

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



**URBAN AIR MOBILITY JAKO TŘETÍ DIMENZE
DOPRAVY VE MĚSTĚ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VÍT VOLNÝ

2023



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Vít Volný

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Urban Air Mobility jako třetí dimenze dopravy ve městě**

Název tématu (anglicky): Urban Air Mobility as the Third Dimension of Transport in the City

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout začlenění konceptu UAM do systému městské dopravy z pohledu převozu nákladu i cestujících a zhodnotit vhodnost využití pro Českou republiku.
- Urban Air Mobility.
- Vztah UAM a městského plánování.
- Využitelnost UAM pro vybrané dopravní úkoly.
- Návrh začlenění UAM do vybraného města.
- Zhodnocení návrhu a diskuse výsledků.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: European Union Aviation Safety Agency: Study on the societal acceptance of UAM operations
Airbus: Urban Air Mobility
Roland Berger: Urban Air Mobility

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **15. července 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Vít Volný
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 16. května 2023

Poděkování

Tímto způsobem bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30. listopadu 2023



podpis

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout začlenění konceptu UAM do systému městské dopravy z pohledu převozu nákladu i cestujících. První část popisuje základní princip UAM včetně zhodnocení současného stavu na světové úrovni. Následující část se zabývá vztahem mezi UAM a městským plánováním. V této části byly identifikovány potřeby vybraného města z pohledu městské mobility a způsob implementace UAM k uspokojení těchto potřeb. Na závěr byla navržena infrastruktura UAM v podobě vertiportů a letových tras. Toho bylo dosaženo analýzou urbanismu, dopravní situace a vzdušného prostoru pro jednotlivé aplikace.

Klíčová slova

UAM, vertiport, městské plánování, městská infrastruktura, eVTOL

Abstract

The aim of this thesis is to propose the integration of the UAM concept into the urban transport system in terms of freight and passenger transport. The first part describes the basic principle of UAM, including an assessment of the current state of the art at a global level. The following part deals with the relationship between UAM and urban planning. This section identifies the urban mobility needs of the selected city and the ways in which UAM can be implemented to meet these needs. Finally, UAM infrastructure was proposed in the form of vertiports and flight paths. This was achieved by analyzing the urban planning, traffic situation and airspace for each application.

Keywords

UAM, vertiport, urbanism, urban infrastructure, eVTOL

Obsah

Obsah	4
1 Seznam použitých zkratk.....	7
2 Úvod.....	9
3 Základní charakteristika UAM.....	10
3.1 Urban Air Mobility.....	10
3.1.1 Definice UAM	11
3.1.2 Historický vývoj UAM.....	13
3.1.3 Základní principy UAM	15
3.2 Současné využití UAM	17
3.2.1 Současné řešení UAM ve světě	17
3.2.2 Výhody a nevýhody UAM	18
3.3 Technologie a druhy bezpilotních systémů využívaných UAM.....	19
3.3.1 eVTOL s pevnými křídly	20
3.3.2 Multikoptéry.....	22
3.4 Doprava osob v rámci města pomocí UAM	23
3.4.1 Analýza dopravních problémů ve městě a využití UAM k jejich řešení	23
3.4.2 Potenciál UAM pro rychlou a efektivní dopravu osob v městském prostředí....	23
3.4.3 Překážky a výzvy využití UAM pro dopravu osob v městském prostředí.....	24
3.5 Doprava zboží pomocí UAM.....	24
3.5.1 Analýza stávajících logistických řešení ve městě a využití UAM k jejich optimalizaci	24
3.5.2 Potenciál UAM pro efektivní dopravu zboží v městském prostředí	25
3.5.3 Překážky a výzvy využití UAM pro dopravu zboží v městském prostředí.....	25
3.6 Limitace současného stavu	26
4 Vztah UAM, městského plánování a přepravních úkonů.....	28
4.1 Vliv UAM na městské plánování	28
4.1.1 Analýza dopravní situace ve městě	28
4.1.2 Plánování městské mobility	29

4.1.3	Změny v městské infrastruktuře po implementaci UAM	30
4.2	Regulace a bezpečnost UAM ve městě	31
4.2.1	Současný stav regulace UAM ve městě	31
4.2.2	Legislativní a bezpečnostní problémy UAM v městském prostředí	32
4.3	Implementace UAM do městské infrastruktury	33
4.3.1	Přehled dostupných technologií pro implementaci UAM v městské infrastruktuře	33
4.3.1.1	Vertiporty.....	34
4.3.1.2	Digitální infrastruktura	37
4.3.1.3	eVTOL	38
4.3.2	Způsoby integrace UAM do městské infrastruktury	38
4.3.3	Analýza dopravní situace v Praze	41
4.3.3.1	Současná dopravní situace	41
4.3.3.2	Dopravní problémy a výzvy	42
4.3.3.3	Potenciální přínosy využití UAM.....	43
4.3.4	Vymezení oblasti pro využití UAM	44
4.3.4.1	Výběr vhodných lokalit pro implementaci UAM v rámci Prahy	45
4.3.4.2	Identifikace oblastí s největším potenciálem pro využití UAM.....	46
5	Konkrétní návrh začlenění UAM do města Prahy	48
5.1	Návrh konkrétních aplikací UAM v městském prostředí.....	48
5.1.1	Přeprava osob.....	48
5.1.1.1	Analýza a příprava	49
5.1.1.2	Vypracování strategie integrace UAM	54
5.1.1.3	Plánování	56
5.1.2	Přeprava nákladu	76
5.1.2.1	Analýza a příprava	77
5.1.2.2	Vypracování strategie integrace UAM	79
5.1.2.3	Plánování	80
5.1.3	Integrace do jednoho celku	83

5.1.4	Navržení technických řešení pro implementaci UAM do městské infrastruktury	86
5.1.5	Zhodnocení přínosů a rizik implementace UAM do městské infrastruktury	91
6	Diskuse	94
7	Závěr	96
8	Použité zdroje	97
9	Seznam obrázků	103
10	Přílohy	105

1 Seznam použitých zkratek

AAM	Advanced Air Mobility	Pokročilá letecká mobilita
AGL	Above Ground Level	Nad zemí
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
EMS	Emergency Medical Services	Záchrané zdravotnické služby
EOW	Empty Operating Weight	Prázdná provozní hmotnost
eVTOL	electric Vertical Take-Off and Landing	Letadla s možností vertikálního vzletu a přistání
FAA	Federal Aviation Authority	Federální letecká správa
FATO	Final-Approach and Take-Off area	Plocha konečného přiblížení a vzletu
GIS	Geographical Information System	Geografický informační systém
IPR	Institute of Planning and Development	Institut plánování a rozvoje
MHD	Urban Mass Transit	Městská hromadná doprava
MTOM	Maximum Take-Off Mass	Maximální vzletová hmotnost
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národního úřadu pro letectví a vesmír
PID	Prague Integrated Transport	Pražská integrovaná doprava
PTS-VPT-DSN	Prototype Technical Specifications for the Design of Vertiports	Dokumentu technických specifikací prototypu konstrukce vertiportů
SUMP	Sustainable Urban Mobility Planning	Plán udržitelné městské mobility
TLOF	Take-Off and Lift-Off area	Přistávací a vzletová plocha
UAM	Urban Air Mobility	Městská letecká mobilita
UAS	Unmanned Aircraft System	Bezpilotní systém
ÚCL	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví

UIC2	Urban Air Mobility Initiative Cities Community	Iniciativa společenství měst pro UAM
UPS	United Parcel Service	Služba sjednocených balíků
UTM	Unmanned Traffic Management	Řízení bezpilotního provozu
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla vizuálního letu
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Vertikální vzlet a přistání

2 Úvod

Bezpilotní systémy zaznamenaly v průběhu posledních desetiletí obrovský technologický pokrok, jehož rostoucí trend stále přetrvává. Avšak v poslední době tento technologický boom mírně předbíhá svou dobu. Vzorným příkladem je využití UAS v rámci městské mobility. Doposud byly takzvané drony synonymem malého a efektivního pomocníka usnadňující práci například zemědělcům, záchranným složkám, kartografům či filmařům. Technologie UAS se však staly natolik dokonalými, že takový dron dnes bez problému unese zátěž o hmotnosti několika set kilogramů ať už v podobě nákladu či osob. Tyto UAS se svými vlastnostmi velice rychle blíží vlastnostem konvenční letecké dopravy, což vznáší otázky v podobě regulace a bezpečnosti jejich provozu, na které však vzhledem k jejich rychlému vývoji zatím neexistují odpovědi. Mimo potřeby pravidel zajišťujících bezpečnost provozu je třeba směřovat pozornost i směrem k omezením využitelnosti těchto UAS v oblasti UAM.

UAM je nově vznikající dopravní koncepce, která představuje nemalý potenciál v oblasti vývoje městské mobility. Cílem UAM je odlehčit přetíženým pozemním komunikacím, zkrátit dobu přepravy a zlepšit celkovou mobilitu v hustě osídlených oblastech. Mezi její hlavní výhody patří rychlost, efektivita, schopnost překonat dopravní vytížení pozemních komunikací, ekologičnost a v neposlední řadě nižší hluková zátěž v porovnání s konvenční leteckou dopravou. Provoz UAS v rámci UAM lze jeho povahou přirovnat k provozu vrtulníků, které pro potřeby vzletu a přistání v městském prostředí potřebují specifickou infrastrukturu. Taková infrastruktura pro UAM zatím ve městech chybí. Úspěšná integrace a naplnění výhod, které v sobě UAM ukrývá závisí především na vhodném nastavení infrastruktury pro jednotlivá města, která jsou často svou povahou velmi odlišná. Proto je důležité zaměřit se na analýzu urbanismu a stávající dopravní situace konkrétního města s cílem efektivní integrace. V kontextu UAM je důležité dbát také na vzdušný prostor, který UAS sdílí s ostatními druhy letecké dopravy.

Motivací pro vypracování této diplomové práce je rapidní pokrok v oblasti vývoje UAS, který představuje obrovský potenciál využití nejen v oblastech, které již dnes UAS využívají na denní bázi, ale především v oblastech, které byly doposud jen těžko představitelné. Jednou z těchto oblastí je městská mobilita, jejíž současný stav trápí nesčetné množství měst po celém světě včetně hlavního města České republiky, Prahy. Integrace UAM do měst jako je Praha však vyžaduje mimo jiné také robustní infrastrukturu v podobě vertiportů a letových tras, jejichž návrh zatím chybí.

Cílem práce je navrhnout začlenění konceptu UAM do systému městské dopravy z pohledu převozu nákladu i cestujících a zhodnotit vhodnost využití pro Českou republiku.

3 Základní charakteristika UAM

Využívání letecké dopravy k usnadnění pohybu osob a zboží v rámci městské zástavby a její těsné blízkosti v rámci aglomerací se označuje pojmem městská letecká mobilita (UAM – Urban Air Mobility). Tento nově vznikající koncept má obrovský potenciál směřující ke změně městských dopravních systémů tak jak je dnes známe, jelikož nabízí rychlejší a efektivnější způsob přepravy osob či zboží než konvenční pozemní doprava. Je však důležité na úvod zmínit, že koncept UAM není koncipován jako alternativa pozemní mobility, avšak je jakým si doplněním tohoto již velmi vytiženého druhu přepravy ve stále rychleji se rozvíjejících městských celcích. Před samotným řešením tohoto komplexního systému, který UAM představuje, je nejprve nezbytné definovat jeho základní charakteristiku.

3.1 Urban Air Mobility

Koncepce UAM představuje bezpečný, udržitelný, cenově dostupný a přístupný systém letecké dopravy pro pohyb cestujících, dodávky zboží a záchranné služby v rámci metropolitních oblastí. V zásadě využívá malá letadla bez pilota na palubě s elektrickým pohonem, která jsou určena pro přepravu na krátké vzdálenosti v městském prostředí. V leteckém průmyslu se tyto letadla označují jako elektricky poháněná letadla s možností vertikálního vzletu a přistání (eVTOL – electric Vertical Take-Off and Landing), která se vyznačují schopností vertikálního vzletu a přistání. Tato vlastnost je velice důležitá bavíme-li se o jejich nasazení v hustě zastavěných městských oblastech. Tato letadla jsou obvykle určena k přepravě omezeného počtu cestujících nebo nákladu, obvykle od jedné do šesti osob nebo několika set kilogramů nákladu [1].

Oblast UAM představuje mnohostrannou a rychle se rozvíjející oblast, která je silně závislá na sofistikovaných technologiích k zajištění optimální úrovně efektivity, bezpečnosti a spolehlivosti během provozu. Zásadní roli technologického rozvoje v této oblasti je vývoj komplexních systémů řízení letu, které usnadňují navigaci bezpilotních systémů (UAS – Unmanned Aircraft System) v hustě osídleném městském prostředí s vysokou přesností a spolehlivostí. Tyto systémy využívají komplexní senzory a algoritmy, které sledují polohu, výšku a rychlost letounu a v případě potřeby rychle provedou úpravy tak, aby se vyhnuly překážkám a udržely předdefinovanou trajektorii.

UAM je kromě systémů řízení letu závislá i na sofistikovaných proti kolizních systémech, které jsou využívány jako prevence v často velmi hustém vzdušném prostoru nad městskými oblastmi, obzvláště pak kolem velkých letišť, kterými rozlehlé městské celky často disponují. Tyto systémy využívají kombinaci radaru, lidarů a doplňkových senzorů za účelem

identifikace a monitorování okolního provozu, čímž nabízejí operátorům včasná varovná upozornění a navigační doporučení k prevenci hrozících kolizí. Význam těchto technologií podtrhuje potenciální nebezpečí spojené s leteckou navigací nad hustě osídlenými metropolitními oblastmi, které zahrnují nespočetné množství překážek a značné množství leteckého provozu [2].

Účinná integrace UAM do stávající dopravní infrastruktury vyžaduje vytvoření nové infrastruktury pro jejich provoz v rámci UAM jako je síť vertiportů, nabíjecí stanice, zařízení pro údržbu a parkování, IT infrastrukturu a komunikační, navigační a přehledové systémy. Strategické umístění těchto zařízení je nezbytné pro optimální provozní účinnost a neomezený přístup UAM na klíčová místa v městských částech. Dále je nezbytné zavést nové směrnice a pravidla pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti těchto vzdušných dopravních prostředků a zohlednit obavy týkající se hluku, dohledu nad letovým provozem a dalších nebezpečí spojených s UAM [1, 3].

3.1.1 Definice UAM

UAM představuje nově vznikající oblast letectví, která si získala značnou pozornost mnoha světových subjektů ať už jde o vědecké instituce, obchodní skupiny nebo regulační orgány. Tyto subjekty se zaměřují na rozvoj technologických, infrastrukturních a regulačních opatření s cílem usnadnit bezpečné a efektivní začlenění UAS do systému městské mobility. Jsou to především regulační orgány, které hrají největší roli ve formování celého systému díky nastavení pravidel pro bezpečnou a spolehlivou integraci. Z hlediska nastavení pravidel jakéhokoliv systému je nejprve nutné systém správně definovat. Vzhledem k tomu, že koncept UAM v souvislosti s provozem UAS je relativně nový, existuje mnoho definic, které na UAM nahlíží z mnoha pohledů.

Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví (EASA – European Union Aviation Safety Agency) definuje UAM takto: *"UAM je systém letecké dopravy osob a nákladu v městském prostředí a jeho okolí"*. Popisuje ho jako ekosystém, který plynule začleňuje leteckou dopravu do městských a regionálních dopravních systémů se zaměřením na bezpečnost, bezpečí a efektivitu. Definice EASA zdůrazňuje potřebu digitálních technologií a inovativních obchodních modelů, které optimalizují integraci s převažující dopravní infrastrukturou [3].

Iniciativa společenství měst pro UAM (UIC2 – Urban Air Mobility Initiative Cities Community) zdůrazňuje význam spolupráce a zapojení zúčastněných stran při rozvoji sféry UAM. UIC2 bylo založeno roku 2017 a je komunitou zaměřenou na města a regiony, které je jakýmsi zástupcem evropských měst a regionů v nově vznikajícím odvětví UAM. Jeho posláním je prosazovat udržitelný a odpovědný přechod městské mobility na vertikální (třetí) rozměr. Definuje UAM jako *"Letecký provoz ve velmi malých výškách nad obydlenými oblastmi, který"*

je udržitelně integrován se systémy pozemní mobility." Z definice vyplývá, že UIC2 klade požadavek na integrované a koordinované úsilí mezi městskými oblastmi, průmyslem a řídicími orgány. Zároveň požaduje, aby bylo zaručeno, že UAM bude vybudována způsobem, který optimalizuje její výhody a zároveň minimalizuje rizika s provozem spojená. Perspektiva UIC2 zdůrazňuje potenciál UAM při účinném řešení zásadních překážek mobility v metropolitních oblastech, zejména v mimořádných podmínkách. Zastánci UAM zdůrazňují význam spolupráce a zapojení zúčastněných stran s cílem vytvořit bezpečné, udržitelné a spravedlivé prostředí pro její rozvoj [4].

Význam UAM definuje Federální letecká správa (FAA – Federal Aviation Authority) takto: *"UAM představuje bezpečný a efektivní systém letecké dopravy, který bude využívat vysoce automatizovaná letadla, jež budou provozovat a přepravovat cestující nebo náklad v nižších výškách v městských a příměstských oblastech. UAM se bude skládat z ekosystému, který zohlední vývoj a bezpečnost letadel, stanovený rámec pro provoz, přístup do vzdušného prostoru, rozvoj infrastruktury a zapojení komunity."* Za účelem další podpory bezpečné asimilace UAM do systému vzdušného prostoru zřídil FAA iniciativu pro městskou leteckou mobilitu. Podle tvrzení FAA představuje UAM významný pokrok v letectví, který může přinést revoluci v přepravě osob a zboží v městských oblastech [5].

Program pokročilá letecká mobilita (AAM – Advanced Air Mobility) Národního úřadu pro letectví a vesmír (NASA – National Aeronautics and Space Administration) se v předchozích několika letech stal významným článkem v pokroku v oblasti UAM. Hlavním cílem programu je podporovat rozvoj technologií a systémů nezbytných pro zajištění bezpečné a efektivní asimilace UAS v leteckém prostoru. NASA klade značný důraz na podporu spolupráce mezi průmyslem, vládou a akademickou obcí s cílem zajistit bezpečný, udržitelný a spravedlivý rozvoj UAM. NASA definuje UAM takto: *"Naší vizí UAM je bezpečný, efektivní, pohodlný, cenově dostupný a přístupný systém letecké dopravy pro cestující a náklad, který přináší revoluci v mobilitě v metropolitních oblastech. Tato vize zahrnuje vše od dronů pro doručování malých zásilek až po letecké taxíky pro přepravu cestujících, které operují nad obydlenými oblastmi."* [6].

Souhrnně lze říci, že vymezení a názory jednotlivých hráčů v oblasti regulační sféry podtrhují schopnost UAM zvýšit městskou mobilitu a usnadnit vytváření dopravních systémů za účelem udržitelnosti a efektivity. Klíčovým rysem definice EASA je stručnost. Její definice nevyzdvihuje žádné hodnoty a neodvolává se na žádoucí budoucí stavy nebo žádoucí vlastnosti UAM. Definice FAA a NASA jsou naopak delší a podrobnější a zahrnují právě taková prohlášení o žádoucích vlastnostech UAM. Definice EASA, FAA a NASA mají společné to, že se zaměřují výhradně na přepravu nákladu a cestujících. Oproti tomu

definice UIC2 je sice stručná, ale odvrací se od definice zaměřené na přepravu cestujících nebo nákladu a zaměřuje se konkrétně na vzdušný prostor nad obydlenými oblastmi, kde se provoz UAM uskutečňuje a na rozsah tohoto provozu v kontextu integrované a udržitelné mobility [7].

3.1.2 Historický vývoj UAM

Přestože je UAM relativně novým pojmem, myšlenka letecké dopravy ve městě rozhodně není novým konceptem. Koncepce využití malých vzdušných plavidel pro přepravu cestujících a zboží v městských oblastech je řešena již několik desetiletí během nichž prošla velmi podrobným výzkumem.

Aerocar, se kterým přišel americký letecký inženýr Moulton B. Taylor, je průkopnickým příkladem UAM. Toto vozidlo je hybridem slučující silniční a leteckou dopravu, neboť slouží jako automobil i malé letadlo, jak můžeme vidět na Obrázku 1 a umožňuje jednotlivcům efektivní pohyb mezi městskými oblastmi i mimo ně. Vznik Aerocarů se datuje do raných fází vývoje UAM ve 40. letech minulého století. Aerocar disponoval schopností fungovat jako běžné silniční vozidlo a zároveň poskytoval možnost přestavby na malé letadlo uzpůsobené pro krátké lety. Aerocar ukázal navzdory neúspěchu na trhu značný potenciál hybridního vozidla schopného spojit výhody pozemní a letecké dopravy [1].



Obrázek 1 - Aerocar Model I, 1949 [8]

V 60. a 70. letech 20. století se řada společností začala vážněji zabývat potenciálem UAM. Například v USA byl zkonstruován vojenský letoun s překlopnými rotory XV-15, který

umožňoval vertikální vzlet a přistání (VLOT – Vertical Take-Off and Landing) spolu se schopností plynule přecházet do dopředného letu podobně jako konvenční letadlo, jak můžeme vidět na Obrázku 2. Letoun XV-15 byl využit především k účelům komplexního průzkumu schopností letadel VTOL pro použití ve vojenských operacích i v civilním sektoru. Úspěšná realizace letounu XV-15 nakonec posloužila jako průkopnický předchůdce následného revolučního pokroku v oblasti VTOL a vzniku současných letadel s překlápnými rotory, včetně vysoce oceňovaného modelu Bell Boeing V-22 Osprey [9].



Obrázek 2 - XV-15 během vzletu překlápá rotory z vertikální polohy do polohy horizontální [9]

V průběhu 80. a 90. let 20. století se vývoj odklonil směrem k menším, jednomístným letadlům, záměrně vytvořených pro usnadnění individuální přepravy. Letadla, jako například Moller Skycar nebo Volantor kanadského leteckého inženýra Paula Mollera, byla vyvinuta s cílem nabídnout nový způsob dopravy, který by umožnil obejít složité dopravní situace a zároveň poskytl uživatelům větší samostatnost a všestrannost. Letadla třídy Volantor připomínala svým designem dnešní multikoptéry, což je patrné z Obrázku 3 v případě modelu Nuera 200. Nicméně tyto dopravní prostředky nebyly schopny dosáhnout komerčního triumpfu, především kvůli řadě technologických a regulačních překážek [1].



Obrázek 3 - Nuera 200 třídy Volantor [10]

Obrovský rozvoj UAS v posledních desetiletí oživil zájem o možnosti využití UAM. Řada subjektů, včetně společností Volocopter, Lilium nebo Airbus, v současné době investuje značné finanční prostředky do rozvoje UAM s cílem navrhnout inovativní druh městské dopravy, který by překonal konvenční metody z hlediska rychlosti, účinnosti a udržitelnosti. Další rozvoj a zdokonalování technologie předznamenává perspektivní epochu městské letecké mobility, která může nově definovat dopravu v rámci města i mezi městy [3].

3.1.3 Základní principy UAM

Prvním základním principem UAM je schopnost VTOL. Oproti konvenčním letadlům musí být letadlo určené k provozu UAM navrženo tak, aby umožňovalo vzlet a přistání ve svislé poloze, bez potřeby vzletové a přistávací dráhy. To umožňuje letadlům se schopností VTOL fungovat v hustě obydlených městských oblastech, kde je prostor pro vzlet a přistání značně limitován. Inovace VTOL umožňuje letadlům vzlétat a přistávat z ploch jež jsou již v rámci městské zástavby využívány k jiným účelům jako jsou například střechy domů a výškových budov nebo parkoviště. To otevírá nové možnosti pro dopravu v městských oblastech a umožňuje cestujícím cestovat přímo do své destinace. Technologie VTOL je klíčovým faktorem pro UAM, jelikož umožňuje větší flexibilitu a dostupnost v rámci městské dopravy. Vývoj bezpečných a spolehlivých letadel VTOL je však složitou technologickou výzvou, kdy stále existuje mnoho technologických a regulačních překážek, které je nejprve potřeba překonat.

Druhým základním principem UAM jsou elektricky poháněná letadla tedy eVTOL. Na rozdíl od konvenčních letadel, která využívají fosilní paliva, jsou eVTOL konstruována tak, aby byla

schopna využívat ke svému pohonu výhradně elektrickou energii. Elektrický pohon nabízí oproti tradičním motorům několik výhod, včetně nižší hlučnosti, téměř nulovou produkcí emisí, nižší provozní náklady a vyšší spolehlivost. Elektrický pohon také umožňuje nové konstrukční možnosti. Elektromotory jsou kompaktnější a lehčí než konvenční spalovací motory, což umožňuje menší a efektivnější konstrukce letadel. Elektromotory mohou být navíc rozmístěny po celém letadle, což zajišťuje redundanci a vyšší bezpečnost v případě poruchy. Elektrický pohon a jeho aplikace na letadla využívaná v UAM však také přináší nemalé výzvy. Energetická hustota baterií, tedy množství energie uvolněné na jednotku hmotnosti, je stále mnohem nižší, než je tomu u konvenčních fosilních paliv, což limituje dolet a nosnost UAS. Mimo tyto nedostatky také chybí dostatečná infrastruktura elektrické rozvodné sítě pro odběr velkého množství energie, které bude zapotřebí k nabíjení baterií. Navzdory těmto problémům však pozitivní přínos elektrického pohonu pro UAM značně převyšuje jeho negativa. Především z tohoto důvodu je vkládáno mnoho úsilí do vývoje nových baterií a nabíjecích technologií, které by překonaly omezení současných systémů [3].

