord s 4200 kretanja helikoptera u 17 h, što čini oko 600 kretanja helikoptera/satu. Vidljivo je da NASA previđa veliku potražnju UAM unutar mreže vertiportova.

Pri tome treba imati na umu reduciranje kašnjenja letova, te maksimiziranje iskoristivosti odnosno protočnosti vertiporta s obzirom na veličinu tj. kapacitet.

Iskoristivost vertiporta uvelike ovisi o adekvatnom rasporedu operacija slijetanja i polijetanja te o karakteristikama *eVTOL* zrakoplova kao i lokaciji vertiporta. Zračne luke s visokom razinom prometa koordiniraju promet dodjeljivanjem aerodromskog *slot* *Razine 2 i Razine 3* temeljem Svjetskih smjernica za *slotove* u zračnim lukama (engl. *Worldwide Airport Slot Guidelines*) definirane od strane IATA. Pretpostavka je da će i vertiportovi trebati uvesti određeni koncept koordinacije operacija slijetanja i polijetanja te potrebna ograničenja, kako bi smanjili kašnjenja i povećali razinu usluge. Veličina *eVTOL* zrakoplova uvjetovat će korištenje adekvatnog TLOF, te parkirne pozicije odnosno izlaska za putnike. Znanstvenici razmatraju uvođenje kontrole leta koja će nadzirati slijetanje i polijetanje, ali i korištenje adekvatne parkirne pozicije [73].

U tablici 6 mogu se vidjeti operacije koje se odvijaju na vertiportu, te vrijeme koje je potrebno da se te operacije provedu. Zrakoplovi su podijeljeni na male, srednje i velike. Pod malim zrakoplovima se podrazumijevaju zrakoplovi s jednim mjestom (engl. *self-piloted*), srednjima se smatraju zrakoplovi s dva putnička mjesta, dok se velikim zrakoplovima smatraju oni s četiri putnička mjesta. Za istraživanje su korišteni podaci i karakteristike slijedećih *eVTOL* zrakoplova:

1. S-A1 Hyundai – veliki
2. Volocopter – srednji
3. Airbus Vahana – mali

Tablica 6. Iskoristivost zrakoplova kroz različite faze operacija

OPERACIJE NA VERTIPORTU	TIP ZRAKOPLOVA		
	Mali	Srednji	Veliki
Kretanje od pozicije za parkiranje do izlaza za putnike (s)	5-30	30-60	60-90
Vrijeme utovara/istovara (s)	30-90	90-150	150-210
Kretanje od izlaza za putnike do TLOF(s)	5-30	30-60	60-90
Vrijeme pripreme na TLOF (s)	30-90	90-150	150-210

Izvor: [80]

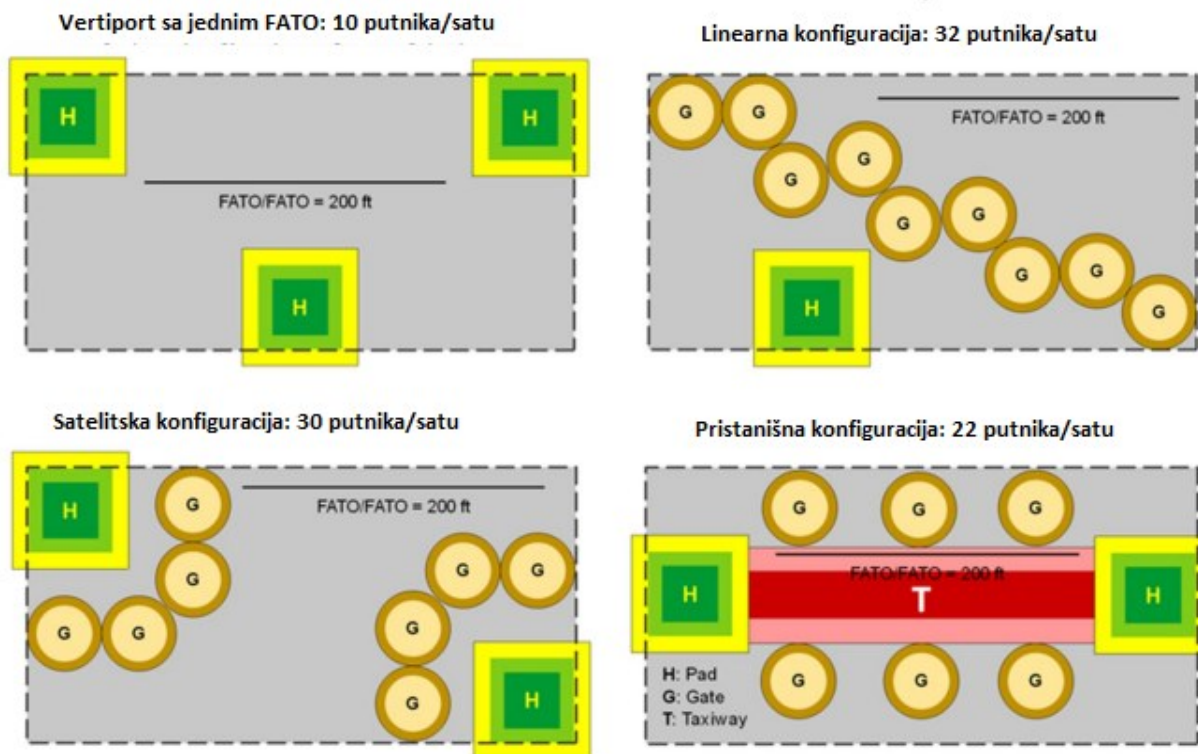
Još jedan od aspekata koji je potrebno razmotriti jest protočnost putnika po satu na određenom vertiportu. Model koji se koristio u istraživanjima jest prostor koji je potreban po putniku po satu, s obzirom da je prostor u gradovima limitiran [74]. U tablici 7 vidljiva je vrsta prometa te koliko je potrebno prostora za putnike u jednom satu. Istraživanja za željeznički, cestovni i zračni promet su uzeti s obzirom na dosadašnja istraživanja i statističke podatke, dok je izračune za *eVTOL* zrakoplove procijenio autor članka (*eVTOL* zrakoplov City Airbus ima 4 sjedišta, dok Archer Maker ima 2).

Tablica 7. Usporedba potrebnog prostora za postojeće modele prijevoza te procjena potrebnog prostora za *eVTOL*.

VRSTA PRIJEVOZA	POTRAŽNJA ZA PROSTOROM [M ² /PUTNIKA/h]	IZVOR
Željeznički	237	Postojeća infrastruktura
Cestovni	481	Postojeća infrastruktura
Zračni	4588	Postojeća infrastruktura
eVTOL	105	Postojeća infrastruktura
City Airbus	46	Procjena autora
Archer Maker	221	Procjena autora

Izvor:[74]

Smatra se da su prihvat i otprema zrakoplova, putnika te punjenje baterija i manji popravci u svrhu istraživanja trajali 30 minuta. Za istraživanje je uzet *eVTOL* zrakoplov VoloCity koji ima 2 sjedala i promjera je 11.3 m (D). Koncepti koji su postavljeni u istraživanju su linearan, satelitski, pristanišni (engl. *Pier*) te vertiport s jednim područjem za polijetanje i slijetanje (FATO) (slika 38). Pokazalo se u istraživanju da je koncept s najvećom propusnošću onaj s linearnim konceptom u kojem je jedan FATO i 9 parkirnih pozicija odnosno izlaza za putnike. Propusnost takvog koncepta je 32 putnika/satu, te 16 zrakoplova VoloCity.



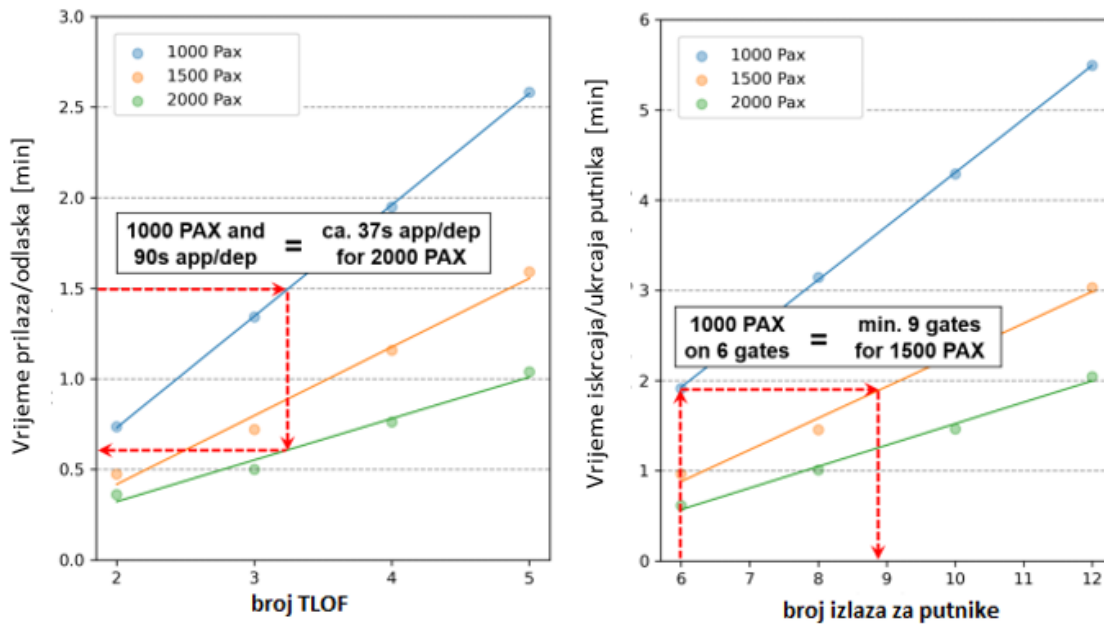
Slika 38. Ilustracija konfiguracije vertiporta i procjena putničke propusnosti
Izvor: [81]

5.3 Ograničenja prilikom prihvata i otpreme

Kako bi operacije na vertiportu optimalno odvijale potrebno je ustanoviti kritične elemente svih procesa. Prema istraživanjima predviđa se da će broj izlaza za putnike biti faktor koji će najviše utjecati na kašnjenja letova s obzirom da se očekuje kako će izlazi za putnike biti tzv. "uska grla". Drugi važan aspekt neometanog protoka na vertiportu je broj pozicija za slijetanje i polijetanje (TLOF), koji znatno utječe i na kapacitet vertiporta i na neometani protok dolazaka i odlazaka [75]. Neometani protok dolazaka i odlazaka utječe na kašnjenje letova odnosno operacija, što posljedično može imati utjecaj na nedovoljan broj parkirnih pozicija odnosno izlaza za putnike te na veća vršna opterećenja. Dolazak i odlazak letova na vrijeme značajan je iz aspekta kvalitete pružene usluge prema putnicima.

U istraživanju [82] je uzeto kao idealan vertiport za razmatranje onaj koji ima 4 TLOF, 12 izlaza za putnike i 20 parkirnih pozicija. Parametri s kojima se radilo istraživanje je:

- Vrijeme prilaza i odlaska – 45 s
- Vrijeme iskrcaja/ukrcaja putnika 95 s
- Vrijeme otvorenosti vertiporta je 16 h
- Svi putnici se kreću istom brzinom



Slika 39. Prikaz iskoristivosti vertiporta
Izvor: [75]

Na slici 39 se može vidjeti iskoristivost vertiporta u dva scenarija. Na lijevoj strani je uzet scenarij s 90s prilaska i odlazaka te 1000 putnika. Ako se želi zadržati visoka razina pružene usluge, a broj putnika poraste na 2000 po danu, tada vrijeme prilaza i odlaska treba biti 37s. Na lijevoj strani prikazan scenarij sa 1000 putnika/dan i šest izlaza za putnike. Ako bi broj putnika narastao na 1500 po danu, tada bi se broj izlaza trebao povećati na 9. A sve kako bi se zadržala ista razina usluge.

