



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

POŽADAVKY NA CERTIFIKACI PROSTŘEDKŮ KATEGORIE URBAN AIR MOBILITY

REQUIREMENTS FOR THE CERTIFICATION OF URBAN AIR MOBILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Šrámek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Bc. Marek Šrámek**
Studijní program: Letecká a kosmická technika
Studijní obor: Technologie provozu letadlové a letištní techniky
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Požadavky na certifikaci prostředků kategorie Urban Air Mobility

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řada společností vyvíjí létající prostředky označované jako Urban Air Mobility. Tato letadla se vymykají běžným konceptům a existuje řada otázek spojených s jejich bezpečným provozem. Práce by měla zmapovat existující stav v oblasti certifikace letové způsobilosti těchto prostředků a identifikovat problematické aspekty spojené s procesem certifikace.

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu v oblasti projektů kategorie Urban air mobility.
Zmapování stavu legislativy pro certifikaci těchto prostředků.
Posouzení ekonomické životaschopnosti tohoto konceptu dopravy.

Seznam doporučené literatury:

Olivares, Gerardo & Bert, Steve & France, Stephen & Stansbury, Richard & Gomez, Luis & Shah, Harsh & Robinson, Vincent & Kuenn, Aaron. (2022). Urban Air Mobility Study: Safety Standards, Aircraft Certification, and Impact on Market Feasibility and Growth Potentials. 10.13140/RG.2.2.17409.53601.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá analýzou konceptu Urban Air Mobility (UAM), pričom kladie dôraz na tri hlavné oblasti – aktuálny stav projektov tejto kategórie, platný legislatívny rámec pre ich certifikáciu a hodnotenie ekonomickej životaschopnosti tohto dopravného konceptu. V úvode je predstavený všeobecný prehľad technológií v odvetví UAM, ich delenie podľa konštrukčných riešení, popis hlavných technologických výziev a predstavenie významných spoločností na tomto trhu. Nasleduje rozbor legislatívneho prostredia, kde sú rozobrané špeciálne podmienky vydané Európskou agentúrou pre bezpečnosť letectva (EASA) a porovnané s prístupom Federálneho úradu pre letectvo (FAA) v Spojených štátoch. Záverečná časť práce sa zameriava na ekonomické aspekty ako hodnotenie nákladov na obstaranie, prevádzku, infraštruktúru VTOL lietadiel a porovnanie s existujúcimi formami dopravy. Práca sa venuje aj otázke spoločenskej akceptácie UAM a vplyvu bezpečnostných, environmentálnych a prevádzkových faktorov na jej budúci rozvoj. Výsledky práce ponúkajú prehľad o možnostiach a obmedzeniach implementácie UAM v mestskom prostredí a môžu slúžiť ako podklad pre ďalší výskum a strategické rozhodovanie v oblasti modernej leteckej mobility.

Kľúčové slová

Urban Air Mobility, UAM, VTOL, špeciálne podmienky SC-VTOL-02, letová spôsobilosť, EASA, FAA, ekonomická udržateľnosť, prevádzkové náklady, vertiport, cena VTOL lietadla.

ABSTRACT

The thesis focuses on the analysis of the Urban Air Mobility (UAM) concept, emphasizing three main areas – the current state of projects in this category, the applicable legislative framework for their certification, and the assessment of the economic viability of this transportation concept. The introduction presents a general overview of UAM technologies, their classification based on structural designs, a description of major technological challenges, and an introduction to key companies in this market. This is followed by an analysis of the legislative environment, detailing the special conditions issued by the European Union Aviation Safety Agency (EASA) and comparing them with the approach of the Federal Aviation Administration (FAA) in the United States. The final part of the thesis focuses on economic aspects, such as the evaluation of acquisition, operational, and infrastructure costs of VTOL aircraft, as well as a comparison with existing forms of transportation. The thesis also addresses the issue of public acceptance of UAM and the influence of safety, environmental, and operational factors on its future development. The findings provide an overview of the possibilities and limitations of implementing UAM in urban environments and may serve as a basis for further research and strategic decision-making in the field of modern air mobility.

Key Words

Urban Air Mobility, UAM, VTOL, Special Conditions SC-VTOL-02, airworthiness, EASA, FAA, economic sustainability, operating costs, vertiport, VTOL aircraft price.

Bibliografická citácia

ŠRÁMEK, Marek. *Požadavky na certifikaci prostředků kategorie Urban Air Mobility*. Online, diplomová práce. Miroslav ŠPLÍCHAL (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165497>. [cit. 2025-05-22].

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že predložená práca je mojím pôvodným autorským dielom, ktoré som vypracoval samostatne. Všetku literatúru a ďalšie zdroje, z ktorých som pri spracovaní čerpal, v práci riadne citujem a sú uvedené v zozname použitej literatúry.

V Brne 22.5.2025

.....

Marek Šrámek

Podakovanie

Rád by som sa poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Miroslavovi Šplíchalovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady, konzultácie a za veľmi ústretový a trpezlivý prístup počas vypracovávania tejto diplomovej práce.

Rád by som tiež poďakoval svojej rodine za podporu, bez ktorej by táto práca nemohla byť dokončená.

Obsah

1.	Úvod	9
2.	Prehľad súčasného stavu projektov UAM	10
2.1	Definície a klasifikácie konceptov leteckej mobility.....	10
2.2	História UAM projektov.....	10
2.3	Prehľad projektov UAM na súčasnom trhu.....	13
2.3.1	Doručovanie tovaru	13
2.3.2	Preprava pasažierov	15
2.4	Budúcnosť UAM systémov.....	16
2.5	Predpokladané fázy dopravy.....	17
2.5.1	Fáza Hub and Spoke dopravy UAM.....	18
2.5.2	Fáza Point-to-Point dopravy.....	18
2.6	Prevádzkovatelia a výrobcovia na trhu.....	18
2.6.1	BLADE Air Mobility.....	19
2.6.2	Vertical Aerospace	20
2.6.3	Joby Aviation.....	23
2.6.4	Diamond Aircraft Industries (Volocopter).....	25
2.6.5	Porovnanie plánovaných produkčných modelov VTOL lietadiel.....	27
3.	Súčasný stav legislatívy v oblasti UAM.....	30
3.1	Európska legislatíva pre VTOL lietadlá	31
3.1.1	Špeciálne podmienky pre VTOL lietadlá (SC-VTOL-02) [30]	32
3.1.2	Špeciálne podmienky SC-E19 [32].....	46
3.2	Legislatíva pre VTOL lietadlá v Spojených štátoch Amerických [33].....	49

4.	Posúdenie ekonomickej životaschopnosti konceptu UAM	52
4.1	Rozbor pozemnej infraštruktúry pre UAM	53
4.2	Segmentovanie trhu mestskej leteckej mobility	55
4.2.1	Rozloženie služieb na trhu pre VTOL lietadlá	58
4.3	Posúdenie nákupnej a prevádzkovej ceny eVTOL lietadiel.....	59
4.3.1	Nákupná cena eVTOL lietadiel.....	59
4.3.2	Prevádzkové náklady VTOL lietadiel.....	63
4.4	Posúdenie spoločenskej akceptácie UAM.....	66
4.4.1	Možné bezpečnostné opatrenia	68
4.4.2	Možné ochranné opatrenia.....	69
4.4.3	Možné opatrenia týkajúce sa hluku	70
4.4.4	Možné opatrenia v oblasti životného prostredia	70
4.4.5	Zhrnutie poznatkov verejnej akceptácie UAM	71
5.	Záver.....	72
	Citačné zdroje.....	75
	Zoznam obrázkov	81
	Zoznam tabuliek	81
	Zoznam grafov.....	82

Zoznam skratiek

AAM	Pokročilá letecká mobilita	Advanced air mobility
AC	Poradný obežník	Advisory Circular
CAA	Civilná letecká administratíva	Civil Aeronautics Authority
CFR	Zbierka federálnych predpisov	Code of Federal Regulations
CS	Certifikačné špecifikácie	Certification specification
DEP	Rozložený elektrický pohon	Distributed Electric Propulsion
EASA	Európska agentúra pre bezpečnosť letectva	European Union Aviation Safety Agency
EHPS	Elektrické a hybridné pohonné systémy	Electric and Hybrid Propulsion Systems
EU	Európska Únia	European Union
EUR	Euro	Euro
eVTOL	Elektrický vertikálny vzlet a pristátie	Electric vertical takeoff and landing
EWIS	Systém elektrického prepojenia	Electrical wiring interconnection system
FAA	Federálny úrad pre letectvo	Federal Aviation Administration
HIRF	Ochrana pred elektromagnetickým žiarením	High-intensity radiated fields protection
IATA	Medzinárodná organizácia leteckých dopravcom	International Air Transport Association
MCTOM	Maximálna certifikovaná vzletová hmotnosť	Maximum Certified Take-off Mass
MOC	Spôsob preukázania zhody	Means of Compliance
MTOM	Maximálna vzletová hmotnosť	Maximum Take-off Mass
NASA	Národný úrad pre letectvo a vesmír	National Aeronautics and Space Administration
NASDAQ	Automatizované kótovanie Národnej asociácie obchodníkov s cennými papiermi	National Association of Securities Dealers Automated Quotations
RAM	Regionálna letecká mobilita	Regional air mobility
SC	Špeciálne podmienky	Special conditions
UAM	Mestská letecká mobilita	Urba air mobility
UAS	Bezpilotné lietadlo	Unmanned Aircraft System
USD	Americký dolár	United States Dollar
UTM	Automatické riadenie dopravy	Unmanned Traffic Management
VEMS	Letecká záchranná služba VTOL lietadlami	Vertical Take-off and Landing Emergency Medical Services
VTOL	Vertikálny vzlet a pristátie	Vertical takeoff and landing

1. Úvod

Dopravné systémy v mestách čelia v súčasnosti čoraz väčšiemu tlaku v dôsledku rastúcej urbanizácie, zvyšujúcej sa intenzity premávky, environmentálnych výziev a zložitosti modifikácie pozemných komunikácií v centrách miest. Koncept mestskej vzdušnej mobility, známy pod označením Urban Air Mobility (UAM), sa objavuje ako potenciálne riešenie týchto problémov. Predstavuje nový spôsob dopravy, založený na využívaní malých lietajúcich prostriedkov väčšinou s elektrickým pohonom a schopnosťou vertikálneho vzletu a pristátia. Tieto lietadlá, často bezpilotné alebo poloautonómne, by mali zabezpečiť rýchle a flexibilné prepravovanie osôb aj tovaru v mestských oblastiach, čím by mohli doplniť tradičné formy dopravy [1].

Aj keď technológie potrebné pre realizáciu tohto konceptu už existujú alebo sa aktívne vyvíjajú, ich reálne zavedenie do praxe si vyžaduje rozsiahle zmeny v legislatíve, infraštruktúre a celkovom prístupe k bezpečnosti a certifikácii. Legislatívne rámce, ktoré dnes platia v oblasti letectva, často nie sú priamo prispôsobené špecifikám UAM prostriedkov. Preto je nevyhnutné posúdiť aktuálny stav právnych predpisov, najmä v kontexte Európskej únie, a identifikovať oblasti, ktoré si vyžadujú úpravu alebo nové regulačné prístupy.

Popri technicko-legislatívnych otázkach zohráva dôležitú úlohu aj ekonomická udržateľnosť celého modelu. Každý nový dopravný systém musí preukázať nielen svoju technickú realizovateľnosť, ale aj schopnosť obstáť v podmienkach trhu. To si vyžaduje analýzu nákladov na vývoj a výrobu lietadiel, výstavbu vertikálnych pristávacích plôch, údržbu a prevádzku, ako aj posúdenie záujmu a obáv verejnosti smerom k takejto službe.

Cieľom tejto práce je detailne zmapovať súčasný stav projektov v oblasti UAM, preskúmať aktuálnu legislatívu týkajúcu sa certifikácie týchto lietajúcich prostriedkov a zároveň posúdiť ekonomickú realizovateľnosť tohto konceptu. Výstupy práce by mali prispieť lepšie pochopiť možnosti nasadenia UAM v mestskom prostredí, ako aj identifikovať výzvy, ktorým bude tento nový typ dopravy čeliť.

2. Prehľad súčasného stavu projektov UAM

2.1 Definície a klasifikácie konceptov leteckej mobility

V posledných rokoch umožnil pokrok v oblasti elektrifikácie, automatizácie a vertikálneho vzletu a pristátia lietadiel (VTOL) inovácie v mestskej leteckej doprave, vrátane nových návrhov lietadiel, služieb a obchodných modelov. Tieto trendy sa spájajú a vytvárajú nové príležitosti pre leteckú dopravu na požiadanie, ktorá zabezpečuje prepravu osôb a doručovanie tovaru v mestských oblastiach. Súhrne sa tieto inovácie označujú ako pokročilá letecká mobilita AAM (Advanced Air Mobility).

AAM je široký koncept zameraný na nové trhy a využitie leteckej dopravy na požiadanie v mestských, prímestských a vidieckych oblastiach. Zahŕňa lokálne prípady použitia v okruhu približne 50 míľ (80 km) v mestských alebo vidieckych oblastiach a medziregionálne prípady použitia s doletom až niekoľko stoviek kilometrov, ktoré prebiehajú v rámci alebo medzi mestskými a vidieckymi oblasťami. [2]

Mestská letecká mobilita UAM (Urban Air Mobility), ktorá je podmnožinou AAM, predstavuje bezpečný, udržateľný, cenovo dostupný a prístupný systém leteckej dopravy pre prepravu osôb, doručovanie tovaru a záchranné služby v rámci metropolitných oblastí alebo medzi nimi. [1]

Aj keď je táto práca primárne zameraná na UAM (leteckú dopravu pre cestujúcich a tovar v metropolitných oblastiach), existujú aj aplikácie tejto leteckej dopravy vo vidieckych oblastiach, niekedy označované ako vidiecka letecká mobilita (napr. postrek plodín pomocou bezpilotných lietadiel a pod.).

Z dôvodu lepšieho vysvetlenia problematiky a veľkých odlišností medzi poddruhmi AAM je táto diplomová práca primárne zameraná na prepravu pasažierov s využitím VTOL lietadiel v koncepte UAM.

2.2 História UAM projektov

Koncept mestskej leteckej dopravy nie je nový. Začiatkom 20. storočia začali vynálezcovia vyvíjať koncepty „lietajúcich áut“ a v polovici 20. storočia začali prvé letecké spoločnosti ponúkať pravidelné lety pomocou vrtuľníkov. V tejto podkapitole sú popísané dve hlavné fázy rozvoja a prevádzky UAM projektov vo svete.

Prvou a staršou fázou rozvoja UAM bolo obdobie od 10. do 50. rokov minulého storočia. Toto obdobie je charakterizované konceptami lietajúcich aut ktoré nikdy neboli uvedené do komerčnej prevádzky.

Koncept mestskej leteckej mobility (UAM) má svoje korene v Autoplane, funkčnom „lietajúcom aute“, ktoré okolo roku 1917 vyvinul Glenn Curtiss. V priebehu nasledujúcich rokov automobilky a vynálezcovia vytvorili a predstavili rôzne koncepty lietajúcich automobilov.

V 20. rokoch 20. storočia Henry Ford vyvinul koncept „lietadlových áut“ a začal pracovať na prototypoch jednomiestnych lietadiel. Jeho projekt lietajúceho auta sa však skončil o niekoľko rokov po havárii, pri ktorej zahynul testovací pilot. [3]

V 40. rokoch prebiehalo viacero pokusov, vrátane prvého „lietajúceho auta“ schváleného Civilnou leteckou administratívou (CAA), predchodcom dnešnej Federálneho úradu pre letectvo (FAA) – modelu Airphibian. Napriek technickým úspechom sa pre tento koncept nikdy nepodarilo získať investície.

Koncom 50. rokov Ford vyvinul Levacar Mach I, prototyp vozidla, ktoré sa vznášalo mierne nad povrchom vďaka prúdeniu vzduchu z troch levitačných podložiek na jeho podvozku.

Prvé VTOL lietadlo určené na vojenské účely, Avrocar, bolo pôvodne financované kanadskou vládou, avšak projekt bol prerušený pre vysoké náklady. V roku 1958 ho prevzali americká armáda a letectvo, ale kvôli problémom s ťahom a stabilitou bol projekt v roku 1961 zrušený. [2]

Ani jeden z týchto raných konceptov nedosiahol komerčnú životaschopnosť.

Druhou fázou bolo obdobie od začiatku 60. do konca 80. rokov minulého storočia. Táto fáza je najlepšie definovateľná ako skoré obdobie implementácie prvkov UAM hlavne formou pravidelných vrtuľníkových liniek v mestských oblastiach.

Medzi 50. a 80. rokmi 20. storočia začali viacerí prevádzkovatelia poskytovať prvé služby mestskej leteckej mobility (UAM) pomocou vrtuľníkov v mestách ako Los Angeles, New York, San Francisco (oblasť SF Bay Area) a ďalších.

New York Airways ponúkala v polovici 50. rokov osobnú prepravu medzi Manhattanom a letiskom LaGuardia. V USA boli tieto skoré vrtuľníkové pasažierske služby zvyčajne financované kombináciou štátnych dotácií na vrtuľníky (ktoré boli zrušené v roku 1966) a príjmov z leteckej pošty.

Medzi rokmi 1965 a 1968 spoločnosť Pan-Am ponúkala hodinové spojenia medzi Midtownom a WorldPortom na letisku JFK, pričom cestujúci sa mohli odbaviť v budove Pan American v Midtown Manhattane už 40 minút pred odletom z JFK. Pre nedostatočný záujem a vysoké ceny sa táto služba v roku 1968 zrušila a neskôr sa obnovila v roku 1977. [3]

V 80. rokoch sa aj ostatné vrtuľníkové služby v Manhattane začali postupne obnovovať. Napríklad spoločnosť Trump Air poskytovala pravidelnú dopravu pomocou vrtuľníkov Sikorsky S-61 medzi Wall Street a letiskom LaGuardia, pričom nadväzovala na lety spoločnosti Trump Shuttle. Služba bola ukončená začiatkom 90. rokov, keď Trump Shuttle prevzala spoločnosť US Airways.

Vynálezcovia pokračovali vo vývoji lietajúcich áut a VTOL prototypov aj v 60. a 70. rokoch. Inžinier Paul Moller začal v 60. rokoch vyvíjať VTOL lietadlá a jeho skorý prototyp sa v roku 1967 vzniesol niekoľko metrov nad zem.

Aerocar z roku 1966 dosiahol rýchlosť 60 míľ za hodinu (97 km/h) na zemi a 110 míľ za hodinu (177 km/h) vo vzduchu. Spoločnosť Advanced Vehicle Engineers (AVE) vytvorila lietajúce auto kombináciou lietadla Cessna Skymaster a auta Ford Pinto, ale projekt bol ukončený v roku 1973 po nehode pri skúšobnom lete.

Aj v 80. rokoch prebiehali viaceré pokusy o vývoj nových VTOL lietadiel. Spoločnosť Boeing investovala 6 miliónov dolárov do programu Sky Commuter a vyvinula tri VTOL prototypy, než bol program zrušený. [2]

Toto obdobie je možno charakterizovať ako počiatky konceptu mestskej leteckej mobility, ktoré sa neuchytili na trhu a neskôr boli zrušené. Dôvodov neúspešnosti týchto projektov v období do 90. rokov je niekoľko.

Prvým dôvodom je to, že vrtuľníky a aj letecká technika ako celok neboli optimalizované na prepravu na krátke vzdialenosti (rádovo desiatky kilometrov) a preto neboli ekonomicky výhodné na prevádzku v metropolitných oblastiach.

Druhým dôvodom je to, že progresívne metódy údržby (metódy založené na teórii spoľahlivosti a diagnostiky) ako napríklad metóda sledovaním stavu boli v úplných počiatkoch a veľké množstvo leteckej techniky nebolo na túto metódu údržby navrhnuté, čo zdražovalo prevádzku a vo výsledku sa to prejavilo aj na cenách letenky.

A tretím dôvodom je to, že v 80. rokoch a predtým, nebola pozemná preprava hlavne cestná do takej miery prehustená ako v dnešných dobách. Tým pádom projekty UAM nemali ich neväčšiu výhodu oproti súčasnosti a to významná úspora času oproti

napríklad osobnému automobilu alebo autobusu. Preto hlavnými zákazníkmi leteckých spojení v mestských oblastiach boli najbohatší ľudia pre ktorých bola aj malá úspora času a komfort spojený vrtuľníkovou prepravou, významný faktor aj za vysokú cenu. To znamenalo že celý trh UAM bol spojený s malým percentom obyvateľstva bez možnosti preorientovania sa na iné skupiny ľudí s nižšími príjmami.

V súčasnosti vďaka výraznej úspore na výrobných a prevádzkových nákladoch a výraznému prehusteniu dopravy ponúkajú produkty konceptu UAM výrazné benefity v porovnaní s inými druhmi dopravy čo je dôvodom opätovného rozvoja na poli mestskej leteckej mobility.

2.3 Prehľad projektov UAM na súčasnom trhu

Ako sa spomína v predchádzajúcej kapitole, vďaka rozvoju leteckých technológií a iným socio-ekonomickým faktorom, stále viac firiem sa zaoberá vývojom v oblasti UAM. V súčasnosti môžeme prevádzkované UAM projekty resp. služby rozdeliť na dve základné skupiny a to doručovanie tovaru a preprava cestujúcich. V prípade doručovania tovaru ide o pomerne prelomové projekty a technológie, na rozdiel od prepravy pasažierov, čo je v podstate znovu vytváranie vrtuľníkových spojení v okolí svetových metropolí. V nasledujúcej podkapitole sú detailne popísané projekty UAM, ktoré boli do predkovidovej doby prevádzkované alebo sú stále aktívne a aj rôzne spôsoby využitia týchto technológií.

2.3.1 Doručovanie tovaru

Koncept malých bezpilotných lietadiel (UAS) na doručovanie tovaru sa začal presadzovať v 2010-tych rokoch a počet aktívnych služieb odvtedy rýchlo rastie. Súčasná aplikácia UAS po celom svete pokrývajú široké spektrum odvetví, vrátane doručovania spotrebného tovaru, prepravy lekárskeho vzoriek a núdzových zásob, mapovania.

V posledných rokoch sa priemysel zameriava predovšetkým na doručovanie núdzových zásob a spotrebného tovaru pomocou malých bezpilotných lietadiel. Napríklad zdravotnícke zariadenia používajú UAS na prepravu núdzového zdravotníckeho vybavenia, liekov, laboratórnych vzoriek a vakcín. [2]

V súčasnosti už existuje niekoľko funkčných medzinárodných služieb. Spoločnosť Zipline International doručuje krv, vakcíny a lieky v Rwande a Ghane pomocou UAS[4]. Vo Švajčiarsku spoločnosti Matternet a Swiss Post spustili službu doručovania laboratórnych vzoriek pomocou UAS. Medzi ďalšie testované projekty

patrí spolupráca medzi DHL a Wingcopter (Tanzánia), projekt MEDRONA (Belgicko) a SwoopAero (Vanuatu).

V USA Integračný pilotný program UAS (IPP) Federálneho leteckého úradu (FAA) spojil štátne, miestne a kmeňové vlády so súkromnými subjektmi, ako sú operátori a výrobcovia UAS, s cieľom urýchliť bezpečnú integráciu bezpilotných lietadiel. Program IPP financoval deväť hlavných účastníkov, ktorí skúmajú rôzne operačné koncepty, vrátane:

1. doručovania balíkov (spotrebný tovar a lekárske zásoby),
2. letov nad obývanými oblasťami a mimo dohľadu pilota,
3. nočných operácií,
4. technológií detekcie a vyhýbania sa prekážkam,
5. spoľahlivosti a bezpečnosti dátových spojení medzi pilotom a lietadlom. [2]

Mnohé z týchto testov zahŕňajú rôzne scenáre doručovania. Napríklad v Severnej Karolíne spolupracujú Matternet a UPS na doručovaní zdravotníckeho materiálu do nemocníc. V apríli 2021 UPS oznámila nákup 10 elektrických VTOL lietadiel prispôbolených na prepravu kontajnerov od spoločnosti Beta Technologies. UPS plánuje tieto lietadlá testovať ako súčasť expresnej leteckej doručovacej siete s možnosťou nákupu ďalších 150 lietadiel. [5]

V Kalifornii spoločnosti Deloitte a Rady Children's Institute for Genomic Medicine skúmajú možnosti doručovania laboratórnych vzoriek pomocou UAS[6]. V Spojenom kráľovstve začala Royal Mail testovať použitie UAS na doručovanie balíkov, ochranných pomôcok a testov na COVID medzi pevninou a ostrovmi Scilly [7].