Koncept autonomního provozu je dalším ze základních principů UAM. Dnešní UAS jsou konstruovány jako plně autonomní, což znamená, že k jejich provozu není za potřebí zásah člověka. Toto je možné díky nejmodernějším technologiím a pokroku především v oblasti umělé inteligence a sensorových technologií, což umožňuje UAS vyhodnocovat data ze senzorů v reálném čase a řídit tak trajektorii nezávisle na lidském činiteli. Jednou z hlavních výhod autonomního provozu je eliminace lidského faktoru, což z pravidla vede k vyšší bezpečnosti. Lidský faktor hraje obecně v letectví velkou roli v otázce bezpečnosti vzhledem k tomu, že lidský činitel má na svědomí až 80 % všech leteckých nehod. Autonomie je jedním ze způsobů, jak se lze vyhnout běžným chybám pilotů, jako je špatný odhad výšky nebo vzlétnutí do nebezpečných povětrnostních podmínek. Mimo to mají autonomní systémy kratší reakční dobu, což snižuje riziko srážek a jiných nehod. Jak již u nových technologií bývá zvykem i s autonomním provozem jsou spojena i jistá negativa. Jednou z hlavních výzev je vývoj spolehlivých a robustních autonomních systémů, které lze bezpečně aplikovat ve složitém a dynamickém městském prostředí [31].

Posledním klíčovým principem pro úspěšnou aplikaci UAM do městských celků je integrace UAM do stávajících dopravních systémů. Jedním z klíčových úkolů je rozvoj nové infrastruktury pro podporu provozu UAM. Toto zahrnuje především výstavbu vertiportů, které budou muset být strategicky rozmístěny v městských částech tak, aby byl zajištěn hladký přechod mezi pozemní a vzdušnou mobilitou. Dalším aspektem rozvoje infrastruktury je zřízení dobíjecích stanic pro UAS. Téměř s jistotou lze říci, že UAS v rámci UAM budou jako primární zdroj energie využívat baterie především z důvodů definovaných v této kapitole. Proto bude nezbytné, vynaložit patřičné prostředky ke zřízení rozsáhlé nabíjecí

infrastruktury, která by optimalizovala efektivitu UAM. Kromě rozvoje infrastruktury bude integrace UAM vyžadovat také vytvoření nových předpisů a norem. To bude zahrnovat koordinaci nejen vládních agentur ale také všech zúčastněných stran jako například energetických společností a dopravních orgánů. Úspěšná integrace UAM do stávajících dopravních systémů bude celkově vyžadovat spolupráci a koordinaci všech zúčastněných stran [3].

3.2 Současné využití UAM

UAM je rychle se rozvíjející obor, jehož cílem je inovace dopravy v městských oblastech prostřednictvím efektivního, bezpečného a udržitelného způsobu dopravy s využitím eVTOL. Mezi potenciální přínosy UAM patří snížení dopravních kongesce, zlepšení konektivity a snížení emisí. Vývoj UAM je poháněn technologickým pokrokem, včetně pokroku v oblasti pohonných systémů a baterií, jakožto i nových materiálů a výrobních technik. V této souvislosti je důležité porozumět současnému stavu vývoje UAM ve světě a tomu, jak k tomuto tématu přistupují světoví lídři v tomto oboru.

Vývoj UAM je složitý proces, který vyžaduje značné investice do výzkumu, vývoje a testování. Nesčetné množství projektů je stále v počátečním stádiu vývoje stejně tak jako technologie potřebné k úspěšné aplikaci UAM. Jednou z vedoucích organizací v oblasti vývoje UAM je EASA, která aktivně pracuje na předpisech a bezpečnostních normách pro UAS navržených k provozu UAM. Na výzkumu se podílí také mnoho dalších zemí po celém světě. K jednomu z největších hráčů v této oblasti patří bezpochyby i USA, kde organizace jako FAA nebo NASA přispívají k výzkumu UAM v nemalém měřítku [7].

3.2.1 Současné řešení UAM ve světě

Jednou z nejvýznamnějších společností v oblasti vývoje UAS je společnost Volocopter. Tato německá společnost vyvíjí řadu elektrických multikoptér pro přepravu osob i nákladu. Společnost Volocopter provedla řadu úspěšných testovacích letů ve městech po celém světě, včetně Dubaje, Singapur a Helsinek. V Evropě vyvíjí mimo Volocopter vlastní eVTOL společnost Airbus s názvem CityAirbus. Také celosvětově uznávaná společnost Boeing provedl úspěšné zkušební lety svého prototypu. Nyní pracuje na získání certifikace pro komerční využití. Ve Spojeném království vyvíjí společnost Vertical Aerospace eVTOL pro přepravu osob, která rovněž provedla úspěšné zkušební lety svého prototypu. Ve Spojených státech vyvíjí řešení UAM několik společností, například Joby Aviation a Beta Technologies. Společnost Joby Aviation nedávno oznámila partnerství s Toyotou na vývoji a komercializaci svého eVTOL. Společnost Beta Technologies vyvíjí letadlo eVTOL pro přepravu nákladu. Ta

například získala i finanční prostředky od několika velkých společností, včetně Amazonu a United Parcel Service (UPS) [3, 7].

Přestože jsou tato řešení UAM stále ve fázi vývoje a testování, představují významný krok vpřed ve vývoji udržitelné a efektivní městské dopravy. Vzhledem k tomu, že se odvětví UAM dále rozvíjí a roste, lze očekávat celosvětový nárůst společností zakládajících vlastní projekty, z nichž každý bude mít svůj vlastní jedinečný přístup k UAM.

Z hlediska vývoje bezpečnostních předpisů a norem pro bezpečnou a udržitelnou aplikaci UAM stojí v čele EASA. V roce 2019 agentura EASA zveřejnila "Zvláštní podmínky pro letadla VTOL malé kategorie", které poskytují regulační rámec pro certifikaci malých letadel VTOL s maximálním počtem devíti cestujících. Tento předpis zahrnuje všechny aspekty konstrukce a provozu letadla, včetně požadavků na bezpečnost, hluk a emise [3, 14].

3.2.2 Výhody a nevýhody UAM

UAM v sobě skrývá obrovský potenciál co se týče přínosu v oblasti městské mobility a nese s sebou řadu výhod ve srovnání s konvenčními způsoby dopravy. Jedním z jeho nejvýznamnějších přínosů je bezpochyby její schopnost účinně zkrátit dobu cestování, zejména v těch městských oblastech, které se potýkají se zvýšenou mírou dopravních kongescí. UAS pro UAM jsou speciálně navrženy pro provoz ve vzdušném prostoru v nízkých výškách, což jim umožňuje obejít jakoukoliv dopravní situaci na zemi a zajistit tak kratší a zároveň rychlejší spojení mezi dvěma body. UAM přináší další pozitivum z hlediska zlepšení dostupnosti míst, která mohou být hůře dosažitelná běžnými dopravními prostředky. V tomto případě se jedná například o oblasti, jejichž dopravní infrastruktura neodpovídá poptávce dané lokality nebo v dané lokalitě není dostatečně vybudovaná nebo hustě zastavěné urbanizované zóny, které mohou disponovat značným dopravním přetížením. Díky této nové formě dopravy bude možné problémy z hlediska dostupnosti obejít. Také jako ekologicky udržitelná dopravní alternativa má UAM významný potenciál ve srovnání s konvenčními dopravními prostředky, zejména díky technologii pohonných jednotek využívající elektřinu jako primární zdroj energie. Zavedení opatření zaměřených na zmírnění emisí uhlíku spojených s městskou dopravou má potenciál zlepšit kvalitu ovzduší a omezit vliv dopravy na fenomén změny klimatu [7].

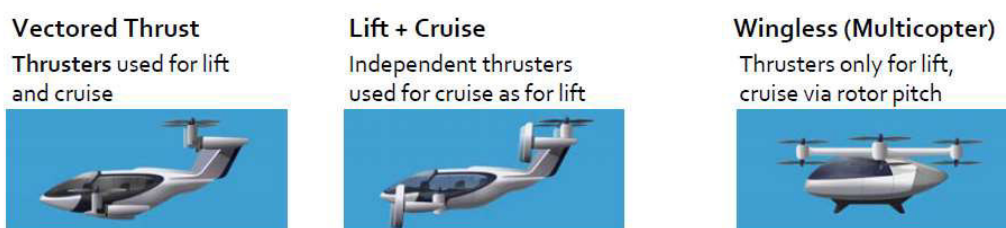
Navzdory velkým výhodám čelí UAM i několik zásadním nevýhodám, které brzdí průběh vývoje a následnou implementaci. Jednou z takových nevýhod jsou vysoké náklady na rozvoj a úspěšné zavedení UAM. To zahrnuje například samotný vývoj nových technologií a jejich výrobu, testování, certifikaci a realizaci základních návrhů infrastruktury, jako jsou vertiporty, nabíjecí stanice nebo řídicí centra. Další zásadní překážkou UAM je hluková zátěž, zejména v hustě obydlených městských oblastech. Využitím elektrických pohonných

systemů lze významně snížit úroveň hluku v porovnání například s vrtulníky nebo dopravními letouny nikoliv však na úroveň srovnatelnou s dnešní pozemní dopravou. Problém s nadměrným hlukem může nastat především během vzletu a přistání v těsné blízkosti budov ať už obytných či administrativních. Nejvýznamnější roli pro rozvoj UAM však hraje otázka regulace. Stávající regulační rámec pro letectví zatím není navržen tak, aby vyhovoval jedinečným vlastnostem UAS, která jsou menší a létají v menších výškách než konvenční letadla. To znamená, že k zajištění bezpečného a efektivního provozu letadel UAM je potřeba vypracovat nové předpisy a normy.

3.3 Technologie a druhy bezpilotních systémů využívaných UAM

Otázka v podobě UAM vede k výraznému nárůstu v oblasti vývoje UAS a jejich potenciálního využití. UAS, známé také jako drony, jsou dálkově řízená nebo autonomní letadla, která jsou schopna letu bez účasti pilota na palubě letadla. UAS jsou jedním z pilířů systémů UAM díky své efektivitě a nízkým provozním nákladům. Technologie UAS v posledních letech výrazně pokročila především v oblasti softwaru, hardwaru a také z hlediska používaných materiálů, které jsou speciálně vyvíjeny tak, aby byly pro tyto účely co nejlehčí a co nejpevnější.

V současné době jsou nejrozšířenější 2 typy UAS. Jedná se o multikoptéry a drony s pevnými křídly. Multikoptéry jsou jednoznačně nejrozšířenějším typem UAS díky jejich jednoduchosti, stabilitě a ovladatelnosti. Drony s pevnými křídly jsou oproti tomu efektivnější, což jim umožňuje let na delší vzdálenosti. Ty dále můžeme rozdělit na UAS s překlopnými rotory a UAS s pohonem zvlášť ke vzletu a přistání a zvlášť k dopřednému letu. Na Obrázku 4 je názorná ukázka rozdělení UAS dle jednotlivého typu dle rozdělení EASA.



Obrázek 4 - Typy UAS [3]

Jednotlivé typy UAS mají každé své výhody a nevýhody. Co však mají společné je, že jsou vybaveny nejmodernější technologií, která jim umožňuje bezpečně fungovat i hustě zastavěných městských oblastech, jako jsou senzory, komunikační systémy a pokročilý software, který informace ze senzorů zpracovává a vyhodnocuje. Senzory jsou kritickou součástí UAS, obzvláště pak v provozu v zastavěných oblastech, kde je nutné dávat větší zřetel na okolí. Komunikační systémy umožňují UAS přijímat a vysílat informace okolnímu vzdušnému provozu a na pozemní řídicí stanice. Software představuje mozek celého

systému a stará se o řízení dráhy letu dronu na základě vyhodnocení dat ze senzorů. UAS jsou nedílnou součástí systémů UAM. Představují účinné a nákladově efektivní řešení pro širokou škálu využití.

3.3.1 eVTOL s pevnými křídly

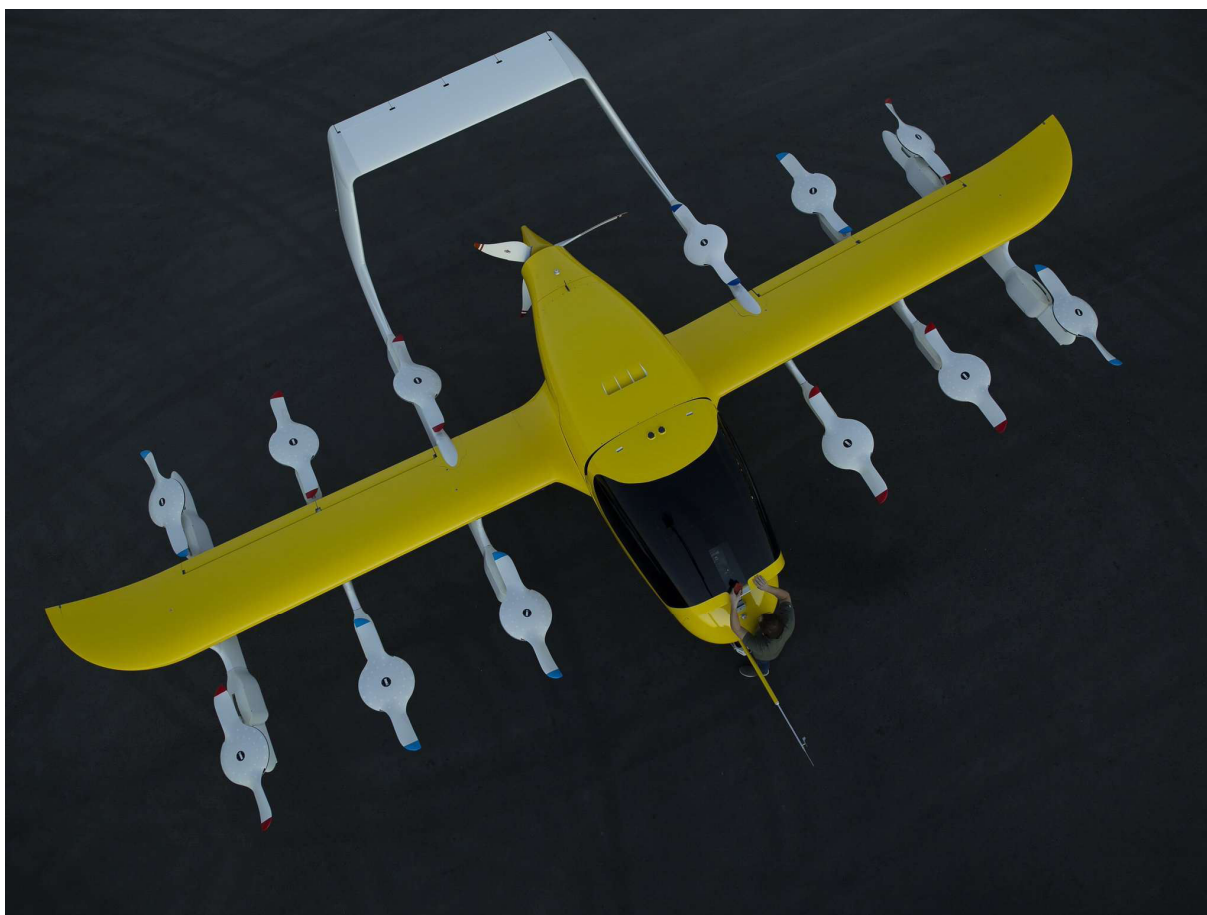
Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, na rozdíl od konvenčních letadel s pevnými křídly jsou eVTOL navrženy tak, aby byly schopny vzletát a přistávat vertikálně, což eliminuje potřebu vzletových a přistávacích drah a umožňuje flexibilnější provoz v městském prostředí. Místo to jsou eVTOL poháněny elektromotory, což může ve srovnání s konvenčními letadly snížit hlučnost a emise skleníkových plynů. Tyto eVTOL můžeme rozdělit do dvou kategorií.

První kategorií je eVTOL s překlopnými rotory. Stejně pohonné jednotky zajišťují vztlak během vzletu a přistání a zároveň tah ve fázi letu díky jejich schopnosti otáčení. Během cestovní fáze vytvářejí vztlak křídla. Toto uspořádání je vhodné pro lety na delší vzdálenosti, díky své účinnosti, jelikož vztlak vytvářejí po většinu času křídla, což snižuje potřebu vyššího výkonu pohonných jednotek. Konstrukčně je však tento typ letadla složitější. Na Obrázku 4 můžeme tento typ eVTOL vidět na pozici vlevo. Typickým příkladem eVTOL s pevnými křídly koncipovaných pro využití v UAM je letoun Lilium Jet. Jak je vidět na Obrázku 5 toto letadlo je vybaveno 36 elektrickými pohonnými jednotkami, které umožňují jak vertikální vzlet a přistání tak i horizontální let. Má kapacitu až pět cestujících a dle výrobce má tento UAS dolet až 250 km s maximální rychlostí 250 km/h [11].



Obrázek 5 - Lilium Jet společnosti Lilium [11]

Druhou kategorií jsou eVTOL, které využívají různé pohonné jednotky pro vzlet a přistání a pro samotný let. Křídla vytvářejí potřebný vztlak během cestovní fáze stejně jako u předchozího typu. Tento typ UAS je vhodný pro lety na kratší vzdálenosti než UAS s překlopnými pohonnými jednotkami, ale na delší vzdálenosti než multikoptéry. Je potenciálně jednodušší tento typ UAS certifikovat než UAS s překlopnými pohonnými jednotkami, protože pohonné systémy jsou oddělené. Příkladem tohoto typu eVTOL může být Cora vyvinutý společností Wisk Aero, která vznikla vzájemnou spoluprací společností Boeing a Kitty Hawk. Cora má být schopný doletět na vzdálenost až 100 km s maximální rychlostí 180 km/h. Letoun je navržen jako plně autonomní, což znamená, že je schopný letu bez zásahu pilota, a je vybaven bezpečnostními prvky, jako je padákový systém a redundantní systémy zajišťující bezpečnost. Kapacita činí dva cestující. Na Obrázku 6 můžeme vidět vrtuli umístěnou v zadní části letounu, která zajišťuje dopředný let [12].



Obrázek 6 – Wisk Aero Cora páté generace [12]

Jednou z výhod letounů eVTOL s pevnými křídly je jejich rychlost a efektivita v městském prostředí. Díky elektromotorům jsou navíc tišší a ekologičtější než konvenční letadla, což může přispět ke snížení hlukosti a emisí skleníkových plynů v městských oblastech.

UAS s pevnými křídly však také čelí několika výzvám. Jedním z hlavních problémů je jejich omezený dolet a nosnost ve srovnání s tradičními letadly s pevnými křídly. To může omezovat jejich využitelnost pro cestování na delší vzdálenosti nebo pro přepravu větších skupin cestujících či nákladu. Bavíme-li se pouze o využití v oblasti UAM v rámci jedné aglomerace bude jejich potenciál využití naplněn spíše ve větších městech, kde bude naplno využita efektivita vzdálenějšího letu [3].

3.3.2 Multikoptéry

Tato letadla se vyznačují tím, že mají více rotorů uspořádaných symetricky kolem středové osy letadla. Počet rotorů může být různý, přičemž běžně používané konfigurace jsou kvadrokoptéry (čtyři rotory) a oktokoptéry (osm rotorů). V tomto případě jsou pohonné jednotky pevně umístěny a jsou jediným zdrojem vztlaku ve všech fázích letu. Tento typ UAS má zpravidla nejkratší dolet a je celkově nejjednodušší koncepcí díky absenci jakýchkoliv pohyblivých částí. Zástupcem tohoto typu UAS je například Volocity německé společnosti Volocopter. Volocopter má celkem 18 rotorů uspořádaných do kruhu, jak je vidět z Obrázku 7, přičemž každý rotor je poháněn vlastním elektromotorem. Pohonné jednotky jsou umístěny ve dvou kruzích, přičemž v každém kruhu je devět rotorů. Tato konstrukce zajišťuje redundanci a zvyšuje bezpečnost tím, že umožňuje let i v případě poruchy jednoho nebo více rotorů. Letoun má maximální rychlost 110 km/h a dolet až 35 km. Kapacita činí dva cestující [12].



Obrázek 7 – Volocity německé společnosti Volocopter [13]

Jednou z hlavních výhod multikoptér v UAM je jejich vynikající stabilita a schopnost vznášet se, což jim umožňuje zůstat delší dobu nehybně ve vzduchu. Další výhodou multikoptér je

jejich manévrovatelnost, která jim umožňuje snadno se pohybovat kolem překážek a létat v omezených prostorech. Jsou také jednodušší na údržbu a jsou celkově bezpečnější než jiné typy UAS díky již zmíněné redundanci.

Navzdory svým výhodám mají multikoptéry také některé nevýhody, které je třeba vzít v úvahu. Jednou z hlavních nevýhod je jejich omezený dolet, což je způsobeno energetickými nároky více rotorů a faktem, že rotory jsou jediným zdrojem vztlaku. To je činí nevhodnými pro operace na dlouhé vzdálenosti, což omezuje jejich využití pouze na krátké vzdálenosti. V neposlední řadě je jejich nosnost ve srovnání s jinými typy UAS omezená, což může omezovat jejich schopnost přepravovat větším množství cestujících, či větší nebo těžší náklad [3].

3.4 Doprava osob v rámci města pomocí UAM

Ve světle narůstající urbanizace a s ní spojené dopravní kongesce se stává městská mobilita žhavým tématem. UAM nabízí inovativní a ekologičtější přístup k dopravě v metropolitních oblastech. Klíčovou charakteristikou UAM je využití UAS k přepravě osob či zboží. V kontrastu s tradičními dopravními prostředky, jako jsou osobní auta či autobusy, je UAM vnímána jako perspektivní alternativa, jenž by mohla zásadně transformovat naši představu o městském cestování.

3.4.1 Analýza dopravních problémů ve městě a využití UAM k jejich řešení

V nesčetném množství výzev, s nimiž se potýkají narůstající metropolitní oblasti, je dopravní kongesce stále větším problémem, ovlivňujícím každodenní život obyvatel měst. Je běžnou praxí, že hlavní komunikace ve městech jsou zatíženy dopravními kongescemi, což může mít vážné důsledky jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska kvality života obyvatel. Tato problematika vyžaduje inovativní dopravní strategie.

Při zkoumání možné role UAM ve výzvách městského dopravního systému je důležité zkoumat hlavní příčiny dopravních kongescí. Vysoký počet vozidel na komunikacích je jedním z hlavních viníků. UAM nabízí alternativní řešení, které by mohlo snížit závislost na pozemních vozidlech. Dalším zadrhelem je omezená a často zastaralá silniční infrastruktura. Přestavby či rozšiřování silnic mohou být finančně i logisticky náročné. UAM přináší řešení, které vyžaduje minimální pozemní infrastrukturu, což je efektivnější z hlediska nákladů a realizace.

3.4.2 Potenciál UAM pro rychlou a efektivní dopravu osob v městském prostředí

Využití UAM nabízí inovativní řešení současných dopravních výzev ve městech. Představuje obrovský potenciál ke zklidnění dopravního ruchu na přetížených komunikacích. V dnešní

době, kdy se metropolitní oblasti potýkají s narůstajícími dopravními problémy v důsledku rostoucí hustoty obyvatel a narůstajícího počtu vozidel, přichází UAM s inovativním přístupem, který se zaměřuje na vertikální využití městského prostoru. Integrací tohoto modelu lze výrazně redukovat počet aut na silnicích, což by znamenalo pokles emisí a celkové zlepšení kvality městského ovzduší. Vedle řešení problému s dopravními kongescemi nabízí UAM také výhody v rychlosti a efektivitě dopravy. Schopnost UAS překonávat pozemní dopravní překážky může znamenat pro cestující významnou úsporu času a zefektivnění jejich cestování. UAM může být odpovědí na řadu dopravních dilemat dnešních rychle se rozvíjejících měst. Mohla by snížit dopravní přetížení, zefektivnit využití infrastruktury a poskytnout lepší přístup i do méně dostupných oblastí. Ačkoli má UAM potenciál změnit způsob, jakým vnímáme městskou mobilitu, je nezbytné pečlivě posoudit všechny aspekty od technické infrastruktury až po regulační otázky.

3.4.3 Překážky a výzvy využití UAM pro dopravu osob v městském prostředí

UAM se jeví jako ambiciózní krok směrem k transformaci urbánního dopravního systému z hlediska přepravy osob. Avšak, tento sektor se setkává s nemalými výzvami včetně bezpečnostních obav vyplývajících z potenciálního rizika kolizí, hlukových dopadů v důsledku rotací vrtulí a nutnosti vytvářet specifickou infrastrukturu, jako jsou vertiporty, v již přeplněném městském prostředí. Klíčové je také řešení narůstajícího provozu, navigace v komplexním legislativním rámci a budování důvěry mezi občany, zejména s ohledem na soukromí. Také je třeba řešit otázky týkající se ekologických důsledků, technického vývoje v oblasti baterií a autonomie UAS a také s potenciálními kybernetickými hrozbami [3].