5.4 Studija slučaja prihvatljivog UAM zrakoplova za određenu mrežu vertiportova

Znanstvenici sa Sveučilišta Purdue (država Indiana, SAD) su proveli istraživanje na temu izravnih operativnih troškova pri korištenju UAM zrakoplova na mreži vertiportova u urbanoj aglomeraciji grada Chicaga (država Illinois, SAD) [69]. Izravnim operativnim troškovima se smatraju oni troškovi koji su prisutni pri zrakoplovnim operacijama, a potrebni su za provođenje.

U slučaju korištenja UAM zrakoplova, izravnim operativnim troškovima (engl. *Direct Operating Cost* - DOC) se smatraju akvizicija zrakoplova, posada i elektronski sustavi za navigaciju, komunikaciju, nadzor i kontrolu, energija, održavanje i aerodromski troškovi. U akvizicijske troškove ubrajaju se izrada trupa, pogona i osiguranje. Troškovi akvizicije obično se gledaju prema najvećoj dozvoljenoj masi pri polijetanju (engl. *Maximum Take Off Weight*-MTOW), a oni u slučaju UAM zrakoplova iznose 300 \$/pound. U slučaju ovog istraživanja, autori su na osnovu informacija dobivenih od proizvođača za procjenu troškova uzeli trošak po zrakoplovu (engl. *Vehicle unit cost*). Kao primjer može poslužiti akvizicija konstrukcije zrakoplova Joby-S4 koji iznosi 1.4 miliona američkih dolara.

Pretpostavke uzete za istraživanje su:

1. godišnji sati naleta iznose 2000 sati (period od 10 godina)
2. akvizicija napajanja (baterija) iznosi 400 \$/kWh, dok vijek trajanja baterije iznosi 2000 ciklusa
3. godišnji sati naleta pilota iznose 1 333 sata
4. godišnji trošak pilota u što su uključeni plaća, beneficije i trening iznose 110 000 \$
5. pri normalnim uvjetima leta zrakoplov će iskoristiti 60 % baterije, dok je trošak napajanja 0,144 \$/kWh.
6. Trošak održavanja zrakoplova iznosi 60 \$ po satu leta
7. Trošak korištenja infrastrukture je suma svih troškova slijetanja i parkiranja u jednom satu leta. U obzir su uzeta 2 polijetanja po satu s obzirom na udaljenost između aerodroma
8. Prosječna udaljenost između aerodroma je 51 milja

U tablici 8 prikazani su zrakoplovi uzeti u razmatranje za testiranje sa pripadajućim tehničkim karakteristikama.

Tablica 8. Popis zrakoplova i njihovih karakteristika

	Putnici	Brzina krstarenja (mph)	Domet (milja)	Konfiguracija letjelice	Maksimalno vrijeme leta (min)	MTOW (kg)	Kapacitet baterije letjelice (kWh)	DOC* (\$/h)	DOC/pax*
EHang 216	1	62	22	Multikopter	21	1322	206,2	638	638
Wisk Cora	1	110	62	Kombinirani potisak	19	1224	63,0	439	439
Aurora Pegasus	1	112	50	Kombinirani potisak	45	798	40,0	338	338
Lilium Eagle	1	186	186	Vektorski potisak	60	640	70,7	341	341
Archer Maker	1	150	60	Vektorski potisak	24	1508	74,0	445	445
Volocopter VoloCity	1	56	22	Multikopter	19	900	83,3	442	442
CityAirbus	3	75	18,8	Multikopter	15	2200	110,0	599	200
Joby S4	4	165	150	Vektorski potisak	45	2177	200,0	547	137
Lilium Phoenix	4	186	186	Vektorski potisak	60	1700	187,8	453	113
Archer 5-seater	4	150	60	Vektorski potisak	24	3175	160	685	171
Beta Alia	5	170	250	Kombinirani potisak	88,2	2720	340	550	110
Lilium Jet	6	175	124	Vektorski potisak	53	3175	305,0	654	109

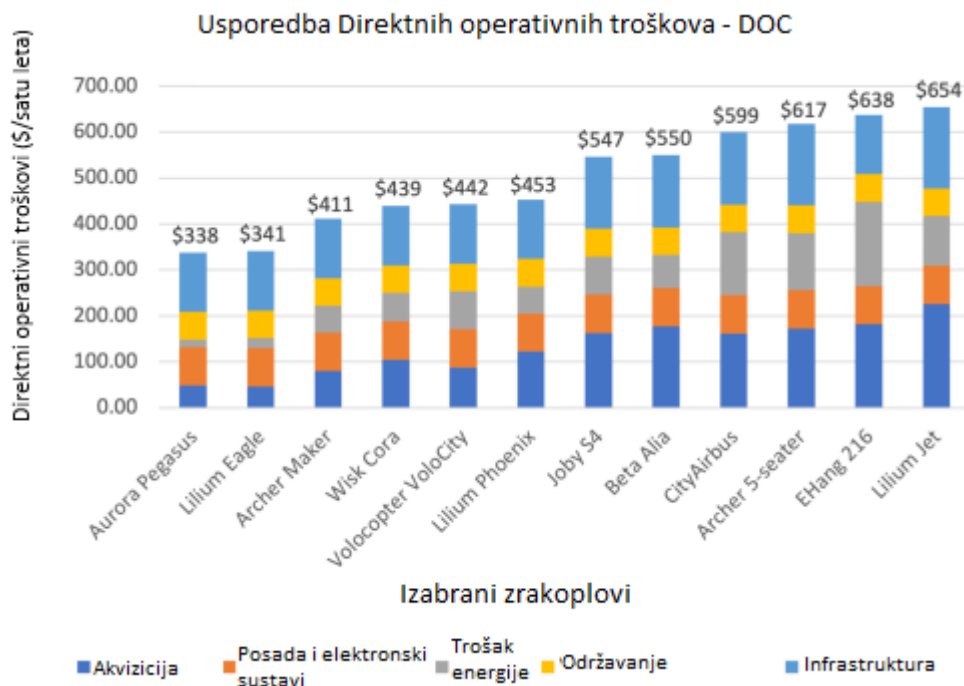
Izvor: [67]

Objašnjenje:

*DOC – Direktni operativni troškovi (eng. Direct Operating Cost)

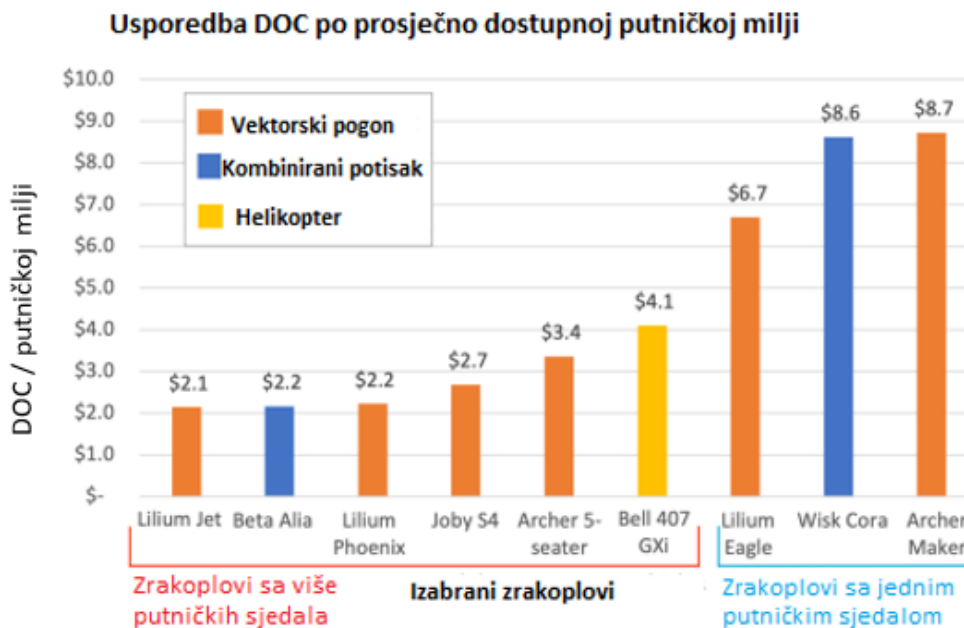
*Pax - putnici

Rezultati do kojih su znanstvenici došli su vidljivi na grafikonu 5.1 gdje su prikazani ukupni troškovi za svaki zrakoplov. Troškovi posade i elektronskih sustava, održavanja i infrastrukture su isti za sve zrakoplove s obzirom na uzete pretpostavke. Prvih pet zrakoplova ima najniži direktni operativni trošak zbog mogućnosti prijevoza samo jednog putnika.



Graf 5.1 Prikaz ukupnih troškova
Izvor: [67]

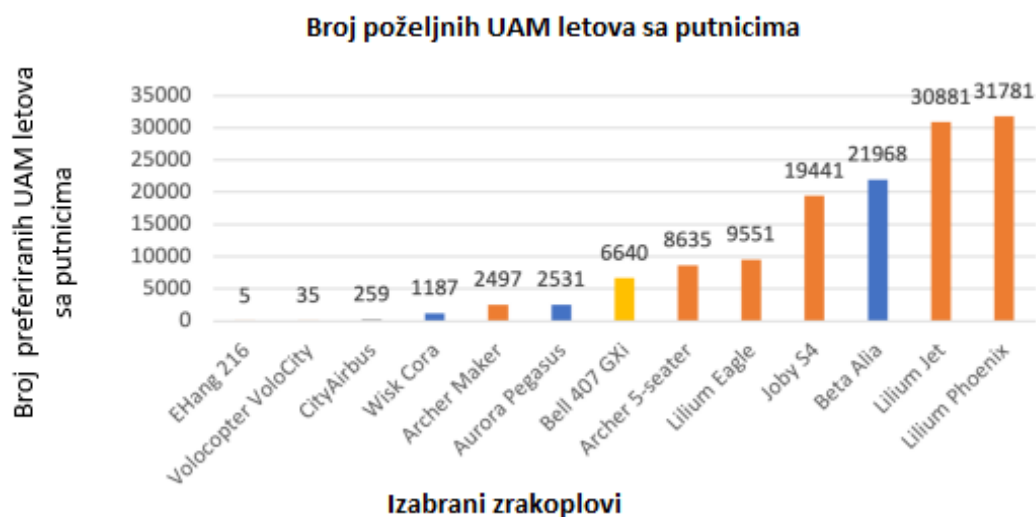
Na grafikonu 5.2 su prikazani direktni operativni troškovi po putničkoj milji, gdje se mogu vidjeti zrakoplovi koji su grupirani prema broju putničkih sjedala. U obzir je uzeta maksimalna popunjenost.