Použitie malých UAS na doručovanie spotrebného tovaru v posledných rokoch výrazne vzrástlo, pričom prebehlo viacero malých testov a demonštrácií so spoločnosťami Wing, Flirtey, Flytrex, DHL, EHang, Amazon, Uber Eats a ďalšími.

V USA mnohé z týchto operácií získali rôzne výnimky od FAA, napríklad povolenie na lety mimo vizuálneho dohľadu, operácie nad obývanými oblasťami a možnosť fungovať ako leteckí dopravcovia pre UAS (tzv. „dronové aerolínie“) [2].

Je zjavné, že pri preprave tovaru v mestských oblastiach majú v súčasnosti väčšinový podiel drony. To je zapríčinené ich rozmermi a faktom, že sú operované zo zeme čo im dáva obrovskú výhodu v porovnaní s VTOL lietadlami s pilotom na palube. Vďaka nízkej váhe a rozmerom sa na drony nekladú také prísne

bezpečnostné požiadavky ako na lietadlá s osobami na palube a pri poruche nespôsobia také škody. Dôkazom toho sú aj už vyššie spomínané výnimky od FAA na prevádzku nad obývanými oblasťami.

2.3.2 Preprava pasažierov

Na rozdiel od prepravy tovaru kde sa používajú bezpilotné lietadlá, na prepravu cestujúcich sa v súčasnosti využívajú výhradne vrtuľníky. To vyplýva z toho, že hlavnou výhodou bezpilotných lietadiel je malá váha a nižšie požiadavky na bezpečnosť. Oproti tomu je preprava pasažierov primárne orientovaná na základe bezpečnosti a teda sa realizuje pomocou vrtuľníkov, ktoré sú odskúšanou technológiou a ktorá má dôveru cestujúcich a osôb na zemi. Táto podkapitola predstavuje rozvoj oblasti UAM na prepravu pasažierov od roku 2010 keď sa na trhu začali objavovať letecké služby na vyžiadanie prostredníctvom mobilných aplikácií až po súčasnosť.

V New Yorku spustila spoločnosť BLADE v roku 2014 službu vrtuľníkovej dopravy, ktorú si cestujúci môžu rezervovať cez smartfónovú aplikáciu. BLADE využívajú tretie strany, ktoré vlastnia, spravujú a udržiavajú lietadlá podľa predpisov FAR Part 135. Cestujúci sa musia pri registrácii preukázať platným štátnym dokladom a celková hmotnosť (cestujúci + batožina) musí byť v povolených limitoch.

BLADE ponúka ročné balíky v hodnote 295 až 795 USD, ktoré zahŕňajú zľavy na lety pre hlavného cestujúceho (vlastniaceho balík) a jeho hosťa. Zľavy sa pohybujú od 50 do 100 USD na let pre hlavného cestujúceho a 25 až 50 USD pre jeho hosťa, v závislosti od zakúpeného balíka. Pričom cena jedného letu bez zľavy sa pohybuje okolo 200 USD na jednu osobu.

BLADE rozšíril podobné služby aj do San Francisco Bay Area a Mumbai pred pandémiou COVID-19. V decembri 2020 spoločnosť oznámila, že vstúpi na burzu NASDAQ po zlúčení s Experience Investment Corporation. Zároveň oznámila plány na nákup 20 elektrických VTOL lietadiel od Beta Technologies. [8]

V Los Angeles služba SkyRyde spája cestujúcich s pilotmi súkromných vrtuľníkov. Aktuálne je pozastavená, kým nezíska certifikáciu FAA podľa Part 135. Startup Skyryse, zameraný na automatizáciu vrtuľníkov, v lete 2019 predviedol pilotovaný vrtuľníkový kyvadlový let medzi John Wayne Airport a centrom Los Angeles s predpokladom ceny 149 USD na sedadlo. [9]

V New Yorku spoločnosť Uber Copter testovala vrtuľníkovú prepravu na vyžiadanie už od roku 2016. V júli 2019 rozšírila službu pre viac užívateľov aplikácie Uber.

Cestujúci si môžu rezervovať osemminútový let medzi Manhattanom a letiskom JFK až päť dní vopred v aplikácii Uber. Cena sa pohybuje od 200 do 225 USD na osobu.

V decembri 2020 sa spoločnosť Uber Elevate (vrátane Uber Copter) predala Joby Aviation so sídlom v Santa Cruz. V rámci predaja Uber investoval do Joby 75 miliónov USD (navyššie k 50 miliónom USD, ktoré investoval už v januári 2020) [10].

V marci 2020 spoločnosť Oregon Helicopters spustila službu vrtuľníkovej dopravy na vyžiadanie, umožňujúcu prepravu cestujúcich z rôznych miest do centra Portlandu alebo na letisko PDX International [2].

Na medzinárodnej úrovni spoločnosť Airbus Voom prevádzkovala podobné vrtuľníkové služby v Mexico City, São Paule a San Francisco Bay Area, no v apríli 2020 skončila kvôli poklesu dopytu spôsobenému pandemiou COVID-19. Počas štyroch rokov prevádzky (2016 – 2020) mala Voom 150 000 aktívnych používateľov aplikácie, 15 000 cestujúcich a 45 % opakovanú mieru využitia služby. Priemerná cena letenky bola približne dvojnásobkom ceny súkromného pozemného taxi, pričom priemerná úspora cestovného času dosahovala 90 %. [11]

Ako je vidieť z tejto podkapitoly, v súčasnosti existuje pomerne veľa prevádzkovateľov v oblasti UAM, ktorí majú stabilné počty zákazníkov čo naznačuje, že v súčasnosti je tento model udržateľný a predstavuje potenciál pre spoločnosti, ktoré vyvíjajú eVTOL lietadlá práve pre tento trh.

2.4 Budúcnosť UAM systémov.

Aj keď do skupiny UAM patria všetky lietajúce prostriedky ktoré sa prevádzkujú na krátke trate v mestských oblastiach ako napríklad vrtuľníky, v súčasnosti sa pod systémami UAM skôr predstavujú budúce technológie ako napríklad eVTOL lietadlá, ktoré majú nahradiť vrtuľníky. Tieto systémy majú naviazať na doterajšie vrtuľníkové spojenia a postupom času ďalej rozširovať služby v oblasti UAM. Veľa spoločnosti plánovalo vstúpenie na trh UAM už v tomto roku. Tieto odhady boli však posunuté kvôli covidovej pandémie na koniec tohto desaťročia. Spustenie leteckých služieb na požiadanie s elektrickými VTOL lietadlami už v tejto dekáde plánujú napríklad:

1. Volocopter v Singapure [12]
2. EHang v Linci, Rakúsko [13]
3. Vertical Aerospace v Londýne [14]
4. Lilium v Mníchove, Orlande a ďalších mestách [15]

Niekoľko ďalších spoločností zatiaľ neoznámilo dátumy spustenia, medzi nimi napríklad Archer, Joby Aviation (bývalý Uber Elevate), Wisk (bývalý Kitty Hawk) a Skyryse.

Spoločnosť Wisk plánuje vlastniť, prevádzkovať a udržiavať až 30 eVTOL lietadiel pre platformu BLADE. Naopak, Skyryse plánuje spustiť službu s autonómnymi vrtuľníkmi namiesto VTOL lietadiel.

United Airlines a Mesa Airlines plánujú získať až 200 lietadiel na poskytovanie kyvadlových letov medzi menšími komunitami a hlavnými letiskami.

Okrem Stellantis investovali do UAM (urban air mobility) aj Aston Martin, Audi, Daimler, Geely, General Motors, Hyundai, Porsche a Toyota. [2]

2.5 Predpokladané fázy dopravy

Ako na globálnej škále pri klasickej leteckej doprave tak aj pri mestskej leteckej doprave sa predpokladá, že mestská letecká mobilita prejde podobnými fázami. Prvou je fáza hub and spoke a druhou je fáza point to point. Z počiatku sa letecká doprava prevádzkovala podľa modelu Hub and Spoke. Ide o model v ktorom hlavnú úlohu zohrávajú veľké tranzitné letiská tzv. huby. Typický príklad je transatlantický let pasažiera v tomto modeli pozostáva z troch letov. Prvý let je medzi lokálnym letiskom a hubom, druhý let medzi dvoma hubmi a tretí let je z hubu na finálne letisko. V súčasnosti tento model využíva častejšie iba dvoch letov pričom pasažier musí prestupovať v hube na ďalší let do finálnej destinácie. Tento model je z pohľadu pasažiera nepraktický a časovo náročný ale v tej dobe bol výhodný pre letecké spoločnosti, lebo mali jednoduchú koncepciu letov a vysokú pravdepodobnosť zaplnenia lietadla medzi dvoma hubmi. [16]

Druhú je fáza point to point. Ide o model v ktorom sa využívajú menšie lietadlá na priamych letoch. Pre cestujúceho je tento model oveľa jednoduchší, prívetivejší a s vysokou úsporou času. [16]

V súčasnosti je letecká premávka na rozhraní medzi týmito dvoma fázami. Pričom vnútrokontinentálne lety sa prevádzkujú takmer výhradne modelom point to point. Pri medzikontinentálnych letoch je možné vidieť pozostatky metódy Hub and Spoke ale čoraz viac sa orientujú na model point to point.

Takýto vývoj je možné očakávať aj pri mestskej leteckej doprave a podrobnejšie sú tieto metódy vysvetlené v nasledujúcich podkapitolách.

2.5.1 Fáza Hub and Spoke dopravy UAM

Táto fáza môže priniesť zvýšené investície do infraštruktúry na podporu „leteckých metropolitných služieb“. Tieto služby by mohli zahŕňať viacero letov denne medzi vertihubmi (dve alebo viac pristávacích plôch, z ktorých každá pojme viacero lietadiel) a početnými vertiportmi (jednotlivé pristávacie plochy s kapacitou pre dve až tri lietadlá), čím by sa vytvorila sieťová prevádzka v rámci mestskej oblasti.

Napríklad vertihuby by mohli byť umiestnené v hustých komerčných centrách, zatiaľ čo vertiporty by sa nachádzali v menej husto osídlených obytných štvrtiach. Lety by mohli byť plánované v pravidelných intervaloch počas celého dňa a viacero cestujúcich by mohlo zdieľať jeden let, čím by sa znížila cena za sedadlo.

Na druhej strane, faktory ako využitie pôdy, dopyt a cestovné vzorce by mohli viesť k jednosmerným letom, čo by mohlo zvýšiť náklady a znížiť vyťaženosť lietadiel v dôsledku „mŕtvych jász“ (t. j. presunu lietadla bez pasažierov alebo nákladu na inú lokalitu).

Tieto potenciálne trhové zmeny budú pravdepodobne potrebovať technologickú podporu, ako napríklad dynamické cenotvorby a pokročilé algoritmy na zníženie počtu mŕtvych jász.

Jednou z prvých trás v takomto systéme by mohla byť trasa centrum mesta - letisko alebo rezidenčné oblasti - centrum mesta

2.5.2 Fáza Point-to-Point dopravy

Táto fáza vyvrcholí príchodom „leteckých taxi služieb“, ktoré budú poskytovať takmer bodové a na požiadanie dostupné lety s využitím rôznych typov infraštruktúry v závislosti od hustoty mestského prostredia a dopytu po letoch. V tejto fáze si zákazník môže vybrať ktorúkoľvek pristávaciu plochu a nebude obmedzený jasne stanovenými koridormi.

Avšak skutočne bodová doprava pomocou lietadiel v mestských oblastiach nemusí byť nikdy technicky realizovateľná kvôli obmedzeniam infraštruktúry a kapacity, závislosti od počasia, ako aj obavám týkajúcich sa hluku, bezpečnosti, leteckej premávky a ďalších faktorov spojených s rozptýlenou a rozsiahlejšou prevádzkou.

2.6 Prevádzkovatelia a výrobcovia na trhu

V súčasnosti je veľké množstvo spoločností, ktoré navrhujú VTOL lietadlá. Pomerne veľká časť týchto firiem je iba v štádiu návrhu a od prvých testovacích letov ešte

pomerne ďaleko. Preto v tejto podkapitole sú predstavené a popísané niektoré z najvýznamnejších spoločností ktoré sa zaoberajú prevádzkou alebo vývojom lietadiel v pokročilej fáze testovania a certifikácie v oblasti UAM.

2.6.1 BLADE Air Mobility

Blade Air Mobility, Inc. (BLADE) je letecká spoločnosť so sídlom v New Yorku, ktorá je registrovaná v štáte Delaware. Platforma Blade pre mestskú leteckú mobilitu poskytuje leteckú prepravu pre pasažierov a kritického nákladu na poslednej míli, pričom na osobnú dopravu v Spojených štátoch, Kanade, južnej Európe a Indii primárne využíva vrtuľníky a hydroplány. Okrem toho je jedným z najväčších poskytovateľov leteckej zdravotnej prepravy ľudských orgánov na transplantáciu na svete. Blade vstúpil na burzu Nasdaq 10. mája 2021 prostredníctvom fúzie so SPAC. [17]

Blade využíva podnikateľský model „asset-light“, v ktorom spoločnosť nevlastní ani neprevádzkuje lietadlá, ale spolupracuje so širokou sieťou leteckých operátorov, ktorí sú preverení z hľadiska bezpečnosti, prevádzkovej kvality a finančnej stability. Obchodný model Blade bol navrhnutý tak, aby bol škálovateľný a ziskový pri používaní konvenčných lietadiel, pričom zároveň vytvára základ pre plynulý prechod na elektrické lietadlá s vertikálnym vzletom (eVTOL) v budúcnosti. Elektrické vertikálne lietadlá by mali ponúknuť nižšiu hlučnosť, nulové emisie a nižšie prevádzkové náklady v porovnaní s konvenčnými lietadlami. [18]

Spoločnosť na svojich stránkach uvádza že cieľom tejto spoločnosti bolo vytvoriť celý ekosystém potrebný pre eVTOL lietadlá mimo výroby, prevádzky a údržby lietadiel.“ Namiesto toho sa Blade primárne zameriava na infraštruktúru terminálov, technológie a budovanie značky.

Ako už bolo povedané, spoločnosť Blade prevádzkuje lety na krátku vzdialenosť v metropolitných oblastiach. Spoločnosť umožňuje cestujúcim rezervovať si miesta priamo cez mobilnú aplikáciu Blade na letoch medzi terminálmi Blade v New Yorku, Vancouveri a južnej Európe. Lety majú zvyčajne dĺžku od 10 do 100 kilometrov a sú primárne prevádzkované vrtuľníkmi a hydroplánmi. [17]

Blade prevádzkuje tieto služby v oblastiach s vysokou hustotou obyvateľstva, kde hlavnou konkurenciou sú pozemná a lodná doprava. V roku 2022 tento segment spoločnosti vygeneroval zisk vo výške 71,8 miliónov dolárov. [18]

Prvá trasa Blade pre krátke vzdialenosti bola spustená v roku 2014 a ponúkala dopravu medzi Manhattanom, Southamptonom, East Hamptonom a Montaukom. V

marci 2019 spustila spoločnosť BLADE Airport, nepretržitú službu pre cestujúcich medzi Manhattanom a Medzinárodným letiskom Johna F. Kennedyho. Táto služba bola dočasne pozastavená počas pandémie COVID-19, ale v júni 2021 bola obnovená. V novembri 2021 Blade spustil ďalšiu trasu BLADE Airport medzi Manhattanom a letiskom Newark Liberty.

Druhým druhom dopravy ktorý spoločnosť Blade realizuje je preprava ľudských orgánov na transplantáciu. V roku 2021 spoločnosť Blade prostredníctvom svojej divízie MediMobility Organ Transport získala spoločnosť Trinity Air Medical, čím sa stala najväčším špecializovaným leteckým prepravcom ľudských orgánov na transplantáciu v Spojených štátoch. Táto divízia poskytuje nemocniciam a organizáciám na obstarávanie orgánov komplexné multimodálne riešenie, ktoré zahŕňa vrtuľníky, lietadlá s pevnými krídlami a pozemné vozidlá. Aj keď presná suma ročného zisku nie je známa, na firemnej konferencii pre akcionárov informovali, že je táto služba ziskovejšia ako prevoz pasažierov a teda minimálne 72 miliónov USD za rok 2022. [17]

Misie Blade MediMobility využívajú rovnaké lietadlá, ktoré slúžia na prepravu cestujúcich, pričom dopyt po týchto službách nastáva najmä v noci, čím dopĺňa denný dopyt po osobnej leteckej preprave. Blade verí, že preprava orgánov predstavuje jasný prípad použitia budúcich dronov alebo eVTOL lietadiel, najmä preto, že potrebná infraštruktúra a prístavacie zóny už existujú v mnohých nemocniciach. [18]

2.6.2 Vertical Aerospace

V roku 2016 bola založená spoločnosť Vertical Aerospace Ltd. s víziou dekarbonizácie leteckej dopravy využitím najlepších technológií z leteckého, energetického a automobilového priemyslu.

Po dvoch rokoch od založenia spoločnosť oznámila, že má 28 leteckých inžinierov a „odborníkov z technologicky pokročilých sektorov, ako sú Formula 1, energetika a obrana“. V októbri 2019 spoločnosť zverejnila, že zamestnáva 70 ľudí a aktívne hľadá približne 20 inžinierov, technických expertov a prevádzkového personálu. Spoločnosť oznámila, že k 24. marcu 2021 sa jej tím rozšíril na 120 zamestnancov.

Dňa 10. septembra 2018 startup so sídlom v Bristole vo Veľkej Británii oznámil, že postavil a uskutočnil prvý let plnohodnotného plne elektrického lietadla s vertikálnym vzletom a pristátím v exteriéri na území Spojeného kráľovstva[19].

V roku 2020 spoločnosť Vertical Aerospace predstavila na platforme YouTube 13-sekundovú upútavku svojej budúcej sériovo vyrábanej eVTOL verzie. Toto lietadlo bude mať kapacitu pre jedného pilota a štyroch cestujúcich, bude využívať technológiu fly-by-wire, mať kompozitný trup a umožní prispôsobenie pristávacieho podvozka – zákazníci si budú môcť vybrať medzi lyžami, kolesami alebo plávajúcim podvozkom podľa svojich potrieb. O rok neskôr oznámila, že lietadlo sa bude volať VX4 vid' obrázok č. 1.



Obr. 1 Vizualizácia lietadla VX4 od spoločnosti Vertical Aerospace [21].

Vertical Aerospace uvádza, že model VX4 je pilotované elektrické lietadlo s vertikálnym vzletom a pristátím. Očakávaný dolet je viac ako 160 km, kapacita pre štyroch cestujúcich a pilota a prevádzkový hluk je výrazne nižší ako pri helikoptérach. Navrhované lietadlo je určené na prevádzku v mestách a iných ťažko prístupných priestoroch. Na tabuľke č. 1 sú znázornené plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla VX4. [20]

Tab. 1 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla VX4 [21].

Vertical Aerospace VX4	
Výška	4 m
Dĺžka	13 m
Rozpätie	15 m
Kapacita	1pilot+4pasažieri
Max. vzletová hmotnosť	neverejné
Užitočné zaťaženie	500 kg
Dolet	160 km
Cestovná rýchlosť	240 km/h

V súčasnosti spoločnosť Vertical Aerospace nezverejnila maximálnu vzletovú hmotnosť ale dá sa očakávať že sa táto hodnota bude blížiť 5700 kg, čím je daná maximálna hmotnosť pre tento typ lietadiel.

Návrh krídla je v porovnaní s lietadlami spadajúcich pod predpis CS-23 pomerne podobný. Jedná sa o hornoplošník s krídlom typu „gull wing“ na ktorom sú umiestnené klapky a krídelka. Konce krídiel sú navrhnuté tak, aby plnili funkciu ako „winglety“ pre zníženie odporu v cestovnom režime. Chvostové plochy sú do tvaru písmena V. Pod chvostom sa nachádzajú VHF antény, ktoré sú umiestnené tak, aby pri vysokých uhloch nábehu generovali malé množstvo vztľaku. Podvozok je trojkolesový a zasúvateľný.

Čo sa týka bezpečnosti letu tak rozložený elektrický pohon (Distributed Electric Propulsion) (DEP) poskytuje bezpečnosť vďaka redundancii pre cestujúcich a náklad. DEP znamená, že lietadlo má viacero vrtúľ a motorov – ak jeden alebo viacero motorov či vrtúľ zlyhá, ostatné funkčné motory a vrtule dokážu lietadlo bezpečne dopraviť na zem. [21]

Elektrické batérie, elektromotory a malé vrtule robia lietadlá oveľa bezpečnejšími, pretože obsahujú oveľa menej súčiastok. Lietadlo používa teoreticky spoľahlivejšie komponenty, ako sú elektromotory a batérie, čo robí elektrické lietadlá nielen menej zložitými, ale aj spoľahlivejšími než zložené spaľovacie motory s množstvom pohyblivých častí a komplikovanými prevodovými systémami.

Počas väčšiny času letu je generovanie vztľaku závislé na pevných nosných plochách. Tento prístup odráža vývoj v odvetví eVTOL, ktoré sa presúva k konceptom vztľaku pomocou krídel a vektorovateľného ťahu, pretože vztlak pomocou krídla ponúka vyššiu efektívnosť počas letu v horizontálnej fáze. [20]

Lietadlo je vybavené ôsmimi vrtuľami namontovanými na krídle. Štyri predné vrtule sa počas vzletu používajú na generovanie vztlaku a počas letu v cestovnom režime zabezpečujú dopredný ťah. Zadné motory sú v prevádzke iba vo fáze vzletu a pristátia. [21]

V súčasnosti je lietadlo VX4 v druhej fáze testovania, ktorá pozostáva z vertikálneho vzletu, pristátia a vykonania manévrov pri nízkych rýchlostiach.

- Fáza 1: Ukotvený let – VX4 vykoná stabilizovaný vznos, pričom bude voľne upevnený k zemi. DOKONČENÉ
- Fáza 2: Let na vďaka ťahu (Thrustborne) – VX4 bude vertikálne vzlietať a pristávať a vykonávať manévry pri nízkych rýchlostiach, pričom vztlak bude generovaný vrtuľami. PREBIEHA
- Fáza 3: Vztlak pomocou krídel (Wingborne) – VX4 bude vzlietať, letieť a pristávať ako konvenčné lietadlo, pričom vztlak bude generovaný krídlami. PLÁNOVANÉ
- Fáza 4: Prechod (Transition) – VX4 prejde medzi fázou generovania vztlaku vrtuľami (thrustborne) a vztlaku generovaným pomocou krídel (wingborne) a naopak. PLÁNOVANÉ

Lietadlo má v súčasnosti zabezpečené objednávky od spoločností American Airlines, Virgin Atlantic a AirAsia, ako aj od ďalších zákazníkov. [19]

2.6.3 Joby Aviation

Joby Aviation, založená v roku 2009 Joe Benom Bevirtom, je to startupová letecká spoločnosť podporovaná investormi, ktorá sídli v Santa Cruz a San Carlos v Kalifornii (USA). Spoločnosť vyvíja a plánuje vyrábať pilotované plne elektrické lietadlá s vertikálnym vzletom a pristátím (eVTOL) určené pre rýchle, tiché a cenovo dostupné služby leteckých taxíkov na požiadanie v rámci odvetvia pokročilej mestskej mobility (AAM). [22]

V roku 2021 Joby Aviation odkúpila popredného vývojára vodíkovej leteckej technológie H2FLY so sídlom v Stuttgarte, Nemecko. Spoločnosť Joby Aviation mala 1 422 zamestnancov k januáru 2023. Podľa SMG AAM Reality Index získala Joby Aviation financovanie vo výške viac ako 2,25 miliardy USD k júnu 2024 [22].