3.5 Doprava zboží pomocí UAM

V kontextu moderních logistických trendů se přeprava nákladu pomocí UAM jeví jako inovativní segment, který integruje UAS a špičkové technologie pro optimalizovanou distribuci zboží v urbánním sektoru. Tato rozvíjející se disciplína nabízí perspektivní možnosti pro radikální transformaci řízení dodavatelských řetězců a logistických procedur.

3.5.1 Analýza stávajících logistických řešení ve městě a využití UAM k jejich optimalizaci

Distribuce zboží představuje klíčový pilíř prosperity městských oblastí. Ovšem s tímto pozitivem je nutno reflektovat i dopady, které městské prostředí zatěžují. V kontextu urbanismu jsou častokrát zmiňovány negativní aspekty spojené s emisemi, dopravními kongescemi, hlukovou kontaminací či rizikem dopravních incidentů, přičemž jsou tyto problémy často připisovány městské nákladní dopravě. Tato problematika rezonuje v sociálních, ekonomických a environmentálních dimenzích městského života. Také emise,

konkrétně skleníkové plyny, nejenže degradují kvalitu života obyvatel měst skrze zdravotní komplikace, ale také mají signifikantní dopad na globální klimatické změny. Dále, ekonomické následky spojené s dopravními kongescemi ovlivňují jak individuální obyvatele, tak i podnikatelské subjekty, což zdůrazňuje komplexitu městských transportních sítí. Tato infrastrukturní síť čelí výzvě spoluexistence různorodých dopravních prostředků a účastníků provozu na omezeném prostoru, což přirozeně zvyšuje potenciální rizika. Z tohoto důvodu je evidentní, že městský nákladní transportní systém není optimálně efektivní. Z tohoto pohledu je nutností pro městský rozvoj usilovat o jeho optimalizaci, a to ve prospěch jak města samotného, tak i jeho obyvatel a podnikatelské sféry [15].

3.5.2 Potenciál UAM pro efektivní dopravu zboží v městském prostředí

V rámci výzkumu městské mobilní infrastruktury je nezbytné zdůraznit rostoucí důležitost UAM. Tato technologie nabízí inovativní přístupy nejen k transportu osob, ale především otevírá nové horizonty pro městskou logistiku díky své schopnosti značně optimalizovat rychlost a efektivitu distribuce. UAM adresuje tzv. problematiku "poslední míle", poskytuje efektivní distribuci zboží koncovým uživatelům a simultánně redukuje dopravní kongesci a emisní zátěž urbanistických zón. S ohledem na environmentální aspekty, UAM podporuje ekologickou udržitelnost skrze snížení emisní produkce a nabízí adaptivní služby s předvídatelnými dodacími intervaly. Jeho univerzálnost umožňuje adaptaci na různé formáty a kategorie nákladu, což zdůrazňuje jeho využitelnost v celém logistickém kontextu. Zároveň UAM podněcuje optimalizaci provozu v městských distribučních centrech, což má za následek sníženou potřebu konvenčních nákladních dopravních prostředků v urbánních oblastech. Když vezmeme v úvahu výše uvedené atributy, UAM se jeví jako slibný kandidát k transformaci městského logistického sektoru [16].

3.5.3 Překážky a výzvy využití UAM pro dopravu zboží v městském prostředí

Přestože by se mohlo zdát, že využití UAM k přepravě zboží v městských oblastech je méně riskantní než přeprava osob, skutečnost je složitější. I když absence cestujících na palubě snižuje riziko újmy na lidských životech přímo na palubě UAS, je tu stále potenciální nebezpečí pro obyvatele a městskou zástavbu na zemi. V případě poruchy nebo nehody může dojít k uvolnění nákladu z UAS, kdy takový náklad může způsobit škody či zranění na zemi. Přepravovaný náklad může zahrnovat širokou škálu zboží, od křehkých položek až po těžké či nebezpečné materiály, což může mít v případě nehody různé důsledky. Navíc, optimalizace logistických řešení a infrastruktury je klíčová. Ve městech, kde jsou již stávající logistická centra optimalizována pro pozemní přepravu, může být integrace UAM do systému komplikovaná. Konsolidační centra, která jsou navržena tak, aby vyhovovala tradičním dodávkám nákladními vozidly, nejsou nutně připravena na přijímání zboží prostřednictvím

UAM. I když UAM může nabízet inovativní řešení pro přepravu zboží v městských oblastech, je třeba pečlivě zvážit různé aspekty a potenciální výzvy, aby bylo zajištěno, že jsou v provozu bezpečné a efektivní.

3.6 Limitace současného stavu

Vývoj UAS v posledním desetiletí rychle pokročil, došlo k výraznému technologickému pokroku a zvýšil se zájem o jejich využití. Jednou z nejslibnějších oblastí využití UAS je UAM. V oblasti městské mobility si UAM slibuje zrevolucionizovat způsob přepravy osob a zboží v městských oblastech. Navzdory potenciálním přínosům UAM existuje v současné situaci několik omezení, která je třeba řešit předtím, než bude UAM schopné naplnit svá očekávání.

Před zavedením UAM musí města vytvořit síť vertiportů, dobíjecích stanic, řídicích center a zařízení pro údržbu a parkování. Tato místa musí být strategicky rozmístěna v dané oblasti k zajištění efektivní a účinné implementace UAM. Vybudování takové infrastruktury však vyžaduje značné investice a plánování. V současné době existuje pouze několik málo míst pro testování UAS pro potřeby UAM, která se často nacházejí mimo městské oblasti. Tento nedostatek infrastruktury omezuje rozsah provozu UAM a brání jejich začlenění do stávajících dopravních systémů. Kromě toho rozvoj infrastruktury pro UAM vyžaduje důkladné zvážení bezpečnostních a environmentálních otázek.

Nedostatek regulačního rámce je také významným problémem limitujícím širší implementaci UAM. Přestože existují předpisy pro provoz UAS, tyto předpisy nezohledňují složitost provozu UAM v městském vzdušném prostoru. UAM zahrnují přepravu osob a zboží v hustě obydlených oblastech kde je bezpečnost nejvyšší prioritou. Regulační rámec pro UAM proto musí být dostatečně robustní, aby zajistil přijatelnou úroveň bezpečnosti a zároveň podporoval inovace a růst v tomto odvětví. Absence jasného regulačního rámce může vést ke zmatku a nejistotě u provozovatelů UAM, výrobců a potenciálních investorů. Bez jasných pokynů je pro společnosti obtížné investovat do technologií a infrastruktury UAM, což omezuje potenciál růstu v tomto odvětví. Chybějící regulační rámec může navíc bránit vývoji bezpečnostních norem a certifikací pro UAS a provoz UAM. Některé státy se však usilovně začaly zabývat regulačními problémy UAM. Například FAA zřídil pilotní program integrace bezpilotních leteckých systémů, který má usnadnit spolupráci mezi vládou a soukromým sektorem při vytváření předpisů pro UAS a zkoumání využití UAS v různých odvětvích. Evropská unie rovněž vytvořila regulační rámec pro UAS, včetně předpisů EASA, které poskytují harmonizovaný soubor bezpečnostních pravidel pro provoz UAS v celé Evropě. Regulační prostředí pro UAM je však stále v samotném počátku. Vytvoření regulačního rámce, který by vyvažoval bezpečnost s potřebami odvětví UAM si žádá čas a značné úsilí.

Je však nezbytnou složkou pro zajištění bezpečné a účinné integrace UAM do městského prostředí. Dalším důležitým problémem při zavádění UAM je bezpečnost. Stejně jako s každým novým druhem dopravy jsou i s UAM spojena určitá rizika. Zajištění bezpečnosti cestujících, provozovatelů a osob na zemi je nanejvýš důležité. Vývoj spolehlivé a bezpečné technologie UAM a zavedení přísných bezpečnostních norem a předpisů budou mít zásadní význam pro zajištění bezpečnosti provozu UAM.

Ekonomické a sociální faktory představují také významnou výzvu pro přijetí UAM širší veřejností. Systémy UAM sice mají potenciál změnit dopravu v městských oblastech tak jak ji známe, ale náklady na vývoj a implementaci těchto systémů jsou jednou z hlavních překážek. Vysoké náklady na infrastrukturu UAM, vývoj UAS a zařízení pro jejich údržbu budou vyžadovat značné investice jak z veřejného, tak ze soukromého sektoru. Dalším potenciálním sociálním dopadem UAM je možnost zvýšení sociální stratifikace, jestliže budou služby UAM dostupné pouze pro bohatší část populace. Služby UAM by mohly být ze začátku pro mnoho lidí nedostupné z důvodů vyšších prvotních nákladů, což by mohlo prohloubit stávající nerovnosti v městských oblastech. Využití UAM navíc vyvolává etické obavy týkající se soukromí a bezpečnosti. UAS mohou shromažďovat a přenášet údaje o cestujících a jejich pohybu, což vyvolává obavy o vlastní soukromí a bezpečnost osobních údajů. Integrace UAM do městského vzdušného prostoru navíc představuje také bezpečnostní výzvu, jelikož nelze ignorovat možnost zneužití letadel UAM.

4 Vztah UAM, městského plánování a přepravních úkonů

Městské plánování hraje klíčovou roli v rozvoji bezpečného, efektivního a celkově robustního UAM systému, který má být plně integrován do existujících dopravních sítí. To zahrnuje důkladné zvážení umístění vertiportů, zohlednění vlivu na společnost, včetně obav týkajících se hluku a bezpečnosti. Volba přepravních úkolů hraje také klíčovou roli při zajišťování bezpečného a efektivního provozu UAM. EASA stanovuje specifické role a povinnosti provozovatelů, regulačních orgánů a řídicích letového provozu a zdůrazňuje potřebu nových systémů řízení letového provozu a integrace UAM s ostatními formami dopravy. Je zásadní, aby služby UAM byly rychlé, pohodlné, spolehlivé a zároveň cenově dostupné. Urbanisté, provozovatelé pozemní dopravy a poskytovatelé UAM služeb musí spolupracovat, aby se úspěšně vyrovnali s těmito výzvami a tím maximalizovali potenciál integrace UAM do městského prostředí [17].

4.1 Vliv UAM na městské plánování

UAM redefinuje způsob, jakým přistupujeme k městskému plánování a klade na něj vysoké nároky z hlediska hodnocení vlivu na společnost, potřebu infrastruktury a změn ve využití území. Implementace UAM vyžaduje rozvoj vertiportů, nabíjecích stanic a pokročilých systémů pro řízení leteckého provozu, přičemž je nezbytné vhodné zvážení jejich umístění v kontextu stávajících dopravních sítí a potenciálního dopadu na hluk a bezpečnost.

Dalším důležitým hlediskem, se kterým se urbanisté musí vypořádat, je otázka vlastnictví těchto infrastruktur pro UAM, ať už veřejného nebo soukromého charakteru. Kromě toho přináší UAM potřebu přehodnotit využití pozemků. UAM logicky vyžaduje prostor pro svou pozemní infrastrukturu, což může mít dopad na existující obytné a komerční zóny.

Zásadním aspektem, který nesmíme opomenout, je spolupráce s obyvateli dotčených oblastí. Je třeba adresovat jejich obavy a zkoumat, jak by UAM mohla zlepšit dostupnost dopravy pro ty, kteří byli dosud nedostatečně obsluhováni [18].

4.1.1 Analýza dopravní situace ve městě

Současná městská doprava představuje značnou výzvu, která bezpochyby ovlivňuje každodenní život milionů obyvatel měst po celém světě. Jedním z nejčastějších problémů v této oblasti jsou dopravní kongesce, které trápí města po celém světě. Toto přetížení dopravy je důsledkem nerovnováhy mezi poptávkou po dopravě a dostupnou dopravní infrastrukturou, což vede k rozsáhlým časovým ztrátám, zvýšeným výdajům na pohonné hmoty a řadě dalších negativních externalit. Tyto externality sahají od zpoždění nákladní dopravy, přes inflační tlaky až po závažné dopady na životní prostředí.

Oblast městského plánování má značný vliv na zmírnění dopravních kongescí. Urbanisté řeší rozpor mezi blahobytem obyvatel a rozvojem infrastruktury, přičemž je jejich úkolem uvažovat o společenském dopadu dopravy a zvážení otázek výstavby nové infrastruktury. Tím mohou být například cyklostezky nebo stezky pro chodce. Nelze také opomenout dopady převládající dopravní situace na životní prostředí. Dopravní kongesce přímo vedou ke zvýšené spotřebě pohonných hmot a k vyššímu znečištění ovzduší, což má negativní dopady na zdraví obyvatel měst. Řešení tohoto problému vyžaduje mnohostranný přístup, včetně zavádění nových technologií, jako jsou elektromobily, prosazování politiky udržitelné dopravy a zkoumání nových dopravních technologií, jako je UAM. Společným cílem je snížit ekologickou stopu městské dopravy [19].

4.1.2 Plánování městské mobility

Plánování městské mobility je klíčovou strategickou iniciativou zaměřenou na zlepšení dopravních systémů v městských oblastech, jejímž konečným cílem je snížit dopravní kongesce a míru znečištění a poskytnout obyvatelstvu přístupné a cenově dostupné možnosti mobility. Tento komplexní přístup zahrnuje nespočetné aspekty městské mobility, přičemž vyžaduje objemnou analýzu a promyšlené plánování.

Jednou ze základních výzev při plánování městské mobility je rychlé tempo urbanizace, které vede ke zvyšování hustoty obyvatelstva v centrech měst. Tento růst často vede ke zhoršujícímu se dopravnímu přetížení, zvýšené produkci znečištění a naléhavé potřebě cenově dostupných a přístupných dopravních řešení. Řešení těchto problémů vyžaduje změnu ve způsobu navrhování a realizace městských dopravních systémů [20].

Aby bylo možné tyto výzvy řešit, musí urbanisté zaměřit svou orientaci z pouhého rozšiřování dopravní infrastruktury a zvyšování pohybu osob a zboží na budování města, které klade důraz především na dostupnost. V této souvislosti se jako strategický nástroj objevuje Plán udržitelné městské mobility (SUMP - Sustainable Urban Mobility Planning), který poskytuje ucelený přístup k uspokojování potřeb mobility jednotlivců ale i podniků v městských oblastech a jejich okolí. Plány udržitelné městské mobility integrují různá opatření zahrnující technické, infrastrukturní a politické aspekty s cílem zajistit udržitelnou a vysoce kvalitní dopravu a zároveň zlepšit dostupnost městských oblastí. Vypracování plánu městské mobility je často náročný proces zahrnující čtyři klíčové kroky, který je završen komplexním plánem realizace. Tento proces vyžaduje koordinované zapojení zúčastněných stran, jasné časové plány a určené zdroje financování, aby bylo zajištěno, že budou zohledněny všechny druhy městské a regionální dopravy [7].

Zdůraznění přístupu zaměřeného na lidi představuje změnu paradigmatu v plánování městské mobility. Na první místo klade blaho obyvatel, uznává jejich roli jakožto občanů,

spotřebitelů, podnikatelů, zaměstnanců a rodinných příslušníků a hledá inovativní řešení dlouhodobých problémů městské mobility. Tímto způsobem může plánování městské mobility dosáhnout svých hlavních cílů, kterými jsou snížení dopravních kongescí, snížení znečištění a poskytnutí přístupných a cenově dostupných řešení mobility, což v konečném důsledku přispěje k lepší kvalitě života obyvatel měst [21].

Plánování městské mobility je nepostradatelnou strategickou iniciativou, jejímž cílem je revoluce v dopravě v městském prostředí. Řešením klíčových problémů spojených s urbanizací, dopravním přetížením a dopadem na životní prostředí a přijetím přístupu zaměřeného na občany se plány městské mobility zaměřují na vytvoření udržitelných, dostupných a účinných městských dopravních systémů, které uspokojí rozmanité potřeby městského obyvatelstva.

4.1.3 Změny v městské infrastruktuře po implementaci UAM

Klíčem k infrastruktuře UAM jsou vertiporty, specializovaná zařízení, která umožňují vzlet a přistání letadel UAM. Ty se stanou městskou obdobou letišť. Jejich rozvoj představuje významnou investici mnoha subjektů. V počátečních fázích integrace UAM existuje možnost využít stávající infrastrukturu, jako jsou letiště, heliporty, parkoviště a střechy budov, jako dočasné nebo do budoucna trvalé vertiporty. Tento přístup by mohl urychlit zavádění služeb UAM a pomoci snížit počáteční náklady na jejich zavedení.

Kromě fyzické infrastruktury vyžaduje zavedení UAM také vývoj pokročilého systému řízení bezpilotního provozu (UTM – Unmanned Traffic Management). Tento digitální rámec má zásadní význam pro zajištění bezpečného provozu letadel UAM. Musí být schopen plynule integrovat tato nová letecká vozidla s tradičními druhy dopravy. Robustní systém UTM je nezbytný pro řízení složitého leteckého provozu ve městě a v předcházení možným nehodám nebo narušením. UTM má také potenciál výrazně zlepšit multimodální mobilitu v rámci měst a mezi nimi a poskytnout rychlejší a pohodlnější alternativu dopravy. Pro plné využití tohoto potenciálu musí provozovatelé UAM strategicky rozmístit vertiporty tak, aby zmírnili dopravní kongesce a zajistili rovný přístup pro cestující a náklad napříč všemi socioekonomickými třídami.

Zejména prostřednictvím eVTOL, je UAM na pokraji výrazné změny v dopravě s velkým potenciál snížit ekologickou stopu tohoto odvětví. Tento udržitelný způsob dopravy nabízí inovativní řešení tradičních, často znečišťujících prostředků městské dopravy. Zatímco však eVTOL nabízejí čistší alternativu k letecké dopravě, rozvoj nezbytné infrastruktury pro UAM, jako jsou vertiporty, představuje vlastní soubor environmentálních výzev. Výstavba a provoz těchto zařízení musí být dobře naplánována, aby se zabránilo negativním dopadům na místní ekosystémy a městskou krajinu. Pokud nebudou vertiporty navrženy a realizovány

s ohledem na environmentální udržitelnost, mohly by znehodnotit environmentální přínosy eVTOL. Legislativní rámec by měl podporovat udržitelné postupy v celém odvětví UAM a řídit rozvoj jak eVTOL, tak infrastruktury, která je podporuje. Základními prvky těchto rámců jsou pobídky k využívání čistých technologií, přísné environmentální normy a průběžné monitorování dopadu UAM na životní prostředí.

Úspěšná implementace UAM bude vyžadovat značné investice do infrastruktury, včetně vertiportů a sofistikovaného systému UTM a strategický přístup k plánování měst s cílem zvýšit multimodální mobilitu. Stejně jako v případě každého významného rozvoje měst bude třeba náležitě řídit potenciální dopady na životní prostředí s cílem zajistit, že UAM bude přispívat k udržitelné budoucnosti měst.

4.2 Regulace a bezpečnost UAM ve městě

Implementace UAM v městském prostředí vyžaduje zavedení komplexního regulačního rámce, který zajistí jak bezpečnost provozu UAM, tak bezproblémovou integraci se stávajícími dopravními systémy. Tato kapitola se zabývá těmito otázkami a osvětluje složitost a požadavky na úspěšnou implementaci UAM.

4.2.1 Současný stav regulace UAM ve městě

Regulační prostředí pro UAM se neustále mění, jelikož příslušné úřady usilovně pracují na vytvoření komplexních předpisů a norem pro její provoz. Největšími hráči v této oblasti jsou FAA a EASA, kteří aktivně pracují na vytvoření pokynů a norem pro zajištění bezpečného a efektivního provozu UAM.

FAA proaktivně položil základy pro UAM a zavedl koncepci provozu, která podrobně popisuje role a povinnosti všech zúčastněných subjektů, od provozovatelů a regulačních orgánů až po řídicí letového provozu. Cílem této koncepce je zavést systematický přístup k zajištění bezpečného a efektivního provozu UAM ve městech s ohledem na specifické problémy městského prostředí.

EASA rovněž dosáhla významného pokroku při formulování regulačního rámce pro UAM. Klíčovým momentem v tomto procesu byla komplexní studie UAM 2021 zaměřená na společenské přijetí, která poskytla cenné poznatky o vnímání, očekávání a výhradách občanů EU vůči UAM. Tato zjištění mají zásadní význam pro vytvoření regulačního rámce, který bude odolný vůči budoucnosti. Kromě toho agentura EASA jako první vypracovala regulační balíček pro U-Space, který je důležitým krokem k umožnění bezpečného a harmonického provozu UAS v městských oblastech [3].

Vypracování komplexních předpisů pro UAM stojí v cestě několik výzev. Nejdůležitější zůstává zajištění bezpečnosti provozu UAM, těsně následované potřebou integrovat UAM s konvenčními druhy dopravy. Klíčovou roli hraje také společenské přijetí, neboť vnímání veřejnosti může významně ovlivnit vývoj zavádění UAM v městských oblastech. Vyřešení těchto problémů je nezbytné k tomu, aby se připravila cesta k úspěšnému zavedení UAM ve městech.

Regulační rámec pro UAM se mění a vyžaduje rapidní vývoj, aby bylo možné přizpůsobit se rostoucím schopnostem systémů UAM a zajistit jejich bezproblémovou integraci do stávajících dopravních sítí. Tento vývoj vyžaduje společný přístup, který spojí provozovatele, regulační orgány, urbanisty a další zúčastněné strany s cílem vytvořit soudržný a účinný soubor předpisů.

4.2.2 Legislativní a bezpečnostní problémy UAM v městském prostředí

UAM představuje spletitou síť regulačních a bezpečnostních dilemat, která vyžadují značnou pozornost. Tyto otázky je třeba řešit, pro zajištění nejen efektivity, ale především bezpečnosti provozu UAM.

Regulační rámec pro UAM vyžaduje společné úsilí několika regulačních orgánů. Klíčovými aktéry v této oblasti jsou FAA a EASA, na které připadá obrovská odpovědnost za vytvoření pravidel a předpisů, které mohou provoz UAM náležitě regulovat. Regulační rámec pro UAM se musí neustále vyvíjet, aby vyhovoval rostoucím schopnostem letadel UAM a jejich potřebě bezproblémové integrace se stávajícími druhy dopravy. Nejedná se pouze o byrokratické přizpůsobení, ale o hlubokou změnu, která vyžaduje prozíravý přístup.

Bezpečnost je bezpochyby základem provozu UAM. Samotná vozidla musí projít přísnými konstrukčními a testovacími fázemi. Zajištění bezpečnosti a spolehlivosti systémů UAM v reálných podmínkách je stěžejní. Kromě UAS však hrají důležitou roli také jejich provozovatelé. Musí zavést komplexní systémy řízení bezpečnosti, aby zajistili, že každý aspekt provozu UAM splňuje nejvyšší bezpečnostní standardy. Kromě toho bude zásadní vývoj systémů UTM. Tyto systémy budou fungovat jako nervové centrum pro zajištění hladkého a bezkonfliktního provozu letadel UAM. Zajištění bezpečnosti UAM není ani zdaleka jednoduchý úkol. Jedná se o komplexní problém, který vyžaduje součinnost technické zdatnosti, provozní dokonalosti a důkladného regulačního dohledu.

Cesta k bezpečné implementaci UAM ve městech je plná výzev. Překážek je mnoho od zajištění bezpečnosti provozu až po integraci s ostatními druhy dopravy a získání společenského uznání. Regulační rámec pro UAM musí být dostatečně podrobný, aby tyto výzvy řešil přímo a položil pevné základy pro úspěšné zavedení UAM v městském prostředí.

V současné době je třeba se při řešení složitých problémů spojených se zaváděním UAM ve městech i nadále soustředit na řešení regulačních a bezpečnostních otázek. Vyvíjející se regulační rámec, vedený agenturami, jako jsou FAA a EASA, musí být připraven na tuto příležitost. Musí také zajistit, aby se UAM nejen bezproblémově integrovala s ostatními druhy dopravy, ale také aby byla vzorem bezpečnosti a efektivity. Cesta je složitá, výzev je mnoho, ale potenciál UAM je příliš velký na to, aby zůstal nevyužit. Budoucnost městské dopravy závisí na tom, jak se s těmito výzvami dokážeme vypořádat a zajistit bezpečnější, účinnější a inkluzivnější ekosystém UAM [23].

4.3 Implementace UAM do městské infrastruktury

Implementace UAM do městské infrastruktury je nově vznikající koncepce, která předpokládá bezpečný, udržitelný, cenově dostupný a přístupný systém letecké dopravy pro řešení mimořádných událostí, doručování nákladu a přepravu cestujících v rámci metropolitní oblasti nebo skrze ni. UAM je součástí širšího ekosystému mobility, v němž mají spotřebitelé přístup ke službám dopravy a doručování zboží na vyžádání prostřednictvím dispečerských služeb nebo služeb městské letecké dopravy, kurýrních služeb, sdílených automatizovaných vozidel, sdílené mobility, veřejné dopravy a dalších inovativních dopravních technologií. Integrace UAM do městské infrastruktury vyžaduje účinné plánování a koordinaci mezi všemi zúčastněnými stranami, včetně provozovatelů, regulačních orgánů, urbanistů a dopravních úřadů. Regulační rámec pro UAM se rapidně vyvíjí. Regulační orgány jako již zmíněná FAA nebo EASA pracují na pravidlech a předpisech pro provoz UAM. Vývoj předpisů pro UAM čelí několika výzvám, včetně potřeby zajistit bezpečnost provozu UAM, integraci UAM s ostatními druhy dopravy a společenské přijetí UAM. Účinné plánování UAM bude pro provozovatele vertiportů zásadní pro přípravu a plánování změn v letecké dopravě a integrace multimodální dopravy. Pro zajištění bezpečného a efektivního provozu UAM bude nezbytný rozvoj infrastruktury UAM jako jsou vertiporty a systémy řízení bezpilotního provozu. Integrace UAM s ostatními druhy dopravy, jako je pozemní doprava a letiště, je pro provoz UAM zásadní otázkou, která bude vyžadovat vývoj nových systémů řízení provozu a koordinaci zúčastněných stran. Integrace UAM do městské infrastruktury nebude jednoduchým úkolem, ale ani nemožným.