Graf 5.2 Direktni operativni troškovi po putničkoj milji za svaki zrakoplov
Izvor: [67]

Helikopter Bell 407 GXi predstavlja referentni zrakoplov s kojim se uspoređuju dobiveni podaci. Na grafikonu 5.3 prikazan je broj poželjnih letova s putnicima na zadanoj mreži vertiportova. Broj poželjnih UAM letova definiran je efektivnim troškovima leta za UAM letove koji trebaju biti manji u odnosu na istu rutu za prijevoz automobilom. Faktori koje utječu za broj poželjnih UAM letova za određeni zrakoplov su karakteristike zrakoplova, faktor popunjenosti, potražnja i mreža aerodroma odnosno vertiportova. Zrakoplovi s jednim putničkim sjedalom imaju 100% putnički faktor popunjenosti, dok oni s više sjedala operiraju s faktorom popunjenosti od 60%. Iz prikazanih grafova može se zaključiti da su najpovoljniji *eVTOL* zrakoplovi Lillium Phoenix i Jet zbog niskih izravnih troškova i velikih brzina krstarenja zbog čega i mogu napraviti veliki broj letova unutar zadane mreže. Tri konstruktivne značajke imaju veliki utjecaj na profitabilnost korištenja *eVTOL* zrakoplova za prijevoz unutar urbanih sredina. A to su:

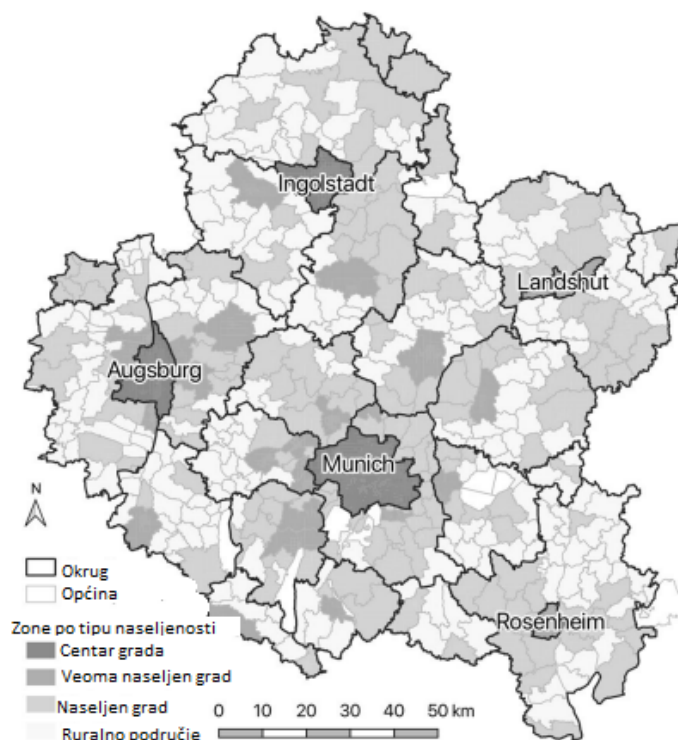
1. Dolet - zrakoplovi s limitiranim doletom u odnosu na mrežu vertiportova gube na potencijalnim letovima
2. Brzina krstarenja – vrlo važan parametar koji pokazuje da što je veća brzina krstarenja, putnici brže dolaze na svoje odredište što je glavna značajka budućih projekata uvođenja UAM. U ovom istraživanju se pokazalo da brzina između 150 mph i 190 mph najbolje odgovara ovoj mreži vertiportova, a putniku štedi vrijeme i trošak putovanja
3. Trošak po putniku – maksimalna težina polijetanja svakog zrakoplova je glavni čimbenik za utvrđivanje troškova konstrukcije, napona (baterije), energije i infrastrukture. Zrakoplovi s mogućnošću prijevoza jednog putnika su generirali loše rezultate pri ekonomskim simulacijama, ali i onim letnim



Graf 5.3 Usporedba poželjnih putničkih UAM letova
Izvor: [73]

6. ANALIZA STUDIJE SLUČAJA RAZVOJA VERTIPORTOVA U URBANOJ AGLOMERACIJI MUNICH

Grad Munich, odnosno Odjel za urbano planiranje je izdao dokument u kojem se pridaje značajan razvoj mobilnosti u aglomeraciji Munich te razmjerno smanjenje utjecaja prometa na klimatske promjene. Važan faktor urbanog planiranja je prihvatljivo stanovanje, te korištenje javnih površina za boravak i socijalizaciju. Grad Munich planira razviti takvu mrežu mobilnosti koja će biti ugljično neutralna, ali i učinkovita. Vizija je do 2035. godine učiniti 80 % prometnica korištenih od strane ekološki prihvatljivih vozila, poput bicikala, javnog gradskog prometa te električnih vozila. Trenutno već postoje punktovi održive mobilnosti (engl. *mobility points*) na kojima se mogu iznajmiti e-bicikli/skuteri, te gdje postoje punionice za takva vozila. Do 2026. godine Grad planira izgraditi 200 takvih punktova na svom području [75]. U aglomeraciji Munich trenutno živi oko 6,2 milijuna stanovnika te postoji 27 okruga te 6 gradova, i pokriva površinu veličine Belgije [76]. Broj posjetitelja odnosno turista za 2023. godinu iznosio je preko 10 miliona, što grad Munich i okolicu čini izrazito atraktivnim. Istraživanje o primjenjivosti Urbane zračne mobilnosti u javni gradski prijevoz unutar šire zone Munich, obuhvatilo je 444 općina i 5 gradova (slika 40).



Slika 40. Područje studije aglomeracija Munich

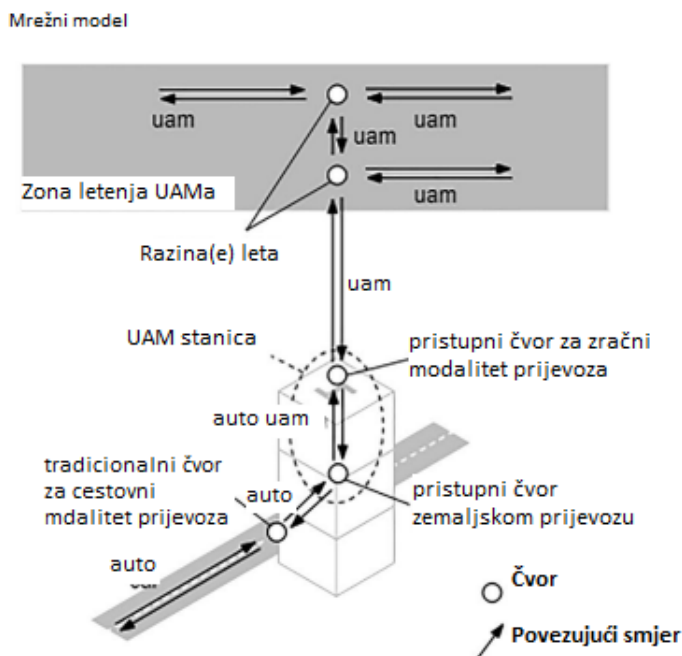
Izvor: [78]

Općine su podijelili u Zone analize prometa (engl. *Traffic Analysis Zone – TAZ*), na načina da su zone manje u gusto naseljenim područjima, dok su u ruralnim dijelovima veće. Ukupan broj zona je 4950 [77].

Istraživanje je pokušalo dati odgovor na nekoliko pitanja:

1. Kolika bi bila buduća potražnja za urbanom mobilnošću po domaćinstvu i po polazišno-destinacijskim (engl. *Origin-destination – O-D*) razinama? Kolika bi bila potražnja za prijevozom od aerodroma razinama (IATA: MUC) do urbane sredine?
2. Koje bi modele prijevoza koristili budući korisnici?
3. Kako definirati pozicije vertiportova radi lakše integracije u već postojeće modele javnog prijevoza?
4. Koliki bi bili operativni troškovi?
5. Kako će uvođenje urbane zračne mobilnosti utjecati na ostale transportne modele, koliki će biti utjecaj na socijalno-ekonomske promjene i one na okoliš?

Istraživanjem se ustanovilo kako se prijevoz UAM može usporediti s prijevozom vlakom u vidu brzine prijevoza te prijevoza od stanice do stanice. Troškovi, duljina putovanja i vrijeme putovanja su različiti za oba vida prijevoza. Troškovi prijevoza su manji za UAM, dok je vrijeme putovanja osjetljivo na promjene u odnosu na vrijeme putovanja vlakom. Smatra se kako će UAM služiti kao tranzitni modalitet prijevoza, te će stoga biti od izuzetne važnosti položaj vertiporta. Cestovni prijevoz (javni gradski prijevoz, bicikl i pješaćenje) će trebati biti povezan sa zračnim prijevozom (slika 41).



Slika 41. Ilustracija povezivanja modaliteta prijevoza

Izvor: [78]

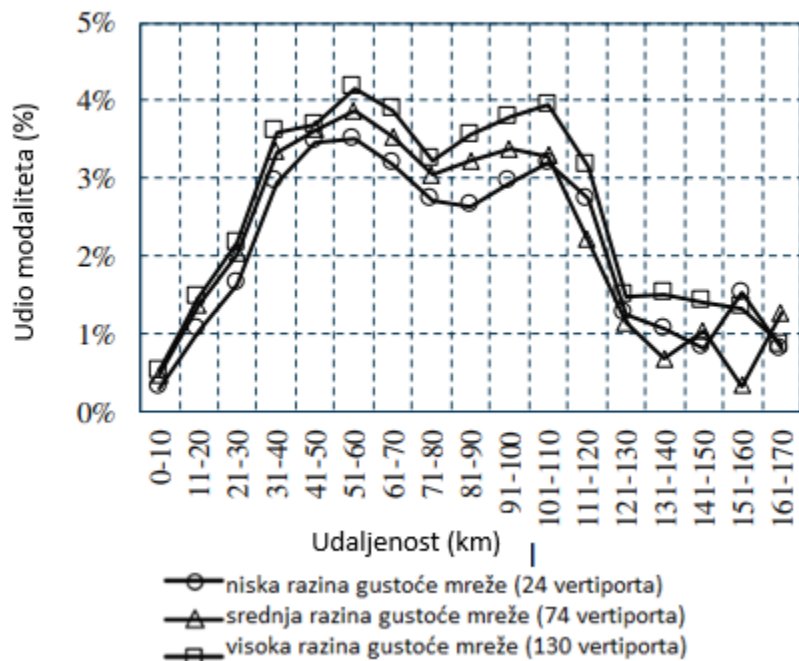
Kako su vertiportovi i eVTOL zrakoplovi limitirani kapacitetom, treba uzeti u obzir raspored dolazaka i odlazaka zrakoplova kao i vrijeme ukrcaja putnika. Segment koji treba uzeti u razmatranje je mreža vertiportova o kojoj zavisi kvalitetna povezanost, a time i zadovoljstvo korisnika, ušteda vremena pri putovanjima te smanjivanje stresa. U istraživanju [78] se razmatralo o mreži niske, srednje i visoke gustoće vertiportova. U mreži niske gustoće je postavljeno 24 vertiporta, u mreži sa srednjom razinom 74, a mreža s visokom gustoćom ima 130 vertiportova (slika 42). Prilikom definiranja gustoće mreže uzimala su se u obzir potražnja, i to na razini poslovnih putovanja, putovanja na/s posla te putovanja u turističke svrhe. U mreži s niskom gustoćom vertiportova pokriva se veliko područje i pokušalo se pokriti kako ruralni tako i urbani dio grada odnosno aglomeracije. Kod mreže srednje gustoće vertiportova se nadogradila mreža niske gustoće s boljom povezanosti s podzemnom željeznicom i onom koja povezuje ruralna područja. U mreži visoke gustoće, vertiportovi su postavljeni u ruralnim mjestima kojima je potrebna bolja povezanost s urbanom sredinom, te s onim u strogom centru grada. Za gusto postavljenu mrežu vertiportova će trebati izdvojiti značajna financijska sredstva, te će investitor trebati razmotriti svoja ulaganja. Kako bi zadovoljili sve aspekte sigurnog ulaganja te pružanja zadovoljstva korisnika, iskoristivost eVTOL zrakoplova će trebati biti oko 12 h.