Spoločnosť kombinuje prvky vrtuľníkov a malých lietadiel, pričom ponúka výhody, ako sú vysoká spoľahlivosť, nulové emisie, vysoké letové rýchlosti, tichá prevádzka, nižšie prevádzkové náklady, nižšie náklady na údržbu a vylepšené bezpečnostné prvky. Medzi jej predchádzajúce projekty patria Joby S2, Joby Lotus a Joby Monarch a v súčasnosti je najnovším modelom lietadlo S4 vid'. obrázok č. 2. [23]



Obr. 2 Lietadlo S4 od spoločnosti Joby Aviation [23].

Joby Aviation S4 2.0 je najnovším lietadlom tejto spoločnosti. Je to päťmiestne eVTOL lietadlo určené na aplikácie konceptu UAM, pričom pojme jedného pilota a štyroch pasažierov. Jedná sa o hornoplošník a na pohon využíva šesť vektorovateľných vrtuľ umiestnených na krídle a na chvoste typu V. Štyri vrtule sa naklárajú vertikálne spolu s celým motorovým gondolovým modulom, zatiaľ čo dve vrtule sa naklárajú vertikálne pomocou mechanizmu s pákovým prevodom. Pre zníženie hmotnosti je trup vyrobený z uhlíkového kompozitného materiálu. [24]

Podvozok je trojkolesový a nezasúvateľný. Spoločnosť uvádza, že ich lietadlo je pri vzlete a pristávaní 100-krát tichšie ako vrtuľník a pri prelete je takmer nehlučné (40dB) [23].

Použitý je systém DEP, ktorý vychádza z NASA LEAPTech demonštrácií. Tento systém umožňuje lietadlu dosiahnuť rýchlosť 200 mph (322 km/h) a je napájaný lítium-nikel-kobalt-mangán-oxidovými batériami, ktoré poskytujú dolet 150 míľ (241 km) [24]. Na nasledujúcej tabuľke č. 2 sú uvedené základne parametre modelu S4.

Tab. 2 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla S4 [24].

Joby Aviation S4	
Max. vzletová hmotnosť	2400 kg
Hmotnosť prázdneho lietadla	1950 kg
Užitočné zaťaženie	450 kg
Kapacita	1pilot+4pasažieri
Max. výkon jedného motoru	235 kW
Dolet	160 km
Cestovná rýchlosť	320 km/h

Lietadlo je vybavené jednotným systémom riadenia letu, ktorý znižuje pracovné zaťaženie pilota pri prechode medzi vertikálnym vzletom/pristátím a horizontálnym letom. DEP systém ponúka množstvo výhod, vrátane vyššej stability lietadla v bežných aj veterných podmienkach, tichšej prevádzky, nižšej hmotnosti, vyššej spoľahlivosti, nižších prevádzkových nákladov, kompaktnejšej konštrukcie, vyššej účinnosti a okamžitého štartu bez oneskorenia.

2.6.4 Diamond Aircraft Industries (Volocopter)

Volocopter GmbH bola založená v roku 2011 v nemeckom Karlsruhe s cieľom vyvinúť elektrické lietadlo s vertikálnym vzletom a pristátím (eVTOL) typu multikoptéra určené na rýchlu a efektívnu mestskú dopravu. [25]

Dňa 21. októbra 2011 si firma zapísala historický moment, keď uskutočnila prvý pilotovaný let multikoptéry na svete, nazvanej VC1. Spoločnosť bola pôvodne známa ako „e-volo GmbH“, až kým nebola v júli 2017 premenovaná na „Volocopter GmbH“. V súčasnosti má sídlo v meste Bruchsal, Nemecko. [25]

Firma sídliaca v Bruchsale vyvinula prototypy lietadiel Volocopter VC1, VC2, VC200 a 2X, ktoré do súčasnosti uskutočnili spolu viac ako 2000 testovacích letov. Najnovším modelom spoločnosti je VoloCity – eVTOL multikoptéra, ktorá predstavuje prvý sériovo vyrábaný model tejto firmy. Pre nedostatok investícií, neschopnosť splácať pohľadávky a oneskorenia procesu certifikácie sa spoločnosť dostala do insolventie a hrozil zánik firmy. [26]

Prvé oznámenie o prevzatí spoločnosti Volocopter prišlo 10. marca 2025, keď spoločnosť Wanfeng Auto Holding Group Co., Ltd. potvrdila akvizíciu. Wanfeng Auto

Holding Group získala spoločnosť Volocopter za 10 miliónov eur (11 miliónov amerických dolárov). [27]

Diamond Aircraft Industries, dcérska spoločnosť Wanfeng Aircraft Division pod Wanfeng Auto Holding Group, sídliaca v Rakúsku, oznámila, že sídlo firmy Volocopter zostane v Bruchsale v Nemecku. Volocopter mal takmer 500 zamestnancov k 26. decembru 2024, no Diamond Aircraft plánuje ponechať iba 160 až 185 z nich. Wanfeng Auto Holding Group zároveň oznámila svoje plány investovať do Volocoptera niekoľko stoviek miliónov dolárov. [27]

VoloCity

VoloCity je dvojmiestne eVTOL multikoptérové lietadlo s jedným pilotom a jedným cestujúcim, vrátane batožiny. V budúcnosti sa počíta s autonómnym riadením.

VoloCity dosahuje cestovnú rýchlosť približne 90 km/h (56 mph) a maximálnu rýchlosť 100 km/h (62 mph). Dolet lietadla je približne 35–65 km (22–40 míľ). Prázdna hmotnosť lietadla je 700 kg (1 543 libier), maximálne užitočné zaťaženie je 200 kg (441 libier) a maximálna vzletová hmotnosť je 900 kg (1 984 libier) [28]. Na obrázku č. 3 je prototyp modelu VoloCity.



Obr. 3 Prototyp modelu VoloCity od spoločnosti Diamond Aircraft Industries [25].

VoloCity má 18 malých vrtúľ s pevne nastaveným uhlom sklonu, 18 elektrických motorov a je poháňaný lítium-iónovými batériami. Riadenie letu sa zabezpečuje nezávislým menením rýchlosti každej z 18 vrtúľ. Vrtule sú umiestnené na vrchu

nosníkov, čo minimalizuje hlučnosť lietadla. Vo fáze vznášania sa vo výške 75 metrov dosahuje hlučnosť len 65 dB(A). Na rozdiel od iných typov eVTOL lietadiel batérie modelu VoloCity sa dajú vymeniť približne za 5 minút, čo výrazne skracuje prestoje a umožňuje takmer nepretržitú prevádzku lietadla. [28]

Celková výška lietadla je 2,5 m (8 stôp, 2 palce), priemer vonkajšieho rotora s vrtuľami je 11,3 m (37 stôp), bez vrtuľí 9,3 m (30 stôp, 6 palcov) a priemer jednej vrtule je 2,3 m (7 stôp, 6 palcov). Trup lietadla je vyrobený z uhlíkových kompozitných materiálov. Lietadlo má pevný podvozok s lyžinami. [28] V tabuľke č. 3 sú znázornené základné technické parametre modelu VoloCity.

Tab. 3 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla VoloCity [28].

VoloCity	
max. vzletová hmotnosť	900 kg
hmotnosť prázdneho lietadla	700 kg
Užitočné zataženie	200 kg
Kapacita	1pilot+1pasažier
Čas výmeny batérie	5 min
Dolet	35-65 km
Cestovná rýchlosť	90 km/h

Spoločnosť plánuje lietadlá vyrábať, prevádzkovať vlastnú taxislužbu, vyvinúť mobilnú aplikáciu pre zákazníkov, vybudovať siete Voloportov (vertiportov) v mestských oblastiach pre bezpečné vzlety a pristátia a zahrnúť aj medzinárodné letiská ako nástupné a cieľové body. Spoločnosť zároveň uviedla, že lietadlá nebude predávať bežným spotrebiteľom. [26]

Koncom roku 2024, spoločnosť oznámila, že lietadlo VoloCity splnilo 75% zo všetkých potrebných auditov zo strany Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva. To znamená, že lietadlu VoloCity chýba už iba jedna štvrtina potrebných auditov a môže získať typový certifikát od EASA. [57]

2.6.5 Porovnanie plánovaných produkčných modelov VTOL lietadiel

Pri porovnaní už vyššie predstavených modelov sú jasné dve základné koncepcie návrhu VTOL lietadiel. Prvou je rozloženie generácie vztlaku pomocou krídla v cestovnom režime a v režime vzletu/pristávania generácie vztlaku pomocou ťahu. Tento prístup využívajú lietadla VX4 a S4 Druhou koncepciou je multikoptéra pričom je vztlak generovaný ťahom, tento prístup je uplatnený na lietadle VoloCity. V j

tabuľke č. 4 sú porovnané základné parametre týchto troch modelov. Keďže sú tieto lietadlá stále len v testovacej fáze, ich výrobcovia verejne neuvádzajú všetky technické špecifikácie ich modelov a preto nie sú uvedené ani v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 4 Porovnanie základných parametrov lietadiel VoloCity, JobyS4 a Vertical VX4[28], [24], [21].

Parameter	VoloCity	Joby S4	Vertical VX4
Počet pasažierov	1+1pilot	4 + 1 pilot	4 + 1 pilot
Výška	2,5 m	Neuvedené	4 m
Dĺžka	11,3 m (s rotormi)	7,9 m	13 m
Šírka/ropätie	11,3 m (s rotormi)	11,6 m	15 m
Počet vrtúľ	18	6 (vektorovateľné)	8 (4 vektorovateľné vpredu, 4 pevné vzadu)
Počet motorov	18	6	8
Maximálny výkon jedného motora	-	235 kW	-
Max. doba letu	-	-	40 minút
Dolet	35–65 km	160 km	160 km
Cestovná rýchlosť	90 km/h	320 km/h	240 km/h
Max. vzletová hmotnosť (MTOW)	900 kg	2 400 kg	-
Užitočné zaťaženie	200 kg	450 kg	500 kg
Hluková stopa	65 dB (h=75m)	40 dB	Neuvedené
Podvozok	Lyže	Trojkoľosový (pevný)	Trojkoľosový (zásuvný)
Kapacita akumulátoru	83,3 kWh	200 kWh	-

Pri porovnaní technických parametrov jednotlivých lietadiel je možné pozorovať výhody a nevýhody jednotlivých koncepcií. Koncept multikoptéry teda model VoloCity je výrazne ľahší má menšiu kapacitu osôb na palube a tiež aj menší dolet. Vďaka tomu, že toto lietadlo generuje vztlak ťahom počas celého letu, má väčšiu spotrebu energie a aj preto je dolet poznateľne nižší. Kapacita akumulátoru je 83,3 kWh čo je v porovnaní s lietadlom S4 o viac ako o polovicu menej. Tým pádom je akumulátor menší a je možnosť rýchlej výmeny modulu s akumulátorom. Zároveň lietadlo musí byť navrhnuté tak aby bol čo najpriateľnejší pomer medzi užitočným zaťažením

a doletom. V tomto prípade je užitočné zaťaženie lietadla VoloCity 200 kg, čo zodpovedá (ak rátame s váhou jednej osoby 80 kg) dvom osobám a 40 kg batožiny. A dolet je uvedený 35 až 65 km v závislosti od poveternostných podmienok. Podvozok je vytvorený z lyží čo prispieva k zníženiu váhy lietadla a jednoduchosti konštrukcie.

Lietadlá VX4 a S4 patria do konceptu kombinovaného generovania vztlaku pomocou krídel alebo ťahu. Tieto dve lietadlá sa odlišujú od VoloCity väčšou cestovnou rýchlosťou, doletom, maximálnou vzletovou hmotnosťou ale aj počtom osôb na palube. Vyšší dolet a rýchlosť je spôsobená väčšou efektivitou v cestovnom režime lebo elektrická energia nie je využívaná na generovanie vztlaku ale iba dopredného ťahu z čoho vyplýva že najväčšia energetická náročnosť lietadla je vo fáze vzletu a pristátia. Z týchto faktov vyplýva, že lietadlo je vhodné na dlhšie trasy v rámci metropolitných oblastí. Kvôli väčšej váhe, doletu a možnosti vykonania väčšieho množstva kratších letov má akumulátor v lietadle S4 kapacitu až 200 kWh. Vertical aerospace, výrobca lietadla VX4 nezverejnil kapacitu akumulátoru v ich lietadle ale vďaka veľkej podobnosti výkonnostných parametrov lietadla S4 sa dá očakávať podobná kapacita ako u už zmieneného lietadla S4.

3. Súčasný stav legislatívy v oblasti UAM

Urban Air Mobility predstavuje revolúciu v doprave, ktorá prináša leteckú mobilitu do mestského prostredia. Prostriedky UAM zahŕňajú elektrické vertikálne vzletové a pristávacie lietadlá (eVTOL). Už podľa názvu UAM je jasné že tieto prostriedky budú operovať vo vzdušnom priestore nad obývanými a frekventovanými oblasťami a preto je nevyhnutné, aby spĺňali prísne legislatívne a certifikačné požiadavky na bezpečnosť.

Legislatíva v oblasti UAM je navrhnutá tak, aby zaručila bezpečnosť cestujúcich, ochranu verejnosti a minimalizáciu vplyvov na životné prostredie. Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) zohráva kľúčovú úlohu pri vytváraní regulačného rámca pre tieto nové typy vzdušných prostriedkov v Európe. V roku 2024 EASA vydala druhé vydanie špeciálnych podmienok pre VTOL lietadlá pod označením SC-VTOL-02 (Special Condition for vertical take-off and landing (VTOL)-capable aircraft), ktoré definujú technické a prevádzkové požiadavky na tieto lietadlá.

V Spojených štátoch Amerických má hlavnú úlohu pri vytváraní podmienok pre prevádzku a certifikáciu VTOL lietadiel ktoré kombinujú prvky lietadiel a vrtuľníkov, FAA (Federal Aviation Administration). FAA uplatňuje prispôsobený prístup podľa kategórie a spôsobu pohonu.

Konkrétnejšie, FAA pre VTOL lietadlá často využíva:

- 14 CFR Part 23 – Táto kategória sa týka malých lietadiel s pevnými krídlami a je prispôsobená pre VTOL lietadlá s hybridnými letovými vlastnosťami (vznášanie aj horizontálny let). Modernizovaná verzia Part 23 z roku 2017 umožňuje flexibilnejšiu certifikáciu nových technológií na základe výkonnostne orientovaných požiadaviek.
- 14 CFR Part 27 – Platí pre malé vrtuľníky a môže byť použitý, ak má VTOL lietadlo vlastnosti bližšie k helikoptére.
- Special Conditions (Špeciálne podmienky) – Ak VTOL nespadá presne do existujúcich kategórií, FAA môže vytvoriť špeciálne podmienky, ktoré reflektujú inovatívnu konštrukciu a prevádzku lietadla. Takto postupovala napríklad pri certifikácii spoločností Joby Aviation a Archer Aviation [29].

FAA tiež rozvíja koncept Powered Lift Category, ktorý je špecifický pre lietadlá schopné vertikálneho vzletu a prechodu na horizontálny let, čo presne zodpovedá VTOL modelom.

Certifikácia UAM prostriedkov zahŕňa komplexný proces overovania ich letovej spôsobilosti, spoľahlivosti a bezpečnosti. Tento proces sa skladá z viacerých fáz, vrátane návrhu, testovania, letových skúšok a hodnotenia prevádzkových scenárov. Cieľom je dosiahnuť vysoký stupeň bezpečnosti, ktorý je porovnateľný s dnešnými komerčnými leteckými spoločnosťami.

Okrem certifikácie samotných lietadiel je nevyhnutné upraviť aj pravidlá pre ich prevádzku v mestskom vzdušnom priestore. To zahŕňa integráciu do existujúcich leteckých systémov, riešenie riadenia bezpilotných prostriedkov (UTM – Unmanned Traffic Management) a stanovenie pravidiel pre infraštruktúru, ako sú vertiporty a vertihuby, súčasnosti však neexistuje pre pilotované lietadla VTOL taký dokument.

V nasledujúcich kapitolách sa podrobnejšie pozrieme na kľúčové legislatívne rámce, procesy certifikácie a výzvy, ktoré stoja pred uvedením UAM prostriedkov do komerčnej prevádzky.

3.1 Európska legislatíva pre VTOL lietadlá

EASA dostala množstvo žiadostí o typovú certifikáciu lietadiel s vertikálnym vzletom a pristátím (VTOL), ktoré sa líšia od bežných vrtuľníkov alebo lietadiel s pevnými krídlami. Vzhľadom na absenciu certifikačných špecifikácií (CS). Práve z tohto dôvodu, pre tento typ produktov bol vypracovaný už zmienený, komplexný súbor špecifických technických požiadaviek vo forme špeciálnych podmienok pre VTOL lietadlá (SC-VTOL-02). Tieto špeciálne podmienky riešia jedinečné vlastnosti týchto produktov a stanovuje normy letovej spôsobilosti pre vydanie typového certifikátu, ako aj zmeny tohto typového certifikátu, pre VTOL lietadlá určené na prepravu osôb v malej kategórii, ktoré využívajú zdvíhacie/ťahové jednotky na generovanie poháňaného vztľaku a riadenia [29].

3.1.1 Špeciálne podmienky pre VTOL lietadlá (SC-VTOL-02) [30]

V roku 2024 vydala EASA druhé vydanie špeciálnych podmienok pre VTOL lietadlá. Dokument SC-VTOL-02 sa skladá zo siedmich hláv A-G, pričom jeho štruktúra je podobná napríklad predpisu CS-23.

- Hlava A - sa zaoberá všeobecnými informáciami o definíciách, certifikácii a spôsoby preukázania zhody.
- Hlava B - sa zaoberá požiadavkami na lietadlo počas letu.
- Hlava C - pojednáva o pevnostných požiadavkách na lietadlo.
- Hlava D - pojednáva o dizajne a výrobe lietadla.
- Hlava E - definuje požiadavky na systémy zabezpečujúce vztlak a ťah lietadla.
- Hlava F - sa zaoberá požiadavkami na ostatné systémy a vybavenie lietadla.
- Hlava G - je zameraná na letovú posádku a iné dodatočné informácie.

Aktualizácia požiadavky VTOL.2005 v rámci špeciálnej podmienky prináša zvýšenie maximálnej certifikovanej vzletovej hmotnosti (MCTOM) z pôvodných 3 175 kg (7 000 libier) na 5 700 kg. Maximálna konfigurácia sedadiel pre cestujúcich (MPSC) zostáva nezmenená na hodnote 9 miest. Toto zvýšenie poskytuje žiadateľom o typové osvedčenie väčšiu flexibilitu. Umožní napríklad inštaláciu batérií s vyššou kapacitou, čo zlepší schopnosti lietadla v oblastiach ako užitočné zaťaženie, výdrž a dolet. Nová hodnota MCTOM vychádza z kategórií lietadiel podľa CS-23 Amdt. 4 (normálna, úžitková a akrobatická kategória), kde je stanovená maximálna vzletová hmotnosť 12 500 libier (5 670 kg). Tento prístup dlhodobu zabezpečuje jasné rozlíšenie od kategórie komerčných lietadiel. Zároveň sa týmto krokom dosahuje súlad s existujúcou európskou legislatívou. Prijatie tejto hmotnostnej hranice v upravenej požiadavke VTOL.2005 podporuje konzistentnosť s týmito predpismi a ich zavedenými prahovými hodnotami.

Ďalšou zmenou oproti predchádzajúcej verzii dokumentu SC-VTOL-02 je zrušenie maximálnej prevádzkovej rýchlosti.

Požiadavka VTOL.2000(d) bola upravená s cieľom odstrániť odkazy na maximálnu prevádzkovú rýchlosť (V_{mo}) a Machovo číslo (M_{mo}). Tieto parametre boli pôvodne zahrnuté analogicky s predpismi CS-23 v prvej verzii špeciálnej podmienky. Na základe podrobného posúdenia a analýzy však EASA určila konštrukčné rýchlosti lietadla v súlade s MOC VTOL.2200, pričom vychádzala z konštrukčných zásad predpisov CS-27/29. Táto štruktúra sa považuje za vhodnejšiu pre lietadlá s VTOL schopnosťou ako pôvodne aplikovaný CS-23, ktorý je primárne určený pre klasické pevné krídla. Z tohto dôvodu sa odkazy na V_{mo} a M_{mo} považujú za neaktuálne a ich

odstránenie z požiadavky VTOL.2000(d) je nevyhnutné na zabezpečenie súladu s novou metodikou certifikácie.

Poslednou významnou zmenou je zavedenie požiadaviek na operácie nad vodnou plochou.

Nariadenie Komisie (EÚ) 2024/1111 zavádza v rámci požiadavky UAM.IDE.MVCA.300 nové kategórie certifikácie pre lety vykonávané nad vodnou plochou. Pojmy „núdzové pristátie na vodu“ (ditching) a „núdzové plávajúce zariadenie“ (emergency flotation) boli už zahrnuté v prvej verzii špeciálnej podmienky VTOL. Novinkou je však zavedenie kategórie pre tzv. „obmedzené operácie nad vodou“ (limited overwater operations), ktorá nebola v pôvodnej špecifikácii obsiahnutá. Ďalším významným doplnením je zavedenie kategórie certifikácie určenej pre „operácie na plávajúcich povrchoch“ (operations on floating surfaces). Táto kategória reflektuje potrebu rozšírenia možností prevádzky VTOL lietadiel v prostredí s vodnou hladinou, najmä v kontexte mestskej leteckej mobility v pobrežných oblastiach alebo nad vnútrozemskými vodnými plochami.

Medzi ďalšie zmeny predstavené v druhom vydaní tohto dokumentu môžeme zaradiť zmeny pre letové zapisovače, systém prepojenia káblových rozvodov a zjednotenie názvoslovia v texte špeciálnych podmienok.

3.1.1.1 Hlava A

Hlava A sa skladá z troch základných častí a to pôsobnosť špeciálnych podmienok, certifikácia lietadiel a akceptovateľné spôsoby zhody.

Pôsobnosť

(a) Tieto Špeciálne podmienky predpisujú normy letovej spôsobilosti pre vydanie typového certifikátu a zmeny tohto typového certifikátu pre lietadlá s vertikálnym vzletom a pristátím (VTOL) určené na prepravu osôb v malej kategórii.

(b) Tieto Špeciálne podmienky sa vzťahujú na lietadlá, ktoré nie sú tlakovo upravené.

Certifikácia malých lietadiel schopných VTOL

(a) Certifikácia podľa tejto Špeciálnej podmienky pre malú kategóriu sa vzťahuje na lietadlá s usporiadaním sedadiel pre cestujúcich do 9 miest a maximálnou certifikovanou vzletovou hmotnosťou do 5 700 kg.

(b) Lietadlo musí byť certifikované v jednej alebo oboch z nasledujúcich kategórií:

1. **Kategória Enhanced (Rozšírená):** lietadlo je schopné pokračovať v bezpečnom lete a pristáť a spĺňa všetky príslušné požiadavky. Lietadlá určené na prevádzku nad zahustenými oblasťami alebo na komerčnú leteckú dopravu cestujúcich musia byť certifikované v tejto kategórii.
2. **Kategória Basic (Základná):** lietadlo je schopné kontrolovaného núdzového pristátia a spĺňa všetky príslušné požiadavky.

Akceptované spôsoby preukázania zhody

(a) Žiadateľ musí preukázať súlad s touto Špeciálnou podmienkou použitím spôsobov preukázania zhody akceptovaných agentúrou EASA, čo môže zahŕňať aj konsenzuálne normy.