4.3.1 Přehled dostupných technologií pro implementaci UAM v městské infrastruktuře

Integrace UAM do městské infrastruktury ve městech vyžaduje vývoj nových technologií a postupů pro zajištění bezpečného a efektivního provozu. Tyto technologie a postupy vyžadují nemalé úsilí a finanční prostředky zainteresovaných subjektů. Již v dnešní době, ale existuje nespočetné množství výzkumů věnující se především technologii k rozvoji UAM v čele

s největšími aktéry jako jsou EASA a FAA. Technologie jako jsou vertiporty, UTM a eVTOL, jsou stěžejní pro implementaci UAM ve městském prostředí. Některé z těchto technologií jsou dnes již ve velmi pokročilém stádiu výzkumu a testování.

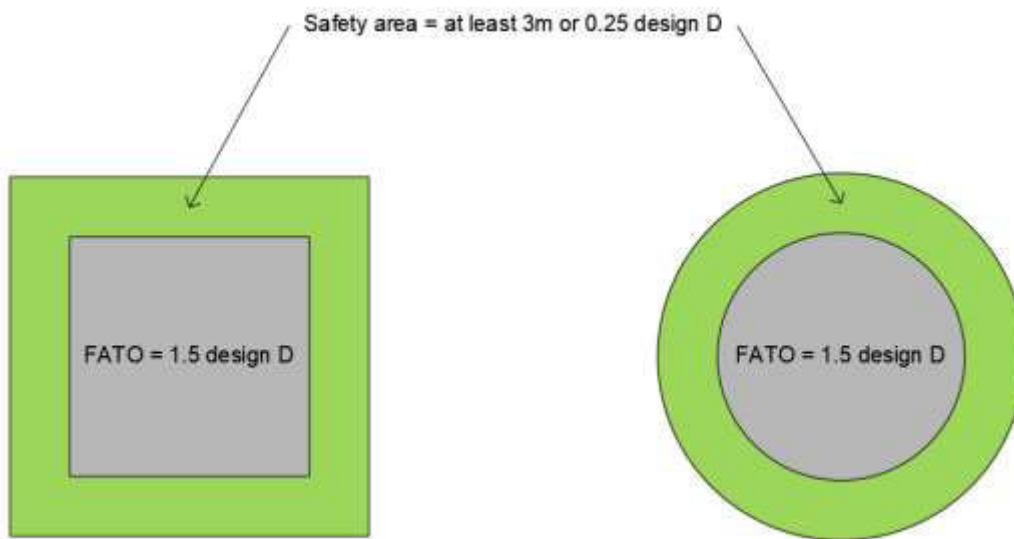
4.3.1.1 Vertiporty

Vertiporty jsou nedílnou součástí infrastruktury, která je nezbytná pro úspěšnou integraci UAM do městského prostředí. Tyto platformy umožňují vzlety a přistání letadel UAM, avšak vyžadují značné investice klíčových průmyslových subjektů.

EASA v této oblasti vyvíjí velmi proaktivní činnost, kdy stále zdokonaluje technické specifikace jakožto prototyp pro návrh vertiportů podle pravidel vizuálního letu (VFR – Visual Flight Rules), které jsou uzpůsobeny pro provoz letadel s posádkou schopných letu VTOL, zařazených do rozšířené kategorie dle dokumentu technických specifikací prototypu konstrukce vertiportů (PTS-VPT-DSN – Prototype Technical Specifications for the Design of Vertiports). Tento dokument podrobně popisuje různé aspekty, včetně fyzických vlastností vertiportů, okolního prostředí, požadovaných vizuálních prostředků, osvětlení a značení. Popisuje také koncepce, které jsou nezbytné pro zajištění bezpečného letu a přistání. Závazek agentury EASA vůči tomuto odvětví je dále zdůrazněn jejími plány na vytvoření komplexního regulačního rámce zahrnujícího konstrukci a certifikaci vertiportů, provozní protokoly a dohled nad provozovateli vertiportů. FAA zároveň zdůraznil naléhavou potřebu stanovit jasné pokyny pro používání vertiportů eVTOL [25].

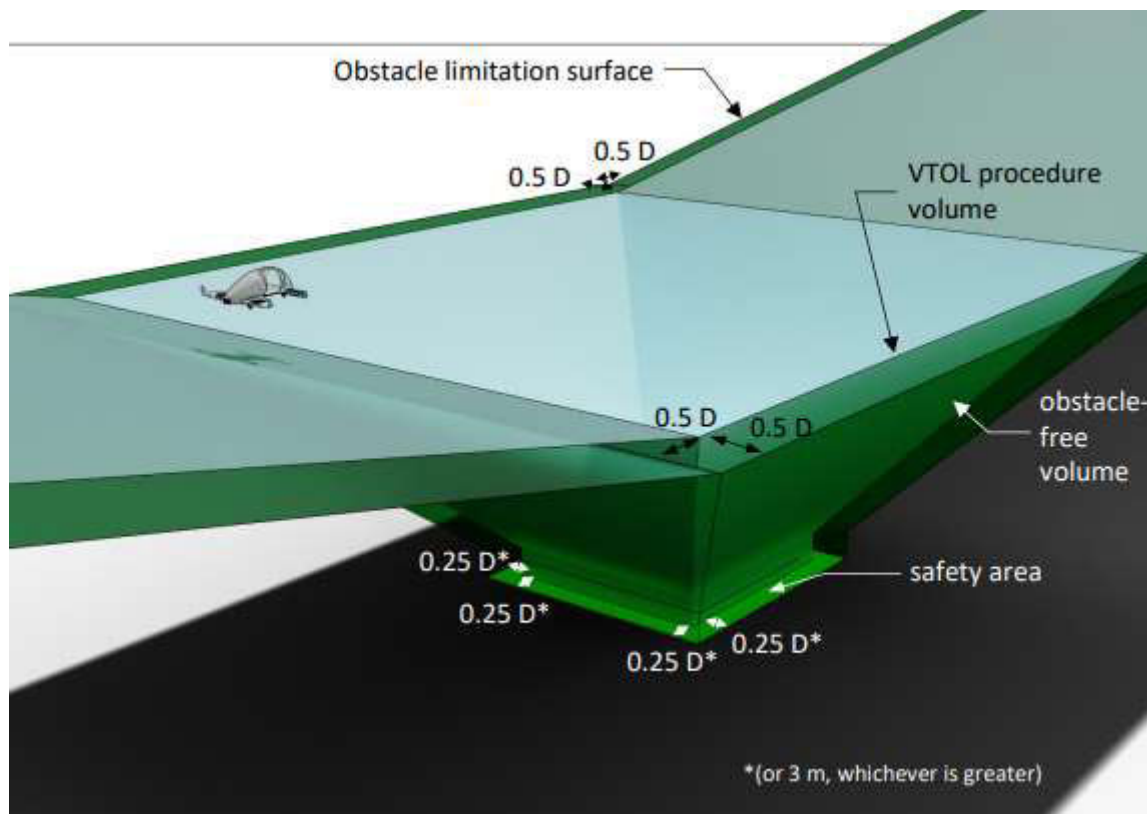
Podíváme-li se blíže na specifika konstrukce a provozu vertiportů, je třeba věnovat nemalou pozornost několika aspektům. V dokumentu PTS-VPT-DSN se jedná o jednotlivé kapitoly, ve kterých jsou shrnuty následující aspekty.

Fyzické vlastnosti: Vertiporty musí být prozíravě navrženy tak, aby vyhovovaly jedinečným rozměrovým a hmotnostním specifikacím letadel UAM, s ohledem na rozměry přistávací plochy, její výšku a strategické umístění samotného vertiportu. EASA navrhuje rozměr plochy konečného přiblížení a vzletu (FATO – Final-Approach and Take-Off area) jako jeden a půl násobek průměru eVTOL, tedy $1,5 * D$. Tato plocha je následně rozšířena o bezpečnostní zónu alespoň 3 metry nebo $0,25 * D$. Na Obrázku 8 najdeme tyto parametry na příkladu čtvercové a kruhové FATO.



Obrázek 8 - FATO a bezpečnostní zóna [25]

Okolní prostředí: Zajištění bezpečné navigace letadel UAM vyžaduje podrobnou analýzu okolního prostředí. Na Obrázku 9 můžeme vidět návrh pomyslné bezpečnostní rezervy dle EASA pro čtvercovou FATO. Jedná se o trychtýřovitý objem bez překážek nad vertiporty v souladu s provozními možnostmi nových letadel VTOL.



Obrázek 9 - Objem nad vertiportem, který musí zůstat bez překážek [25]

Vizuální prostředky, osvětlení a značení: V této oblasti EASA definuje technické specifikace značení vertiportů. Tyto specifikace uvádí v dokumentu PTS-VPT-DSN v kapitole E.

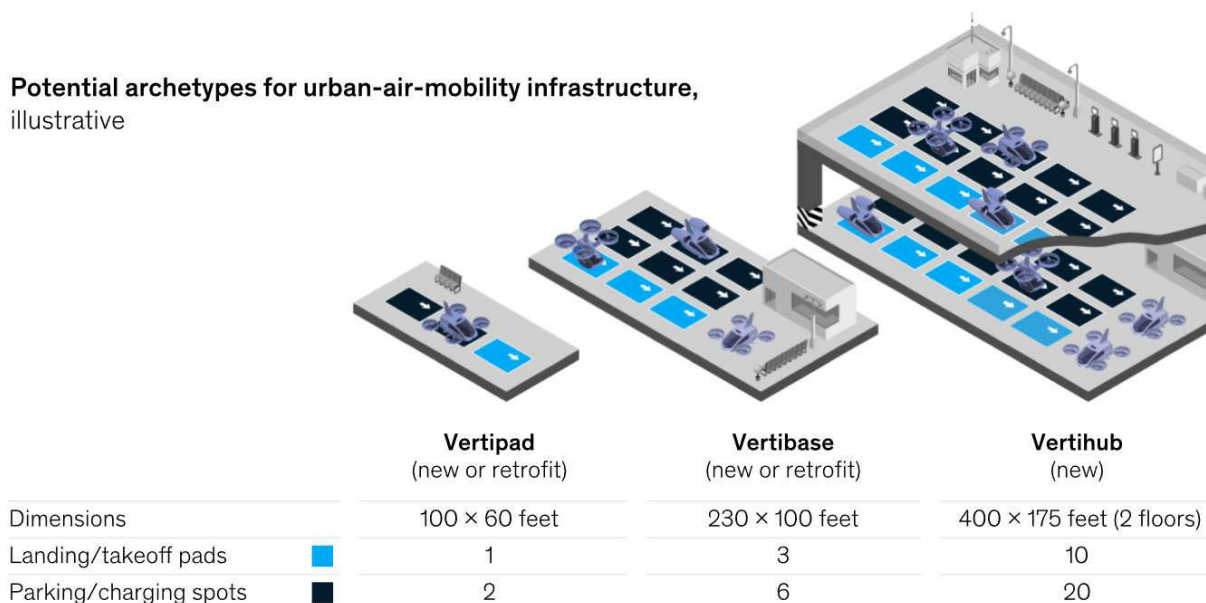
Koncepce bezpečného letu a přistání: V této kapitole je věnována pozornost možným rizikům spojených s provozem vertiportů a jejich možné snížení či eliminace.

Posuzování hluku: Přijetí vertiportů veřejností je neoddělitelně spjata s řízením hluku, takže vývojáři vertiportů musí zajistit, aby hladina hluku zůstala v přijatelných mezích pro obyvatele v okolí.

Vertiporty jsou bezpochyby nepostradatelnými články v ekosystému UAM, které vyžadují odborné plánování a návrh s ohledem na řadu faktorů, od jejich fyzických vlastností a okolního prostředí až po integraci základních vizuálních prostředků a strategií řízení hluku. Proaktivní postoj agentury EASA, jehož příkladem je vývoj prototypových technických specifikací a závazek vytvořit komplexní regulační rámec, poskytuje pevný základ pro rozvoj tohoto odvětví.

V souvislosti s vertiporty se v této oblasti objevují tři různé typy jejich uspořádání. Na Obrázku 10 můžeme vidět všechny tři popsané typy uspořádání vertiportů jimiž jsou vertipady, vertibáze a vertihuby. Vertipady, nejkompaktnější z této trojice, jsou nedílnou součástí sítě hub-and-spoke a poskytují zpravidla jedinou FATO doplněnou o pomocné prostory pro parkování. Vertibáze představují středně velká zařízení, buď účelově postavená, nebo inovativně konstruována z již existujících objektů, jako jsou parkoviště nebo střechy budov, která poskytují více míst pro vzlet a přistání, jakož i zázemí pro údržbu a parkování. Vrchol této hierarchie infrastruktury představují Vertihuby, rozsáhlé samostatné stavby strategicky umístěné v rušných městských centrech, s přibližně deseti aktivními vzletovými a přistávacími plochami, ale i pomocnými plochami pro parkování, údržbu a případně i řadu zařízení pro cestující, včetně maloobchodních prodejen. Tato zařízení dohromady tvoří ekosystém vertiportů, která podporuje provoz UAM a zahrnuje nejen fyzické přistávací zóny, ale také terminálové brány, pozemní podpůrná zařízení, nabíjecí stanice a řídicí centra, která jsou nezbytná pro bezpečný a efektivní pohyb UAM letadel [41].

Potential archetypes for urban-air-mobility infrastructure,
illustrative



Obrázek 10 - Typy uspořádání vertiportů [41]

4.3.1.2 Digitální infrastruktura

Ve snaze integrovat UAM do městského prostředí se UTM stává nepostradatelným prvkem infrastruktury. UTM, sofistikovaný digitální rámec, umožňuje harmonickou koexistenci UAM s již osvědčenými způsoby pozemní a letecké dopravy.

Pro bezpečný a plynulý pohyb eVTOL je nezbytné přizpůsobit vzdušný prostor provozu UAM. Tento aspekt zahrnuje soubor pravidel, procedurálních struktur a technologických aplikací, které usnadňují řízení pohybu cestujících a nákladu ve vzduchu v městském prostředí. Integrace se stávajícími systémy řízení vzdušného prostoru je klíčová a vyžaduje inovativní konstrukční řešení. Základem bezpečnosti a efektivity provozu UAM jsou následně důležité pokročilé systémy řízení provozu. Tyto systémy jsou technologickou páteří UTM a jsou zodpovědné za sledování a řízení letadel eVTOL v městském vzdušném prostoru. Základními cíli těchto systémů, které využívají neustále aktualizované informace v reálném čase z letadel i pozemních senzorů, je zamezení kolizím a celková provozní bezpečnost [26].

Nedílnou součástí digitalizace infrastruktury je také robustní komunikační síť. Klíčovou roli hraje nasazení technologie 5G, která umožňuje okamžitou komunikaci a přenos dat nezbytných pro efektivní provoz eVTOL. Závislost UTM na takovém komunikačním rámci je rozhodující pro dosažení požadované provozní efektivity [27].

Příkladem progresivního úsilí v oblasti digitalizace je iniciativa U-Space. Evropský projekt U-Space symbolizuje společnou iniciativu zaměřenou na integraci UAS do evropského vzdušného prostoru. Představuje digitální ekosystém vybavený pro řízení provozu dronů

v městském prostředí, zvyšování bezpečnosti a předcházení kolizím s využitím dat z UAS v reálném čase a vstupů z pozemních senzorů. V čele vývoje U-Space v Evropě stojí EASA.

4.3.1.3 eVTOL

Rozvíjející se oblast UAM je do značné míry závislá na inovacích a provozu eVTOL. Jako ekologicky přívětivá vozidla poháněná elektřinou mají letadla eVTOL potenciál minimalizovat ekologickou stopu městské dopravy a díky svým schopnostem vertikálního vzletu a přistání usnadnit provoz vzdušných dopravních prostředků v městských oblastech.

V čele inovací v oblasti eVTOL stojí společnosti jako Volocopter, Lilium a Joby Aviation, které všechny prošly důkladným posouzením bezpečnosti ze strany EASA, přičemž Volocopter a Lilium získaly certifikaci rozšířené kategorie. Tito průkopníci jsou příkladem kombinace pokročilé konstrukce, dodržování předpisů a infrastrukturní prozíravosti, která je nezbytná pro úspěch UAM. Tato eVTOL byla zmíněna a podrobněji popsána v předchozích kapitolách.

Certifikační procesy vedené orgány, jako je EASA, jsou velice komplexní a v určitých ohledech často náročnější, než je tomu u běžných postupů pro letadla, aby zohlednily veškeré specifické vlastnosti eVTOL jako například jejich elektrické pohonné jednotky. Toto přísné posuzování bezpečnosti zahrnuje všechny aspekty od konstrukce a výroby až po údržbu a zajišťuje, že eVTOL splňují přísné bezpečnostní normy ještě předtím, než jsou uvedeny do provozu.

4.3.2 Způsoby integrace UAM do městské infrastruktury

Důležitým nástrojem z hlediska zhodnocení vhodné integrace UAM je SUMP. Integrace UAM do městské infrastruktury prostřednictvím SUMP vyžaduje holistický přístup, který integruje UAM do širšího ekosystému městské dopravy. Tento proces se řídí rámcem SUMP, který klade důraz na rozvoj přístupných, bezpečných a cenově dostupných řešení mobility, která jsou v souladu s cíli snižování emisí. SUMP-UAM Practitioner Briefing, který vypracovala UIC2, zdůrazňuje potřebu UAM stát se součástí městských inovací a strategií udržitelného přechodu.

Začlenění UAM do SUMP zahrnuje dodržování osmi principů a čtyř fází cyklu SUMP, přičemž se UAM stává doplňkovým způsobem v rámci širšího konceptu řízení sítě mobility. To vyžaduje strategický rozhodovací proces, který v každé fázi zapojuje zúčastněné strany a veřejnost, přičemž je třeba si uvědomit, že pro úspěch iniciativ UAM je rozhodující jejich přijetí veřejností.

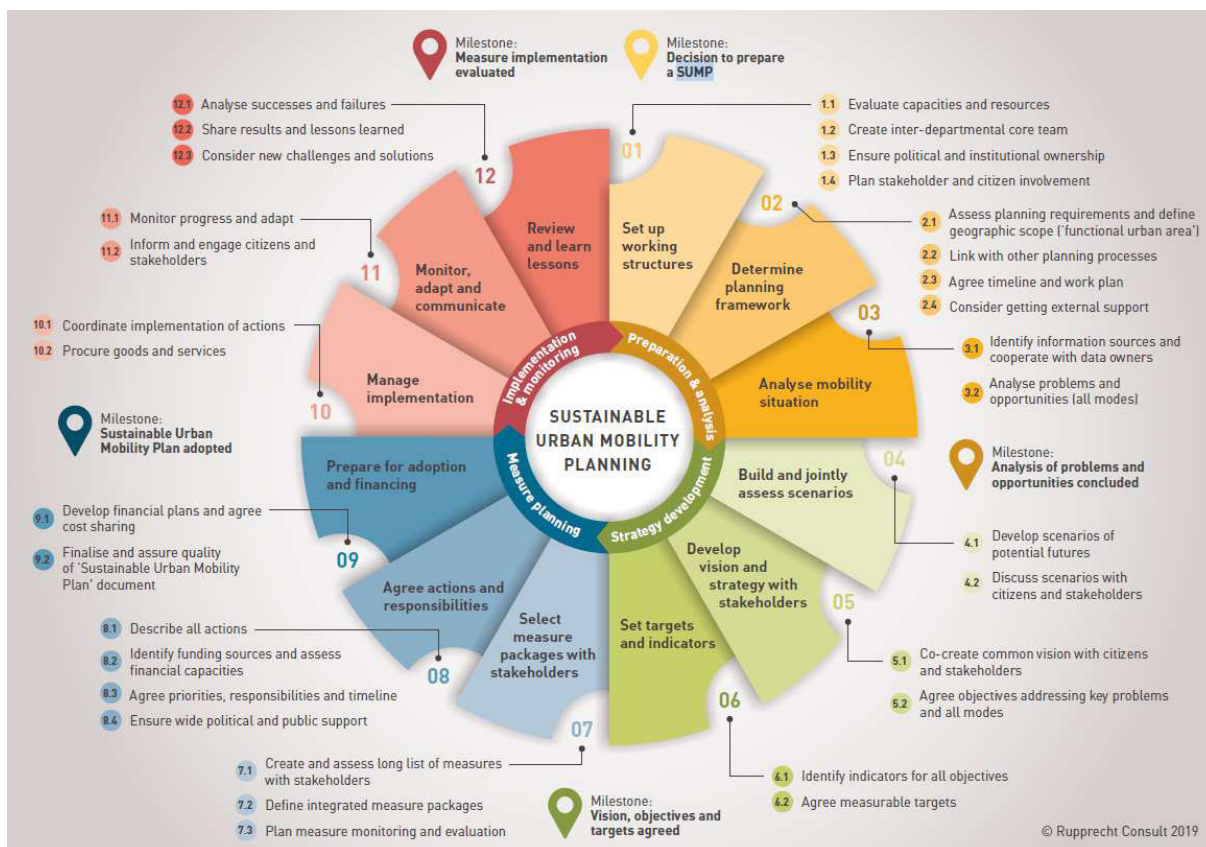
Osm zásad SUMP, které můžeme vidět na Obrázku 11 se vztahuje na všechny druhy dopravy. UAM je však zvláštním případem, protože tyto zásady se obvykle uplatňují na pozemní druhy dopravy. UAM je tedy více než zcela nový druh dopravy, který je třeba teprve

integrovat do stávajících systémů mobility funkční městské oblasti. Jedná se o leteckou dopravu v malých výškách nad obydlenými oblastmi ve velkém měřítku, což přináší příležitosti a omezení jak z oblasti letecké, tak pozemní dopravy (např. bezpečnostní předpisy a politiky územního plánování). Letecká doprava na městské a regionální úrovni se dnes projevuje především prostřednictvím provozu komerčních leteckých společností působících v blízkosti letišť. Komerční letecká doprava má nejvyšší bezpečnostní standardy ze všech druhů veřejné dopravy. Tyto standardy jsou v současné době využívány jako základ pro návrh bezpečnostních a ochranných opatření pro vznikající pro vznikající služby UAM.



Obrázek 11 - Osm základních principů SUMP [7]

Na jedné straně lze UAM považovat za další druh dopravy, který bez problémů zapadá do konceptu SUMP. Na druhou stranu má UAM některé specifické vlastnosti, kterými jsou například sklon vertikálního rozměru a městský vzdušný prostor, které vyžadují bližší zkoumání vzájemných vztahů mezi otázkami plánování UAM a různými fázemi plánování a realizace cyklu SUMP. Čtyři fáze cyklu SUMP, jak vidíme na Obrázku 12 jsou rozděleny na dílčí části popisující jednotlivé úlohy.



Obrázek 12 - Čtyři fáze cyklu SUMP [7]

Příprava a analýza: V tomto kroku je důležité analyzovat potenciální poptávku po službách UAM a určit oblasti, kde by UAM mohla být nejpřínosnější. Tato analýza by měla zohlednit faktory, jako je hustota obyvatelstva, cestovní zvyklosti a stávající dopravní infrastruktura.

Vypracování strategie: V tomto kroku je důležité vypracovat vizi a strategii integrace UAM do stávajícího dopravního systému. Tato strategie by měla zvážit, jak může UAM doplnit ostatní druhy dopravy.

Plánování: V tomto kroku je důležité vybrat vhodné lokality pro vertiporty a vytvořit trasy, které jsou slučitelné se stávající dopravní infrastrukturou. Při vytváření tras UAM je rovněž důležité zohlednit vzdušný prostor, koridory, občanskou vybavenost a zájmové body.

Implementace a hodnocení: V tomto kroku je důležité sledovat účinnost služeb UAM a vyhodnocovat jejich dopad na udržitelnou městskou mobilitu. Toto hodnocení by mělo zohledňovat faktory, jako je bezpečnost, dopad na životní prostředí a spokojenost uživatelů.

Města a regiony jsou vybízeny k tomu, aby definovaly služby UAM podle potřeb svých občanů a dynamicky vyhodnocovaly výkonnost těchto služeb. Přístup SUMP vychází ze zkušeností průkopnických evropských měst, přičemž zdůrazňuje význam zodpovědného a udržitelného ekosystému UAM, který zvyšuje obyvatelnost měst a zároveň se snadno integruje do stávajícího městského a dopravního plánování.

4.3.3 Analýza dopravní situace v Praze

Praha jakožto typická evropská metropole, má bohatou historii a složitý urbanistický půdorys. Dopravní síť města slouží jako hnací síla této pulzující metropole a usnadňuje tak každodenní dojíždění obyvatel i vypořádání se s přílivem turistů. Stejně jako mnoho měst s podobným historickým základem a strukturou se však Praha potýká s řadou systémových dopravních problémů.