Slika 42. Prikaz gustoće mreže vertiportova: niska (lijevo), srednja gustoća (sredina) i visoka (desno)
Izvor: [78]

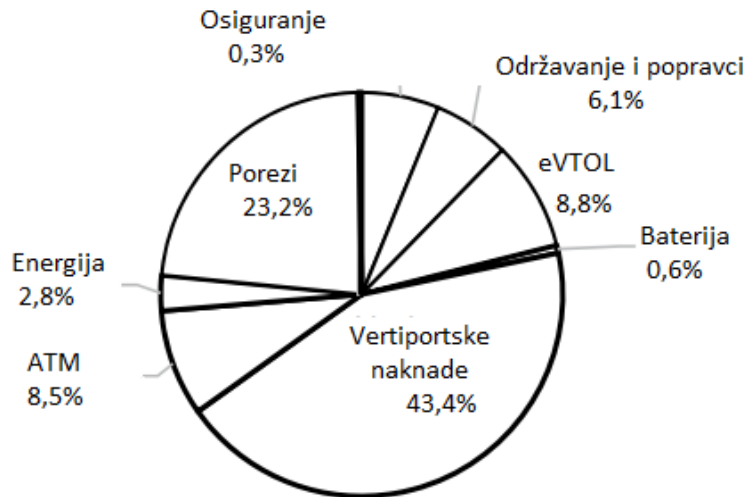
S obzirom na gustoću mreže vertiportova, udaljenost između vertiportova je manja kod visoke gustoće dok je udaljenost između vertiportova veća kod niske razine gustoće vertiportova. Slika 43 prikazuje udaljenosti te broj ruta, koja prati gustoću vertiportova. Najveći broj ruta, kod niske gustoće mreže vertiportova je na udaljenosti između 70 km i 80 km, dok je kod visoke gustoće vertiportova, najveći broj ruta na udaljenosti do 10 km.

Istraživanjem je ustanovljen minimalan utjecaj gustoće mreže vertiportova na potražnju (slika 43). Ipak, treba obratiti pozornost na lokaciju vertiportova i racionalno pozicioniranje istih.



Slika 43. Utjecaj gustoće mreže na potražnju
Izvor: [78]

Osim broja ruta i prihvatljive mreže vertiportova, na prihvaćanje UAM-a u široj javnosti utjecat će i sama cijena prijevoza. Cijena prijevoza ovisit će o broju letova te mogućnosti subvencioniranja izgradnje i održavanja vertiportova, ali i neaeronautičkih prihoda. Stoga bi cijena prijevoza *eVTOL* zrakoplovima mogla varirati između 1,75 € do 4,96 € po kilometru. Na tu cijenu treba dodati i baznu cijenu karte. Ipak, bazna cijena karte koja bi varirala između nula i 10 € imala bi minimalan utjecaj na potražnju, osim u slučajevima prijevoza na udaljenostima manjim od 10 km kada bazna cijena ima utjecaj na potražnju. Na slici 44 se može vidjeti struktura cijene prema višim standardima. Značajni troškovi su usmjereni prema naknadi za vertiportove. Kada bi se ta naknada smanjila, smanjila bi se i cijena karte za korisnike UAM-a.



Slika 44. Struktura troškova za visoke troškove cijene UAM-a

Izvor: [78]

U tablici 9 prikazan je mogući scenarij, koji uključuju donje i gornje granice te referentne vrijednosti u ovisnosti o veličini tj. gustoći mreže vertiportova, brzine letjelice, trajanje pristupa vertiportu, vremenu ukrcaja i iskrcaja putnika, te odlazak sa vertiporta. Kao zadnji parametar je navedena tarifa odnosno bazna tarifa, iz čega se vidi da iznos tarife ovisi o broju vertiportova u mreži i udaljenosti koju trebaju prijeći.

Tablica 9. Referentne vrijednosti i simulacijski plan za donje i gornje granice

	SCENARIJI		
	Donja granica	Referentne vrijednosti	Gornja granica
Veličina mreže	24	74	130
Brzina letjelica [km/h]	50	100	350
Pristup vertiportu i trajanje iskrcaja [min]	10	20	30
Tarifa [€/km]	1	2	10
Osnovna tarifa [€]	0	5	10

Izvor: [78]

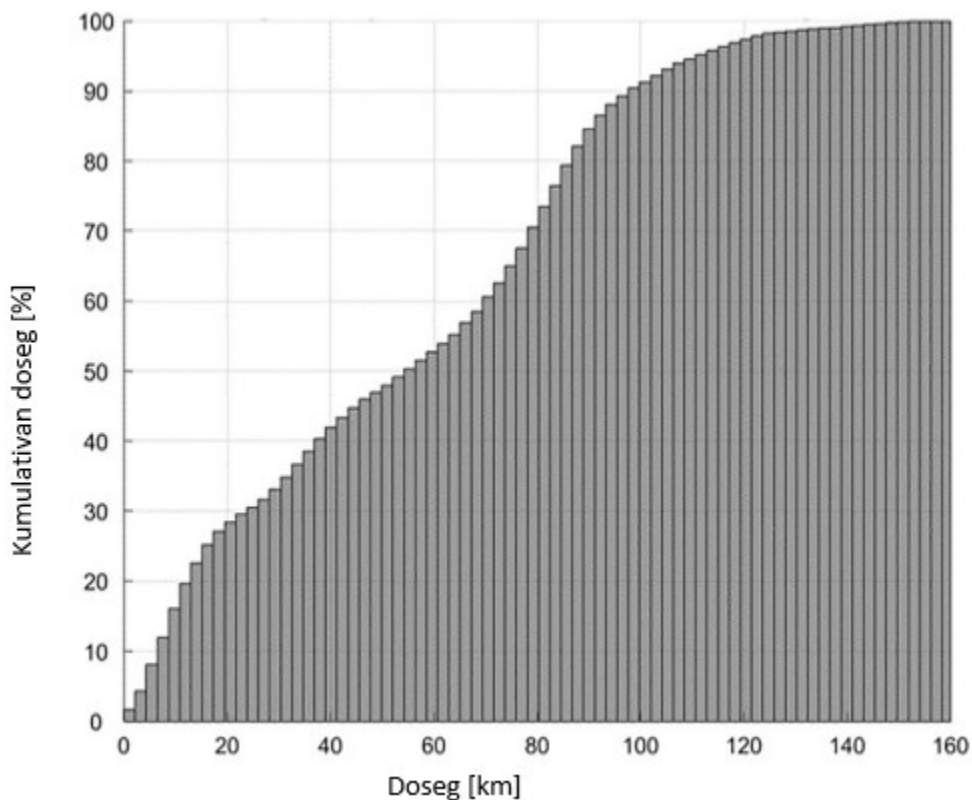
Brzina letjelica ne utječe značajno na potražnju. Brzina letjelica kreće se od 50 do 350 km/h, čak i u slučajevima dužih ruta (preko 40 km) gdje su vremenske uštede značajne (~40 min na brzinama između 50 i 350 km/h) [78].

Smještaj vertiporta uvjetovan je lokalnim uvjetima određene urbane sredine. Svakako će lokacija vertiporta ovisiti o potrebnim kapacitetima, potrebnim instalacijskim zahtjevima i vremenskim uvjetima mikrolokacije. U slučaju smještaja vertiporta na krov tj. vrh zgrade treba razmotriti i nosivost strukture, statička ograničenja te utjecaj vibracija. Lokacija vertiportova treba biti u blizini glavnih željezničkih stanica odnosno metro stanica zbog bolje tranzicije. Dimenzije vertiportova ovisit će o veličini *eVTOL* zrakoplova koji će koristiti određeni vertiport, zatim o smještajnim kapacitetima vertiporta, ali i mogućnostima punjenja baterija te parkiranju zrakoplova. Smatra se da je za manje vertiportove koji bi imali mogućnost prihvata i otpreme 10 *eVTOL* zrakoplova, potrebno 4 160 m². Kroz takav vertiport bi dnevno moglo proći 5 400 putnika dnevno. Za velike vertiportove je potrebno 20 000 m². Veliki vertiportovi mogu prihvatiti 50 *eVTOL* zrakoplova te kroz njih na dnevnoj bazi može proći 130 000 putnika.

U gradu Munich biti će potrebno odabrati *eVTOL* zrakoplov koji će moći operirati unutar mreže vertiportova, pri tome zadovoljavajući sve potrebne uvjete. Neki od uvjeta na osnovu kojih će se odabirati *eVTOL* zrakoplov jesu: struktura zgrada i urbanog područja, vremenski uvjeti, uvjeti stanovanja, demografska očekivanja i potražnja. Također, zrakoplov će trebati imati nizak utjecaj na okoliš, u smislu pogona i buke, ali ima manje infrastrukturne zahtjeve u pogledu dužine USS. Stoga se odustalo od zrakoplova koji zahtijevaju kratku stazu za polijetanje i slijetanje (engl. *Short Take Off and Landing – STOL*) i onih koji zahtijevaju ekstremno kratke staze za polijetanje (engl. *Extremely Short Take-off and Landing - ESTOL*). Od klasičnih VTOL zrakoplova se odustalo zbog pogona i buke. Pogon zrakoplova koji se smatra idealnim je električni zbog jednostavnosti upotrebe unutar urbanih sredina, te manjim zahtjevima naspram vertiportova. Zrakoplovi na hibridni pogon u odnosu na *eVTOL* zrakoplove imaju prednost zbog mogućnosti dužeg letanja bez nadopune goriva. No, zrakoplovi na hibridni pogon zahtijevaju kompleksniju infrastrukturu.

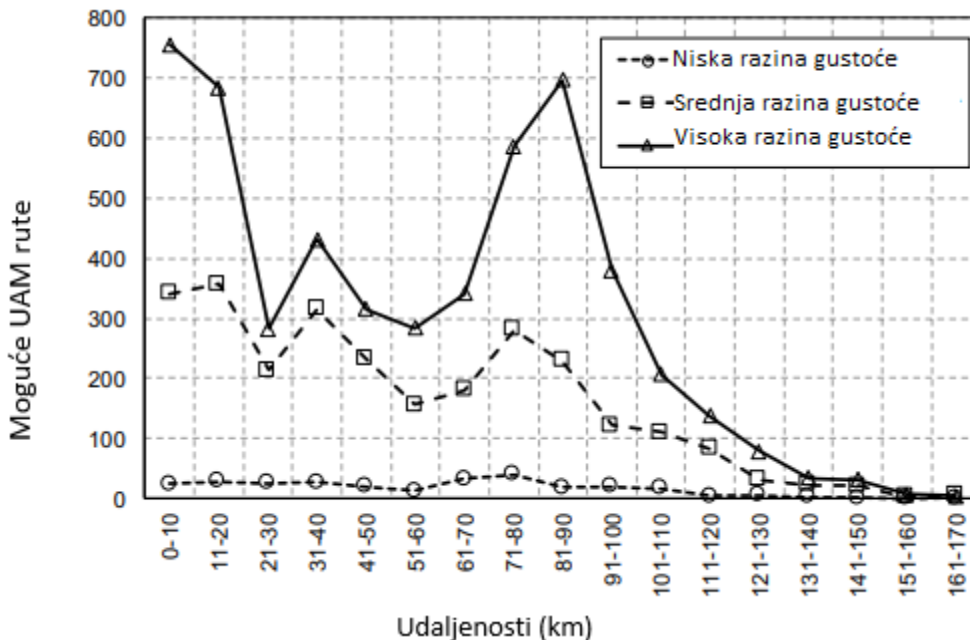
Trenutno se razmatra mogućnost zamijene tj. nadopunjavanja baterije na svakom vertiportu u mreži. U sam let, osim polijetanja i slijetanja na destinaciju, let do alternativnog vertiporta, uračunato je i 30 s lebdenja, ali i 60 s čekanja u zraku radi slijetanja (engl. *holding*). Kako bi čekanje na slijetanje u zraku bilo svedeno na minimum potrebno je uvesti izrazito značajnu ATM koordinaciju. Za gustu mrežu vertiportova u aglomeraciji Munich, na razini letenja od točke do točke, potreban je *eVTOL* zrakoplov kojemu je doseg 180 km. Kada je zrakoplovu doseg 180 km tada bi letovi bili kraći i učestaliji, no smanjenjem dosega na 110 km, smanjuje se i povezanost vertiportova na granici zone istraživanja i to za 20-30 %. Ipak doseg od 110 km omogućuje pokrivenost mreže oko 95 %, slika 45. S obzirom da se na krajnjim granicama područja istraživanja očekuje manja potražnja, racionalno je izabrati doseg zrakoplova od 110 km.

U doseg od 110 km uračunato je i 10 km zbog sigurnosti u izvanrednim slučajevima, gdje bi zrakoplovi u slučaju loših vremenskih prilika i drugih izvanrednih slučajeva, imali dovoljno mogućnosti odletjeti na neki od vertiportova koji se nalaze van granica najgušće naseljenog grada u Njemačkoj.