(b) Žiadateľ, ktorý žiada EASA o prijatie spôsobu zhody, musí poskytnúť tento spôsob zhody agentúre EASA v prijateľnej forme a spôsobom.

3.1.1.2 Hlava B

Hlava B stanovuje požiadavky na letové výkony, ovládateľnosť, letové obálky a pristátie VTOL lietadiel, pričom zdôrazňuje bezpečnosť aj v kritických podmienkach, ako sú núdzové situácie alebo námrazové podmienky. Zároveň definuje limity pre hmotnosť, polohu ťažiska a vibrácie, aby lietadlo zostalo stabilné, manévrovateľné a ľahko ovládateľné aj bez výnimočných pilotných schopností. V tejto podkapitole sú rozoberané najdôležitejšie časti hlavy B ktoré prinášajú nové požiadavky hlavne s presahom k VTOL lietadlám a konceptu UAM oproti iným už zaužívaným predpisom ako napríklad CS-23.

Výkonnostné údaje

(a) Lietadlo musí spĺňať výkonnostné požiadavky tejto hlavy v:

1. bezvetří a štandardných atmosférických podmienkach na hladine mora pre všetky lietadlá; a
2. okolitých atmosférických podmienkach v rámci prevádzkového letového obalu pre: Kategóriu Enhanced.

(b) Žiadateľ musí vypracovať výkonnostné údaje požadované touto hlavou pre nasledujúce podmienky:

1. nadmorské výšky vertiportov od hladiny mora po maximálnu výšku, pre ktorú sa žiada o certifikáciu; a
2. teploty nad a pod štandardnú dennú teplotu, ktoré sú v rozsahu prevádzkových obmedzení, ak by tieto teploty mohli mať negatívny vplyv na výkon.

(c) Postupy používané na určenie plochy na vzlet a pristátie musia byť vykonateľné konzistentne posádkou s priemernými schopnosťami v atmosférických podmienkach, ktoré sa očakávajú v prevádzke.

(d) Určené výkonnostné údaje musia zohľadňovať straty spôsobené atmosférickými podmienkami, požiadavky na chladenie, inštaláciu, spätné prúdy a ďalšie požiadavky na zdroje energie.

Letové obálky

Žiadateľ musí určiť normálnu, prevádzkovú a hraničnú letovú obálku pre každú letovú konfiguráciu používanú v prevádzke. Určenie letovej obálky musí zohľadňovať najnepriaznivejšie podmienky pre každú letovú konfiguráciu.

Pristátie

Žiadateľ musí určiť nasledovné, pri kritických kombináciách letových parametrov v rámci prevádzkových limitov:

(a) plochu potrebnú na pristátie a zastavenie, za predpokladu príslušných spôsobov priblíženia pre dané lietadlo;

(b) rýchlosti, konfigurácie a postupy pri priblížení a pristátí, ktoré umožnia posádke s priemernými schopnosťami pristáť v rámci zverejnenej pristávacej plochy konzistentne a bez spôsobenia škody alebo zranenia.

Ovládateľnosť

(a) Lietadlo musí byť ovládateľné a manévrovateľné bez potreby výnimočných pilotných zručností, pozornosti alebo sily v rámci prevádzkovej letovej obálky a musí byť ovládateľné a manévrovateľné v rámci hraničnej letovej obálky.

(b) Musí byť možné plynulo prejsť z jedného letového režimu do druhého bez nebezpečenstva prekročenia hraničnej letovej obálky.

Charakteristiky pádov a varovanie pred pádom

Ak časť vztlaku generuje krídlo, lietadlo musí mať ovládateľné charakteristiky pádu pri priamom lete, zatáčaní a zrýchlenom zatáčaní s jasným a výrazným varovaním pred pádom, ktoré poskytuje dostatočnú rezervu na zabránenie neúmyselnému pádu.

3.1.1.3 Hlava C

Hlava C stanovuje požiadavky na konštrukciu VTOL lietadiel s dôrazom na zaistenie pevnosti, odolnosti a ochrany pasažierov. Štruktúrou a obsahom sú hlavy C v dokumentoch SC-VTOL-02 a CS-23 veľmi podobné. Definuje konštrukčný obálkový rozsah, ktorý zahŕňa parametre ako rýchlosti, zaťaženie a rozloženie hmotnosti, pričom zohľadňuje aj interakciu systémov s konštrukciou a možné zlyhania. Stanovuje limity a konečné zaťaženia s bezpečnostným faktorom 1,5, aby bola zaistená integrita štruktúry aj pri neočakávaných podmienkach. Osobitnú pozornosť venuje trvanlivosti materiálov a aeroelasticite, pričom zabezpečuje, že lietadlo odolá vibráciám, flutteru a iným dynamickým javom. Kapitola taktiež kladie dôraz na ochranu posádky a cestujúcich pri núdzových podmienkach, pričom konštrukcia musí umožniť bezpečné pristátie aj pri poškodení, zabrániť zraneniam a umožniť evakuáciu. Celkovo hlava C zabezpečuje, že VTOL lietadlá budú nielen výkonné, ale aj bezpečné a odolné voči prevádzkovým a núdzovým situáciám.

3.1.1.4 Hlava D

Táto hlava stanovuje požiadavky na návrh a konštrukciu systémov lietadla VTOL s dôrazom na bezpečnosť a spoľahlivosť. Všeobecne je táto hlava kompiláciou rovnako menovaných hláv z prepisov CS-23 a CS-27. Letové ovládacie systémy musia byť navrhnuté tak, aby zabezpečili plynulú a bezpečnú manipuláciu, chránili pred hrozbami a umožnili posádke vnímať limity riadenia. Podvozok musí poskytnúť stabilitu pri pohybe po zemi a zabezpečiť núdzové rozloženie zaťaženia. Pre operácie na vode musia lietadlá preukázať schopnosť udržať vztlak a plávať v rôznych podmienkach bez prevrátenia a potopenia. Zabezpečenie rýchleho a bezpečného opustenia lietadla v prípade núdze je kľúčové, pričom núdzové východy musia byť ľahko dostupné a funkčné aj pod vodou. Ochrana pasažierov zahŕňa zabezpečenie dýchatelného vzduchu a prevenciu zranení. Kapitola tiež kladie dôraz na ochranu pred požiarom, schopnosť odolať bleskom a poskytuje návod na bezpečné prevádzkové postupy, údržbu a inšpekcie, ktoré sú nevyhnutné na dlhodobé udržanie letovej bezpečnosti.

3.1.1.5 Hlava E

Táto hlava špecifikuje požiadavky pre systémy generujúce vztlak/t'ah a systémy skladovania energie, zo strany inštalácie, bezpečnosti a prevádzky. V tejto podkapitole sú vybrané dôležité požiadavky na tieto systémy.

Inštalácia systému vztlaku/t'ahu

(a) Na účely tejto hlavy musí inštalácia systému vztlaku/t'ahu lietadla zahŕňať každú súčasť, ktorá je:

1. nevyhnutná pre vztlak/t'ah,
2. ovplyvňuje bezpečnosť generovania vztlaku/t'ahu,
3. poskytuje pomocný výkon lietadlu.

(b) Každý motor lietadla, vrtuľa a pomocná energetická jednotka (APU) musia byť:

1. typovo certifikované, alebo
2. musia spĺňať akceptované špecifikácie.

(c) Žiadateľ musí skonštruovať a usporiadať každú inštaláciu systému vztlaku/t'ahu tak, aby zohľadnil:

1. všetky pravdepodobné prevádzkové podmienky vrátane hrozieb cudzími predmetmi,
2. dostatočnú vzdialenosť pohyblivých častí od ostatných častí lietadla a ich okolia,
3. pravdepodobné prevádzkové riziká vrátane rizík pre pozemný personál,
4. vibrácie a únavu materiálu.

(d) Nebezpečné hromadenie kvapalín, pár alebo plynov musí byť:

1. izolované od lietadla a kabíny,
2. bezpečne zachytené alebo vypustené.

(e) Inštalácie súčastí systému vztlaku/t'ahu, ktoré sa odchyľujú od obmedzení komponentov alebo pokynov na inštaláciu, musia byť preukázané ako bezpečné.

(f) Na účely tejto podčasti "energia" znamená akýkoľvek typ energie pre jednotku vztlaku/ťahu, vrátane napríklad:

1. palív, alebo
2. akéhokoľvek typu elektrického prúdu.

Ochrana pred námrazou systému vztlaku/ťahu

(a) Konštrukcia lietadla a inštalácia systému vztlaku/ťahu musia zabraňovať:

1. akumulácii ľadu alebo snehu,
2. odhadzovaniu ľadu alebo snehu,
ktoré by nepriaznivo ovplyvnili prevádzku systému vztlaku/ťahu.

Prevádzkové charakteristiky systému vztlaku/ťahu

(a) Inštalovaný systém vztlaku/ťahu musí fungovať bez akýchkoľvek nebezpečných charakteristík počas:

1. bežnej prevádzky,
2. núdzovej prevádzky,
v rámci rozsahu prevádzkových obmedzení lietadla a systému vztlaku/ťahu.

(b) Ak bezpečnostné výhody prevažujú nad rizikami, konštrukcia musí umožňovať:

1. vypnutie jednotky generujúcej vztlak/ťah počas letu,
2. reštart jednotky generujúcej vztlak/ťah počas letu,
v rámci stanoveného rozsahu.

Inštalácia systému vztlaku/t'ahu, ukladanie a distribúcia energie

(a) Každý systém musí:

1. byť navrhnutý tak, aby zabezpečoval nezávislosť medzi viacerými systémami ukladania a dodávky energie,
2. byť navrhnutý tak, aby zabránil katastrofickým udalostiam spôsobeným úderom blesku,
3. dodával energiu do systému s dostatočnými rezervami,
4. poskytoval posádke informácie a zabezpečoval nepretržitú dodávku energie,
5. zabezpečoval prostriedky na bezpečné odstránenie alebo izoláciu energie,
6. udržal energiu a minimalizoval riziká pre cestujúcich a osoby na zemi pri núdzovom pristáti,
7. zabránil nebezpečnej kontaminácii energie.

(b) Každý systém ukladania energie musí:

1. vydržať zaťaženie za pravdepodobných podmienok bez zlyhania,
2. byť izolovaný od kabín pre personál a chránený pred rizikami,
3. byť navrhnutý tak, aby zabránil výraznej strate energie,
4. poskytoval energiu s dostatočnou rezervou,

(c) Každý systém doplňovania alebo dobíjania energie musí:

1. zabrániť nesprávnemu doplneniu alebo dobíjaniu,
2. zabrániť kontaminácii energie,
3. zabrániť vzniku akéhokoľvek nebezpečenstva pre lietadlo alebo osoby počas doplňovania alebo dobíjania.

Podporné systémy inštalácie vztlaku/t'ahu

(a) Pravdepodobné poškodenie cudzím predmetom, ktoré by bolo nebezpečné pre jednotku generujúcej vztlak/t'ah, musí byť zabránené.

(b) Letová posádka musí byť informovaná o konfigurácii systému vztlaku/t'ahu.

Ochrana pred požiarmi systému vztlaku/t'ahu

Musí existovať spôsob, ako izolovať a zmierniť nebezpečenstvá v prípade požiaru alebo prehriatia systému vztlaku/t'ahu počas prevádzky.

Informácie o inštalácii systému vztlaku/t'ahu

Musí byť stanovené nasledovné:

1. prevádzkové obmedzenia, postupy a pokyny na bezpečnú prevádzku lietadla,
2. potreba značiek na prístrojoch alebo tabuliek,
3. ďalšie informácie potrebné pre bezpečnú prevádzku lietadla,
4. kontroly alebo údržba na zabezpečenie pokračujúcej bezpečnej prevádzky,
5. informácie o konfigurácii systému vztlaku/t'ahu,
6. techniky a obmedzenia pre štartovanie a zastavenie jednotky vztlaku/t'ahu,
7. informácie o úrovni energie na podporu riadenia energie vrátane možného zlyhania komponentu.

3.1.1.6 Hlava F

Požiadavky tejto hlavy sú všeobecné a vzťahujú sa na všetky systémy a vybavenie inštalované v lietadle. Vybavenie a systémy, ktoré musia spĺňať požiadavky typovej certifikácie, prevádzkové predpisy, alebo systémy ktorých nesprávna funkcia by mohla viesť k nebezpečenstvu.

Vybavenie, systémy a inštalácie

Vybavenie a systémy musia byť navrhnuté a inštalované tak, aby:

- každá katastrofická (catastrophic) porucha bola extrémne nepravdepodobná a nebola spôsobená jedinou poruchou,
- každá nebezpečná (hazardous) porucha bola mimoriadne zriedkavá,
- každá vážna (major) porucha bola zriedkavá.

Prevádzka vybavenia a systémov, ktoré nie sú výslovne pokryté požiadavkami, nesmie spôsobiť nebezpečenstvo v rámci prevádzkových a environmentálnych podmienok, na ktoré je lietadlo certifikované.

Pre kategóriu Enhanced musia byť zavedené ustanovenia na sledovanie zariadení a systémov, ktorých porucha by mohla mať nebezpečné (hazardous) alebo katastrofické (catastrophic) následky. V tabuľke č. 5 sú uvedené minimálne pravdepodobnosti nastúpenia udalosti (poruchy) rozdelené podľa závažnosti (Minor, Major, Hazardous, Catastrophic), pričom pravdepodobnosti sú vyjadrené na jednu letovú hodinu. Tiež sú pravdepodobnosti nastúpenia udalosti rozdelené podľa kategórie na Enhanced a Basic.

Tab. 5 Pravdepodobnosti nastúpenia udalosti na jednu letovú hodinu [30], [31].

Kategória:	Pravdepodobnosť nastúpenia udalosti podľa závažnosti			
	Minor	Major	Hazardous	Catastrophic
Enhanced	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-7}$	$\leq 10^{-9}$
Basic	$\leq 10^{-3}$	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-7}$

Z tabuľky vyplýva, že pre kategóriu Basic sú požiadavky nižšie ako na lietadlá kategórie Enhanced. Pri tejto požiadavke je možné vytvoriť paralelu s požiadavkami na pravdepodobnosť nastúpenia udalosti pri lietadlách certifikovaných pod predpisom CS-23 vs. CS-25.

Ochrana elektrických a elektronických systémov pred bleskom

Pokiaľ sa nepreukáže, že vystavenie účinkom blesku je nepravdepodobné: Každý elektrický alebo elektronický systém, ktorého porucha by zabránila bezpečnému pokračovaniu v lete a pristátii (kategória Enhanced), alebo kontrolovanému núdzovému pristátii (kategória Basic), musí byť navrhnutý a inštalovaný tak, aby:

- jeho funkcia na úrovni celého lietadla nebola negatívne ovplyvnená počas a po vystavení bleskom,
- systém bol schopný obnoviť svoju normálnu funkciu v primeranom čase po zásahu bleskom, pokiaľ by obnova nebola v rozpore s inými požiadavkami systému.

Elektrické a elektronické systémy, ktorých porucha by znížila schopnosti lietadla alebo schopnosť posádky reagovať na nepriaznivú situáciu, musia byť navrhnuté a inštalované tak, aby obnovili svoju funkciu v primeranom čase po zásahu bleskom.

Systém elektrického prepojenia EWIS (Electrical wiring interconnection system)

EWIS je akýkoľvek vodič, zariadenie alebo kombinácia, vrátane koncových zariadení, nainštalované v ktorejkoľvek časti lietadla na prenos elektrickej energie, dát alebo signálov medzi dvoma alebo viacerými určenými koncovými bodmi. EWIS musí byť považovaný za integrálnu súčasť systému a zahrnutý do preukazovania zhody so všetkými príslušnými požiadavkami.

Ochrana pred elektromagnetickým žiarením HIRF (High-intensity radiated fields protection)

Každý elektrický a elektronický systém, ktorého porucha by zabránila bezpečnému letu a pristátiu (kategória Enhanced) alebo kontrolovanému núdzovému pristátiu (kategória Basic), musí byť navrhnutý a inštalovaný tak, aby:

- jeho funkcia nebola negatívne ovplyvnená počas a po vystavení sa vysoko intenzívnemu elektromagnetickému poľu (HIRF),
- systém obnovil normálnu funkciu v primeranom čase po expozícii HIRF, pokiaľ to nie je v rozpore s funkčnými požiadavkami systému.

Systémy, ktorých porucha by znížila schopnosti lietadla alebo reakciu posádky, musia byť schopné obnoviť normálnu činnosť v primeranom čase po vystavení HIRF.

Výroba energie, ukladanie a distribúcia

Výroba energie, ukladanie a distribúcia pre akýkoľvek systém musia byť navrhnuté a inštalované tak, aby:

- poskytovali potrebný výkon pre prevádzku všetkých napojených zariadení počas všetkých zamýšľaných prevádzkových podmienok.

Vonkajšie a kabínové osvetlenie

Všetky svetlá musia byť navrhnuté a inštalované tak, aby minimalizovali akýkoľvek negatívny vplyv na výkon posádky. Pozičné a antikolízne svetlá, ak sú požadované, musia mať intenzitu, frekvenciu zábleskov, farby, uhol pokrytia a ďalšie vlastnosti postačujúce na to, aby ostatné lietadlá mali dostatok času vyhnúť sa zrážke. Pozičné svetlá musia obsahovať červené svetlo na ľavej strane, zelené na pravej strane a biele svetlo smerujúce dozadu, umiestnené čo najviac dozadu na trupe alebo na koncoch krídel. Pojazdové a pristávacie svetlá, ak sú požadované, musia poskytovať dostatočné osvetlenie pre nočné operácie. Pre lietadlá určené na prevádzku na vode musia byť inštalované biele pozičné svetlá viditeľné v jasných atmosférických podmienkach.

Záchranné vybavenie

Záchranné a bezpečnostné vybavenie, požadované prevádzkovými pravidlami, musí byť spoľahlivé, ľahko dostupné, jednoznačne označené a jasne identifikovateľné s návodom na použitie.

Inštalácia letových zapisovačov

Lietadlo musí byť vybavené schváleným letovým zapisovačom (alebo zapisovačmi), ktorý:

- je nainštalovaný tak, aby zaručoval presné zaznamenávanie aspoň po dobu 5 hodín a aby boli dáta chránené pre účely vyšetrovania nehody;
- je napájaný z najspoľahlivejšieho zdroja energie a ostáva v prevádzke čo najdlhšie bez ohrozenia dodávky energie pre základné alebo núdzové systémy;
- má výraznú oranžovú farbu a rozmery umožňujúce jeho vizuálne nájdenie v mieste nehody;
- sa automaticky aktivuje pred pohybom lietadla vlastnou silou a automaticky sa vypne po vypnutí pohonných jednotiek;
- zaznamenáva v digitálnom formáte údaje, zvuk alebo obraz s časovým údajom:
 - informácie postačujúce na určenie letovej dráhy a rýchlosti,
 - komunikáciu so službami riadenia letovej prevádzky,
 - zvuk z pilotnej kabíny (pri prevádzke s viacerými členmi posádky alebo VEMS),
 - informácie poskytované posádke potrebné pre bezpečnú prevádzku lietadla.

Ak je súčasťou zapisovača zariadenie na vymazanie údajov, musí byť navrhnuté tak, aby sa minimalizovala pravdepodobnosť jeho neúmyselného aktivovania počas nárazu.

3.1.1.7 Hlava G

Táto hlava sa zameriava na požiadavky týkajúce sa kabíny letovej posádky, ovládacích a zobrazovacích prvkov, ako aj poskytovania dôležitých informácií pre bezpečnú prevádzku lietadla. Stanovuje, že rozhranie pre posádku musí byť navrhnuté tak, aby umožňovalo efektívne a bezpečné ovládanie bez nadmernej námahy. Vyžaduje tiež jasné označenia, varovania a pokyny pre vybavenie, ako aj letovú príručku a pokyny na zachovanie letovej spôsobilosti, ktoré musia obsahovať všetky potrebné informácie pre bezpečnú a dlhodobú prevádzku lietadla.

Kabína letovej posádky

Usporiadanie kabíny letovej posádky, vrátane výhľadu posádky a jej vybavenia, musí umožňovať vykonávanie povinností v rámci letových obálok lietadla bez nadmernej koncentrácie, náročnosti, ostražitosti alebo únavy. Musia byť nainštalované ovládacie prvky a zobrazovacie jednotky pre letové, navigačné, monitorovacie a zdvíhacie/pohonné systémy tak, aby kvalifikovaná letová posádka mohla monitorovať a vykonávať úlohy súvisiace s ich funkciami. Návrh systému a vybavenia musí zohľadniť chyby posádky, ktoré by mohli viesť k ďalším rizikám.

Pre kategóriu Enhanced musí byť rozhranie navrhnuté tak, aby umožnilo bezpečné pokračovanie v lete a pristátie aj pri strate výhľadu cez ktorúkoľvek prednú tabuľu čelného skla.

Informácie o inštalácii a prevádzke

Každé inštalované zariadenie, ktoré súvisí s rozhraním letovej posádky, musí byť označené tak, aby bolo možné ho identifikovať podľa funkcie, obmedzení alebo kombinácie týchto faktorov. Musí existovať zreteľný spôsob, ako poskytnúť letovej posádke informácie o prevádzkových parametroch systémov vrátane varovaní, upozornení a bežných indikácií. Informácie o nebezpečných prevádzkových stavoch systému musia byť poskytnuté posádke včas, a to zrozumiteľným spôsobom, aby sa predišlo chybám. Informácie týkajúce sa záchranného vybavenia musia byť ľahko identifikovateľné a spôsob ich použitia musí byť jasne označený.

Označenie prístrojov, ovládačov a výstražné indikátory

Každé lietadlo musí mať zreteľne zobrazené všetky výstražné značenia a označenia prístrojov, ktoré sú nevyhnutné na jeho prevádzku. Konštrukcia musí jasne naznačovať funkciu každého ovládača v kokpíte, okrem hlavných letových ovládacích prvkov. Informácie o označení prístrojov a výstražných tabuľkách musia byť súčasťou letovej príručky lietadla.

Letové, navigačné a pohonné systémy

Nainštalované systémy musia poskytovať členovi posádky, ktorý nastavuje alebo monitoruje parametre pre let, navigáciu a pohon, potrebné informácie počas všetkých fáz letu. Tieto informácie musia:

- byť prezentované spôsobom, ktorý umožňuje sledovanie parametrov a trendov potrebných pre prevádzku lietadla,
- obsahovať obmedzenia, pokiaľ nie je možné tieto obmedzenia prekročiť pri žiadnej plánovanej prevádzke.

Zobrazovacie systémy, ktoré integrujú zobrazenie parametrov potrebných pre bezpečnú prevádzku lietadla alebo požadovaných pravidlami, nesmú narušiť primárne zobrazovanie týchto parametrov pre žiadneho člena posádky v žiadnom bežnom režime prevádzky.

Letová príručka lietadla

Žiadateľ musí poskytnúť letovú príručku, ktorá bude dodaná s každým lietadlom a musí obsahovať tieto informácie:

- prevádzkové obmedzenia a postupy,
- výkonnostné údaje,
- údaje o zaťažení,
- informácie o označení prístrojov a výstražných tabuľkách,
- všetky ďalšie informácie potrebné na bezpečnú prevádzku lietadla.

Pokyny na zachovanie letovej spôsobilosti

Žiadateľ musí pripraviť pokyny na zachovanie letovej spôsobilosti, ktoré sú primerané úrovni certifikácie a výkonnosti lietadla. Ak výrobca komponentu alebo zariadenia neposkytne vlastné pokyny, pokyny k celému lietadlu musia obsahovať informácie nevyhnutné na zachovanie jeho letovej spôsobilosti. Pokyny musia obsahovať samostatnú a jasne odlišenú časť nazvanú „Obmedzenia letovej spôsobilosti“, kde budú uvedené všetky povinné úkony údržby vyžadované na základe typovej certifikácie. Táto časť musí obsahovať čitateľné vyhlásenie na viditeľnom mieste: „Sekcia obmedzení letovej spôsobilosti je schválená a jej zmeny musia byť tiež schválené.“ Žiadateľ musí vyvinúť a zaviesť postupy na predchádzanie štruktúrnym poruchám v dôsledku predvídateľného zníženia pevnosti, ktoré by mohlo viesť k vážnym alebo smrteľným zraneniam, strate lietadla alebo dlhodobej prevádzke s obmedzenými bezpečnostnými rezervami. Tieto postupy musia byť zahrnuté v pokynoch na zachovanie letovej spôsobilosti podľa príslušných požiadaviek.