4.3.3.1 Současná dopravní situace

V popředí pražského přístupu k řízení dopravy stojí integrovaný systém veřejné dopravy, který je páteří městské mobility v Praze. Systém Pražské integrované dopravy (PID) synergicky propojuje metro, tramvaje a autobusy a umožňuje tak plynulé dojíždění po celém městě a jeho okrajových částech. Síť metra sestávající ze tří linek je nejrychlejším druhem dopravy pro cestování mezi městskými částmi. Tyto tři linky již brzy doplní linka čtvrtá, která dále zlepší propojení s méně obsluhovanými oblastmi, a tak ještě dále sníží přetížení povrchové dopravy. Tramvaje s rozsáhlou sítí kolejí doplňují metro tak, že umožňují přístup do většiny městských oblastí. Autobusy pak vyplňují mezery ve spojení, zejména v oblastech mimo dosah metra a tramvajového spojení.

Město se snaží motivovat cestující k využívání městské hromadné dopravy (MHD) s cílem snížit dopravní vytíženost poskytováním výhodných parkovacích stání na okrajích města. Takzvaná parkoviště „Park and Ride“ (P+R), strategicky umístěná na okraji centra města, jsou určena k zachycení osob dojíždějících do práce autem z okolí Prahy. Záměrem je podpořit využívání veřejné dopravy na posledním úseku cesty do města, a tím snížit množství dopravy uvnitř města. Tato zařízení se obvykle nacházejí v blízkosti stanic metra a hlavních tramvajových přestupních uzlů, což umožňuje snadný přechod z osobní automobilové dopravy na MHD.

Topografie Prahy, která se vyznačuje kopcovitým terénem, historicky odrazovala od rozšíření cyklistické dopravy. Nedávná iniciativa města Prahy se však snaží podporovat cyklistiku jako životaschopnou a ekologickou alternativu dopravy. Rozšiřování vyhrazených jízdních pruhů pro cyklisty a systémy sdílených kol, jako jsou Rekola, dokazují, že město usiluje o zlepšení cyklistické infrastruktury. Cílem je nejen poskytnout obyvatelům zdravější způsob dopravy, ale také snížit množství automobilové dopravy, zejména v době dopravní špičky.

K optimalizaci toku vozidel město implementuje pokročilé systémy řízení dopravy. Na kritických křižovatkách jsou instalovány adaptivní semaforey, které reagují na dopravní podmínky v reálném čase, aby zkrátily čekací dobu a redukovaly dopravní kongesce. Praha rovněž experimentuje s inteligentními technologiemi, včetně mobilních aplikací, které

uživatelům poskytují informace o jízdních řádech veřejné dopravy, kapacitě parkovišť P+R a dopravních podmínkách v reálném čase, což dojíždějícím umožňuje informovaně se rozhodovat ve volbě využitelného druhu dopravy.

Dopravní politika města také stále více zohledňuje zájmy ochrany životního prostředí, o čemž svědčí postupné zavádění elektrobusů a trolejbusů do vozového parku MHD. Tyto elektrobusy pomáhají snižovat emise a celkově zlepšovat kvalitu ovzduší. Rovněž se usiluje o modernizaci vozového parku tramvají na energeticky účinnější modely a o prozkoumání možnosti zavedení autobusů na vodíkový pohon.

4.3.3.2 Dopravní problémy a výzvy

Samotné centrum Prahy, se vyznačuje úzkými uličkami a omezeným počtem parkovacích míst. Koncentrace podniků, kulturních památek a sociálních zařízení v této oblasti vede ke značnému přetížení, zejména v turistických sezónách. Silná doprava narušuje nejen průjezdovou dobu centrem, ale také například ohrožuje statiku historických budov a celkovou atmosféru historického centra města.

Kulturní a praktická preference soukromých vozidel zhoršuje dopravní problémy Prahy. Pohodlí a status spojený s vlastnictvím automobilu vede k vysokému počtu automobilů na obyvatele, což vytváří tlak na silniční a parkovací infrastrukturu. Výsledné dopravní kongesce brání plynulému pohybu vozidel i chodců, zejména v úzkých ulicích města. Nedostatek parkovacích míst je v Praze letitým problémem. V centru města, kde je poptávka nejvyšší, je parkovacích míst nejen málo, ale jsou také cenově méně dostupná. Tato situace často vede k nezákonnému parkování, což dále brání plynulosti dopravy.

Přestože je síť pražské veřejné dopravy rozsáhlá a spolehlivá, v době dopravní špičky se stále potýká s kapacitními problémy. Tramvaje a metro jsou často přeplněné, což vede k nepohodlí a snížení efektivity. Navíc některé příměstské oblasti zůstávají nedostatečně obslouženy, což nutí obyvatele spoléhat se na osobní automobily, což dále přispívá k dopravním komplikacím ve městě. Dalším problémem s ohledem na MHD je informovanost cestujících a na to navázané zdokonalování informačních kanálů. Ačkoli jsou k dispozici multimodální dopravní možnosti, na jejich bezproblémové integraci se stále pracuje. Otázky, jako je prodej jízdenek, plánování a informování cestujících v reálném čase, je třeba dále zdokonalovat, aby poskytovaly cestujícím do práce soudržný a uživatelsky přívětivý zážitek.

Některé úseky pražské dopravní infrastruktury také stárnou a potřebují obnovu nebo výměnu. Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti mostů, tunelů a silnic je nutná pravidelná údržba. Tato údržba často vede k dočasným uzavírkám silnic nebo objížděnkám, což dále komplikuje plynulost dopravy. Praha potřebuje modernizovat svou infrastrukturu tak, aby

vyhovovala současným i budoucím dopravním potřebám, aniž by bylo ohroženo historické dědictví města. Dosažení této rovnováhy je náročné, protože jakýkoli rozvoj musí respektovat architektonickou a kulturní integritu města. K této modernizaci a celkové údržbě dopravní infrastruktury nenapomáhají ani finanční omezení a byrokratické procesy, které mohou zpozdit realizaci zásadních dopravních řešení. Rozpočtová omezení často vedou k dilematům při určování priorit, kdy si kritické projekty konkurují v boji o financování. Legislativní překážky navíc mohou zpomalit zavádění nových technologií nebo výstavbu nezbytné infrastruktury.

V neposlední řadě je důležité zmínit také ekologické dopady dopravy v Praze a dnes již nedílnou součást města Prahy v podobě turismu. Emise z velkého počtu automobilů přispívají ke znečištění a zhoršování kvality ovzduší v Praze. Tento dopad na životní prostředí je stále větším problémem, zejména s ohledem na přísné předpisy EU o znečištění ovzduší a závazek města snížit svou uhlíkovou stopu. S těmito problémy se dnes však potýká většina Evropských metropolí. Příliv turistů, zejména v hlavní sezóně pak vytváří nerutinní vzorce dopravy, které musí město řídit. Turistické autobusy, pronajaté automobily a další specifické druhy dopravy pro turisty doplňují běžný provoz a vytvářejí tak jedinečné výzvy, které vyžadují cílené strategie řízení.

4.3.3.3 Potenciální přínosy využití UAM

UAM v Praze by vzhledem k její současné dopravní situaci mohla nabídnout řadu výhod v souladu s cíli města, kterými jsou snížení dopravních kongescí, zlepšení kvality ovzduší a poskytnutí inovativních dopravních řešení.

Praha, stejně jako mnoho historických evropských měst, se vzhledem ke svému bohatému architektonickému dědictví potýká s problémem úzkých ulic a omezeným nebo dokonce žádným prostorem pro jejich rozšiřování. UAM by mohla poskytnout trojrozměrné řešení tohoto dvojrozměrného problému. Využitím vzdušného prostoru pro dojíždění má UAM potenciál výrazně redukovat množství dopravy na silnicích. Tato redukce by mohlo vést ke snížení dopravních kongescí, zkrácení cestovní doby a plynulejšímu dopravnímu systému pro pozemní vozidla, včetně veřejné dopravy, což může zvýšit jejich spolehlivost a atraktivitu pro uživatele.

UAM může výrazně zkrátit dobu cestování v rámci města a do okolních regionů v těsné blízkosti Prahy. Například cesta z centra města na pražské Letiště Václava Havla, která může trvat autem i více než 30 minut, by se přímou leteckou dopravou mohla zkrátit na pouhých několik minut. Toto zlepšení spojení by bylo přínosem pro obchodní cestující i turisty, stimulovalo by hospodářský růst a posílilo by status města jako dostupného mezinárodního centra.

Vzhledem k tomu, že vozidla UAM jsou ve většině případů poháněna elektřinou, jejich provoz by přispěl ke snížení emisí, což je pro Prahu důležitý aspekt, neboť se usiluje o dodržování dnes již velmi přísných norem EU týkající se kvality ovzduší. Přestože přínosy pro životní prostředí by zpočátku závisely na rozsahu zavedení UAM a na zdroji energie využitého k výrobě elektřiny, dlouhodobý potenciál pro čistší a tišší způsob dopravy je významný, zejména ve srovnání se spalovacími motory, které v současné době dominují pozemním vozidlům.

Rozvoj a zavádění UAM v Praze by mohlo stimulovat místní hospodářský růst a tvorbu pracovních míst. Investice do infrastruktury UAM, jako jsou vertiporty a samotné UAS, by mohly ve městě vytvořit nové „high-tech“ odvětví. Údržba, provoz a správa služeb UAM by navíc vyžadovaly kvalifikovanou pracovní sílu, což by přispělo k rozvoji trhu práce a podpořilo technologicky vyspělý obraz Prahy.

Jako jedním z největších potenciálů UAM se však v současnosti jeví využití v oblasti záchranných zdravotnických služeb (EMS – Emergency Medical Services). Zkrácení cestovní doby pro převoz léčiv či dokonce pacientů je pro toto odvětví obzvláště důležité. Tato schopnost by významně zlepšila reakční dobu a celkovou efektivitu městské záchranné služby, což by mohlo zachránit životy tím, že by se pacientům rychleji dostalo kritické péče [3, 7, 28].

4.3.4 Vymezení oblasti pro využití UAM

Využitelnost UAM závisí nejen na funkční infrastruktuře, ale také na spokojenosti uživatelů. Služba musí být dostupná a pohodlná, se snadným přístupem k vertiportům a uživatelsky přívětivým rozhraním pro správu letových řádů. Vertiporty musí být strategicky rozmístěny nejen v blízkosti obchodních a obytných oblastí pro zajištění spojení „poslední míle“, ale také v souladu s estetickým a kulturním charakterem města. Trasy UAM musí být navíc pečlivě naplánovány tak, aby respektovaly hranice města a stávající leteckou dopravu a zajistily harmonickou kombinaci leteckých a pozemních způsobů dopravy. Tato integrace se vztahuje i na zájmové body a občanskou vybavenost, čímž se UAM stává službou, která zvyšuje živost a dostupnost města.

V rámci integrace UAM do městské infrastruktury se strategický výběr míst pro vertiporty stává kritickou otázkou. Na základě poznatků z analýzy oblasti Sanfranciského zálivu se ukazuje, že kompaktnost městské zástavby a intenzita hustoty obyvatelstva jsou rozhodující pro identifikaci většího počtu potenciálních lokalit vertiportů. Tato zjištění zdůrazňují náchylnost hustě osídlených měst k umístění vertiportů, což usnadňuje jejich integraci do městské struktury. Využití geografických informačních systémů (GIS) pro komplexní analýzu vhodnosti lokalit s ohledem na bezpečnost, dostupnost a rovnost umožňuje urbanistům

efektivně vizualizovat a vyhodnocovat potenciální lokality pro vertiporty. Stanovením souboru jednoznačných parametrů s vysokou prioritou mohou představitelé města zajistit, aby vybrané lokality splňovaly základní hlediska, jako je bezpečnost a spravedlivý přístup [30].

Kromě toho je při navrhování lokalit pro vertiporty nezbytné zmapovat stávající letové trasy a spolupracovat s EASA a místními leteckými úřady již na počátku plánovacího procesu, aby bylo možné orientovat se ve složitých otázkách řízení vzdušného prostoru. Vertiporty by měly být v ideálním případě umístěny v blízkosti klíčových komunitních aktiv, jako jsou nemocnice a dopravní uzly, a měly by být dobře napojeny na mikromodální dopravní síť, aby se zvýšila jejich užitečnost a dostupnost. Začlenění vertiportů do strategií tranzitně orientovaného rozvoje nabízí progresivní přístup k přestavbě měst a staví UAM do pozice nedílné součásti budoucích dopravních sítí, které uspokojí vyvíjející se potřeby mobility obyvatel a turistů. Zavedení vertiportů jako nové kategorie využití území v rámci městských rozvojových předpisů a územních nařízení připraví půdu pro jejich regulační a funkční soulad se zavedenými dopravními systémy [29].

Plánování koridorů pro UAM jde ruku v ruce s plánováním umístění vertiportů. Má velmi zásadní význam pro zajištění bezproblémového průletu UAV městským vzdušným prostorem. Toto plánování zahrnuje podrobné rozvrstvení vzdušného prostoru s cílem vytvořit vyhrazené trasy optimalizované z hlediska bezpečnosti a efektivity. Tyto koridory by měly být navrženy tak, aby se vyhnuly narušení stávajících letových tras pro obchodní, soukromou a nouzovou leteckou dopravu a zajistily tak harmonickou koexistenci. Vymezení letových koridorů pro UAM závisí především na rozmístění stávající letecké infrastruktury jako jsou letiště či heliporty.

4.3.4.1 Výběr vhodných lokalit pro implementaci UAM v rámci Prahy

Město Praha představuje pro integraci UAM specifickou krajinu s hustým historickým centrem, rozlehlými předměstími a směsicí architektonických stylů. Při umisťování vertiportů se klade důraz především na doplnění stávající podoby města, aniž by bylo narušeno estetické a kulturní dědictví, které Prahu definuje. K tomuto účelu se používá analýza vhodnosti lokality v GIS, která kombinuje vrstvy dat o hustotě obyvatelstva, současných dopravních vzorcích a blízkosti klíčových městských památek a ekonomických center. Tato prostorová analýza pomáhá identifikovat oblasti, které mají nejen nejvyšší potenciál pro provoz UAM, ale jsou také v souladu s regulacemi rozvoje města a snahami o zachování historického rázu města.

Kromě toho je klíčová integrace UAM do stávající sítě pražské veřejné dopravy. Vertiporty umístěné v blízkosti stanic metra, tramvajových zastávek a autobusových uzlů by usnadnily bezproblémové multimodální spojení a umožnily cestujícím snadný přestup mezi jednotlivými

druhy dopravy. Tato konektivita se rozšiřuje na propojení klíčových bodů zájmu, jako je pražské letiště Václava Havla, pražské obchodní čtvrti a turistické atrakce, jako je Pražský hrad, Karlův most a Staroměstské náměstí. Tímto způsobem může UAM posílit ekonomickou životaschopnost města a jeho turistickou atraktivitu a zároveň snížit místní dopravní zátěž.

Ve spojení s plánováním vhodné lokality zajistí spolupráce s regulačními orgány, jako je Úřad pro civilní letectví (ÚCL) a místní samosprávou, aby realizace UAM byla v souladu s bezpečnostními normami a provozními předpisy a respektovala hranice města Prahy a řízený vzdušný prostor. Zásadní význam má také zapojení veřejnosti, neboť přijetí UAM veřejností bude hrát klíčovou roli. To zahrnuje nejen informační kampaně, ale také řešení obav týkajících se hluku, soukromí a dopadu na životní prostředí, aby se zajistilo, že rozvoj UAM bude v souladu s potřebami komunity a cíli města v oblasti udržitelnosti.

Vzhledem k historickému statusu Prahy navíc vyžaduje estetické začlenění infrastruktury UAM značné architektonické plánování. Vertiporty musí být navrženy s citem k vizuálnímu dopadu na panorama města, případně s využitím stávajících staveb, které lze přizpůsobit novému využití, jako je například změna využití nedostatečně využívaných budov nebo začlenění do nové zástavby, čímž se zachová historické panorama.

4.3.4.2 Identifikace oblastí s největším potenciálem pro využití UAM

Městská tapiserie Prahy, která se vyznačuje historickým jádrem a rozrůstajícími se moderními periferiemi, nabízí jedinečné prostředí pro zavádění UAM. Centrum města, plné historických památek a vysoké hustoty turistických a obchodních aktivit, vyniká jako hlavní oblast pro nasazení UAM. Potenciál zajistit rychlé spojení mezi klíčovými body zájmu a dopravními uzly, jako je pražské Letiště Václava Havla a Hlavní nádraží, je v souladu s cíli UAM, tedy snížit přetížení pozemní dopravy a poskytnout časově efektivní alternativu dopravy. Kromě toho topografie města charakterizovaná kopcovitým terénem a řekou Vltavou představuje pro pozemní dopravu přirozenou výzvu, kterou by UAM mohla elegantně obejít.

Mimo centrum města představují zajímavé oblasti pro nasazení UAM také pražská předměstí, kde se hustota obyvatelstva postupně snižuje, ale zůstává významná. Tyto oblasti často trpí méně rozvinutou infrastrukturou veřejné dopravy, a tudíž by mohly těžit z rychlých a přímých tras, které UAM přináší. Integrace UAM v těchto oblastech by mohla výrazně zlepšit spojení pro obyvatele a efektivně je propojit s ekonomickými a společenskými centry města.

Proces identifikace zahrnuje také důkladné zvážení stávající dopravní infrastruktury. Vertiporty musí být strategicky umístěny tak, aby byla zajištěna maximální dostupnost

a užitečnost. Lokality v blízkosti současných a plánovaných projektů rozšiřování veřejné dopravy, zejména těch, které souvisejí s navrhovanou linkou metra D, nabízejí synergické příležitosti. Vytvořením intermodálních dopravních uzlů, které kombinují UAM s tradiční veřejnou dopravou, může Praha zajistit soudržnou a komplexní síť mobility.

5 Konkrétní návrh začlenění UAM do města Prahy

Tato kapitola se věnuje návrhu implementace UAM do města Prahy a vychází především z poznatků v předchozích kapitolách. Konkrétní návrh zohledňuje především vhodné umístění vertiportů na základě potenciální poptávky v dané lokalitě a letové trasy a vymezené koridory v rámci vzdušného prostoru nad městem v závislosti na současném stavu letecké dopravy. Návrh nezohledňuje postupy řízení UAM a její digitalizaci ani legislativní a bezpečnostní procedury co se týče certifikace letadel UAM a provozu. Považuje tyto postupy za zcela implementované. Nebude ani poskytovat odpovědi na otázky týkající se šetrnosti k životnímu prostředí a hlukové zátěže vyplývající z implementace UAM. Nahlíží na problematiku UAM pouze v otázce využitelnosti, potenciálních přínosů a návrhu infrastruktury.

5.1 Návrh konkrétních aplikací UAM v městském prostředí

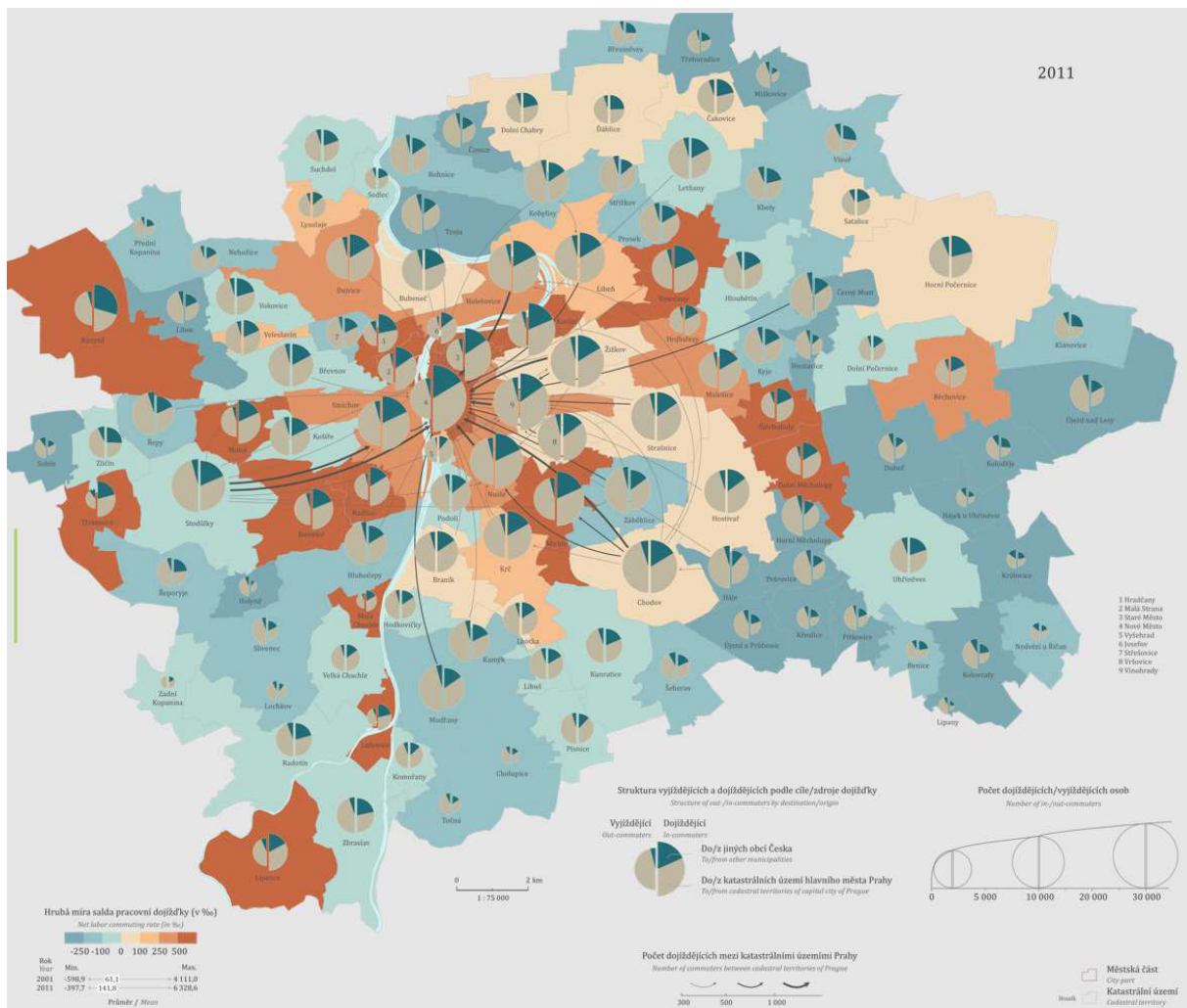
K vytvoření návrhu implementace UAM do města Prahy poslouží nástroj SUMP, přičemž tři ze čtyř fází budou v tomto návrhu figurovat. Poslední fáze, kterou je implementace a hodnocení není možné za současných podmínek realizovat vzhledem k tomu, že se jedná o fázi, která počítá již s plně implementovaným systémem UAM. V této kapitole budou na základě poslední fáze pouze nastíněny možné potenciální přínosy a rizika s tímto provozem spojená. Ve fázi přípravy a analýzy se návrh bude věnovat otázce využitelnosti UAM a zohlední potřeby obyvatel a stávající dopravní infrastruktury. Ve fázi vypracování strategie zohlední návrh koexistenci ostatních druhů dopravy a přidá důraz na efektivní integraci UAM vůči současným dopravním řešením. Ve třetí fázi, plánování, návrh sloučí poznatky z předchozích dvou fází na základě, kterých určí vhodné umístění vertiportů. Dále také určí letové koridory na základě okolního vzdušného prostoru. Už jen tyto tři fáze dají vzniku návrhu implementace UAM do města Prahy, který bude využitelný pro budoucí plánování dalších možných bodů umístění vertiportů a plánování tras UAM.

5.1.1 Přeprava osob

V době, kdy jsou města stále více přetížena, nabízí integrace systémů UAM potenciál snížit počet dopravních kongescí, zkrátit dobu dojíždění a poskytnout efektivní a udržitelné řešení mobility. Tato kapitola zkoumá možnosti integrace UAM v městském prostředí města Prahy z pohledu přepravy osob. Kapitola je zaměřena na komplexní analýzu urbanismu, stavu veřejné dopravy a zkoumání současné dopravní situace, na základě čehož je vytvořen návrh implementace v reálném prostředí města.

5.1.1.1 Analýza a příprava

Praha je unikátní město s rozmanitou topografií, nemalým historickým jádrem a rozlehlým předměstím plným obytných komplexů a obchodních zón. Praha, jakožto největší město České republiky s bezmála 1,4 miliony obyvatel, se každodenně potýká s četnými dopravními problémy jako jsou dopravní kongesce nebo přetížení MHD. Přestože se Praha pyšní téměř dokonalou sítí MHD nelze opomínat rychle narůstající počet obyvatel nejen v Praze ale i v okolní města, ze kterého do Prahy denně dojíždí více než 160 000 lidí. Obyvatelé Prahy se v rámci města pohybují za nejrůznějšími aktivitami jako je cesta do práce, za účelem nákupu či v rámci volnočasových aktivit. Nejčastěji však lidé dojíždí do zaměstnání zejména z okrajových částí Prahy do centra města. Obrázek 13 ukazuje pohyb obyvatelstva za prací v rámci Prahy. Můžeme vidět, že do centra Prahy proudí denně desetitisíce lidí převážně z obytných částí města jako jsou Stodůlky, Modřany, Chodov, Černý Most, Kobylisy a Letňany. V rámci Prahy dojíždí za prací denně více než 420 000 lidí, přičemž nejvíce jich míří právě do čtvrtí centra města jako například Nové a Staré Město, Malá Strana, Smíchov a Hradčany. Pražané přitom tvoří dvě třetiny všech dojíždějících [33, 34, 36].