Slika 45. Povezanost u veoma gustoj mreži vertiportova za različite dosege zrakoplova
Izvor: [78]

Kod povećanja broja vertiportova raste i broj ruta, i to pogotovo kod guste mreže vertiportova gdje kod kraćih udaljenosti do 20 km broj ruta raste do oko 760. Isti slučaj je vidljiv i kod udaljenosti između 70 km i 90 km, a broj ruta raste do 700 (slika 46).

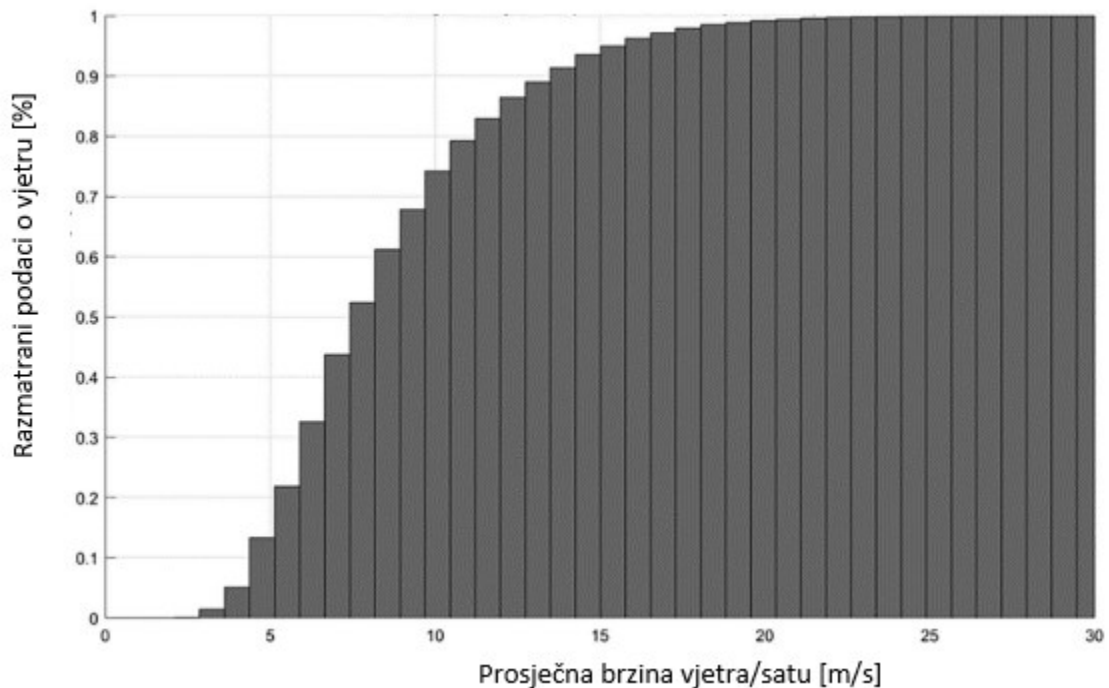


Slika 46. Distribucija mogućih UAM ruta u odnosu na razinu gustoće mreže vertiportova
Izvor: [87]

Na području zone istraživanja, vertiport s najvišim položajem se nalazi u Holzkirchenu na 700 m, što znači da će maksimalna visina krstarenja u zoni istraživanja biti veća od 700 m, te će iznositi 800 m. Najveća visinska razlika između dva vertiporta iznosi 400 m. Kako će izgledati U-prostor unutar Bavorske ustanovit će se uz pomoć AMIUS projekta (engl. *Air Mobility Initiative U-space*). Projekt AMIUS će ustanoviti kako će se U-prostor integrirati u već postojeći zračni prostor, te koji je najbolji način upravljanja istim. *eVTOL* zrakoplovi kao i autonomne letjelice će koristiti U-prostor. Uz upravljanje zračnim prostorom dat će se i odgovori na pitanje koji su najbolji načini transfera informacija između dionika[79].

eVTOL zrakoplovi koji će se koristiti u aglomeraciji Munich trebaju biti otporni i na vremenske prilike koje su uobičajene na tom području. U gradu Munich vremenske prilike mogu biti izazovne s obzirom na to da je sam grad smješten u podnožju Alpa. Temperature u tom području mogu biti niske u zimskom periodu, te stoga tek treba istražiti utjecaj nižih temperatura na baterije. Niže temperature mogu dovesti i do zaleđivanja upravljačkih površina zrakoplova. Nadalje, vjetrovi su promjenjivog smjera, udari vjetra su učestali, a meteorološki uvjeti promjenjivi [89]. Njemački meteorološki zavod (engl. *German Weather Service*) je dvije godine prikupljao podatke o brzini vjetra na Bavarskom području, gdje na slici 47 možemo vidjeti prosječnu brzinu vjetra po satu izmjerenu na 66 meteoroloških stanica.

Na osnovu tih brzina, znanstvenici su ustanovili da *eVTOL* zrakoplov treba moći podnijeti 20 m/s čeonog vjetra kako bi bilo zadovoljeno 99 % operativnih letova na području Gornje Bavorske [80]. Ustanovljeno je da je kod letova helikopterom brzina vjetra od 10,3 m/s krajnja granica ugodnog leta za putnike [89].

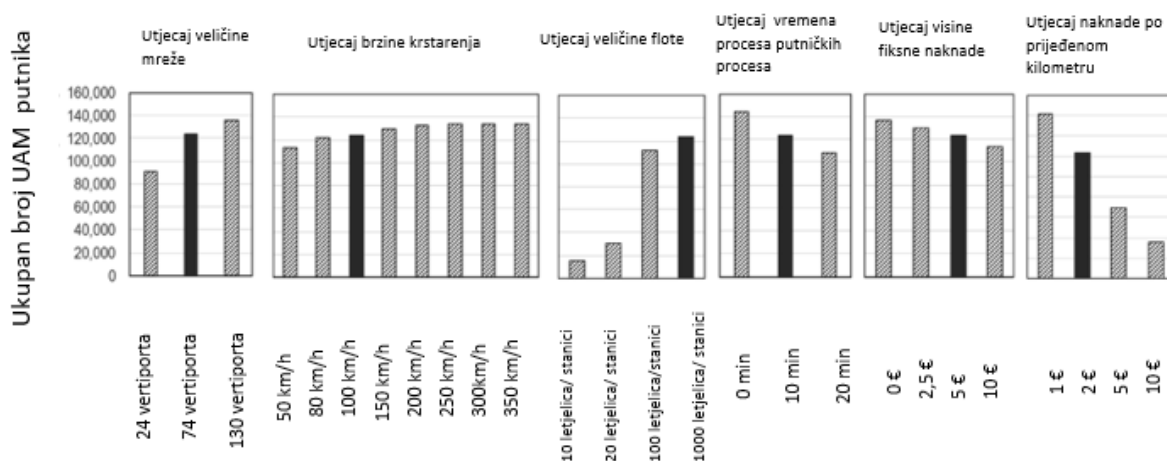


Slika 47. Prikupljeni podaci o brzini vjetra
Izvor: [78]

Za usporedbu, u SAD-u kako bi bilo uspješno operabilno 95 % letova, brzina udara vjetra ne smije prijeći 18 m/s, a UAM operacije se trebaju izvoditi na brzini od 10,3 m/s [80].

Na području aglomeracije Munich, prema prikupljenim podacima od strane Bavorskog ureda za statistiku, obavi se 14 miliona dnevnih putovanja. Za referentno područje i referentnu studiju računa se da će u aglomeraciji biti 123 449 UAM putovanja. U studiji se uspoređivala nekolicina parametara i njihovi utjecaj na broj putnika. Ti parametri su:

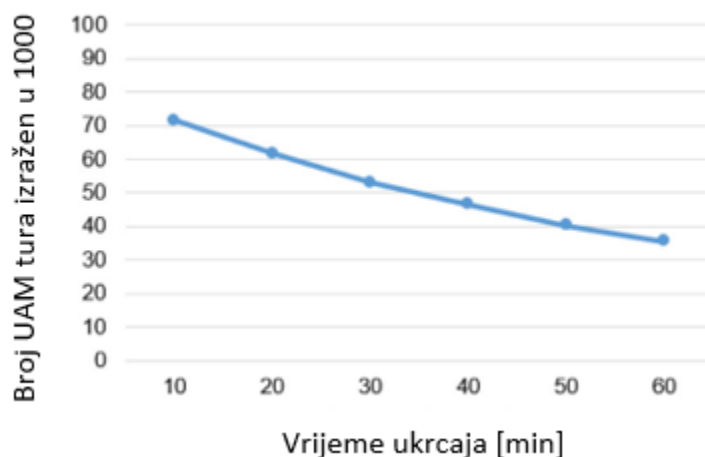
1. broj vertiportova
2. brzina UAM letjelica
3. broj letjelica po stanici
4. trajanje putničkih procedura
5. fiksna naknada te naknada po kilometru



Slika 48. Prikaz odnosa različitih parametara na broj putnika
Izvor: [78]

Slika 48 prikazuje utjecaj parametara na broj putnika, gdje se vidi da najveći utjecaj imaju veličina flote te naknada po kilometru. O veličini flote ovisi dužina čekanja putnika na prijevoz do željene destinacije. Utjecaj dužine čekanja putnika na prijevoz značajniji je na kraćim dionicama. Ovim istraživanjem nije obuhvaćeno čekanje putnika na zaštitne preglede pri ulasku u zaštitno ograničeno područje. Istraživanje je pokazalo da ako je na vertiportu stacionirano 10 letjelica, one neće moći izvršiti dovoljan broj letova jer će potražnja premašiti ponudu. Utjecaj naknade po prijeđenom kilometru je očekivano osjetljivo na povećanje cijena zbog velike razlike u cijeni putničke karte. Ostali parametri nemaju značajniji utjecaj na potražnju.

Istraživanje koje se provelo pri Tehničkom fakultetu u Munich [82] na istom području aglomeracije Munich, UAM bi činio 0,61 % od ukupne ponude modaliteta prijevoza. S uvođenjem mreže od 74 vertiporta, s 50 eVTOL letjelica po vertiportu i kapacitetom letjelice od jednog putnika, ustanovljeno je kako bi se ukupan broj korištenja osobnih vozila po vozilo-kilometru povećao za 0,27 % odnosno za 0,14 milijuna. Također, potražnja za novim modalitetom prijevoza opada za 50 % ako se vrijeme ukrcaja poveća s 10 na 60 min (slika 49). U vrijeme ukrcaja su uračunati i zaštitni pregled, kašnjenje letjelice te druga organizacijska ograničenja.



Slika 49. Utjecaj vremena ukrcaja na potražnju
Izvor: [82]

Koliki će utjecaj i uspjeh ostvariti UAM putovanja u aglomeraciji Munich će se tek vidjeti prilikom implementacije. No svakako će doprinijeti poboljšanju ponude javnog gradskog prijevoza pogotovo u sferi putovanja na udaljenostima preko 30 km, u kojem se očekuje udio UAM od 3-4 %. U ruralnim i udaljenijim dijelovima Bavorske regije će uvođenje UAM-a doprinijeti boljoj povezanosti. No unutar urbanih sredina, a obzirom na izrazito dobru mrežu ostalih modaliteta javnog prijevoza, uvođenje UAM neće doprinijeti poboljšanju kvalitete prijevoza [82]. Njemačka država odnosno Ministarstvo prometa i digitalnog poslovanja je 2022. godine, uložilo 4,3 milijuna eura u sedam projekata koji su vezani za razvoj dronova odnosno urbane zračne mobilnosti [83]. Različiti instituti te mnogobrojni znanstvenici rade istraživanja upravo na tom polju. Iz svega navedenog može se zaključiti kako Njemačka ozbiljno razmatra uvođenje eVTOL zrakoplova odnosno UAM-a u sustav transporta [84].