3.1.1.8 Zhrnutie

Špeciálne podmienky SC-VTOL-02 sú ucelený súbor požiadaviek ktorý zjednocuje požiadavky pre VTOL lietadlá. Obsahovo predstavuje kombináciu požiadaviek z predpisov CS-23, CS-27 ale aj CS-25. Certifikačné špecifikácie 23 slúžia ako základ pre špeciálne podmienky a sú si podobné formou, požiadavkami ale aj napríklad určením pre malé lietadlá do 5700 kg. Špeciálne podmienky tiež zahrňujú niektoré požiadavky z predpisu CS-27 a to z toho dôvodu, že hlavnou vlastnosťou

VTOL lietadiel je vertikálny vzlet a pristátie čo zase približuje tento typ lietadiel k vrtuľníkom. A v neposlednej rade tento dokument obsahuje aj požiadavky z predpisu CS-25 pre dopravné lietadlá, hlavne v oblasti pravdepodobnosti nastúpenia poruchového stavu pre lietadlá kategórie enhanced a požiadaviek na letové zapisovače.

3.1.2 Špeciálne podmienky SC-E19 [32]

Špeciálne podmienky SC-E19, vydané Európskou agentúrou pre bezpečnosť letectva (EASA), predstavuje základný certifikačný rámec pre elektrické a hybridné pohonné systémy (EHPS) v letectve. Jej cieľom je zabezpečiť, aby tieto nové technológie spĺňali všetky bezpečnostné a technické požiadavky potrebné na udelenie letovej spôsobilosti, pričom zároveň ponecháva dostatočný priestor na technologickú inováciu a flexibilitu v dizajne.

SC-E19 je navrhnutá tak, aby pokrývala široké spektrum pohonných systémov, vrátane systémov napájaných výhradne z batérií alebo kombinovaných riešení využívajúcich viacero zdrojov energie. Tento rámec je preto prispôsobiteľný rôznym architektúram a umožňuje aplikáciu na rôzne typy lietadiel, vrátane tých, ktoré spadajú pod kategóriu Urban Air Mobility (UAM).

Základom certifikačného procesu podľa SC-E19 je trojúrovňový systém zhody. Na prvej úrovni si žiadatelia môžu vybrať špecifické technické riešenia pre svoj návrh a následne definovať vhodné prostriedky zhody. Druhá úroveň poskytuje konkrétne usmernenia k aplikácii úrovne tri, kde sa nachádzajú priemyselné štandardy, technické dokumenty a certifikačné memorandá, ktoré môžu byť použité ako akceptovateľné spôsoby preukázania zhody.

SC-E19 kladie dôraz aj na dôkladné preverenie bezpečnostných aspektov systémov. Medzi tieto požiadavky patrí napríklad odolnosť voči prekročeniu prevádzkových parametrov, schopnosť zachovať funkciu počas kritických letových fáz a celková spoľahlivosť systému počas predpokladanej životnosti. Tým sa znižuje riziko zlyhania počas prevádzky a zvyšuje dôvera v nové technológie.

Dokument SC-E19 sa skladá zo štyroch hláv a ďalej akceptovateľných spôsobov zhody (acceptable means of compliance). Hlava A sa venuje obecným charakteristikám, definíciám ale aj napríklad inštrukciám pre pokračujúcu letovú spôsobilosť. Hlava B je zameraná na dizajn a konštrukciu lietadlového systému. Presnejšie rieši napríklad použité materiály, bezpečnosť systému ale aj protipožiarnu ochranu alebo bezpečnosť v rôznych poveternostných podmienkach. Hlava C sa primárne zaoberá systémami a vybavením, pričom medzi dôležité časti môžeme

zaradiť palivový systém, chladenie, letové zobrazovacie systémy ale aj akumulátory elektrickej energie. Posledná hlava D sa zaoberá definovaním toho, čo musia testy a demonštrácie jednotlivých častí a systémov dosiahnuť.

Tieto špeciálne podmienky kladú pomerne obecné požiadavky na elektrické ale aj hybridné systémy pohonu a preto v nasledujúcej časti sú vypísané požiadavky ktoré majú zásadný dopad na certifikáciu systémov eVTOL. Hlavné dve oblasti ktoré sa týkajú tohto typu lietadiel sú posúdenie bezpečnosti a pohonnú batériu (v zmysle predpisu SC-E19 je pohonná batéria myslená ako akumulátor alebo skupina akumulátorov, ktorý je hlavným zdrojom energie pre motory).

Posúdenie bezpečnosti

(a) (1) Musí byť vykonaná analýza EHPS (elektrických a hybridných pohonných systémov), vrátane riadiaceho systému, s cieľom posúdiť všetky poruchové stavy (Failure Conditions), ktoré sa dajú rozumne očakávať. Táto analýza musí zohľadňovať:

- I. **Zamýšľané použitie v lietadle** – hodnotenie poruchových stavov EHPS a ich účinkov musí byť vykonané na úrovni lietadla v koordinácii so zamýšľaným výrobcom lietadla, ktorý musí stanoviť prijateľnú pravdepodobnosť výskytu týchto poruchových stavov pre zamýšľané použitie lietadla. Toto hodnotenie poruchových stavov a pridružených mier zlyhania EHPS musí byť podrobne opísané v inštalačných pokynoch. Alternatívne musia byť tieto údaje uvedené a poskytnuté v analýze bezpečnosti zamýšľaného použitia lietadla, ak je EHPS certifikovaný ako súčasť certifikácie lietadla.
- II. **Zariadenia a postupy na úrovni lietadla**, ktoré sa predpokladajú v súvislosti so zamýšľaným použitím lietadla. Tieto predpoklady musia byť uvedené v analýze a podrobne popísané v inštalačných pokynoch.
- III. **Následné sekundárne poruchy a latentné poruchy**.
- IV. **Viaceré poruchy**, ktoré vedú k nebezpečným (Hazardous) účinkom systému EHPS, nebezpečným účinkom na lietadlo alebo ku katastrofálnym (Catastrophic) účinkom na lietadlo.

(2) Musí byť vypracované zhrnutie tých poruchových stavov, ktoré môžu viesť k väčším (Major) účinkom na lietadlo, nebezpečným (Hazardous) účinkom EHPS, nebezpečným účinkom na lietadlo alebo katastrofálnym (Catastrophic) účinkom na lietadlo, spolu s odhadom pravdepodobnosti ich výskytu. Každý kritický komponent EHPS musí byť v tomto zhrnutí jasne identifikovaný.

(3) Musí byť preukázané, že návrh a konštrukcia EHPS umožňujú zamýšľanému použitiu lietadla splniť kvalitatívne (vrátane zabezpečenia vývoja) a kvantitatívne ciele bezpečnosti definované v základoch typovej certifikácie zamýšľaného lietadla.

(b) Ak nie je možné rozumne určiť pravdepodobnosť primárneho zlyhania niektorých jednotlivých prvkov, ktoré pravdepodobne vedú k nebezpečným účinkom EHPS, v číselnej forme, musí sa spoliehať na splnenie predpísaných požiadaviek na integritu. Tieto prípady musia byť uvedené v analýze bezpečnosti.

(c) Ak je prijateľnosť analýzy bezpečnosti závislá na jednom alebo viacerých z nasledovných prvkov, musia byť v analýze identifikované a náležite podložené:

(1) Údržbárske úkony vykonávané v určených intervaloch. Intervaly údržby musia byť publikované v časti „Obmedzenia letovej spôsobilosti“ v návode pre pokračujúcu letovú spôsobilosť, ak sú potrebné na predchádzanie:

- i. účinkom EHPS s pravdepodobnosťou vyššou než extrémne zriedkavá (Hazardous) pravdepodobnosť definovaná v príslušnom základe typovej certifikácie zamýšľaného lietadla; alebo
- ii. nebezpečným a katastrofálnym účinkom na lietadlo s pravdepodobnosťou vyššou než je definovaná výrobcom zamýšľaného lietadla a uvedená v inštaláčnej príručke.

Ak chyby pri údržbe EHPS, vrátane riadiaceho systému EHPS, môžu viesť k nebezpečným účinkom EHPS alebo nebezpečným až katastrofálnym účinkom na lietadlo, musia byť do príslušných príručiek EHPS zahrnuté vhodné postupy.

Pohonná batéria

(a) Ak systém EHPS obsahuje pohonnú batériu, táto batéria a jej riadiaci systém musia byť navrhnuté a skonštruované tak, aby spĺňali požiadavky typu certifikácie zamýšľanej aplikácie v lietadle.

(b) Ak systém EHPS obsahuje pohonnú batériu, musí byť navrhnutá a skonštruovaná tak, aby zabezpečovala požadovaný prísun energie pre elektrický motor (motory) EHPS, aby lietadlo mohlo vykonávať svoju určenú misiu.

(c) Ak systém EHPS umožňuje prevádzku elektrického motora (motorov) v reverznom režime a rekuperáciu energie počas letu alebo na zemi:

- (1) pohonná batéria musí byť navrhnutá a skonštruovaná tak, aby absorbovala spätný tok energie z elektrických motorov; alebo
- (2) energia musí byť bezpečne rozptýlená a nesmie predstavovať riziko pre lietadlo.

Pri posúdení týchto špeciálnych podmienok je možné si všimnúť, že obecné nekladú požiadavky na bezpečnosť konkrétneho systému resp. podsystému ale zadávajú, že systémy EHPS majú spĺňať certifikačné požiadavky lietadla pre ktoré sú navrhované. Na druhú stranu, v tomto dokumente je veľké množstvo požiadaviek na pokračujúcu letovú spôsobilosť EHPS systémov, čo napríklad v dokumente SC-VTOL-02 je menej diskutované téma hlavne pre systémy pohonu.

3.2 Legislatíva pre VTOL lietadlá v Spojených štátoch Amerických [33]

10. Júna 2024, vydala FAA poradný obežník AC (advisory circular), ktorý má harmonizovať pravidlá medzi FAA a EASA. Tento poradný obežník (AC) poskytuje usmernenie pre typovú, výrobnú a letovú spôsobilosť certifikácie zariadení s pohonom s vertikálnym štartom a pristátím hlavne pre lietadlá generujúce vztlak ťahom (powered-lift). Tento AC taktiež určuje kritériá uvedené v dodatku A ako akceptovateľný spôsob (ale nie jediný spôsob) preukázania súladu s paragrafom 21.17(b) nariadenia 14 CFR (Kódex federálnych predpisov) pre typovú certifikáciu niektorých zariadení s pohonom podľa Federálneho leteckého úradu (FAA).

Obsah tohto dokumentu nemá právnu silu ani účinnosť zákona a nie je určený na to, aby bol záväzný pre verejnosť akýmkoľvek spôsobom. Tento dokument slúži len na poskytovanie informácií verejnosti o existujúcich požiadavkách podľa zákona alebo politiky úradu. Dodržiavanie tohto usmernenia je výlučne dobrovoľné a jeho nedodržanie nemá vplyv na práva a povinnosti podľa platných zákonov a nariadení.

Súčasťou tohto dokumentu je aj vyššie zmienený dodatok A ktorý má do istej miery rovnakú štruktúru ako dokument SC-VTOL-02. Táto podobnosť sa dá prirovnať k predpisom CS-23 a 14 CFR part 23.

Na rozdiel od SC-VTOL-02 Dodatok-A obsahuje aj hlavy H, I, J, K, L a M ktoré sa venujú nasledujúcim témam.

- Hlava H - Kritéria letovej spôsobilosti pre IFR lety.
- Hlava I - Elektrické motory.
- Hlava J - Vrtule.
- Hlava K - Inštrukcie pre pokračujúcu letovú spôsobilosť.
- Hlava L - Inštrukcie pre pokračujúcu letovú spôsobilosť elektrických motorov.
- Hlava M - Inštrukcie pre pokračujúcu letovú spôsobilosť vrtule.

Príloha A tohto poradného obežníka obsahuje návrhové kritériá, ktoré FAA považuje za prijateľné pre typovú certifikáciu lietadiel s vertikálnym štartom a pristátím (powered-lift). Tieto kritériá letovej spôsobilosti boli vypracované na základe štandardov letovej spôsobilosti Part 23, 27, 33 a 35 a zahŕňajú definície a bezpečnostné ciele založené na výkonnosti, špecifické pre lietadlá typu powered-lift a inštalované elektrické motory a vrtule.

Ak sú kritériá letovej spôsobilosti uvedené v prílohe A tohto dokumentu nedostatočné alebo inak nevhodné ako základ certifikácie konkrétneho lietadla typu powered-lift z dôvodu jeho jedinečného návrhu alebo konštrukčných prvkov, môžu sa vypracovať iné kritériá.

Pri nových projektoch môžu žiadatelia navrhnúť použitie kritérií letovej spôsobilosti z certifikačného základu už schválených návrhov lietadiel powered-lift. Takýto návrh by sa mal vyhodnotiť z hľadiska aktuálnosti vzhľadom na vývoj moderných konštrukcií, prevádzkových skúseností a zmien v príslušných predpisoch, ako sú napríklad Part 23, 27, 33 a 35. Toto platí bez ohľadu na to, či žiadateľ navrhuje opätovné použitie kritérií zo svojho predchádzajúceho projektu alebo z projektu iného žiadateľa.

V niektorých prípadoch môže byť vhodné určenie rovnocennej úrovne bezpečnosti namiesto zmeny kritérií uvedených v prílohe A. V takých prípadoch by mal žiadateľ navrhnúť a preukázať rovnocennú bezpečnosť podľa postupu uvedeného v dokumentoch FAA Orders 8110.4 a 8110.112. Tieto zistenia o rovnocennej úrovni bezpečnosti sa stávajú súčasťou základu typovej certifikácie a uvádzajú sa v údajovom liste typového certifikátu.

Kritériá letovej spôsobilosti v prílohe A sú založené na výkonnosti a zachytávajú bezpečnostný zámer každej požiadavky. Pre každé kritérium bude konkrétny spôsob splnenia navrhnutý žiadateľom a schválený FAA ako podrobný návrhový štandard, ktorý, ak je splnený, zabezpečuje naplnenie bezpečnostného zámeru. FAA akceptuje

spôsoby preukázania zhody, ktoré sú považované za vhodné a použiteľné pre konkrétny návrh lietadla typu powered-lift.

Kritériá letovej spôsobilosti v prílohe A zahŕňajú schválenie „základného výkonu“(ekvivalent typu basic z dokumentu SC-VTOL-02) a voliteľné schválenie „zvýšeného výkonu“(ekvivalent typu enhanced) s vyššími požiadavkami na výkonnosť lietadla. Žiadatelia musia splniť buď požiadavky základného, alebo zvýšeného výkonu. Prípadne môžu žiadatelia navrhnúť návrhy, ktoré budú schválené pre oba režimy, pričom budú obsahovať zodpovedajúce a odlišné prevádzkové obmedzenia. FAA očakáva, že pre lietadlá typu powered-lift určené na prepravu cestujúcich za odplatu alebo nájom budú žiadatelia žiadať schválenie pre zvýšený výkon.

4. Posúdenie ekonomickej životaschopnosti konceptu UAM

Hustota mestskej premávky patrí medzi hlavné faktory, ktoré podporujú prijatie mestskej leteckej mobility (UAM). Keďže populácia a ekonomické aktivity v mestských oblastiach neustále rastú, riešenie vznikajúcej preplnenosti dopravy sa stáva rozhodujúce. Tradičné spôsoby dopravy na ceste, ako sú autá, autobusy a vlaky, sú priamo obmedzené kapacitami ciest. To zvyčajne vedie k pomalému pohybu ľudí a tovaru. UAM ponúka potenciálne bohatú možnosť, ako zmierniť tieto výzvy využívaním mestskej vzdušnej dopravy ako alternatívneho obchvatu dopravnej zápchy, čím umožňuje rýchlejšie a efektívnejšie cestovanie.

VTOL lietadlá môžu využívať nové prvky infraštruktúry, ako sú strechy budov alebo špeciálne vertiporty. Tým sa vyhnú pozemnej doprave a skrátia čas cestovania, pričom sa zvýši kapacita dopravného systému. Napríklad pri aplikáciách VTOL lietadiel možno využiť priestor, ktorý sa v mestskom prostredí bežne nepoužíva, bez potreby rozsiahlej novej pozemnej infraštruktúry. Okrem toho má UAM potenciál ponúkať možnosť priameho bodového spojenia, čo môže výrazne zmeniť mestskú mobilitu tým, že umožní rýchle a pohodlné cesty a zlepší dostupnosť dopravy v častiach mesta, kde chýba verejná doprava alebo kvalitné cestné siete.

Zaradenie UAM do plánovania mestskej dopravy pomôže mestám vytvoriť multimodálny dopravný ekosystém, ktorý spája pozemné a vzdušné dopravné módy, aby sa optimalizovalo využitie infraštruktúry a podporila mobilita. Príkladom je už zmienená spoločnosť Joby Aviation, ktorá navrhuje a vyrába svoje eVTOL lietadlá na účinnú mestskú leteckú dopravu. Ich lietadlá sú navrhnuté tak, aby poskytovali rýchle a spoľahlivé dopravné riešenia, čo predstavuje jedno z hlavných riešení problému mestskej preplnenosti.

Jedným z významných dôvodov, ktorý brzdí rast trhu mestskej leteckej mobility (UAM), je vysoká počiatočná investícia. Vývoj a zavádzanie technológií súvisiacich s UAM sú mimoriadne kapitálovo náročné. Takéto investície sa týkajú výskumu, vývoja a výroby lietadiel, výstavby infraštruktúry, plnenia regulačných požiadaviek a získavania bezpečnostných certifikácií. Tieto brzdné faktory môžu zabrániť vstupu nových hráčov na trh, najmä menších spoločností s obmedzeným rozpočtom, čím sa obmedzí rast trhu a inovácia. [34]

Je nutné pokryť vysoké náklady na vývoj sofistikovaných UAM vozidiel, ako sú eVTOL lietadlá. Technologicky pokročilé materiály a systémy potrebné na výrobu týchto lietadiel sú veľmi drahé a výrazne zvyšujú výrobné náklady. Vertiporty, nabíjacie stanice a iná infraštruktúra, ktorá bude potrebná pre UAM operácie, si tiež

vyžadujú významné kapitálové investície do výstavby. Aj keď je infraštruktúra kľúčová pre prevádzku a bezpečnosť UAM služieb, väčšina týchto investícií musí pochádzať zo súkromného sektora a verejných zdrojov.

Napríklad v roku 2023, aj keď spoločnosť Joby získala veľké množstvo kapitálu od investorov, stále nebola schopná rozšíriť svoje operácie a zaostávala v mnohých oblastiach týkajúcich sa regulácie. Spoločnosť musela žiadať o ďalšie financovanie na pokračovanie vývoja a splnenie všetkých bezpečnostných štandardov. Inými slovami, za zásadnú prekážku sa považuje, vysoká počiatková investícia pre trh UAM. Takáto vysoká počiatková investícia do vývoja technológií, vytvárania infraštruktúry a splnenia regulačných požiadaviek má potenciál výrazne spomaliť rast a vývoj trhu [34].

Trh UAM sa stále rozvíja aj napriek vysokým počiatkovým investíciám. Jedným z hlavných dôvodov tohto trhového rastu je aj to, že investori a leteckí výrobcovia predpokladajú výrazne nižšie prevádzkové náklady oproti napríklad vrtuľníkovej doprave. V tejto kapitole bude detailne rozobraný trh UAM z pohľadu potrebnej pozemnej infraštruktúry, segmentácie použitia, kúpnej ceny, prevádzkových nákladov a verejnej prijateľnosti eVTOL lietadiel a konceptu UAM ako celku.

4.1 Rozbor pozemnej infraštruktúry pre UAM

Očakáva sa, že segment pozemnej infraštruktúrnych riešení zaznamená najvyššiu mieru rastu na trhu mestskej leteckej mobility (UAM) práve v začiatkoch komerčného nasadenia UAM, pretože bude rásť potreba podporných infraštruktúr pre prevádzku UAM. To zahŕňa vertiporty, vývoj infraštruktúry na nabíjanie, systémy riadenia leteckej dopravy a ďalšie základné komponenty, ktoré by umožnili bezpečnú a efektívnu integráciu UAM do mestského prostredia. Ako budú platformy UAM rásť a rozširovať svoje služby, očakáva sa výrazné investovanie do rozvoja a zlepšenia infraštruktúry zo strany miest a poskytovateľov služieb, aby bolo možné udržať a rozšíriť prevádzku služieb UAM. Okrem toho sa očakáva, že zrelšie regulačné rámce zvýšia investície do infraštruktúry, zabezpečujúc bezpečnosť, efektivitu a súlad s predpismi UAM operácií, čo ďalej podporí trvalý rast tohto segmentu [35].




Na počiatkovú prevádzku prepravy cestujúcich v rámci mestskej leteckej mobility (UAM) je potrebná špecializovaná infraštruktúra. „Vertiporty“ sa pravdepodobne objavajú v rôznych veľkostiach a počtoch v rôznych mestách v závislosti od očakávaného objemu dopravy. Najväčšie pristávacie plochy v mestách budú najmenej početné, zatiaľ čo tie najmenšie budú najpočetnejšie. Podľa spoločnosti Vertiports Enterprise ktorá predpokladá, že počet pristávacích plôch na každej

základní sa bude líšiť a preto je ich možné rozdeliť na tri základné typy – „vertistop“ majú len jednu alebo dve pristávacie plochy, zatiaľ čo „vertihuby“ ich môžu mať až desať. Na obrázku č. 4 sú znázornené vizualizácie možných týchto troch typov základní pre budúce UAM prostriedky [35].



Obr. 4 Tri typy základní pre budúce UAM prostriedky [35].

Následujúci obrázok č. 5 znázorňuje možné počty vertiportov pre rôzne veľkosti miest v rozvinutej sieti UAM. Tieto predpoklady vychádzajú zo štúdie sociálnej prijateľnosti systémov UAM od Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva. Ako príklad si môžeme zobrať stredne veľké mesto, napríklad Lisabon. V takomto prípade sa očakáva že po meste budú rozmiestnené 3-5 vertipadov, 3-7 vertibázy a 1-2 vertihuby. Veľkou výhodou je, že počty a druhy jednotlivých základní sú vysoko modifikovateľné podľa špecifických požiadaviek jednotlivých metropolitných oblastí [36].

Large cities		Medium cities	
Large, dense, high-income urban city, e.g., Paris, Berlin, Madrid, Hamburg, Vienna, Barcelona		Medium, less dense, medium income, urban/suburban city, Sevilla, Lisbon, Dusseldorf, Riga, Athens	
Outposts, areas of interest or private use	3-5	Vertipads 	3-5 Major suburban commuting stations, private use for high net worth individuals, or in wealthy suburbs
Near concentrations of high origin and destination points	5-10	Vertibases 	3-7 Major corporate headquarters, major retail districts, and major commuting stations
Major airports, city centres, and major commute corridors	2-3	Vertihubs 	1-2 Main airport, downtown, and major work district

Obr. 5 Počty vertiportov pre rôzne veľkosti miest [36].