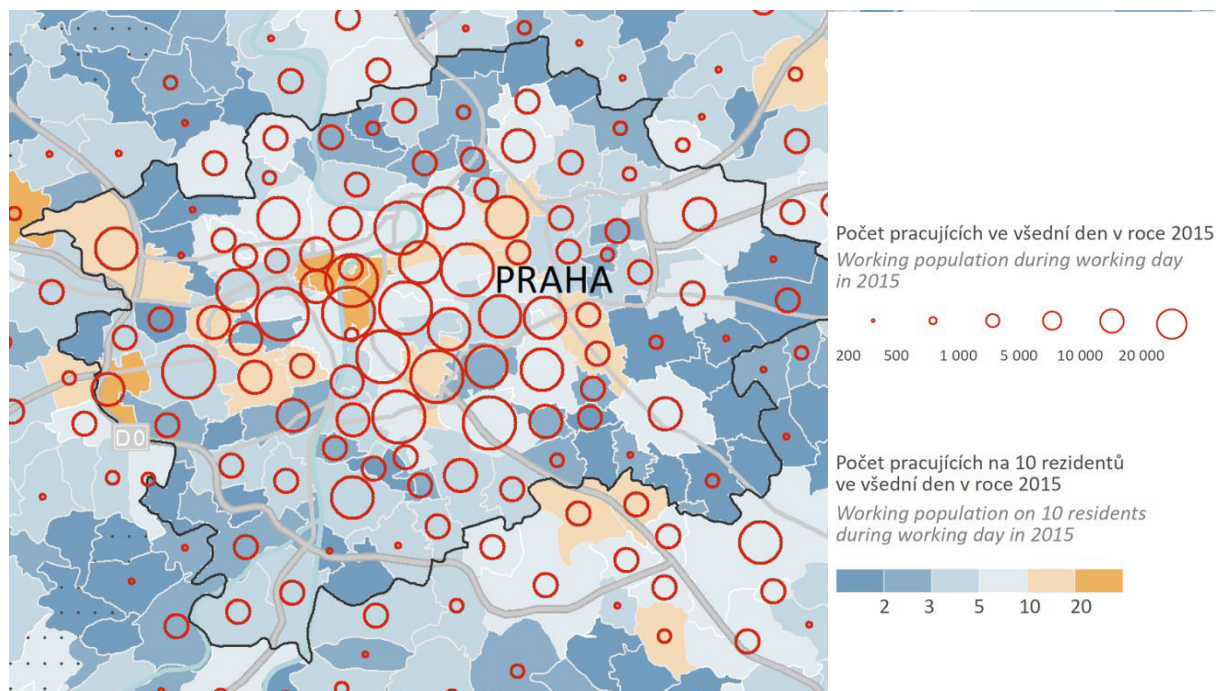


Obrázek 13 - Dojížděka do zaměstnání v Praze v roce 2011 [32]

Tento pohyb obyvatel a jejich cestovní návyky tvoří především míra pracovní příležitosti v daných oblastech. Na Obrázku 14 vidíme pracovní příležitosti v jednotlivých částech Prahy. Centrum města viditelně převyšuje ostatní části v nabídce pracovních pozic. Lidé cestují za prací do centra Prahy nejen kvůli široké nabídce pracovních příležitostí, ale také kvůli prestiži spojené s prací ve významných institucích a firmách, které zde sídlí. Centrum města je také snadno dostupné díky vynikající síti veřejné dopravy, která zahrnuje tramvaje, autobusy a metro, což z něj činí atraktivní místo pro dojíždění za prací. Práce v centru města navíc může nabídnout více příležitostí k navazování kontaktů, kariérnímu rozvoji a možnost být v popředí obchodních a kulturních aktivit. Centrální část Prahy se svým dynamickým a kosmopolitním prostředím stále přitahuje pracovníky nejen z celého města, ale také z okolních obcí, jak je patrné z Obrázku 13, a přispívá tak ke své pověsti živé a rušné metropole.

Pražské čtvrti jako Jinonice nebo Třebonice také značně přispívají k nabídce pracovních míst, jak je patrné z Obrázku 14. Tyto čtvrti prošly významným rozvojem a komerčními

investicemi, což vytvořilo vysokou poptávku po pracovních místech v nejrůznějších odvětvích. Významným faktorem tvorby pracovních míst bylo zřízení obchodních a technologických parků. Například v Jinonicích se nachází nákupní a obchodní centrum Galerie Butovice a v jejich blízkosti pak Prague British International School, které nabízejí širokou škálu pracovních příležitostí v oblasti obchodu, vzdělávání a administrativy. Současně průmyslový růst Třebonic, které jsou známé především svou nákupní zónou, jednoho z největších nákupních center v České republice Metropole Zličín, která je sama o sobě zdrojem mnoha pracovních příležitostí v oblasti obchodu, služeb a pohostinství.



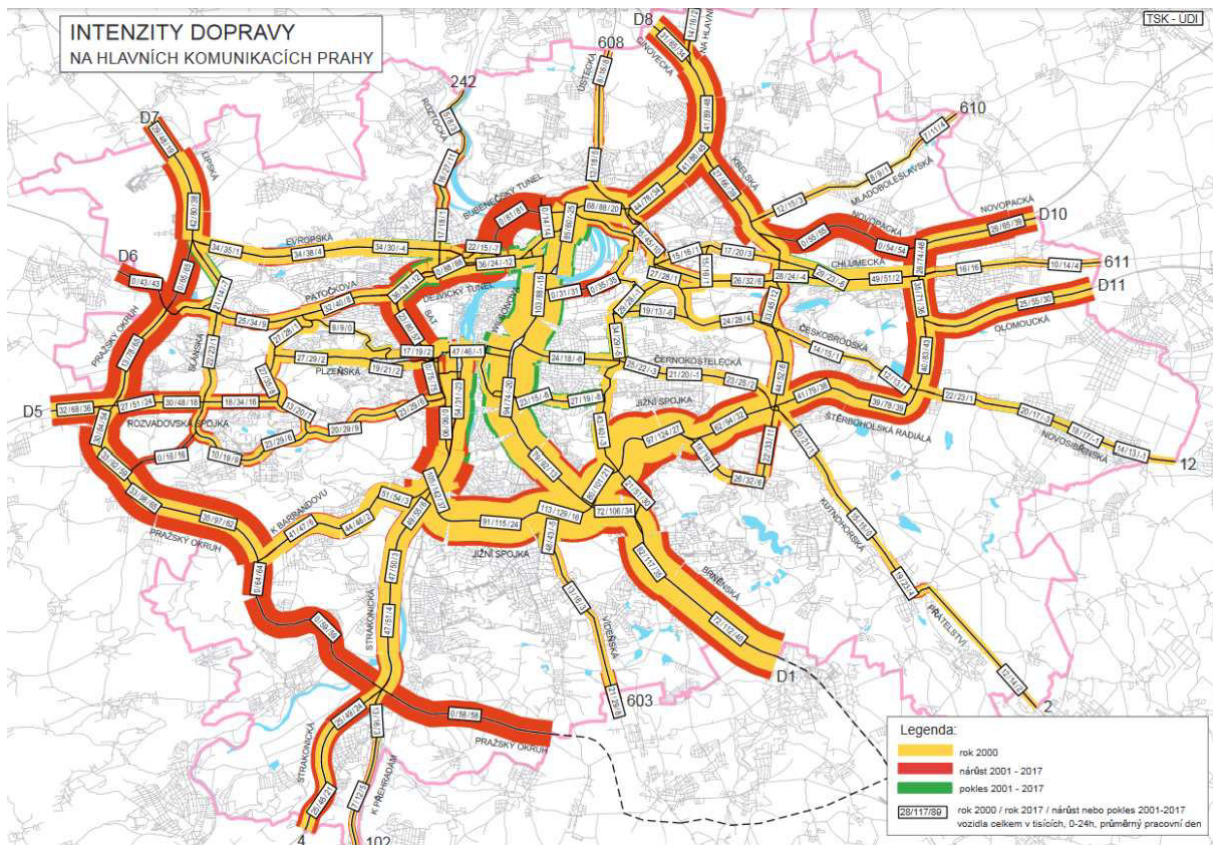
Obrázek 14 - Pracovní příležitosti v Praze [35]

Další významnou čtvrtí z hlediska pracovní nabídky je čtvrť Ruzyně, která je domovem mezinárodního letiště Václava Havla, největšího letiště Prahy. Z pohledu dojíždění za prací je Ruzyně atraktivní spíše pro dojíždějící z okolí města, vzhledem k její pozici na okraji města, avšak z pohledu turismu hraje tato čtvrť klíčovou roli. Každoročně navštíví Prahu až 8 milionů turistů, přičemž 80 % ze zahraničí. Většina těchto turistů najde cestu do Prahy skrze pražské letiště. Z něj následně do centra města ať už MHD, zapůjčeným osobním automobilem nebo taxi. Jelikož pražské letiště disponuje pouze silničním dopravním spojením bez jakékoliv náhradní alternativy, je běžné, že tato silniční infrastruktura často nezvládá nápor dopravy na hlavních silničních tazích mezi letištem a centrem města zejména v dopravních špičkách [34].

Ve vztahu k UAM nám analýza trhu práce a přesunu obyvatelstva v rámci Prahy poskytuje určitý náhled na problematiku přetížení dopravy v rámci města. Je patrné, že značná část obyvatelstva cestuje za prací do centra města nebo čtvrtí s vysokou nabídkou pracovních

příležitostí. Také letiště představuje nemalou výzvu pro dopravní infrastrukturu mezi ním a centrem města. Právě na těchto místech pak vznikají dopravní problémy jako jsou kongesce a přetížení MHD způsobené především nedostatečnou infrastrukturou. Zavedení UAM a efektivních letových drah mezi centrem města, letištěm a hustěji obydlených městských částí, ze kterých se přemísťuje největší množství obyvatelstva by mohlo doplnit síť dopravní infrastruktury a stát se tak alternativním druhem dopravy, který situaci na pozemních komunikacích značně ulehčí. Z hlediska umístění vertiportů bude tedy důležité brát v potaz především tyto lokality.

Co se týče obyvatel středočeského kraje dojíždějících do Prahy z blízkého okolí, kteří tvoří kolem třetiny dojíždějících, ani ti se nevyhnou komplikacím v ranních a odpoledních špičkách ať už volí jako způsob dopravy osobní automobil nebo autobus. Právě hlavní silniční tahy jsou z hlediska přetížení dopravy ty nejnáchylnější, a proto se často potýkají s četnými kongescemi. K nejvytíženějším dopravním cestám patří městský okruh v čele s jižní spojkou a Barrandovským mostem, po kterém denně projede více než 140 000 vozidel, pražská severojižní magistrála, která je hlavní silniční tepnou vedoucí skrze centrum města a dálnice D1 v úseku napojení na jižní spojku. Nesmíme opomenout ani pražský okruh, který je hlavním silničním spojením z a na letiště Václava Havla, především jeho severozápadní část. Obrázek 15 poskytuje vizuální přehled vytížení zmíněných dopravních komunikací. Můžeme si všimnout například prudkého navýšení intenzity automobilové dopravy v oblasti napojení pražského letiště na pražský okruh. Zhodnotit lze také významné dopravní uzly, které spojují již zmíněné silniční tahy v oblasti Barrandovského mostu a napojení dálnice D1 na jižní spojku a severojižní magistrálu [37].



Obrázek 15 - Intenzita automobilové dopravy v roce 2017 [40]

Z důvodu přetížení komunikačních sítí město přišlo s řešením pro dojíždějící v podobě záchytných parkovišť P+R s cílem ulevit jak dojíždějícím, tak i situaci na silnicích. Tyto parkoviště jsou strategicky umístěny nejčastěji na okraji města poblíž hlavních silničních tahů a v blízkosti stanic železniční, tramvajové a podpovrchové MHD. Lidé tak mohou svá vozidla na celý den zaparkovat za relativně výhodný tarif a pokračovat zbytek cesty do práce MHD. Na jednu stranu toto řešení uleví vytížené dopravní situaci na silnicích, avšak na stranu druhou o to více zaplní vozidla MHD. Přestože MHD nápor cestujících zatím relativně zvládá, je jen otázka času, kdy poptávka po MHD přeroste nabídku a objem cestujících již nebude možné efektivně odbavit. Již dnes jsou v ranních a odpoledních špičkách patrné jisté náznaky nedostatečné kapacity například tramvajových vozů či vozů metra, kdy lidé často cestují v přeplněných vozech.

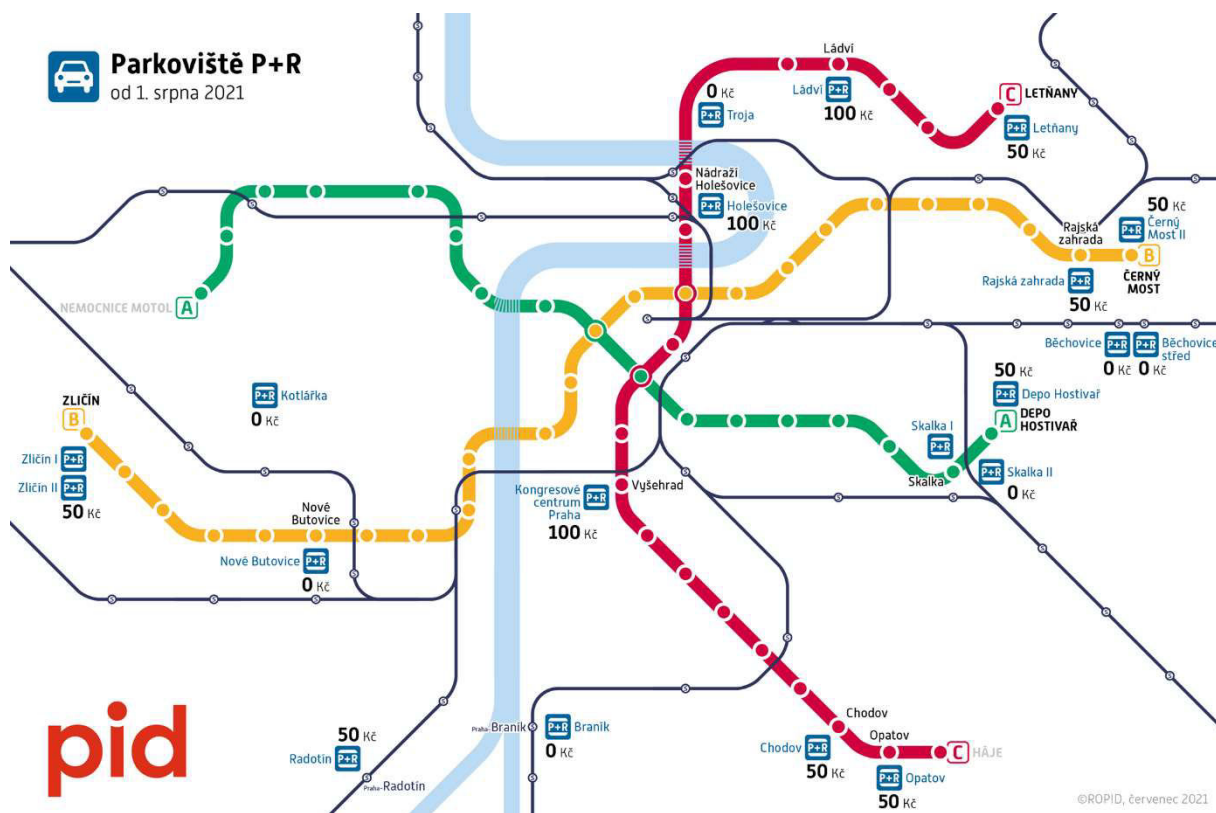
Z hlediska využití UAM k odlehčení náporu cestujících dojíždějících za zaměstnáním do Prahy a využívající parkovišť P+R, lze uvažovat o doplnění stávající sítě MHD o prostředky UAM i v okolí těchto parkovišť, obzvláště pak na těch vytíženějších nebo těch s horší návazností MHD.

5.1.1.2 Vypracování strategie integrace UAM

Z hlediska integrace UAM do sítě MHD v Praze se nabízí tři možné přístupy. Tím prvním je integrace takovým způsobem, kdy UAM bude sloužit jako doplňující alternativa dopravy již ke stávajícím řešením s cílem snížit vytížení dopravy jak silniční, tak i traťové a podpovrchové a s cílem nabídnout uživateli rychlejší alternativu cestování. To znamená navrhnou umístění vertiportů v oblastech mezi nejvytíženějšími linkami ať už z hlediska počtu přepravovaných cestujících či schopnosti dopravit cestující na místo určení včas a za vhodných podmínek. Druhý přístup spočívá v návržení UAM sítě v místech s horší dostupností MHD a návazných spojení, kde cestující dlouho čekají na vhodný spoj nebo kde dokonce žádná linka nejezdí. Těchto míst je však v desítky let budované, husté síti pražské MHD jen velmi málo. Poslední způsob integrace je jakousi kombinací předchozích dvou přístupů, kdy je zajištěno jak doplnění stávající sítě MHD, tak i obsluha méně přístupných lokalit v rámci města. Je však důležité zmínit, že méně obsluhované oblasti mohou disponovat nízkou poptávkou po spojení MHD, a proto je třeba zaměřit se na otázku, zda je integrace UAM do takovýchto míst stěžejní. V návrhu integrace UAM v rámci této práce bude figurovat pouze integrace způsobem doplnění stávající sítě MHD. Podíváme-li se na mapu veřejné dopravy v Praze v Příloze 1, můžeme na první pohled vidět, že síť MHD je opravdu hustá a je jen málo míst kam by nedosahovala infrastruktura metra nebo tramvajové a autobusové dopravy. Míst s malou nebo nulovou obslužností v Praze je jen velmi málo, a proto nemá smysl uvažovat o možnostech integrace UAM z hlediska dosažení požadované obslužnosti.

Linky metra jsou strategicky navrženy tak, aby pokrývaly co nejrozsáhlejší území a zasahovaly do co nejvíce okrajových částí Prahy. Metro je bezpochyby nejrychlejším a nejefektivnějším druhem MHD, které ročně převeze až 440 milionů cestujících. V dopravních špičkách však s narůstajícím počtem cestujících strádá každým rokem čím dál tím více. Doplněním a následným vývojem infrastruktury UAM v nejvytíženějších úsecích může počet cestujících využívající metro klesat, čímž lze zajistit udržitelnou efektivitu a komfort cestujících. Počáteční stanice metra často začínají v místech, kde je využití metra jediným možným způsobem cestování na delší vzdálenosti do centra města nebo skrze něj. Přestože v okolí těchto stanic najdeme spleť autobusových linek, nelze je považovat za optimální alternativu dálkové přepravy. Tyto linky slouží spíše jako sběrnice k nedalekým stanicím metra, které je však tímto způsobem o to více namáháno. Vytížení metra nenahrává ani poloha parkovišť P+R, které jsou často v těsné blízkosti několika prvních stanic metra. Například na lince C v úseku Háje až Roztyly neexistuje alternativní druh dopravy, přestože se na tomto úseku nachází dvě P+R parkoviště a cestující sem sváží více než 20 autobusových linek z jihovýchodní části Prahy a blízkého okolí. Se stejným problémem se potýká linka C i ve druhém směru a oba počáteční úseky linky B, na který se nachází celkem

pět parkovišť P+R jak můžeme vidět na Obrázku 16. Problém přetížení metra na lince B ze směru stanice Zličín je navíc umocněn průjezdem jedné z nejhustěji osídlených obytných čtvrtí, kterou jsou Stodůlky, ze které také míří do centra města nejvíce obyvatel [38].



Obrázek 16 – Mapa umístění parkovišť P+R [39]

Integrace UAM do oblastí počátečních stanic metra bude jednou z možností, která by mohla být pro danou oblast přínosná. Mohla by efektivně zmírnit přetížení podpovrchové dopravy. Umístění vertiportů v úsecích skrze centrum města bude záviset na poptávce po alternativním druhu dopravy a využitelnosti v rámci pohybu v centru města. Vzhledem k tomu, že centrum města disponuje zastoupením všech druhů dopravy, které jsou na sebe velmi dobře navázané a z hlediska potřeby cestujících více než dostačující budou vertiporty v centru města sloužit spíše jako huby pro odbavení většího počtu cestujících z okrajových částí Prahy. Tyto huby by měli být umístěny v místech s možností přestupu na jiné druhy dopravy, které cestující přepraví do jejich finálních destinací.

Doplnění tramvajových linek prostřednictvím UAM bude záviset především na hustotě obyvatelstva městských částí, kterou linka prochází, pohybu cestujících a přítomnosti alternativního druhu dopravy. Oproti metru se tramvajové linky zpravidla nenacházejí v oblasti velkého přílivu cestujících z okolí Prahy. Často však stejně jako metro procházejí oblastmi s vyšší hustotou obyvatel jako jsou Modřany, Žižkov nebo Záběhlice. V těchto oblastech jsou také jediným využitelným druhem dopravy.

Autobusová doprava pokrývá zbývající části Prahy, kde není doposud zavedená tramvajová doprava nebo není možné potřebnou infrastrukturu v dané oblasti vybudovat vlivem nevhodných podmínek pro její výstavbu. Poskytuje cestujícím možnost přiblížení k rychlejší alternativě dopravy jako je vlakové spojení či metro ale také spojení mezi delšími a odlehlejšími částmi města, které jsou často obsluhovány pouze autobusovou dopravou. Linky zpravidla navazují na tramvajová spojení nebo metro a vyhýbají se vjezdu do centra města s cílem nezatěžovat silniční infrastrukturu. Autobusová doprava má oproti metru a tramvajové dopravě značnou nevýhodu způsobenou sdílením infrastruktury se zbytkem silniční dopravy. Přestože město zřizuje pro autobusovou dopravu speciální jízdní pruhy určené pouze pro autobusy, není to vždy jistota hladkého průběhu cesty bez dopravních komplikací. Proto je důležité zaměřit se z hlediska integrace UAM a doplnění stávající sítě autobusové dopravy především na oblasti s vysokou intenzitou silničního provozu. Jedním z nejdůležitějších příkladů je spojení mezi letištěm Václava Havla a centrem města, které obsluhuje v rámci MHD pouze autobusová doprava. Obzvláště během turistické sezóny může být tento nedostatek problémový z hlediska vytíženosti nejen autobusové dopravy ale také celé silniční dopravy na hlavních tazích směrem z a do centra města. Dalším příkladem oblasti obsluhující pouze autobusová doprava s vyšším objemem dojížděky do centra města jsou pražské čtvrti Modřany, Krč nebo Kamýk. V této oblasti však město buduje čtvrtou linku pražského metra, linku D, která má poskytnout obyvatelům těchto částí rychlejší a efektivnější alternativu dopravy.

Potenciál integrace UAM ve smyslu doplnění stávajících řešení autobusové dopravy je bez pochyby největší mezi pražským letištěm a centrem města. Dále v městských částech Modřany, Krč nebo Kamýk. Tyto oblasti však budou v dohledné době obsluhovány alternativním druhem dopravy v podobě metra. Nelze tedy jasně předpovědět vývoj pohybu obyvatelstva. Návrh bude tedy zaměřen především na pohyb cestujících z centra města na letiště a naopak.

5.1.1.3 Plánování

V předchozích kapitolách byly definovány oblasti, které jsou na základě analýzy urbanismu, dopravní situace a MHD pro integraci UAM nejvhodnější. Nyní zbývá navrhnout síť vertiportů a letových cest v těchto místech tak, aby hladce navazovaly na zbývající druhy dopravy. Zároveň musí být navrženy v místech kde je pro tuto potřebnou infrastrukturu dostatek prostoru. Z hlediska vzdušného prostoru bude zapotřebí zhodnotit také okolní provoz letecké dopravy v blízkosti pražských letišť a městských heliportů. Posledním důležitým aspektem bude zhodnocení prostoru v okolí navrhovaných vertiportů z hlediska potenciálních překážek v podobě výškových budov.

Na základě analýzy urbanismu, dopravní situace a aktuálního stavu MHD bylo navrženo celkem 10 vertiportů a 9 letových cest spojující tyto vertiporty určených pro přepravu osob. Součástí infrastruktury vertiportů je jeden vertihub (Pankrác) a tři vertibáze (Hlavní nádraží Galerie Butovice a Letiště Václava Havla). Vertihub bude sloužit nejen jako výstupní a nástupní most mezi pozemní a vzdušnou dopravou ale také jako depo eVTOL, kde bude možné provádět jejich údržbu, nabíjení a parkování. Vertibáze bude určena především k odbavení většího množství cestujících.

Příloha 2 obsahuje mapu navrhované sítě vertiportů z hlediska přepravy osob. Můžeme vidět, že právě vertihub a vertibáze, budou z hlediska přepravy osob těmi nejvytíženějšími. Je také patrné, že navrhovaná síť je typem hub-and-spoke, kdy jsou navrženy trasy z okrajových částí Prahy z vertipadů do centra města na vertihub a vertibáze. Z poznatků z analýzy pohybu obyvatelstva, právě přesun z okrajových částí Prahy do centra města bude vyžadovat robustní infrastrukturu v centru města kde bude očekáván největší příval cestujících ať už místních, či z okolí Prahy. Nyní zbývá popsat navrhované umístění vertiportů a letových cest z hlediska využitelnosti a potvrdit tak vhodnost jejich umístění. Návrh prostoru pro výstavbu jednotlivých vertiportů byl graficky znázorněn na mapovém podkladu Mapy.cz. Trojrozměrný pohled vychází z mapy vytvořené Institutem pro plánování a rozvoj hlavního města Prahy [45, 46].