7. ZAKLJUČAK

Sinergija proizvođača *eVTOL* zrakoplova, nacionalnih regulatora, sustava kontrole leta i operatora vertiportova igra važnu ulogu u primjenjivosti, ali i prihvatljivosti novog modaliteta prijevoza u urbanim sredinama. Proizvođači zrakoplova usmjeravaju put razvoja svih dionika s obzirom da performanse i razni sustavi zrakoplova uvjetuju regulatore, operatere vertiportova, sustav kontrole leta i smještaj vertiportova.

Smještaj vertiportova će biti uvjetovan i vremenskim uvjetima na mikrolokaciji. Kvalitetnim izborom lokacije može se utjecati na redovitost prometa, a redovitost uvjetuje prihvaćanje i razvoj. Nadalje, koordinacija između operatera zrakoplova, vertiporta i ATM sustava mora biti na adekvatnom nivou kako bi se postizali zadani ciljevi u redovitosti odvijanja prometa.

Prema rezultatima ovog rada, može se pretpostaviti da će prije ulaska u letjelice biti potrebni i zaštitni pregledi putnika. Zaštitni pregledi dovoditi će do dužeg ukupnog trajanja putovanja što bi moglo dovesti do smanjenja interesa za korištenje novog modaliteta prijevoza. No, znanstvena zajednica je dala veliki doprinos u istraživanjima s ciljem pojednostavljenja implementacije UAM sustava. Međutim, potrebna su daljnja istraživanja protoka putnika i prtljage za optimizaciju sustava.

S aspekta buke, značajna sredstva su uložena kako bi se reducirala buka *eVTOL* zrakoplova, no oni ipak neće biti nečujni, te mogu stvarati nelagodu stanovnicima pogotovo u slučajevima velikog broja letova pri gustoj mreži vertiportova. U segmentu buke nije moguće uspoređivati helikoptere i *eVTOL* zrakoplove zbog činjenice da helikopteri obzirom na svoju sposobnost vertikalnog polijetanja i slijetanja te već postojeće primjene pri transportu mogu poslužiti kao referenta točka za *eVTOL* zrakoplove u aglomeracijama. Helikopteri nisu prihvaćeni kao prijevozno sredstvo u javnom prometu, no prihvaćeni su kao prijevoz u turističke i poslovne svrhe.

Elektrifikacija drugih modaliteta prijevoza je već u primjeni, te će zračni promet svakako moći izuzeti dobre značajke, dok će iz negativnih značajki učiti i prevladati ih u cilju uspješne primjene UAM odnosno AAM sustava. Studija slučaja pokazuje kako se već sada unutar Munich koriste javna električna cestovna vozila omogućujući bolji javni gradski prijevoz te smanjenje stakleničkih plinova. Unutar aglomeracije mnogi dionici razvijaju mogućnosti integracije *eVTOL* letjelica u javni prijevoz svrstavajući tako tu aglomeraciju kao progresivnu regiju.

Osim gore navedenih faktora još mnogobrojni faktori trebaju biti uzeti u obzir, poput osiguranja i odgovornosti u slučaju izvanrednih događaja, ekološka održivost, cjenovna pristupačnost te kvaliteta urbanizacije, kako bi ova izuzetna nova mogućnost mobilnosti bila prihvaćena, podržana i primjenjiva.

Prema stupnju razvoja tehnologije i sustava vezanih uz primjenu *eVTOL* zrakoplova za transport ljudi i dobara, praktičnu primjenu moguće je očekivati u skoroj budućnosti.

LITERATURA

- [1] „VTOL A BRIEF HISTORY“. Preuzeto s: <https://www.flightlineweekly.com/post/vtol-a-brief-history> [Pristupljeno: 11. svibanj 2023].
- [2] „EASA“. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/> [Pristupljeno: 11. travanj 2023]
- [3] UN. Preuzeto s: <https://www.un.org/en/> [Pristupljeno: 11. travanj 2023]. Preuzeto s: <https://www.un.org/en/>
- [4] „NASA JOBY EVTOL NOISE“. Pristupljeno: 11. travanj 2023]. Preuzeto s: <https://newatlas.com/aircraft/nasa-joby-evtol-noise/>
- [5] EIT. Preuzeto s: <https://www.eiturbanmobility.eu/> [Pristupljeno: 11. lipanj 2023].
- [6] MCKINLY. Preuzeto s: <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/overview> [Pristupljeno: 11. svibanj 2024].
- [7] A. Cohen, S. Shaheen, i E. Farrar, „Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges“, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, sv. PP, str. 1–14, lip. 2021, Doi: 10.1109/TITS.2021.3082767.
- [8] „EASA UAM“. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/what-is-uam> [Pristupljeno: 10. rujan 2023]
- [9] „Concept of Operation v2.0“. Dostupno na: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban%20Air%20Mobility%20%28UAM%29%20Concept%20of%20Operations%202.0_1.pdf [Pristupljeno: 11. lipanj 2023]
- [10] „evtol classification“. Preuzeto s: <https://evtol.news/classifications> [Pristupljeno: 11. svibanj 2023].
- [11] O. Ugwueze, T. Statheros, M. A. Bromfield, i N. Horri, „Trends in eVTOL Aircraft Development: The Concepts, Enablers and Challenges“, u *AIAA SCITECH 2023 Forum*. Doi: 10.2514/6.2023-2096.
- [12] J. Pons-Prats, T. Živojinović, i J. Kuljanin, „On the understanding of the current status of urban air mobility development and its future prospects: Commuting in a flying vehicle as a new paradigm“, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, sv. 166, str. 102868, 2022, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102868>.
- [13] M. Blacha, A. Fink, P. Eglin, i P. Cabrit, „Exploring new rotorcraft high speed configurations“, predstavljeno na European Rotorcraft Forum, Italy, 15.09 2017. Preuzeto s: <https://dspace-erf.nlr.nl/server/api/core/bitstreams/cb51cc6a-cc41-47a5-b8a6-ef3fedc63a8a/content> [Pristupljeno: 11. listopad 2023]
- [14] Felix Frey, „Interactions on Airbus Helicopters’ Compound Helicopter RACER“, Faculty of Aerospace Engineering and Geodesy of the University of Stuttgart, 2022. Preuzeto s: https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/13484/1/Dissertation_Felix_Frey_IAG_online.pdf [Pristupljeno: 15. studeni 2023].
- [15] „AIRBUS RACER“. Preuzeto s: <https://www.airbus.com/en/innovation/disruptive-concepts/disruptive-design/racer> [Pristupljeno: 20. studeni 2023]
- [16] „AIRBUS NOISE“. Preuzeto s: <https://www.airbus.com/en/sustainability/respecting-the-planet/helicopter-sound-footprint> [Pristupljeno: 24. studeni 2023].
- [17] S. Houston, „The Gyrodyne - A forgotten high performer?“, *Journal of the American Helicopter Society*, sv. 52, lis. 2007, doi: 10.4050/JAHS.52.382.

- [18] Alex Carchidi, *The Fairey Rotodyne and Other Gyrodynes: The Original Heliplanes*. Preuzeto s: <https://disciplesofflight.com/gyrodyne-and-fairey-rotodyne/>
[Pristupljeno: 20. studeni 2023]
- [19] RICHARD WARD, „The Long Road to the Tiltrotor“, 04. lipanj 2018. Preuzeto s: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2018-04-06/long-road-tiltrotor>
[Pristupljeno: 25. studeni 2023.]
- [20] Damir MIŠKOVIĆ, „Tiltrotor AW609“, *HRVATSKI VOJNIK*, 14. lipanj 2017. Preuzeto s: <https://hrvatski-vojn timer.hr/tiltrotor-aw609/> [Pristupljeno: 29. studeni 2023]
- [21] „AW609“. LEONARDO HELICOPTERS. Preuzeto s: <https://helicopters.leonardo.com/documents/16114711/22634768/AW609+Brochure.pdf?t=1657904238113>
[Pristupljeno: 25. studeni 2023]
- [22] MIKE STONES, „HI UPLIFT: LEONARDO’S AW609 TILTROTOR ENJOYS A BIG YEAR“, *Helicopter Investors*, kol. 2023. Preuzeto s: <https://www.helicopterinvestor.com/news/100442/hi-uplift-leonardos-aw609-tiltrotor-enjoys-a-big-year/>
[Pristupljeno: 25. studeni 2023.]
- [23] Tony Osborne, „Leonardo Expects Tiltrotor Milestones To Slip Into 2024“, *Aviation Week*, 03. kolovoz 2023. Preuzeto s: <https://aviationweek.com/aerospace/aircraft-propulsion/leonardo-expects-tiltrotor-milestones-slip-2024>
[Pristupljeno: 30. studeni 2023].
- [24] „Airworthiness Criteria: Special Class Airworthiness Criteria for the AgustaWestland Philadelphia Corporation Model AW609 Powered-Lift“, *Federal Register, USA*. Preuzeto s: <https://www.federalregister.gov/documents/2023/06/09/2023-12310/airworthiness-criteria-special-class-airworthiness-criteria-for-the-agustawestland-philadelphia>
[Pristupljeno: 11. siječanj 2023.]
- [25] *Next-Generation Civil TILTROTOR*. Preuzeto s: <https://www.clean-aviation.eu/next-generation-civil-tiltrotor>
[Pristupljeno: 12. ožujak 2023]
- [26] „NASA LARGE CIVIL TILTROTOR CONCEPT“. Preuzeto s: <https://rotorcraft.arc.nasa.gov/Research/Programs/LCTR.html>
[Pristupljeno: 11. lipanj 2023]
- [27] „Integration of Powered-Lift: Pilot Certification and Operations; Miscellaneous Amendments Related to Rotorcraft and Airplanes“, *Federal Register, USA*. Preuzeto s: <https://www.federalregister.gov/documents/2023/06/14/2023-11497/integration-of-powered-lift-pilot-certification-and-operations-miscellaneous-amendments-related-to> [Pristupljeno: 30. studeni 2023]
- [28] Mikhail Shubov, „The Upcoming EVTOL Revolution“. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/358741676_The_Upcoming_EVTOL_Revolution#fullTextFileContent
[Pristupljeno: 12. svibanj 2023]
- [29] JULIA LAURIA-BLUM, „eVTOL Evolution: The Past, Present & Future of Air Mobility“, 01. listopada 2023. Preuzeto s: <https://metroairportnews.com/evtol-evolution-the-past-present-future-of-air-mobility/>
[Pristupljeno: 12. svibanj 2023]
- [30] „THE HISTORY OF EVTOL“, *JETSON*. Preuzeto s: <https://www.jetsonaero.com/news/the-history-of-evtol>
[Pristupljeno: 12. svibanj 2023]