Experimentálna a počiatočná prevádzka VTOL lietadiel v mestách bude môcť spočiatku využívať už vybudované a dostupné heliporty na výškových budovách v mestách poprípadne na letisku, čo by mohlo urýchliť implementáciu počiatočnej prevádzky VTOL lietadiel. Dôležitou otázkou je hluk VTOL lietadla pri pristátia alebo vzlete. Aj keď väčšina prevádzkovateľov deklaruje, že VTOL lietadlá budú niekoľkonásobne tichšie ako súčasné vrtuľníky, očakávaná kvantita prevádzky VTOL lietadiel môže vytvoriť pomerne vysoký hlukový nárast hlavne v okolí pristávacích plôch. Tento nárast môže zapríčiniť nutnosť oddialiť vertiporty od budov, hlavne v rezidenčných oblastiach. Táto vzdialenosť by v budúcnosti mohla predstavovať nevýhodu napríklad voči osobným automobily ku ktorým potenciálni zákazníci nemusia dochádzať.

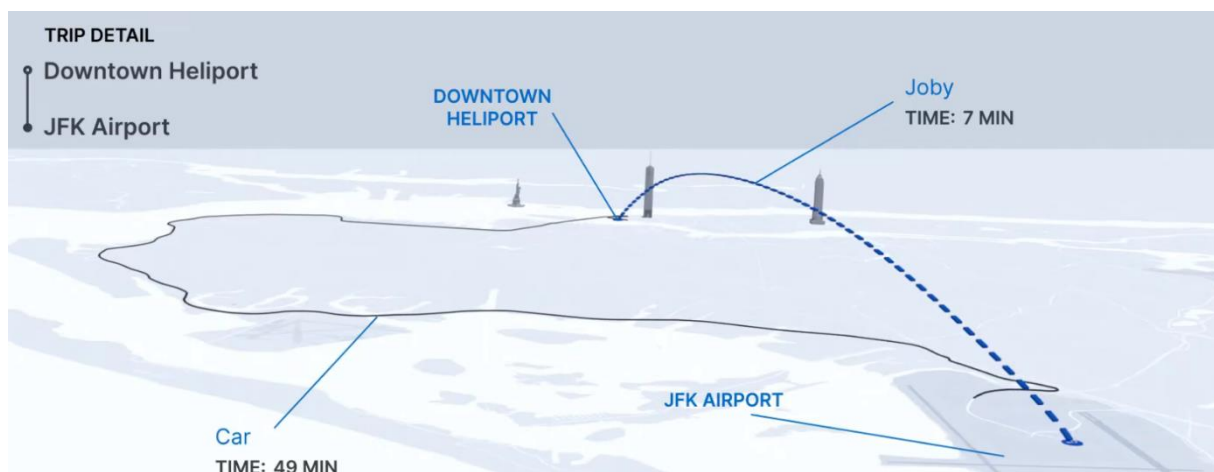
4.2 Segmentovanie trhu mestskej leteckej mobility

Rozdelenie mestskej leteckej mobility podľa predpokladaného použitia a trhu jedným zo základných faktorov pre predikciu určenia ekonomickosti tohto konceptu. Pri porovnaní s inými druhmi dopravy napríklad pozemnou cestnou dopravou si môžeme všimnúť segmentáciu ktorá rozdeľuje mestský trh tejto oblasti na niekoľko častí ako napríklad osobná automobilová doprava, autobusová doprava, taxi služby a verejne

služby. Podľa tejto analógie, štúdia Urban Air Mobility Study: Safety Standards, Aircraft Certification, and Impact on Market Feasibility and Growth Potentials od centra excelencie pre výskum UAS ktorý spadá pod FAA identifikovala vhodné druhy pre prevádzku pokročilej leteckej mobility. Tieto druhy dopravy so istej miery odzrkadľujú aj predpoklady spoločností ktoré vyvíjajú eVTOL lietadlá.

Letiskový spoj (Airport Shuttle)

Očakáva sa, že letiskové kyvadlové spoje, ktoré budú prepravovať ľudí na letiská a z letísk, a stanú sa základným bodom pre pasažierske aktivity v oblasti mestskej leteckej mobility. Letiská vytvárajú relatívne predvídateľný dopyt po prepravných službách a často disponujú nevyhnutnou pozemnou infraštruktúrou, ktorá umožňuje poskytovanie UAM služieb pre cestujúcich.[37] V súčasnosti existujú služby pomocou tradičných vrtuľníkov, ktoré spájajú letiská s mestskými lokalitami ako napríklad spoločnosť BLADE. Očakáva sa, že tieto služby sa v blízkej budúcnosti transformujú na koncept UAM. Napríklad let v New Yorku medzi centrom mesta a letiskom JFK by trval približne 7 minút v porovnaní so 49 minútami jazdy autom ako je vidno na obrázku č. 6.



Obr. 6 Porovnanie rýchlosti cestnej a leteckej dopravy medzi Manhattanom a letiskom JFK New York [23].

Letiskové kyvadlové spoje by mohli byť mimoriadne užitočné najmä pre domácich aj zahraničných obchodných cestujúcich, ktorí potrebujú rýchly presun z letiska na obchodné stretnutie. Rovnako sa dá predpokladať, že tieto spoje budú vyhľadávané aj medzi rekreačnými cestujúcimi, ktorí požadujú rýchlu a spoľahlivú dopravu. Tiež je tu potenciál na vytvorenie prémiových služieb v rámci leteckých spoločností kde bude bezpečnostná kontrola vykonaná v budove vertihubu resp. tesne pred nástupom na

UAM lietadlo a po pristáti na letisku môže cestujúci pokračovať priamo do kritickej časti vyhradeného bezpečnostného priestoru.

Letecké taxi (Air taxi)

V plne rozvinutom modeli by letecké taxíky mohli denne poskytovať autonómne alebo poloautonómne služby vzdušnej mobility tisíckam ľudí vo veľkých mestách. Za predpokladu, že sa tieto služby vyvinú do podoby služieb zdieľanej dopravy typu „od dverí k dverám“, v ktorých si zákazníci budú môcť privolať VTOL lietadlo na požadované miesto nástupu a zvoliť si miesto výstupu v meste by sa tento segment mohol stať prijateľnou alternatívou pozemnej dopravy po meste. [37]

Ako sa bude budovať nová infraštruktúra (vertiporty, vertipady a modernizované heliporty s možnosťami nabíjania poprípade tankovania), počet dostupných letových trás sa výrazne zvýši, čím sa zlepši celková efektivita cestovania. Postupne vznikne sieť malých VTOL lietadiel, ktorá umožní rýchlu a spoľahlivú dopravu medzi predmestiami, mestami a v rámci miest. Letecké taxíky budú poskytovať lepšie prepravné služby širokému spektru zákazníkov – od denných dochádzajúcich až po turistov. [37]

Firemné kyvadlové spoje

Obchodné letectvo je globálne odvetvie s hodnotou približne 100 miliárd amerických dolárov ročne. Umožňuje firmám prepravovať kľúčových zamestnancov, vedúcich pracovníkov a produkty. Firemné kyvadlové spoje budú pravdepodobne dopĺňať firemné flotily lietadiel a pomáhať riešiť výzvy tzv. „poslednej míle“, teda dopravy zamestnancov na obchodné stretnutia či iné dôležité miesta v centre mesta. Tieto spoje budú elektrické alebo hybridné lietadlá s možnosťou vertikálneho štartu a pristátia. [37]

Záchranné služby

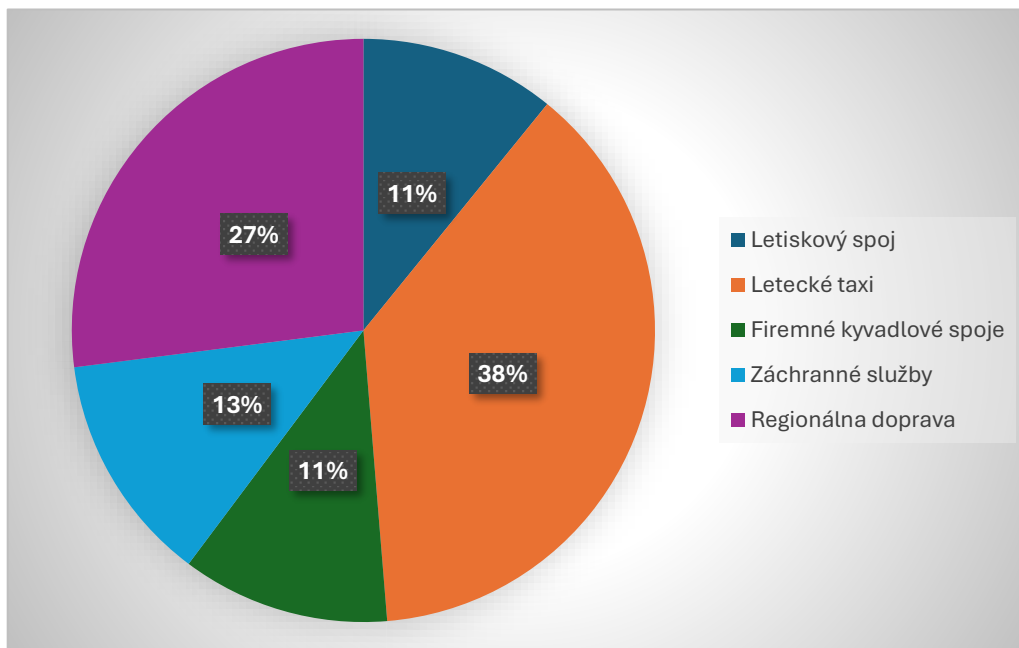
Tradičné lety leteckej zdravotnej pomoci (Medevac) sú veľmi nákladné, pričom priemerné náklady sa pohybujú okolo 6000 až 13000 USD na jeden let [38]. V porovnaní s tým by alternatíva založená na UAM mohla znížiť náklady

zdravotníckeho systému o milióny eur ročne. Ako bude trh s UAM pre pasažierov postupne dozrievať, predpokladá sa, že segment záchranných služieb bude prijateľnou alternatívou pre štátnych aj súkromných prevádzkovateľov takýchto služieb. [37]

4.2.1 Rozloženie služieb na trhu pre VTOL lietadlá

Podľa spoločnosti UAM Geomatics z roku 2022 sa dá očakávať, že v plne rozvinutom trhu budú jednotlivé spoje resp. druhy dopravy AAM nasledujúce.

Letiskové spoje budú mať 10,86 % zastúpenie na trhu. Aj keď je očakávané, že tento spoj bude spočiatku dominovať trhu, postupným rozvojom sa bude táto dominancia znižovať. Na druhú stranu letecké taxi bude z počiatku menej zastúpené a až s rozvojom infraštruktúry pre VTOL lietadlá sa bude rozširovať. Podľa odhadov bude táto skupina zastúpená v 34,87%. Ďalšou skupinou sú firemné kyvadlové spoje. Ekvivalentom týchto spojov v doprave sú luxusné limuzíny ktoré prevážajú manažment firmy na každodennej báze alebo firemné vrtuľníky. Tieto spoje sú očakávané že dosiahnu podiel na trhu až 11,53%. Poslednou službou ktorá sa očakáva, že bude mať významný podiel na trhu sú záchranné služby. Do týchto služieb môžeme zaradiť prevoz ranených, zdravotníckeho materiálu služby pátrania a záchrany. Tieto služby však musia počkať na technickú vyzretosť VTOL lietadiel z dôvodu bezpečnosti a preto sa očakáva neskoršie zapojenie takýchto lietadiel. Každopádne v plne rozvinutom trhu by táto oblasť podľa odhadov zaberala 12,75% trhu. Štúdia predpokladá, že VTOL lietadlá sa budú používať aj v iných sektoroch ako UAM, napríklad na regionálnu leteckú mobilitu (RAM). Ide o dopravu na väčšie vzdialenosti ktorá je rovnako ako mestská letecká mobilita (UAM) podmnožinou AAM. Regionálna doprava by podľa štúdie zaberala 27,02% trhu pre VTOL lietadlá. Na nasledujúcom grafe č. 1 je graficky znázornené rozloženie trhu s VTOL lietadlami pre jednotlivé služby. [39]



Graf. 1 Rozloženie trhu s VTOL lietadlami pre jednotlivé služby [39].

4.3 Posúdenie nákupnej a prevádzkovej ceny eVTOL lietadiel

Pri rozhodovaní o kúpe ľubovoľného dopravného prostriedku určeného pre komerčné použitie sa berie ohľad na dve základné veci a to kúpnu cenu a prevádzkové náklady. Ani eVTOL lietadlá nie sú výnimkou a práve tieto parametre budú jedným z rozhodujúcich parametrov pri výbere lietadla tohto typu.

4.3.1 Nákupná cena eVTOL lietadiel

Spoločnosť Joby Aviation v prezentácii pre akcionárov zverejnila, že náklady na výrobu jedného lietadla budú 1,3 milióna dolárov a že lietadlá určené na komerčnú prevádzku, zakúpené v roku 2026, pokryjú svoje kapitálové náklady do roku 2028. Tento odhad návratnosti je založený na predpoklade, že lietadlá budú prevádzkované v priemere 40-krát denne, sedem dní v týždni, s priemerom 2,3 pasažiera na let a priemernou vzdialenosťou 26 míľ (41,8 km). Tieto predpoklady sú pomerne ambiciózne ale poskytujú užitočný údaj na lepšie posúdenie nákladov počas životného cyklu na trhu osobnej leteckej mobility. [24]

Pre lepšie porovnanie cien za obstaranie jedného kusu VTOL lietadla, bola vytvorená tabuľka, ktorá obsahuje predpokladané ceny od výrobcov za obstaranie 11 rôznych VTOL lietadiel určených pre osobný trh mestskej leteckej mobility. Výsledky sú uvedené v nasledujúcej tabuľke č. 6. Aj keď táto tabuľka obsahuje pomerne široký

zoznam lietadiel, neobsahuje niektoré pokročilé modely od iných spoločností, napríklad lietadlo VoloCity od Diamond Aircraft Industries (Volocopter) nemá doteraz verejnú predpokladanú cenu za jeden kus. Druhým nedostatkom tejto tabuľky je že porovnáva ceny lietadiel v rôznych štádiách testovania respektíve vývoja. Napríklad porovnáva lietadlo od spoločnosti Vickers Aircraft Comp. ktorá je stále vo fáze vývoja so strojom S4 od spoločnosti Joby Aerospace ktoré už má viac ako tisíc testovacích letov a do niekoľko rokov sa očakáva plná certifikácia lietadla.

Tab. 6 Porovnanie nákupnej ceny eVTOL lietadiel [24], [37], [40], [41], [42], [43].

Výrobca	Plán prevádzky	Cena lietadla v mil. dolárov
Archer	Air Taxi	5
Joby	Air Taxi	1,3
Ehang	Air Taxi	0,4
ASX	Air Taxi	0,5
Vertical Aerospace	Súkromné lietadlo	4
LIFT Aircraft	Súkromné lietadlo	0,45
Doroni	Súkromné lietadlo	0,4
Moog	Air Taxi	0,2
Vickers Aircraft Comp.	Súkromné lietadlo	0,3
DeLoean Aerospace	Súkromné lietadlo	0,3
Horizon Aircraft	Air Taxi	5

Z tejto tabuľky je možné vidieť trend navyšovania predpokladanej ceny za jedno VTOL lietadlo v priebehu procesu certifikácie. Lietadlá, ktoré sú v procese návrhu alebo certifikácie vyspelejšie, sú väčšinou drahšie. Celkovo sa dá predpokladať, že cena VTOL lietadiel bude v rozmedzí 0,5 až 5 miliónov amerických dolárov.

Odhad ceny eVTOL lietadla

V súčasnosti veľké množstvo výrobcov na trhu s eVTOL lietadlami nezverejnilo predpokladané ceny svojich výrobkov. Pre dobré porozumenie trhu je nutné aby sa pripravili hrubé odhady cien týchto lietadiel.

Odhad ceny sa vytvorí na základe troch hlavných a cenovo najvýraznejších častí eVTOL lietadiel a to cena akumulátoru ďalej cena trupu (draku) lietadla a ako posledná je cena pohonnej sústavy.

Cena akumulátoru bola vytvorená na základe porovnania cien akumulátorov elektrických aut a akumulátorov elektrických letúnov Pipistrel Velis Electro eDA 40. V nasledujúcej tabuľke č. 7 sú hodnoty kapacity, ceny a následne aj ceny za 1kWh akumulátoru. Cena za 1 kWh bola vypočítaná ako podiel ceny a kapacity akumulátoru.

Tab. 7 Výpočet ceny za 1kWh [44], [45], [46]

	Cena akumulátoru	kapacita akumulátoru [kWh]	Cena na 1 kWh
Pipistrel Velis Electro	20 000,00 €	24,80	806,45 €
eDA 40	80 000,00 €	80	1 000,00 €
Volvo EX90	13 879,00 €	112	123,92 €
Skoda Enyaq Coupe iV 80	9 988,00 €	77	129,71 €
Tesla model X	12 324,00 €	95	129,73 €

Z tabuľky č. 7 vyplýva, že cena akumulátorov pre letecké použitie je viac ako šesť násobne vyššia. To je spôsobené rozdielnymi požiadavkami medzi leteckým a automobilovým priemyslom, pričom letecký ma tieto nároky, pochopiteľne, vyššie a zároveň aj vybudovanými dodávateľskými reťazcami ktoré vďaka tzv. škálovej ekonomike znižujú cenu akumulátorov ešte viac. Zároveň je treba počítať s tým, že výrobcovia týchto batérií už majú v cene pripočítané marže čo znamená drahšiu nominálnu hodnotu s ktorou sa v tomto výpočte počíta. Rovnako ako pri automobilovom priemysle tak aj pri leteckom, sa dá očakávať, že čistým predpokladaným množstvom akumulátorov, ktoré budú vyrobené pre budúci trh UAM, sa cena na jednu kWh môže výrazne znížiť. Preto je možné predpokladať budúcu cenu jednej kWh v rozmedzí 800 až 500 EUR.

Druhou časťou pri výpočte výslednej ceny potencionálneho eVTOL lietadla je cena trupu, ktorá je označená ako C_{trp} . Táto hodnota bola odhadnutá podľa nasledujúceho vzorca. Pričom m_{trp} [kg] je váha trupu lietadla, C_{1kg} je cena jedného kg lietadla. Cena za 1 kg konštrukcie bola vypočítaná ako podiel ceny lietadla a prázdnej hmotnosti. Z cien za 1 kg je následne urobený priemer ktorého hodnota je 1893,98 EUR. Tieto výpočty a hodnoty sú znázornené v nasledujúcej tabuľke č. 8. Výsledná hmotnosť trupu sa následne vypočíta podľa nasledujúcej rovnice.

$$C_{trp} = m_{trp} * C_{1kg}$$

Tab. 8 Výpočet ceny za 1 kg lietadla [47], [48], [49].

	Cena lietadla	prázdna hmotnosť lietadla [kg]	Cena na 1 kg
Cessna 172 Skyhawk	397 000,00 €	767	517,60 €
Diamond DA62	1 150 000,00 €	1480	777,03 €
Bell 429	6 900 000,00 €	2180	3 165,14 €
Airbus A320 neo	101 800 000,00 €	42600	2 389,67 €
Boeing 737 MAX 8	107 700 000,00 €	41100	2 620,44 €
		Priemerná cena	1 893,98 €

Ako je vidno z tabuľky č. 8, priemerná cena za 1 kg trupu vyšla 1893,98 EUR. Táto cena bola vypočítaná ako priemer cien rôznych typov lietadiel ako napríklad general aviation z dôvodu podobnosti budúcich eVTOL lietadiel v rámci váhy a rozmerov a predstaviteľov moderných dopravných lietadiel kde boli vybrané typy tak, aby boli čo najmodernejšie s predpokladom, že budú mať modernú avioniku a trup z moderných materiálov.

Posledná časť sa venuje pohonnej sústave a konkrétnejšie je tam zaradený elektromotor, vrtuľa/rotor a elektrické rozvody. Odhad ceny pohonnej sústavy vychádza zo štúdie Development and production costs estimation methodology for eVTOL ktorej autorom je Davide Ferretto. Z tejto štúdie vyplýva, že pre lietadla, ktoré v cestovnom režime generujú vztlak krídlom (vectored thrust) je odhadovaná cena jedného motoru vrátane celého vybavenia motoru 65 100 EUR. Pre multikoptéry je cena nižšia a to 6000 EUR. [50] Tento cenový rozdiel je do veľkej miery zapríčinený veľkosťou a požadovaným ťahom ale aj napríklad požadovanou bezpečnosťou. Multikoptéry majú väčšinou veľké množstvo oddelených motorov čo aj pri výpadku jedného alebo dvoch, neznamená udalosť s klasifikáciou Catastrophic alebo Hazardous. Naproti tomu eVTOL lietadla s krídlami majú menší počet motorov a výpadok dvoch motorov na jednej strane by mohol viesť ku katastrofickej udalosti.

Vďaka odhadom potencionálnych cien troch základných komponentov je možné určiť hrubý odhad ceny akéhokoľvek eVTOL lietadla pri ktorom je známa hmotnosť prázdneho lietadla, kapacita akumulátoru a počet elektromotorov resp. počet vrtulí/rotorov.

Napríklad pre lietadlo VoloCity od spoločnosti Diamond Aircraft Industries, ktoré má prázdnu hmotnosť 700 kg, kapacitu akumulátoru 83,3 kWh a 18 malých elektromotorov a vrtulí, vychádza odhad výslednej ceny na 1,5 miliónu EUR.

V ďalšom porovnaní lietadlo VX4 od spoločnosti Vertical Aerospace, ktoré síce nemá prázdnu hmotnosť a kapacitu akumulátoru zverejnenú ale vďaka podobnostiam s inými lietadlami tohto typu, je možné odhadnúť tieto hodnoty na 200 kg prázdnej hmotnosti a kapacity akumulátoru na 200kWh, tak pri tomto lietadle je odhadovaná cena 4,42 milióna EUR, čo je porovnateľná hodnota so 4 miliónmi EUR ako uvádza výrobca.

Samozrejme, je treba podotknúť, že tento výpočet je iba hrubý odhad v ktorom sú dielčie ceny trupu, pohonnej jednotky a akumulátoru vypočítavané na základe odhadov cien podobných komponentov z iných odvetví.

4.3.2 Prevádzkové náklady VTOL lietadiel

Životnosť batérií a s ňou spojené náklady budú mať výrazný vplyv na životaschopnosť trhu UAM. V roku 2019 spoločnosť Uber Elevate (predtým ako ju získala Joby Aviation) odhadla, že amortizované náklady na batériu pre eVTOL lietadlá určené na taxi služby sa budú pohybovať v rozmedzí 76 až 90 dolármi za letovú hodinu, čo by ročne predstavovalo 194 000 až 230 000 dolárov. [10]Očakáva sa, že náklady na batérie sa v dôsledku pokroku vo výskume a vývoji výrazne znížia. Napríklad, 29. októbra 2020 podala spoločnosť Joby Aviation patentovú prihlášku na systém tepelného manažmentu batérie, ktorý by zlepšil jej životnosť pomocou chladiaceho systému, nádrže, deionizačného filtra, nabíjačky a riadiacej jednotky [51].