Vertiport na letišti Václava Havla byl strategicky umístěn v oblasti před terminálem 3. Plocha, vyobrazená na Obrázku 17, vymezená pro výstavbu vertiportu v této oblasti o velikosti 13 200 m² spadá do návrhového horizontu dopravních letišť, a tudíž je možné plochu využít pro výstavbu zařízení pro provoz letecké dopravy. Umístění také umožňuje využít tento vertiport nejen turistům cestujících z a na letiště, ale také zaměstnancům, kterých pracuje na letišti více než 16 000. Přestože není vertiport umístěn v blízkosti terminálu 1 a 2, ze kterých odlétá a přilétá nejvíce lidí, je možné hladké navázání na pozemní dopravu v podobě autobusových linek. Autobusová zastávka Terminál 3 se totiž nachází v těsné blízkosti navrhovaného prostoru. Zároveň je zde možnost zřídit novou linku pozemní dopravy, která bude sloužit výhradně pro přiblížení cestujících z terminálů 1 a 2 k tomuto vertiportu. Důvodem umístění vertiportu v oblasti terminálu 3 je plánovaná výstavba paralelní vzletové a přistávací dráhy ke dráze 06/24 na letišti Václava Havla. Po dokončení výstavby by letová dráha UAM směrem do centra města z terminálu 1 a 2 křížovala osu nově vybudované dráhy, což by mohlo způsobit nemalé komplikace z hlediska bezpečnosti a efektivity provozu na letišti. Uspořádání FATO v tomto případě bude na základě vertibáze. Letiště Václava Havla každoročně odbaví více než 10 milionů cestujících, a proto můžeme očekávat velké vytížení tohoto vertiportu. Pro zvládnutí velkého náporu cestujících bude potřeba i větší počet FATO [42, 43, 44].



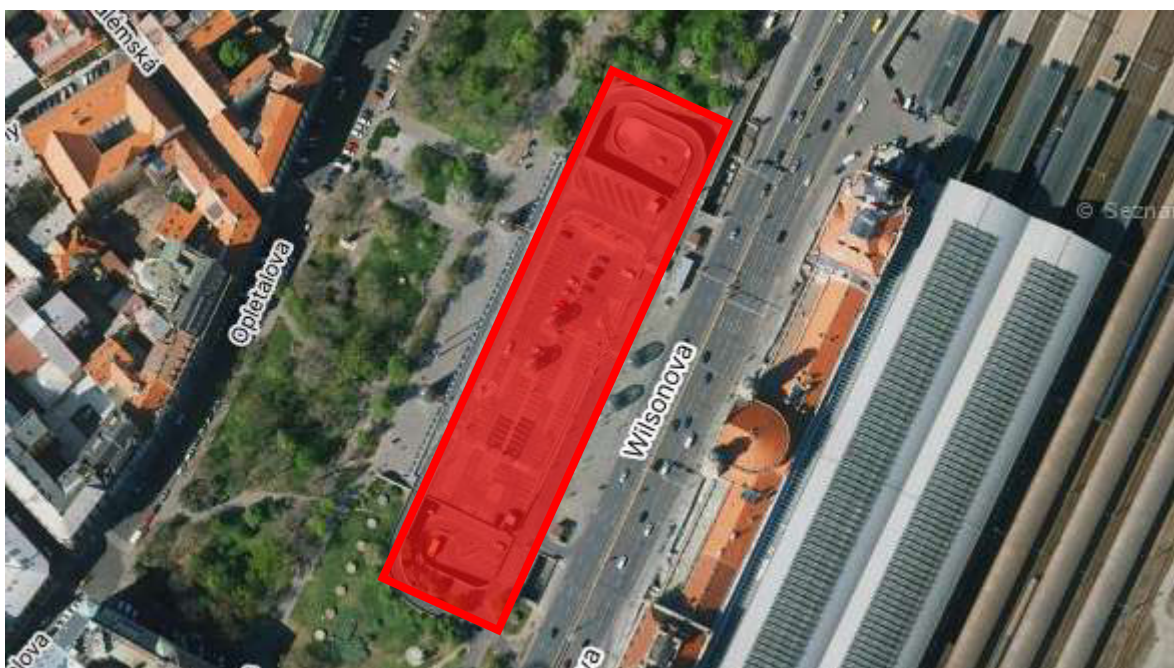
Obrázek 17 – Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Letiště Václava Havla

Z hlediska bezpečnosti odletů a příletů letadel UAM hraje důležitou roli okolí navrhované oblasti vertiportu. V blízkém okolí se nachází budovy společnosti Bell Helicopter (na Obrázku 18 vlevo dole), terminálu 3 (vpravo dole) a budovy výcvikového střediska řízení letového provozu (ve středu obrázku nahoře). Přestože se nejedná o příliš vysoké budovy, umístění FATO a vedení odletové a příletové dráhy bude hrát důležitou roli z hlediska návrhu. Návrh nejvíce ovlivní budovy výcvikového střediska, jelikož se nacházejí z hlediska vertiportu ve směru do centra Prahy, kudy by byla v ideální případě vedená letová trasa. Letové trasy je však v tomto případě možné vést přes přilehlé pole, a proto není potřeba zavádět jakákoliv jiná prostorová omezení.



Obrázek 18 – 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Letiště Václava Havla

Vertiport Hlavní nádraží představuje dalšího zástupce rozložení v podobě vertibáze v navrhované síti UAM v Praze. Na rozloze 10 000 m² lze na tomto místě postavit dostatečné množství FATO a parkovacích stání pro letadla UAM. Jedná se o umístění v samotném centru Prahy nedaleko Václavského náměstí v blízkosti dvou velkých pražských železničních nádraží, kterými jsou Hlavní nádraží a Masarykovo nádraží. Vertiport Hlavní nádraží také navazuje na všechna zastoupení MHD jako je metro a tramvajová, železniční a autobusová doprava. V tomto místě lze očekávat největší koncentraci cestujících využívající služby UAM nejen na cestě do centra města, ale také v souvislosti návaznosti na železniční či meziměstskou autobusovou dopravu. Plocha na Obrázku 19, určená pro výstavbu vertiportu v tomto místě je určena pro zařízení veřejné dopravy, a proto je i z tohoto hlediska vhodným místem. Prostor momentálně slouží jako parkoviště a autobusový terminál pro meziměstské autobusové spojení. Přímo se zde však nabízí výstavba vertiportu nad tímto parkovištěm. Plochu tak lze zhodnotit a využívat jako kryté parkoviště a zároveň jako přestupný bod z konvenčního typu přepravy na přepravu pomocí UAM [42].



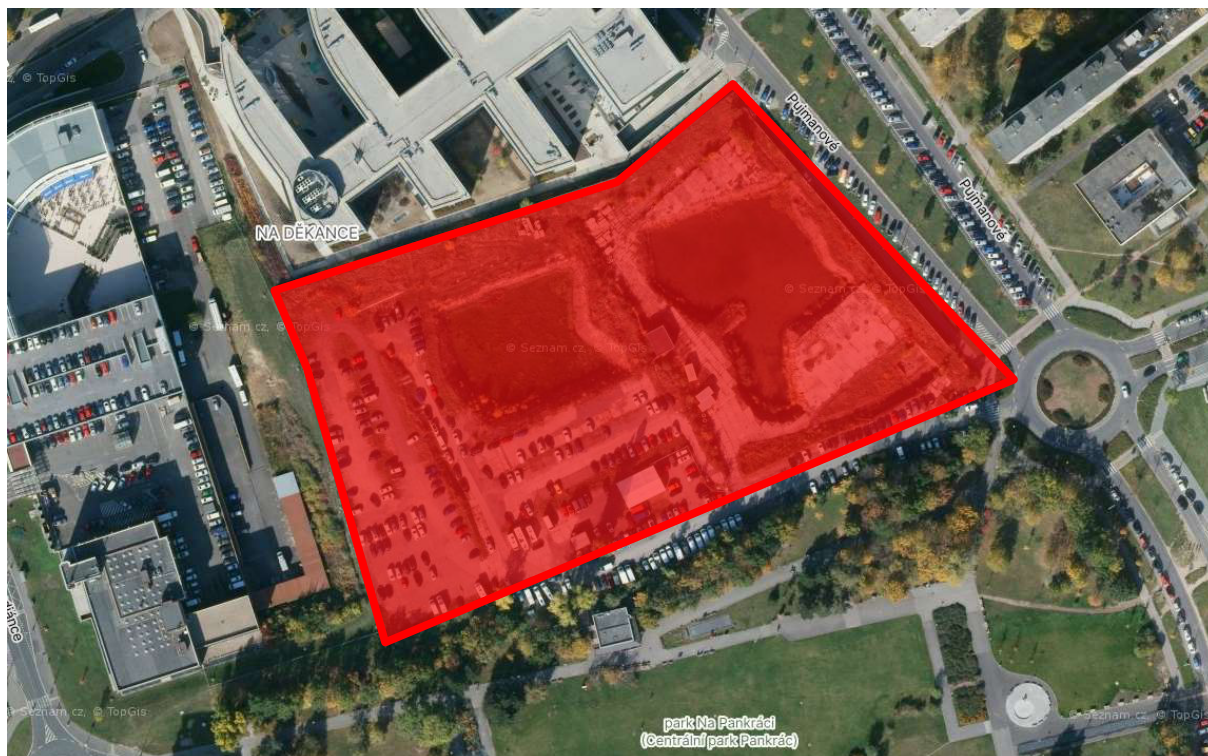
Obrázek 19 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Hlavní nádraží

Přestože se jedná o vertiport v samotném srdci města, přiblížení letadel bude možné realizovat relativně jednoduše nad pražskou severojižní magistrálou, která vede mezi navrhovaným vertiportem a Hlavním nádražím. V těsném okolí vertiportu se nachází pouze budova Hlavního nádraží, jak můžeme vidět na Obrázku 20, která však přiblížení a odlet nijak zásadně neovlivní. Na trase D se ve směru na Pankrác nachází budova parkovacího domu, která však svojí malou výškou a dostatečně velkou vzdáleností od vertiportu také nijak neovlivní provoz UAM v tomto směru.



Obrázek 20 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Hlavní nádraží

Pankrác je jediným navrhovaným vertiportem s rozložením v podobě vertihubu. Na ploše na Obrázku 21 s více než 28 000 m² bude možné vybudovat zařízení schopné odbavit velké množství cestujících. Zároveň by tento hub mohl sloužit jako údržbové středisko a centrála řízení provozu UAM. Mimo jiné půjde také o jakési depo, kde bude možné eVTOL zaparkovat či dlouhodobě skladovat. Plocha je momentálně z části využívána jako provizorní parkoviště a z části nevyužívaná z důvodu přítomnosti vodní plochy, která není nijak využívána. Zhruba dvě třetiny plochy jsou v dezolátním stavu, což nijak nepřispívá k hodnotě pozemku. V okolí tohoto místa se nachází významná obchodní čtvrť Pankrác. Pankrác je prestižní obchodní lokalitou, která v posledních letech prošla významným rozvojem. Nachází se zde několik výškových komerčních budov, což z ní činí významnou obchodní čtvrť v rámci města. Vybudování moderní centrály a významného dopravního uzlu UAM by mohl přinést této oblasti moderní ráz a další potenciál rozvoje v oblasti obchodu. V nedalekém okolí se nachází stanice metra Pankrác, která se v dohledné době stane přestupní stanicí na lince C a D, což dále zvýší atraktivitu této oblasti. Mimo jiné je zde zastoupena i tramvajová a autobusová doprava.



Obrázek 21 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Pankrác

Vertiport Pankrác spojuje čtyři další vertiporty ze všech světových stran. Vzhledem k jeho rozmanitému okolí bude potřeba dobře naplánovat vedení letových tras. V okolí vertiportu se totiž nachází nejvyšší budovy Prahy, které představují potenciální překážku z hlediska bezpečnosti ale také efektivity provozu. Na Obrázku 22 také můžeme vidět přilehlou budovu, která svou výškou zamezuje možnosti vedení odletové trasy ze severní strany vertiportu. Musíme však vzít v potaz fakt, že vertihub mimo jiné definuje také několikapodlažní uspořádání, kdy eVTOL vzlétají a přistávají především ze samotného vrcholu stavby. Z toho důvodu je možné, že se vertihub Pankrác bude svou výškou rovnat nebo dokonce převyšovat přilehlou komerční budovu. Pro tuto chvíli však uvažujeme výšku nižší. Letové trasy tedy musí opouštět vertiport z jeho východní a jižní strany. Jižní strana umožňuje bezpečný vzlet a přisání díky blízkému parku kde maximální výška stromů nepřesahuje deset metrů. Na východní straně široká ulice a parkovací stání vytvářejí pomyslný koridor přiblížení kudy lze vést letovou trasu D.



Obrázek 22 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Pankrác

Prvním zástupcem uspořádání FATO a parkovacích stání jako vertipad je vertiport Zličín. Plocha na Obrázku 23 o velikosti 6 500 m² představuje perspektivní prostor z hlediska UAM a jeho integrace do MHD města Prahy. Navrhovaný vertiport se nachází vedle autobusového terminálu, který je středobodem meziměstské autobusové dopravy na západě Prahy a pomyslnou bránou do města. Cestující mířící do centra Prahy ze západního okolí často využívají pro svou cestu tento autobusový terminál a navazující metro B, které začíná svou trasu v těsné blízkosti této zastávky. Doplnění MHD o další druh dopravy v této lokalitě by mohlo výrazně zmírnit přetížení metra, jakožto jediné stávající možnosti rychlé přepravy směrem do centra města. V této oblasti se také nachází rozlehlá nákupní centra jako je Metropole Zličín, IKEA nebo Globus, které přilákají cestující i ze směru z centra města.



Obrázek 23 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Zličín

Okolí vertiportu je z hlediska překážek v tomto případě velice nenáročné. Jedinou vyšší budovou v okolí je administrativní budova na Obrázku 24 v horní části obrázku. Přestože se může zdát, že budova stojí v cestě trase směrem do centra města, navrhovaná trasa C však vede přes vertiport Galerie Butovice na Pankrác, a tudíž bude budovu míjet s dostatečně velkou rezervou.



Obrázek 24 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Zlíchín

Vertiport Modřany je dalším z navrhovaných vertipadů, který má za cíl doplnit dopravní infrastrukturu v Modřanech o rychlé spojení mezi touto částí a centrem města. Jelikož tato městská část nedisponuje žádnou linkou metra, a počet cestujících rychle roste vzhledem k rychlé výstavbě obytných budov v této části je třeba podpořit městskou infrastrukturu vedoucí z této oblasti i jiným druhem dopravy. Plocha 17 500 m² vyznačená na Obrázku 25 je více než dostačující k vybudování několika FATO a parkovacích stání. Nedaleko vertiportu Modřany se nachází autobusová zastávka U Belárie a Černý kůň, které mohou sloužit jako přibližovací prostředek k navrhovanému vertiportu.



Obrázek 25 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Modřany

V okolí vertiportu se nenachází jediná překážka, která by mohla způsobit komplikace během vzletu a přistání na navrhované trase F. Ve směru této trasy je však značné převýšení, jak je patrné z prostorového pohledu na Obrázku 26. Převýšení však nezasahuje do těsné blízkosti vertiportu a tudíž má eVTOL dostatek prostoru a času na vystoupení na dostatečnou letovou výšku.



Obrázek 26 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Modřany

Vertiport Černý Most je obdobně jako Zličín umístěn v blízkosti významného meziměstského autobusového terminálu navazujícího na počáteční stanici metra linky B. V jeho blízkosti se také nachází významné obchodní centrum v čele s Centrem Černý Most, Makrem či Hornbachem. S plochou 6 500 m² se také shoduje s vertiportem Zličín. Na Obrázku 27 si

však můžeme všimnout, že jedním rozdílu je, že vertiport Černý Most je navržen jako nástavba parkoviště P+R a tudíž bude mít multifunkční využití. Stejně jako u předchozích dvou případů se bude jednat o typ vertipadu.



Obrázek 27 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Černý Most

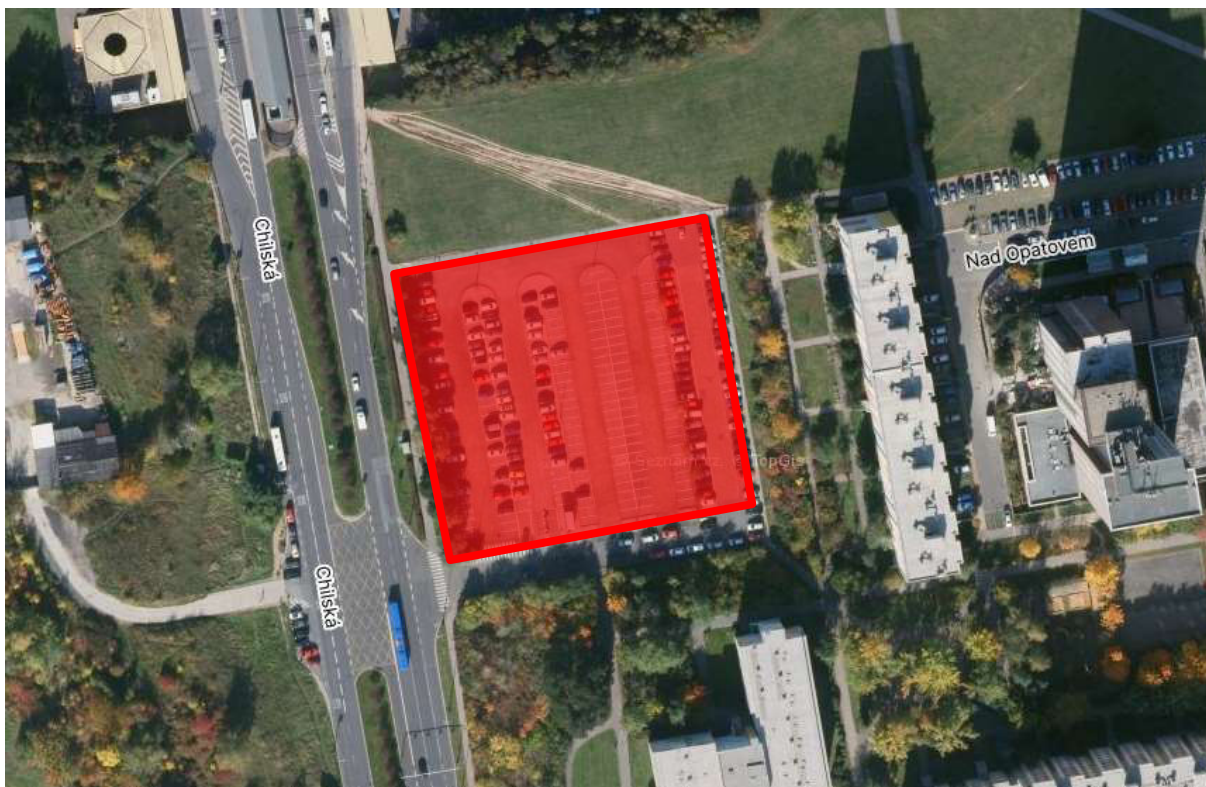
Prostorové zobrazení oblasti na Obrázku 28 opět značí, že se v přilehlé oblasti nenachází vyšší překážka, která by měla v této oblasti zásadní vliv na provoz UAM. Trasa B je navržena tak, aby v počátečním úseku z vertiportu Černý Most kopírovala ulici Chlumecká.



Obrázek 28 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Černý Most

Vertiport Opatov je dalším příkladem vertipadu integrovaného do stávající infrastruktury. Parkoviště P+R Opatov je každodenně vytěžováno dojíždějícími z jižního a jihovýchodního okolí Prahy. Mnozí dojíždějící upřednostňují zaparkování svého vozidla a dokončení posledního úseku své cesty do centra města využitím metra. Nejsou to však pouze obyvatelé

středočeského kraje, kteří využívají metro z této oblasti. Každý den dojíždí za prací několik tisíc obyvatel jižní a jihovýchodní části Prahy, přičemž jediný způsob dopravy do centra je právě metro. Na ploše vyznačené na Obrázku 29 o celkovém rozměru 6 800 m² je možné vybudovat vertiport o dostatečné velikosti, poskytující alternativní druh dopravy do centra města.



Obrázek 29 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Opatov

Okolí navrženého vertiportu Opatov ve směru trasy G je opět bez významných překážek. Na Obrázku 30 vidíme vyšší panelové domy v druhém směru. Ty by mohly být problematické v případě budoucího plánování prodloužení trasy do východnějších koutů Prahy. Zatím však nejsou pro nynější návrh hrozbou.



Obrázek 30 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Opatov

Smíchov je další prestižní lokalitou z hlediska doplnění stávající infrastruktury o inovativní řešení v podobě UAM. Z analýzy pohybu obyvatel v rámci Prahy je patrné, že do této oblasti denně dojíždí velké množství lidí převážně z městských částí jako jsou Stodůlky a Jinonice. Z hlediska turismu je Smíchov také velmi oblíbenou lokalitou. V této oblasti se nachází mnoho hotelů, restaurací a barů, které bují životem a jsou lákadlem nejen pro turisty ale také pro místní obyvatele. Na Obrázku 31 s můžeme všimnout, že se vertiport Smíchov rozkládá nad autobusovým terminálem, který je jednou z mnoha dopravních tepen této oblasti. Další zastoupení zde má například metro či tramvajová doprava. Nedaleko se ještě nachází vlakové nádraží Smíchov, které poskytuje hlavní železniční spojení této prestižní oblasti. Doplněním pražské čtvrti Smíchov o UAM s dokonalou návazností na ostatní druhy dopravy má potenciál ještě více podtrhnout důležitost této čtvrti, a ještě více podpořit její rozkvět. Vertiport Smíchov bude vybudován nad stávajícím autobusovým terminálem. Tudiž bude možné využít plochy bezmála 9 300 m² pro dostatek FATO stání k uspokojení poptávky tohoto nového druhu dopravy.



Obrázek 31 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Smíchov

Okolí vertiportu Smíchov představuje pro hladký provoz UAM relativně velkou výzvu. Vertiport se nachází oproti předchozím řešením vertipadů v husté městské zástavbě. V tomto případě je nutné dobře zhodnotit bezpečnostní rizika, které okolní budovy představují a následně dobře nastavit řízení provozu UAM v této oblasti. Z prostorového zobrazení na Obrázku 32 je patrné, že je prostor návrhu vertiportu doslova obklopen okolní zástavbou. Přestože se může zdát, že z jižní strany je prostoru pro přílety a odlety dostatek, opak je však pravdou. V této oblasti se v současné době buduje severní část rozsáhlého komplexu Smíchov City, který se stane domovem administrativních a obytných prostor. Navrhovaný vertiport bude integrován do stávající infrastruktury, což dává možnost výstavbě takového vertiportu, který bude převyšovat nebo alespoň vyrovnávat výšku okolních budov. Tímto způsobem lze částečně zmírnit rizika spojená s provozem UAM v této oblasti [47].



Obrázek 32 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Smíchov

Vertiport Střížkov je opět typickým příkladem vertipadu integrovaného do stávající dopravní infrastruktury. Podobně jako vertiport Černý Most, je navržen nad stávajícím parkovištěm P+R především z důvodu úspory místa v hustě zastavěné oblasti, kterou Střížkov je. Uživatelé parkoviště či místní obyvatelé mohou služby UAM využít jako alternativní dopravu metra, jehož stanice se v nedaleké oblasti nachází. Na ploše o velikosti 6 000 m² vyznačené na Obrázku 33, lze vybudovat dostatečně velký vertipad k obslužení této oblasti.



Obrázek 33 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Střížkov

Z pohledu zhodnocení okolního prostoru vertiportu Střížkov, je důležité zmínit přítomnost vysokého obytného domu v ideální trajektorii trasy H, jak můžeme vidět na Obrázku 34. Z tohoto důvodu bude nezbytné vést trasu přiblížení a odletů severně přes Libereckou ulici, která následně vytvoří pomyslný koridor pro trasu H směrem do centra města.



Obrázek 34 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Střížkov

Posledním vertibází a i samotným navrhovaným vertiportem je vertiport Galerie Butovice, který je nezbytnou součástí trasy C ze Zličína na Pankrác. Stodůlky a Jinonice, na jejichž hranici se vertiport nachází, jsou čtvrti s velkou hustotou obyvatelstva a vysokou vyjíždějí oblastí obyvatel do centra města. Vzhledem k vysokým nárokům na dopravu v této oblasti je pro tento vertiport vymezena plocha o velikosti 17 300 m², jak můžeme vidět na Obrázku 35, která pohodlně pokryje i vyšší počet FATO. Z důvodu vyšší očekávané vytiženosti dané propojením nejen Pankráce ale také Smíchova je tento vertiport uspořádán jako vertibáze. V těsné blízkosti vertiportu se nachází obchodní centrum Galerie Butovice, které může být lákadlem naopak pro obyvatele centra města, kteří mohou UAM využít i v opačném směru. V okolí navrhovaného vertiportu lze využít autobusovou dopravu či metro. Autobusová doprava slouží spíše jako sběrný systém, který je schopný přiblížit cestující nedaleké stanici metra, přičemž její efektivita upadá na delší vzdálenosti. Z tohoto důvodu volí obyvatelé Stodůlek a Jinonic dopravu do centra v podobě metra. Bohužel v současné době neexistuje v této oblasti alternativní druh dopravy na delší vzdálenosti, a proto je metro linky B často přetěžováno. UAM by tento problém mohla elegantně vyřešit.