- [31] Laura Heckmann, „DUBAI AIRSHOW NEWS: UAE Navigating Path to eVTOL Certification“, 16. studeni 2023. Preuzeto s: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2023/11/16/uae-navigating-path-to-evtol-certification>
[Pristupljeno: 12. svibanj 2023]
- [32] H. Z. Khan, J. Rajput, i J. Riaz, „Reconfigurable Control of a Class of Multicopters“, svi. 2020. doi: 10.23919/ECC51009.2020.9143731.
- [33] O. Ugwueze, T. Statheros, N. Horri, M. Bromfield, i J. Simo, „An Efficient and Robust Sizing Method for eVTOL Aircraft Configurations in Conceptual Design“, *Aerospace*, sv. 10, str. 311, ožu. 2023, doi: 10.3390/aerospace10030311.
- [34] „Volocopter VoloCity (prototype)“. Preuzeto s: <https://evtol.news/volocopter-velocity/>
[Pristupljeno: 15. prosinac 2023]
- [35] R. Bruehl, H. Fricke, i M. Schultz, „Air taxi flight performance modeling and application“, ruj. 2021. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/354887685_Air_taxi_flight_performance_modeling_and_application
[Pristupljeno: 12. prosinac 2024]
- [36] A. Bacchini i E. Cestino, „Electric VTOL Configurations Comparison“, *Aerospace*, sv. 6, str. 26, velj. 2019, doi: 10.3390/aerospace6030026.
- [37] „Combining the best of helicopters and airplanes.“ Preuzeto s: <https://www.dufour.aero/aero3>
[Pristupljeno: 15. prosinac 2023]
- [38] O. Ugwueze, T. Statheros, N. Horri, M. Innocente, i M. Bromfield, „Investigation of a Mission-based Sizing Method for Electric VTOL Aircraft Preliminary Design“, sij. 2022. doi: 10.2514/6.2022-1931.
- [39] „Vertical Aerospace VX4 (production model)“. Preuzeto s: <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X>
[Pristupljeno: 15. prosinac 2023].
- [40] Robert Bassey, P.E., AAS-110, „ENGINEERING BRIEF #105“. FAA, 21. rujan 2022. Preuzeto s: <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/eb-105-vertiports.pdf>
[Pristupljeno: 15. prosinac 2023].
- [41] Mark Broadbent, „Vertiports and the impact of regulations“, *AIRPORT INTERNATIONAL*, 08. rujan 2023. Preuzeto s: <https://www.airportsinternational.com/article/vertiports-and-impact-regulations/>
[Pristupljeno: 15. prosinac 2023].
- [42] „Heliports (Onshore/Offshore) Vertiports (Onshore) (CAR-HVD)“. GCAA, 2023. Preuzeto s: [https://www.gcaa.gov.ae/en/epublication/EPublications/Civil%20Aviation%20Regulations%20\(CARs\)/CAR%20IX%20-%20AERODROMES%20REGULATIONS/CAR-HVD%20-%20On-shore%20\(HELIPORTS-VERTIPOINT\)%20AND%20Off-shore%20\(HELIDECK\)%20-%20ISSUE%2001.pdf#search=vertiport](https://www.gcaa.gov.ae/en/epublication/EPublications/Civil%20Aviation%20Regulations%20(CARs)/CAR%20IX%20-%20AERODROMES%20REGULATIONS/CAR-HVD%20-%20On-shore%20(HELIPORTS-VERTIPOINT)%20AND%20Off-shore%20(HELIDECK)%20-%20ISSUE%2001.pdf#search=vertiport)
[Pristupljeno: 12. listopad 2023].
- [43] „Skyports Infrastructure’s vertiport design approved for development in Dubai“, *VERTICAL MAG*. Preuzeto s: <https://verticalmag.com/press-releases/skyports-infrastructure-vertiport-design-approved-for-development-in-dubai/>
[Pristupljeno: 12. listopad 2023].
- [44] Maggie Mullan, „Skyports, RTA and Joby to launch air taxi service in Dubai“, 02. studeni 2024. Preuzeto s: <https://skyports.net/skyports-rta-and-joby-to-launch-air-taxi-service-in-dubai/>
[Pristupljeno: 23. travanj 2024].
- [45] „THE DUBAI VERTIPOINT: A PREVIEW OF THE FUTURE OF TRANSPORTATION“, 06. prosinac 2023. Preuzeto s: <https://www.lacuisineinternational.com/en/blog/innovation/the-dubai-vertiport-a-preview-of-the-future-of-transportation/>

- [Pristupljeno: 17. prosinac 2023].
- [46] Ben Goldstein, „VPorts CEO Outlines Vision For UAE Vertiport Network“, *Aviation Week*, 11. rujan 2023. Preuzeto s: <https://aviationweek.com/shownews/dubai-airshow/vports-ceo-outlines-vision-uae-vertiport-network>
[Pristupljeno: 20. prosinac 2023].
- [47] Joe Macey, „VPorts Launches Certification Process for Dubai Vertiport“, *AAM INTERNATIONAL*, 01. kolovoz 2023. Preuzeto s: <https://www.aaminternational.com/2023/06/vports-launches-certification-process-for-dubai-vertiport/>
[Pristupljeno: 20. prosinac 2023].
- [48] „VPORTS embarks on the certification process for its vertiports as part of the WORLD’S FIRST ADVANCED AIR MOBILITY INTEGRATOR CENTRE IN DUBAI“, srp. 2023. Preuzeto s: <https://vports.com/vports-embarks-on-the-certification-process-for-its-vertiports-as-part-of-the-worlds-first-advanced-air-mobility-integrator-centre-in-dubai/>
[Pristupljeno: 01. ožujak 2024].
- [49] Virginia Innovation Partnership Corporation Press Release, „FAA approves nation’s first public-use vertiport in Blackstone, Virginia“, 10. veljača 2023. Preuzeto s: <https://verticalmag.com/press-releases/faa-approves-nations-first-public-use-vertiport-in-blackstone-virginia/>
[Pristupljeno: 01. travanj 2024].
- [50] „Atlantic Aviation And Archer Aviation Align To Pursue Development Of Electric Aircraft Infrastructure Across LA, Northern California, South Florida, And NYC Regions“, *ARCHER*, 17. siječanj 2024. Preuzeto s: <https://www.archer.com/news/atlantic-aviation-and-archer-aviation-align-to-pursue-development-of-electric-aircraft-infrastructure-across-la-northern-california-south-florida-and-nyc-regions/> [Pristupljeno: 02. travanj 2024].
- [51] Thierry Dubois, „EASA details approach behind VTOL special condition“, *VERTICAL MAG*, 14. siječanj 2020. Preuzeto s: <https://verticalmag.com/features/easa-approach-vtol-special-condition/>
[Pristupljeno: 02. srpanj 2024].
- [52] Maggie Mullan, „A proving ground for vertiport operations: Real-life data collection at Skyports Infrastructure’s European vertiport testbed“, stu. 2023. Preuzeto s: <https://skyports.net/a-proving-ground-for-vertiport-operations-real-life-data-collection-at-skyports-infrastructures-european-vertiport-testbed/>
[Pristupljeno: 15. veljača 2024].
- [53] „Vertiport Testbed for European Urban Air Mobility Testing Inaugurated in Paris“, lis. 2022. Preuzeto s: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/vertiport-testbed-for-eu-uam-paris>
[Pristupljeno: 17. prosinac 2023.].
- [54] „TEST VERTIPORT“, URBAN V. Preuzeto s: <https://www.urbanv.com/en/uv-0-test-vertiport/>
[Pristupljeno: 03. siječanj 2024].
- [55] „Performance Insight“. EUROCONTROL. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-06/eurocontrol-prc-performance-insight-10.pdf>
[Pristupljeno: 20. travanj 2024].
- [56] „Eurocontrol comparison ATM related performance US-EUROPE“. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-01/eurocontrol-comparison-atm-related-performance-us-europe.pdf>
[Pristupljeno: 25. travanj 2024.].
- [57] J. Pons-Prats, T. Živojinović, i J. Kuljanin, „On the understanding of the current status of urban air mobility development and its future prospects: Commuting in a flying vehicle as a new paradigm“, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, sv. 166, str. 102868, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102868>.

- [58] D. R. Karlotta Victor, „Revolutionising mobility cities through UAVS airspace design challenge“, 18. ožujak 2024. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/article/revolutionising-mobility-cities-through-uavs-airspace-design-challenge> [Pristupljeno: 27. ožujak 2024.].
- [59] „U-space CONOPS 4th edition“. <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20CONOPS%204th%20edition.pdf> [Pristupljeno: 04. ožujak 2024.]. Preuzeto s:
- [60] „PHAK CHAPTER 15, AIRSPACE“. FAA. Preuzeto s: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/17_phak_ch15.pdf [Pristupljeno: 04. svibanj 2024.].
- [61] „Anex 11“. ICAO, srpanj 2018. Preuzeto s: <https://fac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-11-Air-Traffic-Services.pdf> [Pristupljeno: 04. svibanj 2024.]. f
- [62] S. Bijjahalli, A. Gardi, N. Pongsakornsathien, R. Sabatini, i T. Kistan, „A Unified Airspace Risk Management Framework for UAS Operations. Drones 2022, 6, 184“, *Drones*, sv. 6, izd. 7, 2022, Doi: 10.3390/drones6070184.
- [63] J. R. Aleksandar Bauranov, „Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches“, sv. 125, izd. 1. august.2021, kol. 2021, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2021.100726>.
- [64] Suzana Helena Silva Braga Cardoso, Marcus Vinicius Ramalho de Oliveira, i José Rui Simons Godoy, „eVTOL Certification in FAA and EASA Performance-Based Regulation Environments: A Bird Strike Study-Case“, *Journal of Aerospace Technology and Management*, sv. 14, Doi: 10.1590/jatm.v14.1271.
- [65] „EIT-Urban air mobility“. Preuzeto s: <https://www.eiturbanmobility.eu/wp-content/uploads/2022/11/EIT-UrbanAirMobility.pdf> [Pristupljeno: 24. ožujak 2024.].
- [66] Karolin Schweiger i Lukas Preis, „Urban Air Mobility: Systematic Review of Scientific Publications and Regulations for Vertiport Design and Operations“, *Drones*, str. 20, srp. 2022, Doi: 10.3390/drones6070179.
- [67] „Frost & Sullivan Presents the Evolving Urban Air Mobility Landscape Up to 2040“. Preuzeto s: <https://www.frost.com/news/press-releases/frost-sullivan-presents-the-evolving-urban-air-mobility-landscape-up-to-2040/> [Pristupljeno: 21. travanj 2024.].
- [68] R. J. Howard, E. Wright, S. V. Mudumba, N. I. Gunady, B. E. Sells, i A. Maheshwari, „Assessing the Suitability of Urban Air Mobility Vehicles for a Specific Aerodrome Network“, u *AIAA AVIATION 2021 FORUM*. Doi: 10.2514/6.2021-3208.
- [69] B. Rahman, R. Bridgelall, M. F. Habib, i D. Motuba, „Integrating Urban Air Mobility into a Public Transit System: A GIS-Based Approach to Identify Candidate Locations for Vertiports“, *Vehicles*, sv. 5, str. 1803–1817, pros. 2023, Doi: 10.3390/vehicles5040097.
- [70] R. Bridgelall, S. White, i D. Tolliver, „Integrating Electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft into Public Airspace: A Scenario Study“, *Future Transportation*, sv. 3, izd. 3, str. 1029–1045, 2023, Doi: 10.3390/futuretransp3030057.
- [71] Wyatt Nordstrom, „Optimal Locations for Air Mobility Vertiports“. Preuzeto s: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220005871/downloads/Final%20Report%20v2%20-%20ARMD%20Air%20Mobility%20Vertiports%20Maven%20Research%20Inc%2025JAN2022.pdf> [Pristupljeno: 27. travanj 2024.].
- [72] Parker D. Vascik i R. John Hansman, „Development of Vertiport Capacity Envelopes and Analysis of Their Sensitivity to Topological and Operational Factors“. MIT:Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2019. Preuzeto s:

- https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/137978/ICAT-2019-01_Parker_Dev.%20of%20Vertiport.pdf?sequence=2&isAllowed=y/
[Pristupljeno: 27. travanj 2024].
- [73] H. Zhang, J. Li, Y. Fei, C. Deng, i J. Yi, „Capacity Assessment and Analysis of Vertiports Based on Simulation“, *Sustainability*, sv. 15, str. 13377, ruj. 2023, Doi: 10.3390/su151813377.
- [74] J. A. Espejo-Díaz, E. Alfonso-Lizarazo, i J. R. Montoya-Torres, „Mathematical Models for Scheduling Electric Vertical Take-Off and Landing (eVTOL) Vehicles at Urban Air Mobility Vertiports“, u *Operations Research and Analytics in Latin America: Proceedings of ASOCIO/IISE Region 16 Joint Conference 2022*, J. R. Montoya-Torres, W. J. Guerrero, i D. L. Cortés-Murcia, Ur., Cham: Springer International Publishing, 2023, str. 101–111. Doi: 10.1007/978-3-031-28870-8_8.
- [75] Lukas Preis, „Estimating vertiport passenger throughput capacity for prominent eVTOL designs“, *CEAS Aeronautical Journal*, sv. 12, izd. 2, svi. 2023, Doi: 10.1007/s13272-023-00650-5.
- [76] L. Preis i M. Hornung, „A Vertiport Design Heuristic to Ensure Efficient Ground Operations for Urban Air Mobility“, *Applied Sciences*, sv. 12, str. 7260, srp. 2022, Doi: 10.3390/app12147260.
- [77] City of Munich, Department of, i Department of Urban Planning, City of Munich, „023_Catalogue_Urban_form_public_space_Munich“. 2023. Preuzeto s: https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:e2e25df2-2c41-441a-8dd0-9360501b2864/2023_Catalogue_Urban_form_public_space_Munich.pdf
[Pristupljeno: 05. prosinac 2024].
- [78] „Metropoliten Area“. Preuzeto s: <https://www.metropolregion-muenchen.eu/english/>
[Pristupljeno: 05. prosinac 2024].
- [79] „Data, facts and market research; Simply Munich“. Preuzeto s: <https://www.munich.travel/en/topics/about-us/data-facts-and-market-research/>
[Pristupljeno: 05. prosinac 2024].
- [80] K. Plötner i ostali, „Long-term application potential of urban air mobility complementing public transport: an upper Bavaria example“, *CEAS Aeronautical Journal*, sv. 11, kol. 2020, Doi: 10.1007/s13272-020-00468-5.
- [81] „AMIUS projekt“. Preuzeto s: <https://droniq.de/en/projekte/amius-air-mobility-initiative-u-space/>
[Pristupljeno: 28. svibanj 2024].
- [82] „Impact of Wind on eVTOL Operations and Implications for Vertiport Airside Traffic Flows: A Case Study of Hamburg and Munich“, *Drones*, sv. 7, izd. 7, Doi: <https://doi.org/10.3390/drones7070464>.
- [83] A. Pukhova, C. Llorca, A. Moreno, C. Staves, Q. Zhang, i R. Moeckel, „Flying taxis revived: Can Urban air mobility reduce road congestion?“, *Journal of Urban Mobility*, sv. 1, str. 100002, pros. 2021, Doi: 10.1016/j.urbmob.2021.100002.
- [84] „German transport ministry invests 15 million euros in urban air mobility projects“. Preuzeto s: <https://www.unmannedairspace.info/latest-news-and-information/german-transport-ministry-invests-15-million-euros-in-urban-air-mobility-projects/> [Pristupljeno: 06. studeni 2024].

POPIS KRATICA

AAM	(Advanced Air Mobility) napredna zračna mobilnost
AGL	(Above Ground Level) iznad razine površine
AHS	(American Helicopter Society) Američko helikoptersko udruženje
AIAA	(American Institute of Aeronautics and Astronautics) Američki institute za aeronautiku i astronautiku
AIP	(Aeronautical Information Publication) Zbornik zrakoplovnih informacija
AMIUS	(Air Mobility Initiative U-space) <i>U-space</i> inicijativa zračne mobilnosti
ANSP	(Air Navigation Service Provider) pružatelj zrakoplovnih usluga
ATM	(Air Traffic Management) sustav upravljanja zračnom plovidbom
ATS	(Air Traffic Services) operativne usluge u zračnoj plovidbi
AWOS	(Automated Weather Observing System) automatski sustav za promatranje vremenskih prilika
CAA	(Civil Aviation Authority) Nacionalna zrakoplovna vlast Velike Britanije
CEPS	(Corridor Entry/Exit Points) koridor sa ulazno/izlaznim točkama
CNS	(Communication, Navigation, Surveillance) komunikacija, navigacija, nadzor
CONOPS	(Concept of Operations) operacijski koncept
D	(Diameter) promjer
DAR	(Dynamic Airspace Reconfiguration) dinamička rekonfiguracija zračnog prostora
DCB	(Demand-Capacity Balancing) sustava balansiranja između potražnje i kapaciteta
DCS	(Departure Control System) sustav kontrole polazaka

DOC	(Direct Operating Cost) direktni operativni troškovi
EASA	(European Aviation Safety Agency) Eropska agencija za zrakoplovnu sigurnost
EIT	(European Institute for Innovation and Technology) Europski institut za inovacije i tehnologiju
ESTOL	(Extremly Short Take-off and Landing) ekstremno kratke staze za polijetanje i slijetanje
eVTOL	(electric Vertical Take-off and Landing) električni zrakoplovi sa mogućnošću vertikalno uzlijetanja i slijetanje
FAA	(Federal Aviation Administration) Američka savezna uprava za civilno zrakoplovstvo
FATO	(Final Approach and Take-off Area) zona završnog prilaza i polijetanja
GCAA	(General Civil Aviation Authority) Generalna uprava za civilno zrakoplovstvo Ujedinjenih Arapskih Emirata
HEMS	(Helicopter Emergency Medical Service) hitna helikopterska medicinska služba
IATA	(International Aviation Transport Association) Međunarodno udruge za zračni prijevoz
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
IFR	(Instrumental Flight Rules) instrumentalna pravila letenja
MTOW	(Maximum Take-Off Weight) najveća dopuštena težina pri polijetanju
NAS	(National Airspace System) Nacionalni sistem zračnog prostora
NASA	(National Aeronautics and Space Administration) Američka državna civilna uprava za zrakoplovna i svemirska istraživanja i razvoj
OD	(Origin-Destinacion) Mjesto polaska-dolaska
PAV	(Personal Air vehicles) osobna zračna vozila

RACER (Rapid and Cost-Effective Rotorcraft) Brzi i isplativi rotokopteri

RTA (Roads and Transport Authority) Agencije za ceste i transport

SAD Sjedinjene Američke Države

SAR (Search and Rescue) služba za traganje i spašavanje

SC-VTOL (Special Condition for small-category VTOL aircraft) posebni uvjeti za malu kategoriju VTOL zrakoplova

STOL (Short Take-Off and Landing) zrakoplovi koji koriste kratku USS za uzlijetanje i slijetanje

SVFR (Special Visual Flight Rules) specijalnim vizualnim pravilima letenja

TLOF (Touchdown and Lift-off Areas) zona dodira i uzlijetanja

UAM (Urban Air Mobility) urbana zračna mobilnost

UAS (Unmanned Air System) bespilotni zrakoplovni sistemi

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) bespilotne letjelice

UFR (U-space Flight Rules) U-space letna pravila

UN (United Nations) Ujedinjeni narodi -međunarodna organizacija

USS uzletno-sletna staza

UTM (UAS Traffic Managemet) upravljanje zračnim prometom bespilotnih zrakoplovnih sistema

VCA (VTOL Capable Aircraft) zrakoplovi sposobni za vertikalno uzlijetanje i slijetanje

VFR (Visual Flight Rules) vizualna pravila letenja

VFS (Vertical Flight Society) Društvo za vertikalni let

VLL (Very Low Level) veoma niske razine leta

VOCC (Vports' Operation Control Center) Vport-ov operativni kontrolni centar

VTOL (Vertical Take-Off and Landing) zrakoplovi sa mogućnošću vertikalnog uzlijetanja i slijetanja

xTM (Extensible Traffic Management) prošireno upravljanje zračnim prometom

POPIS SLIKA

Slika 1. Vremenski prikaz tehnologije razvoja (prilagođeno).....	7
Slika 2. Prikaz brzina helikoptera u odnosu na turboprop zrakoplove	8
Slika 3. RACER.....	9
Slika 4. Žirokopter Fairey F-1.....	10
Slika 5. Tiltrotor AW609	11
Slika 6. Tranzicija AW609 iz helikoptera u zrakoplov horizontalnog leta	12
Slika 7. NASA-in veliki civilni tiltrotor	13
Slika 8. Prikaz razvoja eVTOL zrakoplova na globalnoj razini u periodu od 2014. – 2020. godine	15
Slika 9. Volocopter, VoloCity - primjer multikoptera	16
Slika 10. Profil leta za VTOL zrakoplove sa pogonskim uzgonom i za multikoptere	16
Slika 11. Dufour Aero 3 - <i>tilt wing</i> Slika 12. Joby Aviation S4 - <i>tilt prop</i>	17
Slika 13. Lillium Jet - tilt fan Slika 14. Eve – Embraer	17
Slika 15. Vertical Aerospace VX4	18
Slika 16. oznaka D	21
Slika 17. Vertiport pored međunarodne zračne luke Dubai (DXB)	22
Slika 18. Vport integracijski centar	23
Slika 19. Identifikacijska oznaka za vertiport	24
Slika 20. Znak upozorenja	27
Slika 21. Potencijalna izvedba vertiporta u Los Angelesu	28
Slika 22. Slijetanje Volocopterovog eVTOL zrakoplova na pristanište Pontoise-Cormeilles	30
Slika 23. Testni vertiport u blizini aerodroma Fiumicino (Rim)	31
Slika 24. Procjena napretka razvoja UAM infrastrukture.....	33
Slika 25. Jednostavan UAM koridor	34
Slika 26. UAM koridor - prolazna zona	34
Slika 27. UAM koridor sa višestrukim "trakama" UAM koridor sa višestrukim "trakama"	35
Slika 28. Razvoj usluga unutar U-prostora	36
Slika 29. Klasifikacija zračnog prostora prema ICAOu	38
Slika 30. FAA klasifikacija zračnog prostora	39
Slika 31. Prikaz U-prostor prema slojevima X,Y i Z	40
Slika 32. Faktori koji utječu na geometriju zračnog prostora	42
Slika 33. Mišljenje stručnjaka o načinu regulacije urbanog zračnog prostora.....	43
Slika 34. Prikaz istraživanja	45
Slika 35. Prikaz tranzitnog vertiporta	46
Slika 36. Modeli operacija na vertiportu	48
Slika 37. Položaj osnovnih elemenata vertiporta.....	48
Slika 38. Ilustracija konfiguracije vertiporta i procjena putničke propusnosti.....	51
Slika 39. Prikaz iskoristivosti vertiporta	52
Slika 40. Područje studije aglomeracija Munich	57
Slika 41. Ilustracija povezivanja modaliteta prijevoza	58
Slika 42. Prikaz gustoće mreže vertiportova: niska (lijevo), srednja gustoća (sredina) i visoka (desno).....	59
Slika 43. Utjecaj gustoće mreže na potražnju	60
Slika 44. Struktura troškova za visoke troškove cijene UAM-a	61
Slika 45. Povezanost u veoma gustoj mreži vertiportova za različite dosege zrakoplova	63

Slika 46. Distribucija mogućih UAM ruta u odnosu na razinu gustoće mreže vertiportova	64
Slika 47. Prikupljeni podaci o brzini vjetra	65
Slika 48. Prikaz odnosa različitih parametara na broj putnika.....	66
Slika 49. Utjecaj vremena ukrcanja na potražnju	67

POPIS TABLICA

Tablica 1. Karakteristike referentnog zrakoplova	25
Tablica 2. Razmak između središnje linije i centra FATO-a	26
Tablica 3. Prikaz matrice primjenjivosti EASA regulative	28
Tablica 4. ICAO klasifikacija zračnog prostora.....	41
Tablica 5. Najbolje i najgore lokacije vertiportova	46
Tablica 6. Iskoristivost zrakoplova kroz različite faze operacija.....	49
Tablica 7. Usporedba potrebnog prostora za postojeće modele prijevoza te procjena potrebnog prostora za eVTOL.....	50
Tablica 8. Popis zrakoplova i njihovih karakteristika	54
Tablica 9. Referentne vrijednosti i simulacijski plan za donje i gornje granice.....	61

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad
(vrsta rada)
isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Planiranje i razvoj vertiportova**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 17.9.2024

Studentica:

Ivana Šopić



(ime i prezime, *potpis*)