Pri hodnotení nákladov na životný cyklus zo strany výrobcov lietadiel treba okrem batérií zohľadniť aj viaceré ďalšie komponenty. Vo vedeckom článku pod názvom *Advanced Air Mobility: Demand Analysis and Market Potential of the Airport Shuttle and Air Taxi Markets* autori Goyal, R. a ďalší, vytvorili ekonomický model na základe ktorého dokázali odhadnúť cenu jednej osobomíle pre eVTOL lietadlá. Autori analyzovali rôzne druhy VTOL lietadiel ako multikoptéry, lietadlá s pevnými nosnými plochami a ako porovnanie analyzovali aj tradičné vrtuľníky. Cena jednej osobomíle bola vypočítaná ako suma všetkých priamych a nepriamych prevádzkových nákladov. Do priamych nákladov boli započítané ceny energií, poistenia, infraštruktúry, navigačných poplatkov, počiatocnej investície a cena kapitálu. Do nepriamych nákladov boli započítané položky ako marketing. Hodnota priamych nákladov boli individuálne modelované pre eVTOL lietadlá s 1 až 5 maximálnym počtom cestujúcich. Nepriame náklady boli vypočítané ako 10% z priamych nákladov. V nasledujúcej tabuľke č. 9 sú uvedené výsledné ceny na jednu osobomíľu pre jednotlivé druhy dopravného prostriedku a počtu pasažierov. Pre

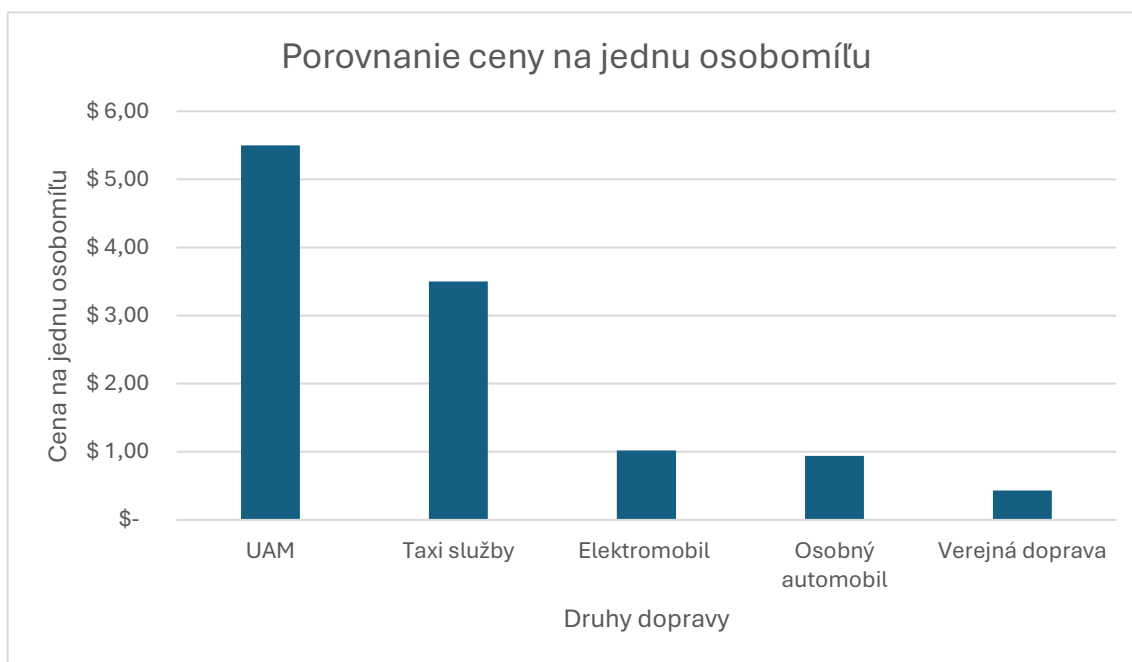
každý druh dopravného prostriedku bolo namodelovaných viac ako 10 000 letov s rôznymi vzdialenosťami aby sa mitigoval efekt rozdielnosti energetickej náročnosti medzi cestovným letom a vzletom/pristátím eVTOL lietadiel s pevnými nosnými plochami. [52]

Tab. 9 Cena jednej osobomíle pre rôzne počty pasažierov v lietadle v USD [52]

druh dopravného prostriedku	Cena jednej osobomíle pre rôzne počty pasažierov v lietadle v USD			
	1-pasažier	2-pasažieri	3-pasažieri	4-pasažieri
Multikoptéra	\$ 19,25	\$ 14,00	\$ 12,00	\$ 11,00
eVTOL s krídlami	\$ 10,00	\$ 7,50	\$ 6,50	\$ 5,50
Vrtuľník	\$ 9,25	\$ 6,45	\$ 4,80	\$ 4,70

Z tabuľky č. 9 je možné vyvodit' niekoľko záverov. Rovnako ako pri klasickej leteckej doprave tak aj pri mestskej leteckej doprave je zjavné, že čím je väčší počet cestujúcich tým sa náklady na jednu osobu znižujú. Ďalší poznatok je možné pozorovať pri porovnávaní ceny na jednu osobomílu medzi multikoptérami a lietadlami s pevnými nosnými plochami. Vo všetkých prípadoch sú rozdiely ceny na jednu osobomílu takmer dvojnásobné čo poukazuje na fakt, že multikoptéry sú vo všeobecnosti viac energeticky náročné vo fáze cestovného (vodorovného letu) ako iné druhy eVTOL lietadiel. V neposlednom rade je porovnávaná aj výška osobomíle pre vrtuľníky. Aj keď je cena jednej osobomíle vo všetkých kategóriách nižšia ako eVTOL lietadlá rozdiel nie je veľký a dá sa očakávať, že rozvojom eVTOL technológií sa tento rozdiel úplne odstráni.

Podľa správy Transportation Cost Estimates z roku 2022 od The Victoria Transport Policy Institute ktorá dáva do kontextu a porovnáva cenu tradičných dopravných prostriedkov v metropolitných oblastiach a odhaduje že cena jednej osobomíle osobného automobilu (automobil so spaľovacím motorom) je 0,94 USD, elektromobilu je 1,02 USD a mestskej hromadnej dopravy je 0,43 USD. [53] Na oficiálnych internetových stránkach mesta New York sú zverejnené ceny taxíku na jednu osobomíľu vo výške 3,5 USD (ak nie sú počítané ostatné príplatky napríklad za pristavenie taxíku) [54]. Pre lepšiu vizualizáciu sú tieto hodnoty znázornené aj na nasledujúcom grafe č. 2.



Graf. 2 Porovnanie cien rôznych druhov dopravy na jednu osobomíľu [52], [53], [54].

Pri porovnaní osobného automobilu alebo mestskej hromadnej dopravy s dopravou UAM, je pozemná doprava skoro päťkrát lacnejší spôsob prepravy na jednu osobomíľu ak je vzatá cena pre eVTOL lietadlo so štyrmi pasažiermi. Pri porovnaní ceny s taxi službou je tento rozdiel približne už iba dvojnásobný. Zároveň však je treba povedať, že osobné automobily a mestská hromadná doprava musí častokrát precestovať oveľa väčšiu vzdialenosť ako systémy UAM čo poskytuje veľkú nevýhodu. Ďalším faktorom ktorý je potrebné zobrať do úvahy je to, že EVOL lietadlá s najväčšou pravdepodobnosťou nebudú vlastnené súkromnými osobami. Lietadlá budú prevádzkované spoločnosťami ako napríklad BLADE Urban Air Mobility a za každý let si budú musieť účtovať maržu pre profitabilitu spoločnosti. Tradičná

doprava je aj napriek väčšej precestovanej vzdialenosti stále lacnejšia alternatíva a takou s najväčšou pravdepodobnosťou aj ostane.

Ďalším dôležitým faktorom je množstvo potenciálnych pasažierov ktorý by mali záujem prepravovať sa letecky v rámci služieb UAM. Ako vyplýva z predchádzajúcej časti, je zrejmé, že letecká preprava rámci mestských oblastí bude vždy drahšia ako pozemná doprava. Z tejto úvahy a z toho, že prvé komerčné trasy s využitím eVTOL lietadiel budú letiskové spoje je možné vyvodiť záver, že práve zákazníci business tried budú aj potencionálnymi zákazníkmi služieb UAM. Medzinárodná organizácia leteckých dopravcom (IATA) odhaduje, že v prémiových triedach celosvetovo cestuje približne 3% pasažierov[55].

Pre lepšie pochopenie potenciálu trhu UAM sa môžeme pozrieť na príklad v meste New York. V roku 2024 letiská v New Yorku prepravili 145,9 milióna pasažierov [56]. Ak si zoberieme odhadovanú hodnotu 3% ľudí ktorý leteli v prémiovej triede tak vychádza približne 4.3 milióna potencionálnych zákazníkov pre služby UAM ročne. Tieto čísla sú v súčasnosti pomerne vysoké. Ak si zoberieme pre porovnanie spoločnosť Blade, ktorá využíva vrtuľníky, tá uvádza, že v minulom roku prepravila približne 95 000 pasažierov v okolí mesta New York. Tento rozdiel je zapríčinený tým, že ceny za jeden let vrtuľníkom sa pohybujú v rozmedzí 150 až 250 USD. [18] Druhým dôvodom je, že súčasné vrtuľníkové spojenia majú pomerne nízku sieť heliportov, čo znamená, že sa pasažier po lete musí ešte prepraviť pozemnou dopravou do finálnej destinácie. Pre úspech UAM je zásadné, aby pre prevádzku bolo dostupné veľké množstvo vertiportov umiestnených na strategických pozíciách ale aj cenová konkurencieschopnosť s inými druhmi pozemnej dopravy, hlavne taxislužbami.

4.4 Posúdenie spoločenskej akceptácie UAM

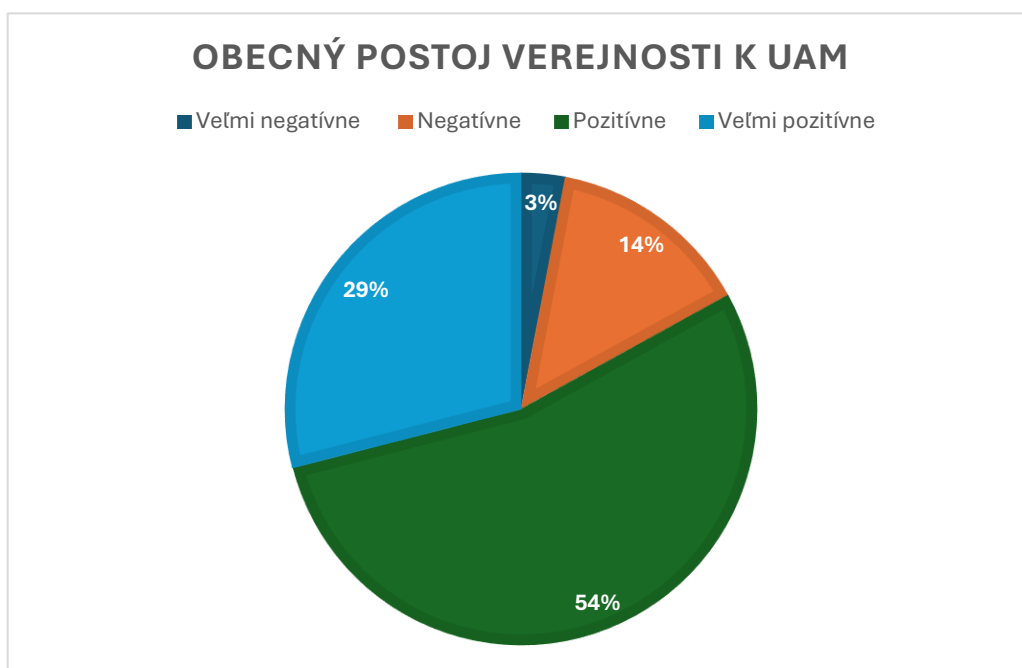
Nové formy dopravy sa objavujú len zriedka – nedávnym príkladom sú autonómne vozidlá – a ich široké prijatie spoločnosťou býva zvyčajne ovplyvnené viacerými faktormi. Medzi tieto faktory patrí vyspelosť určitých technológií a spôsob, akým sú vnímané verejnosťou – či už ako hrozba, alebo ako prínos.

Prípad autonómnych áut ukázal, aké náročné je presne predpovedať, ako bude technická inovácia prijatá používateľmi a spoločnosťou všeobecne.

Keďže v súčasnosti je ešte ťažké poskytnúť reálne simulácie hluku alebo s istotou kvantifikovať počet či frekvenciu letov UAM lietadiel v konkrétnom meste počas určitého dňa, rovnako je ťažké presne odhadnúť mieru rušivosti, ktorú by to mohlo spôsobiť.

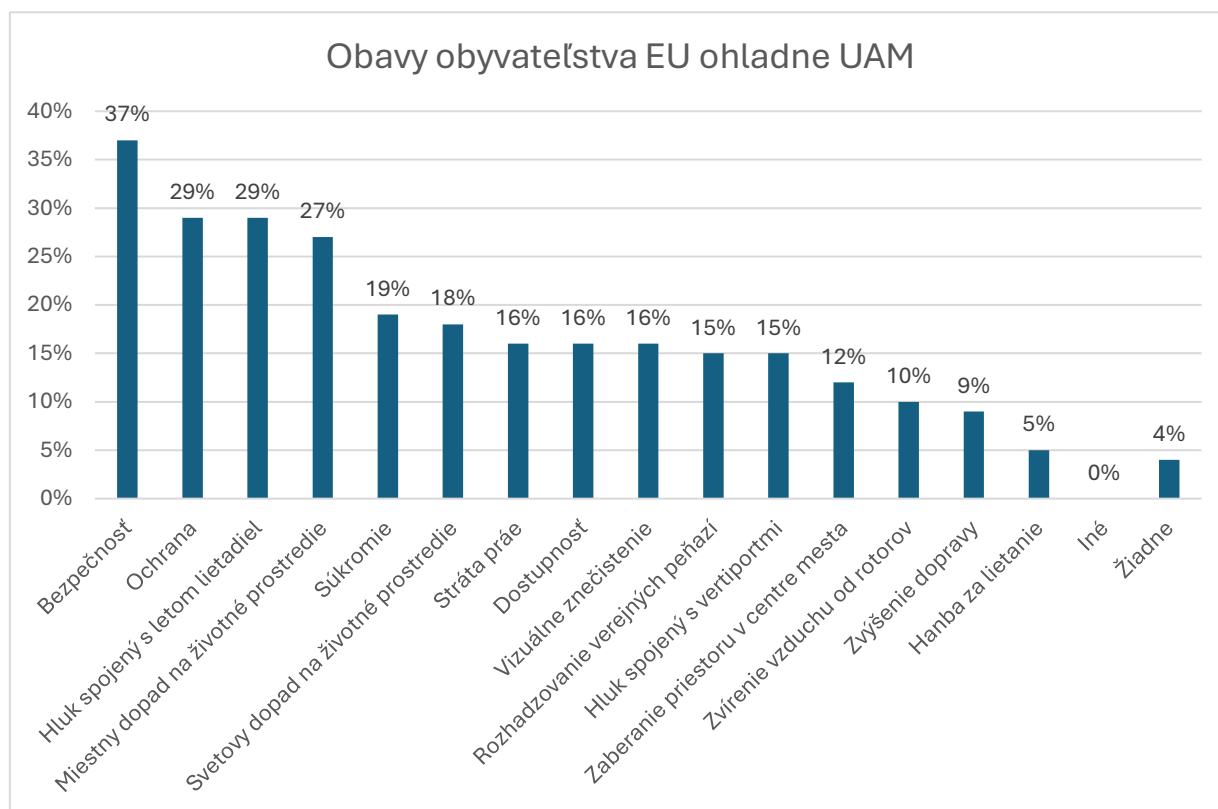
V roku 2021 zverejnila EASA štúdiu zameranú na postoj spoločnosti na koncept UAM v európskej úrovni. Zároveň táto štúdia predpokladá aj vhodné mestá na počiatočné prevádzkovanie mestskej leteckej mobility. Treba si uvedomiť, že táto štúdia merala postoj spoločnosti EÚ voči UAM v konkrétnom čase – na začiatku roka 2021 – teda ešte pred zavedením UAM do miest EÚ, ktoré sa očakávalo okolo rokov 2024–2025. V tomto štádiu boli informácie o UAM prevažne dostupné iba v špecializovanej tlači a médiách a ešte sa nedostali k širokej verejnosti. Občania teda UAM rôzne vnímajú – niektorí ako „vzdialenú budúcnosť“, iní ako „vzrušujúci nový koncept“ – no zatiaľ nemali možnosť zažiť skutočné operácie a preto im chýba konkrétna skúsenosť či osobné pocity. [36]

Z celkového pohľadu, väčšina občanov EU vnímajú UAM pozitívne a to až z 83%. Zároveň veľmi negatívne vnímajú UAM iba 3% opýtaných ľudí. [36] Na grafe č. 3 sú znázornené postoje verejnosti EU ku konceptu UAM.



Graf. 3 Obecný postoj verejnosti k UAM [36.]

K najväčším obavám spojeným s prevádzkou UAM ktoré vyplývajú z tejto štúdie môžeme zaradiť bezpečnosť, ochranu, hluk spojený s letom lietadiel a dopady na životné prostredie. Na grafe č. 4 sú znázornené najviac problematické oblasti prevádzky UAM podľa verejnosti v Európskej únii. [36]



Graf. 4 Percentuálne zobrazenie najobávanejších aspektov UAM obyvateľstvom EU [36].

Z grafu vyplýva, že najviac obávanými aspektami je bezpečnosť a ochrana (v zmysle ochrana pred protiprávnymi činmi) mestského letectva. Ďalšie vysoko postavené témy sú dopady na lokálne a celosvetové životné prostredie a nárast hluku v mestách spojený s nárastom prevádzky UAM. V nasledujúcich podkapitolách sú podrobne rozobrané práve tieto predpokladané negatívne následky pre obyvateľov miest.

4.4.1 Možné bezpečnostné opatrenia

Vysoký bezpečnostný štandard pre UAM, podobný tomu, ktorý je v súčasnosti stanovený pre komerčné letectvo, vedie k výrazne vyšším nákladom na obchodné modely spoločností v tomto odvetví, no zároveň to vedie k predpokladanému veľmi nízkemu počtu zranených osôb a poškodenej infraštruktúry. To by mohlo následne uľahčiť vyššiu spoločenskú akceptáciu UAM.

Medzi hodnotené nákladové faktory môžeme zaradiť napríklad:

- Rozsiahle požiadavky na redundanciu systémov UAM,
- Predĺženie času potrebného na zavedenie UAM kvôli dlhšiemu vývoju a testovaniu,
- Kratšie intervaly medzi údržbami lietadiel UAM a ich infraštruktúry.

Bezpečnosť však nie je dimenzia, v ktorej by boli kompromisy prijateľné v našej spoločnosti. Aj malý počet nehôd, ako sa to ukázalo pri autonómnych autách, môže veľmi rýchlo zhoršiť verejné vnímanie celého odvetvia. Preto najvyššie bezpečnostné štandardy musia byť uplatňované aj pri UAM, aby sa posilnila jeho všeobecná prijateľnosť.

4.4.2 Možné ochranné opatrenia

Kybernetická bezpečnosť by mala zabrániť napadnutiu komunikačných systémov UAM a tým zamedziť ich zneužitiu alebo znefunkčneniu. To by sa dalo dosiahnuť šifrovaním komunikačných signálov v systéme UAM. Dopad na náklady by mohol byť stredný, pričom by vznikli najmä náklady na zabezpečenie a monitorovanie komunikačnej siete a/alebo na zriadenie súkromného komunikačného spojenia.

Ďalej by kontroly cestujúcich, podobné tým na letiskách, mohli znížiť riziko zneužitia UAM zo strany pasažierov. Takéto kontroly by zároveň mohli umožniť priamu nadväznosť cestujúcich na komerčné lety priamo pri bráne letiska. Medzi možné opatrenia by patrilo skenovanie batožiny a cestujúcich, ako aj obmedzenie prepravy tekutín. Tieto kontroly by mohli mať vysoký dopad na celkové náklady systému UAM a hlavne by zasahovali do jednej z hlavných predností UAM a tou je rýchlosť prepravy. Práve kvôli týmto nedostatkom sa dá predpokladať, že sa tieto kroky neuskutočnia.

Napokon by mohli byť potrebné aj systémy na ochranu pred neoprávneným vstupom UAM do zakázaných oblastí. Získanie a prevádzka týchto systémov síce niečo stojí, no dopad na celkové náklady systému UAM by mohol byť nízky až stredný.

4.4.3 Možné opatrenia týkajúce sa hluku

Miera zamerania sa na znižovanie hlukovej stopy UAM ovplyvní celkový dopad na náklady systému UAM.

Silné zameranie na zníženie hluku by mohlo výrazne ovplyvniť ekonomickú návratnosť projektov UAM v dôsledku vysokých nákladov na lietadlá, ale zároveň by mohlo zvýšiť mieru spoločenskej akceptácie.

Medzi opatrenia v rámci zamerania na redukciu hluku by mohli patriť napríklad obmedzenie hlučnosti lietadiel na úroveň auta jazdiaceho mestskou rýchlosťou alebo obmedzenie maximálneho počtu lietadiel na letových trasách.

Obmedzenie počtu lietadiel na trasách by zároveň mohlo znížiť vizuálne znečistenie a tým tiež prispieť k väčšej spoločenskej prijateľnosti. Tieto opatrenia by síce znamenali vysoké náklady na lietadlá, no mohli by znížiť prevádzkové náklady na vybraných trasách, pretože by sa lietalo v nižšej výške, čo by znamenalo kratší čas letu pri zachovaní rovnakej hlukovej stopy na zemi. Aj keď už teraz veľké množstvo popredných výrobcov navrhuje lietadlá s čo najnižšou hlukovou stopou, dá sa predpokladať, že celkový dopad na náklady systému UAM by bol stredný až vysoký. Prípád obmedzenia maximálneho počtu lietadiel na trase je v aplikácii pre veľké mestá v súčasnosti nereálny z dôvodu, že výrobcovia lietadiel sa snažia maximalizovať svoj predajný potenciál a týmto obmedzením by si stanovili strop maximálneho počtu predaných lietadiel pre mestskú aplikáciu. Hlučnejšie lietadlá by sa dali využiť v iných aspektoch AAM ako napríklad regionálna doprava.

4.4.4 Možné opatrenia v oblasti životného prostredia

Možné opatrenia by sa mohli zameriavať na ochranu voľne žijúcich živočíchov a na udržateľnosť počas celého životného cyklu systému Urban Air Mobility.

Silná ochrana živočíchov by mohla prispieť k zachovaniu biodiverzity zvýšením ochrany miestnej fauny, napríklad zavedením bezletových zón či špeciálnym palubným vybavením ako sú svetelné prvky. Tieto opatrenia by však mohli viesť k predĺženiu letových trás a k potrebe dodatočných technológií, čo by znamenalo stredne vysoký dopad na náklady celého systému.

Slabšia ochrana životného prostredia by mohla zahŕňať iba základné opatrenia, ako sú obmedzenia preletov nad citlivými oblasťami, čo by znamenalo len mierny dopad na letové trasy a nízky vplyv na náklady.

Z hľadiska udržateľnosti počas životného cyklu by vysoká úroveň mohla priniesť nové pracovné miesta, napríklad prostredníctvom povinného používania obnoviteľnej energie alebo požiadaviek na viac než 90 % recyklovateľnosti lietadiel a infraštruktúry. Tieto opatrenia by však zároveň znamenali vysoké náklady na výrobu a prevádzku.

Naopak, nižšia úroveň udržateľnosti by síce mala menší pozitívny vplyv na životné prostredie, no zároveň by znížila náklady na výrobu a prevádzku, napríklad len čiastočným využívaním obnoviteľnej energie. Celkovo by sa tak znížil finančný dopad na systém UAM, aj keď za cenu nižšej environmentálnej efektívnosti. V súčasnosti väčšina popredných výrobcov sa zameriava na využívanie obnoviteľných zdrojov energie a to hlavne elektrickej energie.

4.4.5 Zhrnutie poznatkov verejnej akceptácie UAM

Vo všeobecnosti výsledky štúdie naznačujú, že koncepty a operácie mestského letectva majú pozitívny imidž a mohli by byť občanmi EÚ takto prijaté. Ľudia sú otvorení riešeniam, ktoré zlepšujú kvalitu života v mestách a prinášajú výhody pre spoločné dobro. Prijatie UAM by však záviselo od dodržania viacerých záruk a podmienok – napríklad zabezpečenia primeranej úrovne bezpečnosti, ochrany súkromia a životného prostredia, ako aj toho, že žiadny občan nebude neprimerane zaťažovaný hlukom alebo iným rušivým vplyvom UAM.

Je teda teraz na príslušných aktéroch UAM, a najmä na regulačných orgánoch na všetkých úrovniach, aby na tomto počiatočnom pozitívnom postoji stavali a prijímali opatrenia, ktoré naplnia očakávania občanov. Len tak je možné zabezpečiť, že sa tento otvorený prístup premení na skutočné prijatie technológie budúcimi používateľmi a obyvateľmi miest.

Z týchto dôvodov bude pravdepodobne potrebné uskutočniť ďalšie špecifické štúdie, demonštrácie a pilotné implementačné projekty v priebehu ďalšieho vývoja konceptu. Rovnako bude užitočné poskytnúť verejnosti viac informácií a vypracovať odporúčania pre národné a miestne zainteresované subjekty.

5. Záver

Diplomová práca sa zameriavala na komplexné preskúmanie problematiky Urban Air Mobility (UAM), pričom hlavným cieľom bolo zhodnotiť aktuálny vývoj v tejto oblasti, preskúmať platné legislatívne rámce týkajúce sa certifikácie týchto lietajúcich prostriedkov a posúdiť, či je tento koncept dlhodobu ekonomicky udržateľný. Výsledky diplomovej práce poukazujú na to, že UAM je dynamicky sa rozvíjajúci smer v doprave, ktorý môže v budúcnosti výrazne ovplyvniť spôsob dopravy predovšetkým v mestách.

Technológie eVTOL sú už dlhú dobu predmetom výskumu a testovania v rámci viacerých medzinárodných projektov. Súčasný trendy vo vývoji VTOL lietadiel ukazujú, že sa rozvinuli dva základné koncepty návrhu týchto lietadiel. Prvým je koncept multikoptéry ktorý pozostáva z množstva menších motorov a nedisponuje pevnými nosnými plochami. Takéto lietadlá sú energeticky náročné aj v cestovnom režime a nedisponujú veľkým doletom. Na druhú stranu majú menšie rozmery čo predstavuje výhodu hlavne z pohľadu vertiportov, kde sa ich potencionálne zmestí väčší počet.

Pri druhom koncepte VTOL lietadiel sú hlavným prvkom krídla. Práve vďaka krídlam sú lietadlá tejto koncepcie v cestovnom režime energeticky úspornejšie lebo generujú vztlak počas letu a energia je spotrebovávaná na dopredný ťah.

Viaceré spoločnosti sú v pokročilej fáze technického vývoja a niektoré ako napríklad Joby Aerospace, Diamond Aircraft Industries (Volocopter) alebo Vertical Aerospace sú už vo fáze testovania reálnych prototypov. Volocopter so svojím lietadlom VoloCity v minulom roku minulo míľnik 75% schválených certifikačných auditov. Aj napriek tomu, že vstup prvých modelov na trh UAM sa očakával už v tomto roku, koniec procesu certifikácie a následný vstup na trh prvých VTOL lietadiel je stále v nedohľadne a preto prvé modely na trhu možno očakávať až koncom tohto desaťročia.

Na trhu UAM pôsobí aj veľké množstvo prevádzkovateľov ktorí sprostredkovávajú letecké spojenie v rámci metropolitných oblastí. Jednou z najvýznamnejších spoločností v tomto odvetví je Blade Urban Air Mobility. Táto spoločnosť sprostredkúva lety pomocou vrtuľníkov a v roku 2022 zaznamenala zisk vo výške 72 miliónov amerických dolárov. V súčasnosti firma plánuje presun z vrtuľníkov na eVTOL lietadlá.

Je zřejmé, že rozvoj v oblasti UAM je úzko spätý s vytvorením zodpovedajúceho právneho a regulačného rámca. V tomto smere zohrávajú dôležitú úlohu národné resp. medzinárodné agentúry pre civilné letectvo. Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) vydala druhé vydanie špeciálnych podmienok pre VTOL lietadlá, ktoré slúžia ako priamy nástroj pre certifikáciu VTOL lietadiel. Ide o istý druh kompilátu, ktorý kombinuje požiadavky z predpisom CS-23, CS-27 a CS-25, podľa toho ktorý predpis najlepšie zodpovedá chovaniu VTOL lietadla v danej oblasti. EASA tiež vydala špeciálne podmienky pre elektrické a hybridné pohonné systémy. V tomto dokumente sa špecifikujú certifikačné požiadavky na takéto systémy a zároveň sa aj rieši pokračujúca letová spôsobilosť. Druhým smerom spôsobu certifikácie VTOL lietadiel sa vydal Federálny úrad pre letectvo (FAA), ktorý certifikuje podľa upravených predchádzajúcich predpisov hlavne CFR Part 23/27. Zároveň ale vydal poradný obežník ktorý má uľahčiť proces samotnej certifikácie pre leteckých výrobcov. Certifikačné požiadavky pre budúce VTOL lietadlá majú zásadnú úlohu a to je zabezpečiť bezpečnosť prevádzky týchto strojov. VTOL lietadlá budú operovať nad mestskými aglomeráciami, čo ešte viac pridáva na požiadavke bezpečnosti.

Z ekonomického pohľadu sa ukazuje, že hoci sú počiatočné náklady spojené s implementáciou UAM vysoké, najmä čo sa týka vývoja technológií a vybudovania infraštruktúry (napríklad vertiportov či samotná kúpa lietadla), v dlhodobom horizonte sa môže tento koncept stať súčasťou mestskej dopravy. V diplomovej práci je vypracovaný postup pre odhad ceny budúcich eVTOL lietadiel, v ktorom sa separátne odhaduje cena za jeden kWh, jeden kilogram konštrukcie a cena pohonnej jednotky. Pri výpočte odhadu ceny lietadla VX4 vyšla predpokladaná cena na 4,42 milióna EUR a pre lietadlo VoloCity je odhadovaná cena za jeden kus 1.5 milióna EUR. Tento postup môže priniesť lepšie porozumenie cenotvorby a plánovanie implementácie týchto strojov. Ďalším faktorom ktorý bude vždy ovplyvňovať ekonomiku UAM, sú prevádzkové náklady. Veľkosť týchto nákladov je v súčasnosti možné iba predpokladať, keďže sa neprevádzkuje žiadne letecké spojenie prostredníctvom VTOL lietadiel. V diplomovej práci sú porovnávané prevádzkové náklady eVTOL lietadiel s inými druhmi dopravy ako osobné automobily, taxislužby alebo mestská hromadná doprava. Z týchto porovnaní vyplýva, že mestská letecká doprava bude vždy drahšia ako pozemná doprava ale pri porovnaní medzi pozemnou taxislužbou a UAM dopravou bola práve letecká doprava iba o polovicu drahšia v rámci ceny na jednu osobomíľu, čo vyjadruje istý potenciál pre budúcnosť tohto konceptu. Ďalším dôležitým faktorom je prijatie mestskej leteckej mobility zo strany obyvateľov miest. V súčasnosti je verejná mienka občanov v Európskej únii k mestskej leteckej mobilite kladná a to z viac ako 80% a aj to pomáha s pozitívnymi predikciami pre tento koncept.

Na záver možno povedať, že Urban Air Mobility predstavuje jeden z perspektívnych smerov v doprave budúcnosti. Jeho úspešné zavedenie však bude závisieť nielen od technologického pokroku, ale aj od vhodného legislatívneho prostredia, spoločenskej akceptácie a ekonomických modelov, ktoré budú zvolené pre tento koncept dopravy. Táto práca poskytuje detailný pohľad na aktuálny stav problematiky a môže slúžiť ako východisko pre ďalší výskum a odbornú diskusiu v tejto oblasti.

Citačné zdroje

[1] FORTEM AIR LTD. *A Deep Dive into AAM, UAM, and RAM: Understanding the Different Forms of Air Mobility*. Online. FORTEM AIR LTD. Advancedaireexpo. 2025. Dostupné z: <https://www.advancedaireexpo.co.uk/news/a-deep-dive-into-aam-uam-and-ram-understanding-the-different-forms-of-air-mobility/>. [cit. 2025-05-21].

[2] COHEN, Adam P.; SHAHEEN, Susan A. a FARRAR, Emily M. Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. Online. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021, roč. 22, č. 9, s. 6074-6087. ISSN 1524-9050. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3082767>. [cit. 2025-05-21].

[3] AERO AUTO SALES. The Evolution of Urban Air Mobility. Online. AERO AUTO SALES. 2024. Dostupné z: <https://aeroautosales.com/the-evolution-of-urban-air-mobility/#origins>. [cit. 2025-05-21].

[4] ZIPLINE. About Us. Online. ZIPLINE. 2024. Dostupné z: <https://www.flyzipline.com/about>. [cit. 2025-05-21].

[5] UPS. UPS Healthcare Launches Medical Drone Delivery Service in California. Online. UPS. 2023. Dostupné z: <https://www.ups.com/sk/en/healthcare/news/press-releases/medical-drone-service-california>. [cit. 2025-05-21].

[6] PR NEWSWIRE. Deloitte, Rady Children's Institute for Genomic Medicine Announce Project to Accelerate Medical Sample Delivery via Unmanned Aircraft Systems. Online. PR Newswire. 2020. Dostupné z: <https://www.prnewswire.com/news-releases/deloitte-rady-childrens-institute-for-genomic-medicine-announce-project-to-accelerate-medical-sample-delivery-via-unmanned-aircraft-systems-300989979.html>. [cit. 2025-05-21].

[7] CORNWALL SPACE CLUSTER. Windracers & Royal Mail Deliver Drone Deliveries to Scilly Isles. Online. Cornwallspacecluster.co.uk. 2020. Dostupné z: <https://www.cornwallspacecluster.co.uk/news/windracers-royalmail-deliver-drone-deliveries-to-scilly-isles/>. [cit. 2025-05-21].

[8] DCF MODELING. BLADE – History, Mission, Ownership. Online. Dcfmodeling.com. 2023. Dostupné z: <https://dcfmodeling.com/blogs/history/blde-history-mission-ownership>. [cit. 2025-05-21].

[9] SKYRYSE. Skyryse. Online. Skyryse.com. 2025. Dostupné z: <https://www.skyryse.com/>. [cit. 2025-05-21].

- [10] UBER TECHNOLOGIES INC. Uber Elevate – Vision. Online. Uber.com. 2025. Dostupné z: <https://www.uber.com/us/en/elevate/vision/>. [cit. 2025-05-21].
- [11] AIRBUS A³. Voom. Online. Acubed by Airbus. 2025. Dostupné z: <https://acubed.airbus.com/projects/voom/>. [cit. 2025-05-21].
- [12] VOLOCOPTER GMBH. Volocopter Air Taxi Flies Over Singapore’s Marina Bay. Online. Volocopter. 2019. Dostupné z: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/volocopter-air-taxi-flies-over-singapores-marina-bay>. [cit. 2025-05-21].
- [13] VERTICAL MAG. EHang completes first urban air mobility trial in Austria. Online. Verticalmag.com. 2020. Dostupné z: <https://verticalmag.com/news/ehang-urban-air-mobility-trial-linz-austria/>. [cit. 2025-05-21].
- [14] CITY A.M. Vertical Aerospace: Battersea to Heathrow in 10 minutes. Online. Cityam.com. 2021. Dostupné z: <https://www.cityam.com/vertical-aerospace-battersea-to-heathrow-in-10-minutes/>. [cit. 2025-05-21].
- [15] AEROSPACE AMERICA. Electric aircraft maker Lilium holds out hope for rescue. Online. Aerospaceamerica.aiaa.org. 2024. Dostupné z: <https://aerospaceamerica.aiaa.org/electric-aircraft-maker-lilium-holds-out-hope-for-rescue/>. [cit. 2025-05-21].
- [16] ZGODAVOVA, Zuzana; ROZENBERG, Robert a SZABO, Stanislav. Analysis of Point-to-Point versus Hub-and-Spoke airline networks. Online. *2018 XIII International Scientific Conference - New Trends in Aviation Development (NTAD)*. 2018, s. 158-163. ISBN 978-1-5386-7918-0. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/NTAD.2018.8551733>. [cit. 2025-05-21].
- [17] BLADE. About. Online. BLADE Urban Air Mobility. [s.a.]. Dostupné z: <https://www.blade.com/p/about>. [cit. 2025-05-21].
- [18] BLADE AIR MOBILITY INC. Annual Reports. Online. AnnualReports.com. [s.a.]. Dostupné z: <https://www.annualreports.com/Company/blade-air-mobility-inc>. [cit. 2025-05-21].
- [19] VERTICAL AEROSPACE. Vertical Aerospace Starts 2025 With Piloted Thrustborne Milestone. Online. Business Wire. 2025. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20250108901737/en/Vertical-Aerospace-Starts-2025-With-Piloted-Thrustborne-Milestone>. [cit. 2025-05-21].

- [20] VERTICAL AEROSPACE. Vertical Aerospace. Online. Vertical Aerospace. Dostupné z: <https://vertical-aerospace.com/>. [cit. 2025-05-21].
- [21] VERTICAL FLIGHT SOCIETY. Vertical Aerospace VA-1X. Online. eVTOL.news. Dostupné z: <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X>. [cit. 2025-05-21].
- [22] WORLD ECONOMIC FORUM. Joby Aviation. Online. World Economic Forum. Dostupné z: <https://www.weforum.org/organizations/joby-aviation/>. [cit. 2025-05-21].
- [23] JOBY AVIATION INC. About Us. Online. Joby Aviation. Dostupné z: <https://www.jobyaviation.com/>. [cit. 2025-05-21].
- [24] VERTIFLITE. Joby Aviation S4 Production Prototype. Online. eVTOL News. Dostupné z: <https://evtol.news/joby-aviation-s4-production-prototype>. [cit. 2025-05-21].
- [25] VOLOCOPTER GmbH. Company. Online. VOLOCOPTER. Dostupné z: <https://www.volocopter.com/en/company>. [cit. 2025-05-21].
- [26] VOLOCOPTER GmbH. Volocopter files for insolvency in Germany. Online. VOLOCOPTER. 2024. Dostupné z: <https://www.volocopter.com/en/newsroom/volocopter-files-for-insolvency-in-germany>. [cit. 2025-05-21].
- [27] DIAMOND AIRCRAFT INDUSTRIES. Diamond Aircraft reorganized Volocopter – securing its future in Germany. Online. DIAMOND AIRCRAFT. 2025. Dostupné z: <https://www.diamondaircraft.com/en/about-diamond/newsroom/news/article/diamond-aircraft-reorganized-volocopter-securing-its-future-in-germany/>. [cit. 2025-05-21].
- [28] VERTICAL FLIGHT SOCIETY. Volocopter VoloCity. Online. eVTOL.news. 2025. Dostupné z: <https://evtol.news/volocopter-volocity/>. [cit. 2025-05-21].
- [29] CHOI, Sanghoon, PARK, Hyeonsoo, LEE, Sangyeob a KIM, Hyunwoo. Certification Considerations of eVTOL Aircraft with Distributed Electric Propulsion System. Online. In: *Proceedings of the 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)*. 2020. Dostupné z: https://icas.org/icas_archive/ICAS2020/data/papers/ICAS2020_0231_paper.pdf. [cit. 2025-05-21].
- [30] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). Special Condition for small-category VTOL-capable aircraft Issue 2. Online. EASA. 2024. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/139946/en>. [cit. 2025-05-21].

- [31] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). Special Condition for small-category VTOL-capable aircraft Issue 1. Online. EASA. 2019. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/111136/en>. [cit. 2025-05-21].
- [32] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). Special Condition SC E-19: Electric / Hybrid Propulsion System (EHPS). Online. EASA. 2023. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/134376/en>. [cit. 2025-05-21].
- [33] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Type Certification—Powered-lift. Advisory Circular AC No: 21.17-4. Online. FAA. 2024. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_21.17-4.pdf. [cit. 2025-05-21].
- [34] MARKETSandMARKETS. Urban Air Mobility Market by Component, Platform Operation, Range, Platform Architecture, Unmanned Platform, End User and Region – Global Forecast to 2030. Online. MarketsandMarkets. 2024. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/urban-air-mobility-market-251142860.html>. [cit. 2025-05-21].
- [35] UAM VERTIPOINTS. Vertiport. Online. UAM Vertiports. 2025. Dostupné z: <https://uam-vertiports.com/vertiport/>. [cit. 2025-05-21].
- [36] EASA. Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe. Online. Cologne: European Union Aviation Safety Agency, 2021. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/study-societal-acceptance-urban-air-mobility-europe>. [cit. 2025-05-21].
- [37] OLIVARES, Gerardo, BERT, Steve, FRANCE, Stephen a KUENN, Aaron. *Urban Air Mobility Study: Safety Standards, Aircraft Certification, and Impact on Market Feasibility and Growth Potentials*. Online. ASSURE UAS. Dostupné z: <https://assureuas.com/projects/urban-air-mobility-studies/>. [cit. 2025-05-21].
- [38] AMERICAN ACTION FORUM. Addressing the High Costs of Air Ambulance Services. Online. American Action Forum. 2021. Dostupné z: <https://www.americanactionforum.org/insight/addressing-the-high-costs-of-air-ambulance-services/>. [cit. 2025-05-21].
- [39] UAM GEOMATICS. Global Analysis: UAM Geomatics Dashboards. Online. UAM GEOMATICS. 2022. Dostupné z: <https://www.nexa-uam.com/global-analysis>. [cit. 2025-05-21].

- [40] FANCHER, Gillian. Archer Agrees to Potential Air Taxi Sale Worth \$580M. Online. FLYING Magazine. 2023. Dostupné z: <https://www.flyingmag.com/archer-agrees-to-potential-air-taxi-sale-worth-580m/>. [cit. 2025-05-21].
- [41] FORECAST INTERNATIONAL. EHang Prices Its EH216-S eVTOL at RMB2.4 Million in China. Online. Flight Plan. 2024. Dostupné z: <https://flightplan.forecastinternational.com/2024/02/05/ehang-prices-its-eh216-s-evtol-at-rmb2-4-million-in-china/>. [cit. 2025-05-21].
- [42] AIRSPACE EXPERIENCE TECHNOLOGIES. Airspace Experience Technologies (ASX) Sigma Six. Online. VFS: eVTOL.news. 2024. Dostupné z: https://evtol.news/airspace-experience-technologies-asx-sigma-six?utm_source=chatgpt.com. [cit. 2025-05-21].
- [43] VERTICAL AEROSPACE. Order Book. Online. Vertical Aerospace. 2025. Dostupné z: <https://vertical-aerospace.com/order-book/>. [cit. 2025-05-21].
- [44] BOOKMYGARAGE. How Much Does an Electric Car Battery Cost (UK)?. Online. BookMyGarage, 2024. Dostupné z: <https://bookmygarage.com/electric-vehicles/how-much-does-an-electric-battery-cost-uk/>. [cit. 2025-05-21].
- [45] DIAMOND AIRCRAFT. eDA40 Technical Specifications. Online. Diamond Aircraft Industries. Dostupné z: <https://www.diamondaircraft.com/en/flight-school-solution/aircraft/eda40/tech-specs/>. [cit. 2025-05-21].
- [46] AVIATION CONSUMER. Pipistrel Velis Electro: Certified Electric. Online. Aviation Consumer. Dostupné z: <https://aviationconsumer.com/aircraftreviews/pipistrel-velis-electro-certified-electric/>. [cit. 2025-05-21].
- [47] SIMPSON, Jake. Cessna Private Ownership Costs Explained. Online. Simple Flying. Dostupné z: <https://simpleflying.com/cessna-private-ownership-costs-explained/>. [cit. 2025-05-21].
- [48] SIMPLE FLYING. Simple Flying: Aviation News & Insight. Online. Simple Flying. 2025. Dostupné z: <https://simpleflying.com/>. [cit. 2025-05-21].
- [49] AIRCRAFT COST CALCULATOR. Aircraft Cost Calculator. Online. AircraftCostCalculator.com. 2025. Dostupné z: <https://www.aircraftcostcalculator.com/>. [cit. 2025-05-21].
- [50] CARUGO, Daniele. *Development and production costs estimation methodology for eVTOL*. Online, DEGREE PROJECT. Turín: Politecnico di Torino, Corso di

Laurea Magistrale in Ingegneria Aerospaziale, 2024. Dostupné z: <https://webthesis.biblio.polito.it/31312/>. [cit. 2025-05-21].

[51] GOOGLE PATENTS. Battery thermal management system. Online. Google Patents. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US10960785B2/en>. [cit. 2025-05-21].

[52] GOYAL, Rohit; REICHE, Colleen; FERNANDO, Chris a COHEN, Adam. Advanced Air Mobility: Demand Analysis and Market Potential of the Airport Shuttle and Air Taxi Markets. Online. *Sustainability*. 2021, roč. 13, č. 13, s. 5-8. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su13137421>. [cit. 2025-05-21].

[53] LITMAN, Todd. *Transportation Cost Estimates*. Online. Victoria Transport Policy Institute, 2021. Dostupné z: <https://www.vtpi.org/tce.pdf> [cit. 2025-05-21].

[54] NEW YORK CITY TAXI AND LIMOUSINE COMMISSION. *Taxi Fare Information*. Online. NYC.gov. Dostupné z: <https://www.nyc.gov/site/tlc/passengers/taxi-fare.page> [cit. 2025-05-21].

[55] IATA. *The Resurgence of Premium Class Travel*. Online. International Air Transport Association, 2023. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/the-resurgence-of-premium-class-travel/> [cit. 2025-05-21].

[56] PORT AUTHORITY OF NEW YORK AND NEW JERSEY. *Port Authority's Commercial Airports Record Busiest Year Ever for Passenger Traffic in 2023*. Online. The Port Authority of New York and New Jersey, 2024. Dostupné z: <https://www.panynj.gov/port-authority/en/press-room/press-release-archives/2025-press-releases/port-authority-s-commercial-airports-record-busiest-year-ever-fo.html> [cit. 2025-05-21].

[57] *Volocopter-New milestone unlocked!*. Online. Dostupné z: https://www.linkedin.com/posts/volocopter_volocity-activity-7273324628352155650-wM97/. [cit. 2025-05-22].

Zoznam obrázkov

<i>Obr. 1 Vizualizácia lietadla VX4 od spoločnosti Vertical Aerospace[21].</i>	21
<i>Obr. 2 Lietadlo S4 od spoločnosti Joby Aviation.[23].</i>	24
<i>Obr. 3 Prototyp modelu VoloCity od spoločnosti Diamond Aircraft Industries[25].</i>	26
<i>Obr. 4 Tri typy základní pre budúce UAM prostriedky [35].</i>	54
<i>Obr. 5 Počty vertiportov pre rôzne veľikosti miest [36].</i>	55
<i>Obr. 6 Porovnanie rýchlosti cestnej a leteckej dopravy medzi Manhattanom a letiskom JFK New York [23].</i>	56

Zoznam tabuliek

<i>Tab. 1 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla VX4.[21].</i>	22
<i>Tab. 2 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla S4[24].</i>	25
<i>Tab. 3 Plánované technické špecifikácie produkčnej verzie lietadla VoloCity[28].</i>	27
<i>Tab. 4 Porovnanie základných parametrov lietadiel VoloCity, JobyS4 a Verticla VX4[28], [24], [21].</i>	28
<i>Tab. 5 pravdepodobnosti nastúpenia udalosti na jednu letovú hodinu[30], [31].</i>	41
<i>Tab. 6 Porovnanie nákupnej ceny eVTOL lietadiel [24], [37], [40], [41], [42], [43].</i>	60
<i>Tab. 7 Výpočet ceny za 1kWh [44], [45], [46]</i>	61
<i>Tab. 8 Výpočet ceny za 1 kg lietadla [47], [48], [49].</i>	62
<i>Tab. 9 Cena jednej osobomíle pre rôzne počty pasažierov v lietadle v USD [52]</i>	64

Zoznam grafov

<i>Graf. 1 Rozloženie trhu s VTOL lietadlami pre jednotlivé služby [39].....</i>	<i>59</i>
<i>Graf. 2 Porovnanie cien rôznych druhov dopravy na jednu osobmil'u [52], [53], [54].....</i>	<i>65</i>
<i>Graf. 3 Obecný postoj verejnosti k UAM [36]</i>	<i>67</i>
<i>Graf. 4 Percentuálne zobrazenie najobávanejších aspektov UAM obyvateľstom EU [36].</i>	<i>68</i>