Obrázek 35 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Galerie Butovice

S ohledem na okolní obytné domy bude ze směru ze Zličína potřeba upravit trasu letu, která by v ideálním případě tyto domy protínala. Jednoduchým řešením bude v tomto případě vést trasu nad Jeremiášovou ulicí, která obdobně jako tomu bylo u vertiportu Střížkov vytvoří pomyslný koridor. Z druhé strany, na Obrázku 36 v dolní části, tvoří překážku obchodní centrum Galerie Butovice. Netvoří však překážku natolik vysokou, aby bylo nutné upravovat trasy UAM. Navíc je v tomto místě směrem k obchodnímu centru mírná deklinace terénu.



Obrázek 36 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Galerie Butovice

Deset navržených vertiportů v Praze spojuje devět letových tras. Tyto trasy byly navrženy v závislosti na okolních překážkách v oblasti přiblížení a odletové oblasti vertiportů a na základě povahy vzdušného prostoru nad Prahou. Okolní překážky byly definovány k jednotlivým vertiportům v předchozí části této kapitoly a s nimi i příletové a odletové koridory jednotlivých tras. Co se týče tras mimo oblast přiblížení a odletů je potřeba analyzovat stávající situaci vzdušného prostoru z pohledu letecké dopravy nad Prahou, která disponuje hned čtyřmi letišti.

Největším pražským letišťem je mezinárodní letiště Václava Havla, které se nachází v městské části Ruzyně. V předchozích kapitolách bylo již toto letiště přestaveno v dostatečné míře, avšak nikoliv z pohledu vlivu na okolní vzdušný prostor. Letiště Václava Havla disponuje dvěma přistávacími a vzletovými dráhami jejichž osy se navzájem protínají. Nelze tedy tyto dráhy používat současně. Značně vytíženější z těchto dvou drah je dráha 06/24. Ta však z pohledu využití prostoru nad Prahou hraje minimální roli, vzhledem k tomu že její osa protíná pouze dvě pražské čtvrti Přední Kopaninu a Suchdol, a to pouze okrajově. Mnohem důležitější je pro dění ve vzdušném prostoru nad Prahou dráha 12/30. Přestože je dráha 12/30 využívána oproti dráze 06/24 mnohem méně, její osa vede skrze celou jihozápadní část Prahy a protíná čtvrti jako jsou Řepy, Motol nebo Jinonice. Do jaké míry však tento prostor ovlivňuje je otázkou vyhodnocení dat pohybů letadel v další části této kapitoly.

Druhým letišťem, které se značně podílí na využívání vzdušného prostoru nad Prahou je vojenské letiště Kbely nacházející se ve stejnojmenné městské části. Jediná dráha 06/24 je situovaná tak, že její osa přímo protíná samotné historické centrum Prahy. Vzdušný prostor

nad centrem města však není nijak ovlivněn díky zavedeným letovým postupům letiště Kbely, které odkloňují veškerý letecký provoz z tohoto letiště směrem nad západní okraj Prahy. To však nic nemění na tom, že v okolí letiště bude převládat hustý provoz přistávajících a odlétajících letadel.

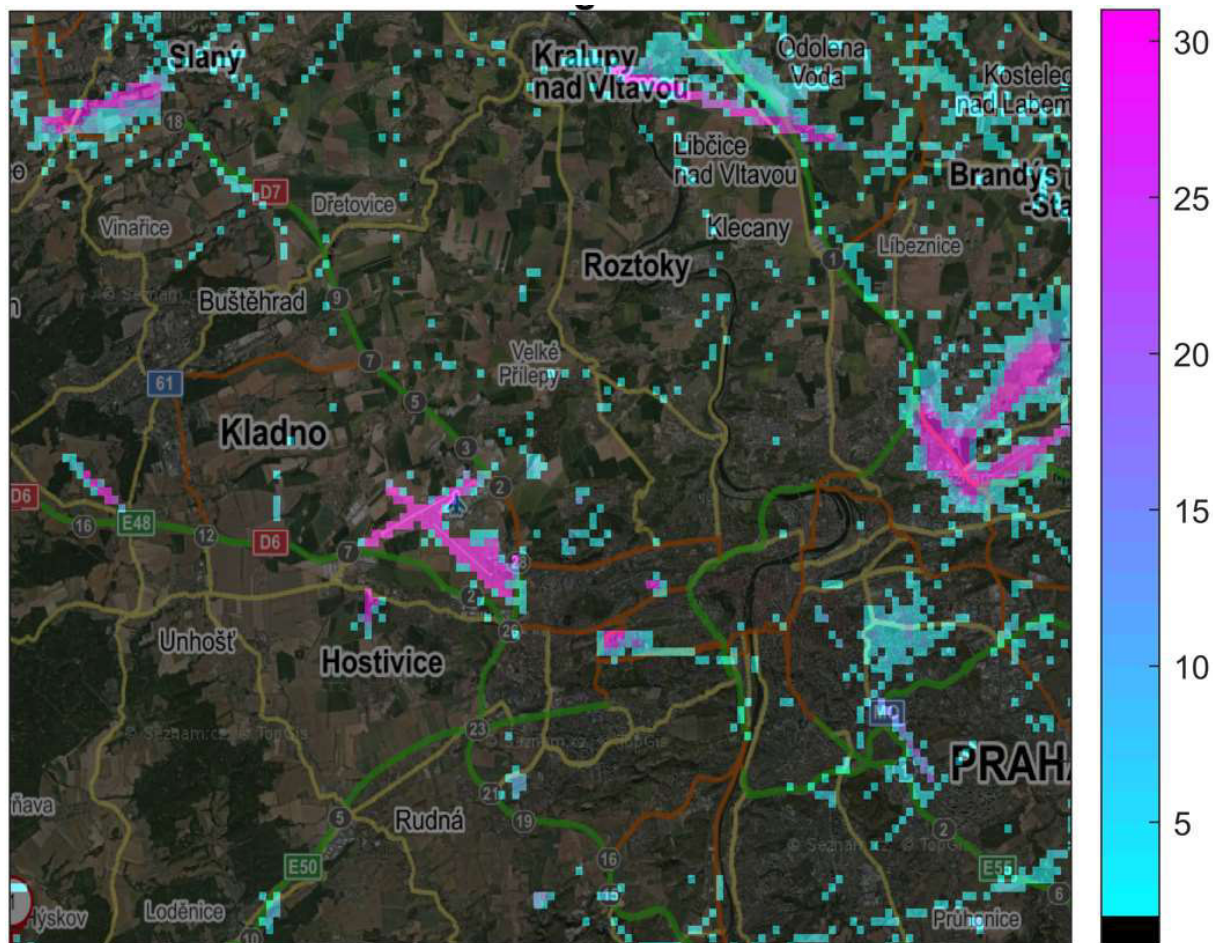
V těsném okolí kbelského letiště se nachází veřejné vnitrostátní a neveřejné mezinárodní letiště Letňany. Toto letiště se dvěma nezpevněnými přistávacími a vzletovými dráhami je domovem Aeroklubu Praha Letňany a mnoha nadšenců malých sportovních letadel. Dráhy 05/23 jsou téměř paralelní se sousedním kbelským letištěm, avšak i v tomto případě jsou letové postupy navrženy takovým způsobem, aby se vyhnuly již tak rušnému centru města. Letecký provoz z tohoto letiště je veden nad severní část města Prahy, a tudíž nenarušuje vzdušný prostor nad centrem města ani nekoliduje s provozem sousedního letiště. I v tomto případě lze očekávat rušný provoz především v okolí letiště [48].

Posledním letištěm je letiště Točná nacházející se na jihu Prahy v městské části Točná. Toto neveřejné vnitrostátní letiště s nezpevněnou přistávací a vzletovou dráhou 09/27 nijak zásadně neovlivňuje vzdušný prostor nad městem díky orientaci dráhy a velmi malému využití. Dnes slouží letiště spíše jako muzeum historických letadel [49].

Mimo čtyři letiště se v Praze nachází šest samostatných heliportů, z nichž pět je součástí nemocničních zařízení, které slouží výhradně pro leteckou záchranou službu a jeden neveřejný vnitrostátní, který se nachází v městské části Přední Kopanina v blízkosti letiště Václava Havla. V okolí heliportů lze očekávat větší provoz, avšak vzhledem k jejich schopnosti odbavit v jeden okamžik vždy jen jeden vrtulník nelze mluvit o takovém provozu, který by vyžadoval komplexní koordinaci vzhledem k okolnímu provozu [50].

Pohyby letadel z letišť a heliportů lze sledovat pomocí odpovídače, které je dnes nutným vybavením každého letadla v řízeném vzdušném prostoru. Tento odpovídač poskytuje mimo jiné informace i informace o výšce a poloze letadla. Získáním těchto dat je následně možné vizualizovat pohyby letadel nad sledovanou oblastí, které nám pomohou identifikovat provoz v této oblasti. Obrázek 37 je příkladem vizualizace dat o pohybu letadel nad Prahou do výšky 200 ft nad zemí (AGL – Above Ground Level). Data byla nasbírána v období jednoho měsíce Řízením letového provozu a následně zpracována do mapové podoby studenty leteckého ústavu Dopravní fakulty na ČVUT v Praze. Jedná se o zobrazení pomocí mřížky, kdy v tomto případě jednotlivý obdélní udává prostor výskytu alespoň jednoho letadla za sledované období. Míra zbarvení nám následně poskytuje informaci o počtu letadel v tomto prostoru v řádů jednotek, kdy růžová barva značí 35 a více letadel. Tam kde se nenachází žádné barevné vyznačení nebyl ve sledovaném období zaznamenán pohyb ani jednoho letadla. Na obrázku si můžeme všimnout, že nejvíce pohybů do výšky 200 ft AGL bylo zaznamenáno

v oblasti pražských letišť a v oblasti nemocničních zařízení disponujících heliporty jako je fakultní nemocnice Motol, Královské Vinohrady a Ústřední vojenská nemocnice v Břevnově.



Obrázek 37 - Vizualizace pohybu letadel ve vzdušném prostoru do 200 ft AGL

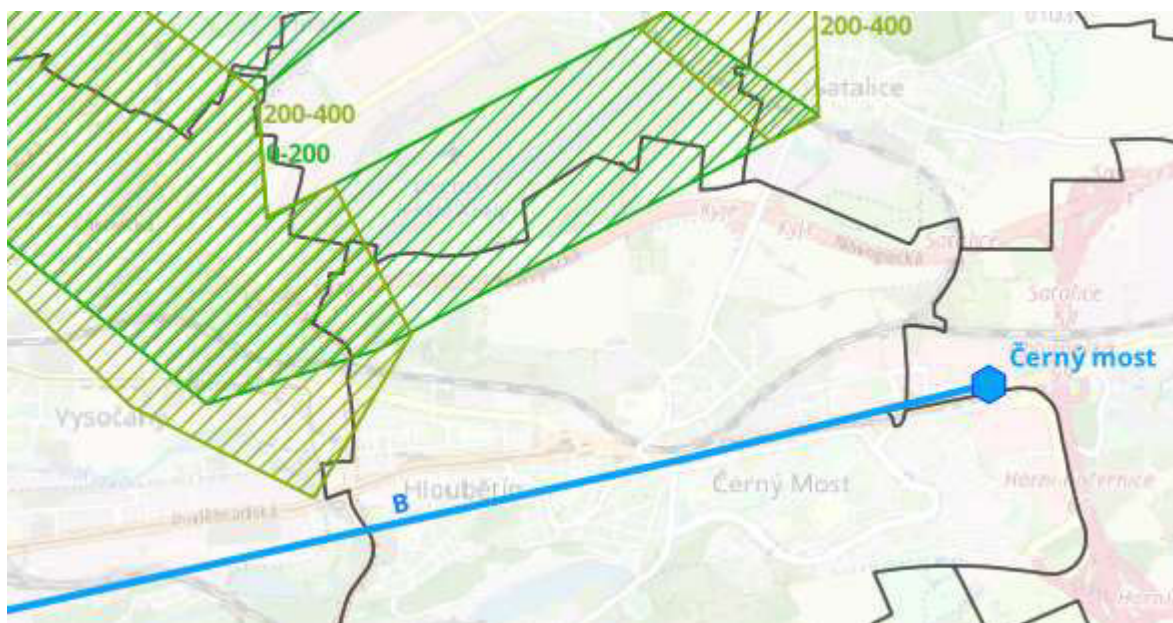
Pro provoz UAM je důležité analyzovat vzdušný prostor až do výšky 1 000 ft nad mořem, což je stanovená minimální výška letu letadel nad obydlenou oblastí s výjimkou vzletu a přistání. Data byla pro přehlednost rozdělena na pět částí vždy po 200 ft a každý set byl vyobrazen stejným způsobem jako data na Obrázku 37. Výsledná podoba všech map byla následně přenesena do návrhu vertiportů v Příloze 4 v podobě pěti barevně odlišných vyšrafovaných ploch, kdy zelená značí prostor výskytu letadel do výšky 200 ft AGL a červená výšku od 800 do 1 000 ft AGL. Do výsledné mapy byly zakresleny pouze ty prostory, které zaznamenaly více než 25 pohybů letadel za sledované období jednoho měsíce. To znamená prostory, s téměř jedním pohybem za den, což by pro provoz UAM již mohlo představovat určitá omezení.

Na základě poznatků z analýzy okolního prostoru navržených vertiportů a vzdušného prostoru nad Prahou mohly být navrženy také letové trasy spojující tyto vertiporty. Tyto trasy mohou být z hlediska výškového profilu navrženy v rozmezí od 0 do 1 000 ft AGL. Výškový

profil bude záviset na nastavení vzdušného prostoru v rámci U-Space a z hlediska bezpečnosti vůči okolním překážkám. Zhodnocení těchto otázek však není předmětem této práce.

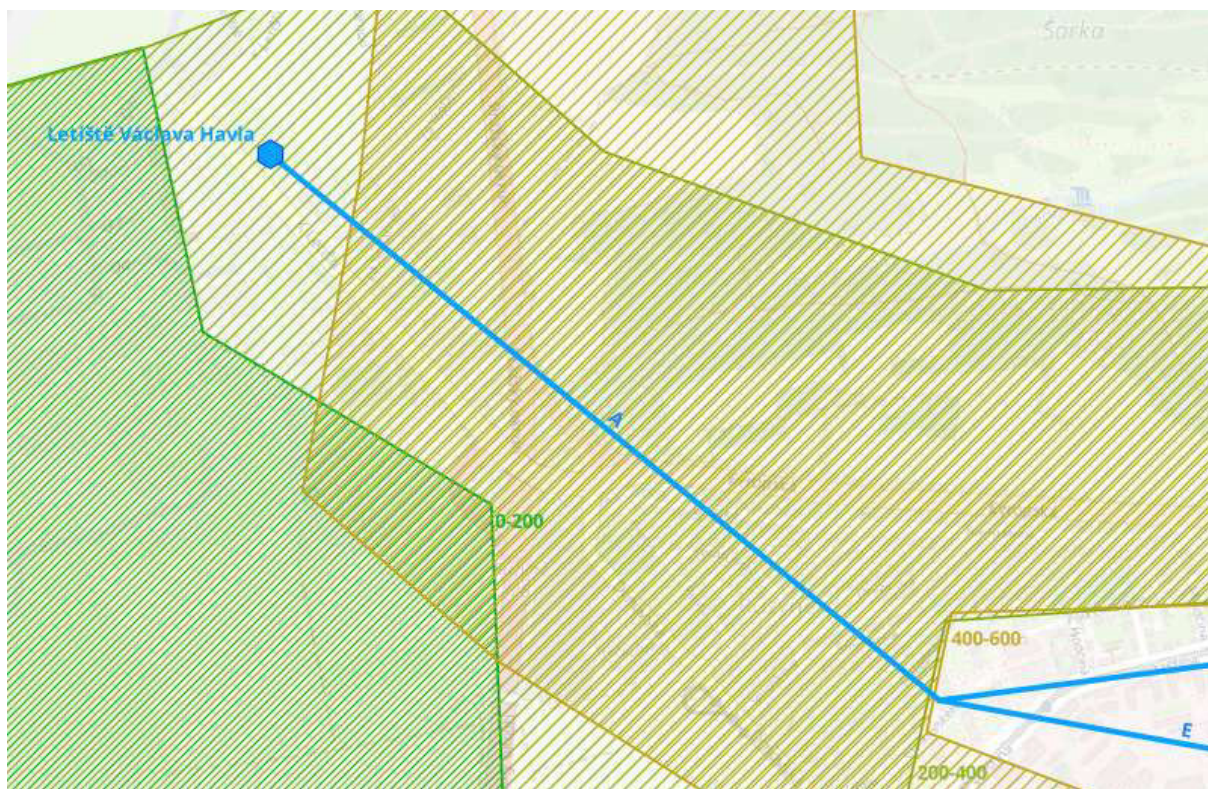
Podíváme-li se na mapu v Příloze 4

můžeme si všimnout hned několika narušení trasy UAM provozem ve vzdušném prostoru. Tím prvním je křížení trasy B z Černého Mostu na Hlavní nádraží. V blízkém okolí vertiportu Černý Most se nachází hned dvě letiště, které svým provozem zaplňují vzdušný prostor takřka celého území východní Prahy. Po bližší analýze jednotlivých hladin vzdušného prostoru si můžeme všimnout, že trasu křížuje prostor pouze od výšky 400 ft AGL, jak je patrné z Obrázku 38 po odstranění vrstev znázorňující tento prostor. Na trase B bude zapotřebí zavést výškové omezení pro provoz UAM a to do 400 ft AGL. V blízkém okolí trasy se nenachází žádná výšková budova, která by vyžadoval provoz UAM ve vyšších výškách, a proto je toto řešení adekvátní.



Obrázek 38 – Trasa B z Černého Mostu v souvislosti s provozem letecké dopravy do výšky 400 ft AGL

Podobný problém nastává i v případě trasy A z letiště Václava Havla, kdy je prostor limitován výškou 200 ft AGL. Na Obrázku 39 si můžeme všimnout, že trasa A je vedena nejkratší možnou vzdáleností mimo oblast hustého provozu daného přilehlým mezinárodním letištěm kde se rozděluje na trasy A pokračující na Hlavní nádraží a linku E směrem na Smíchov. V tomto případě platí omezení provozu UAM na výšku 200 ft AGL.



Obrázek 39 - Trasa A z letiště Václava Havla v souvislosti s provozem letecké dopravy do výšky 600 ft AGL

V této kapitole byla navržena síť vertiportů a letových tras z pohledu přepravy osob v závislosti na analýze urbanismu, dopravní situace a vzdušného prostoru města Prahy. Bylo navrženo celkem deset vertiportů a devět letových tras, které jsou navrženy tak, aby maximalizovali potenciál UAM v Praze. Jednotlivé vertiporty byly popsány z pohledu přínosu pro okolní oblast, čímž byla zdůvodněna volba umístění právě do těchto oblastí. Analýzou vzdušného prostoru bylo možné propojit navržené vertiporty tak, aby provoz UAM v Praze nenarušoval okolní leteckou dopravu a mohl tak efektivně naplnit svůj potenciál.

5.1.2 Přeprava nákladu

Nákladní doprava v městském prostředí představuje nemalou výzvu pro silniční dopravní infrastrukturu. Nákladní doprava sdílí společnou infrastrukturu s dopravou osobní čímž se společně podílí na vytížení silniční sítě obzvláště pak v dopravních špičkách. Vzhledem k rostoucí poptávce po expresní dopravě a kurýrních služkách roste i vytíženost silniční infrastruktury a poptávka po dovozu vysokého objemu zboží do centra města. Tato kapitola zkoumá možnosti integrace UAM v městském prostředí města Prahy z pohledu přepravy nákladu, konkrétně dovozu většího objemu zboží na území Prahy z okolních skladovacích areálů. Kapitola je zaměřena na komplexní analýzu dopravní situace na silnicích města Prahy a zkoumání současného stavu, na základě čehož je vytvořen návrh implementace v reálném prostředí města.

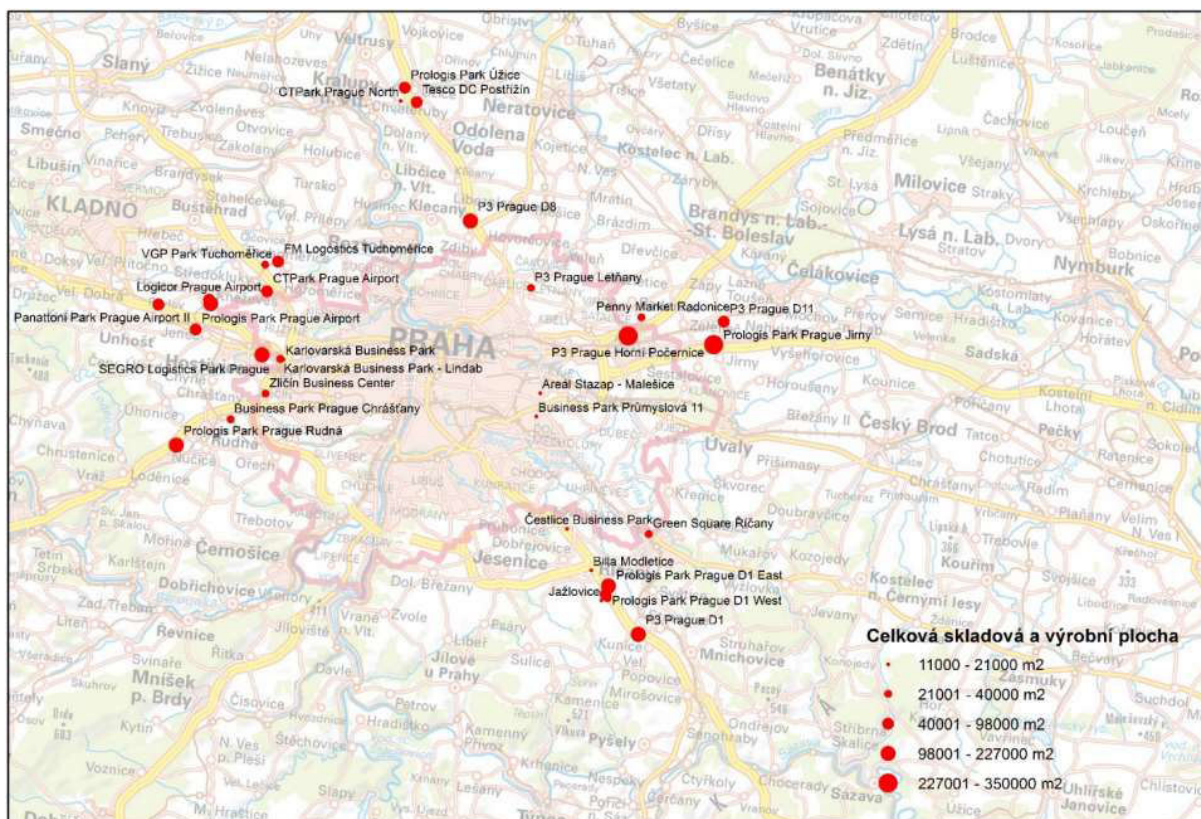
5.1.2.1 Analýza a příprava

Město Praha je stále se rozrůstající a prosperující město, které klade čím dál větší nároky na dopravní infrastrukturu z pohledu jak osobní dopravy, tak i dopravy nákladní. V současnosti existují čtyři způsoby dopravy nákladu na území města Prahy. Jsou jimi doprava sliční, železniční, vodní a letecká, přičemž dopravu do centra města neumožňuje pouze doprava letecká. Vodní doprava však zaznamenala v posledních desetiletích dramatický propad, protože se díky své nízké flexibilitě a vyšší ekonomické náročnosti nedokázala vyrovnat s konkurencí v podobě silniční a železniční dopravy. Železniční doprava je silně závislá na stávající infrastruktuře trakčního vedení, a proto není z hlediska flexibility natolik perspektivní jako doprava silniční. Své místo z hlediska využitelnosti si drží svou efektivitou a schopností přepravit velké množství zboží. Jediným udržitelným řešením dopravy nákladu a zboží do centra města je však pouze doprava silniční. Na zásobování Prahy se z 92 % podílí silniční doprava, 7 % zajišťuje železnice a pouze 1 % vodní doprava.

S ohledem na zhoršující se dopravní situaci v širším centru se stále častěji objevuje pojem city logistika. City logistika se zabývá organizací, řízením a optimalizací dopravních toků zboží uvnitř měst. Cílem je zajistit plynulý a efektivní pohyb zboží potřebného pro chod živností, služeb a podnikatelských aktivit, přičemž se zohledňují ekologické požadavky a ekonomické podmínky. Silniční nákladní doprava zaujímá podíl zhruba 10 % z celkového počtu vozidel na silnicích města Prahy v průměrný pracovní den. Během pracovního dne činí tento podíl zhruba 37 000 nákladních vozidel, přičemž 12 000 z nich najde cestu do širší oblasti centra zhruba vymezeného Petřínem na západě, Letnou na severu, Riegrovými sady na východě a Vyšehradem na jihu. V souvislosti s city logistikou vytvořil Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy (IPR Praha) studii poukazující na problémy spojené s dopravou zboží do centra Prahy, ze které vyplývá, že město mimo jiné hledá alternativy dopravy zboží do centra města z logistických center na okraji Prahy. V tomto případě by mohla přispět UAM, vzhledem k tomu, že vodní a železniční doprava nemá v centru města adekvátní využití [51].

Skladovací areály a velká logistická centra jsou strategicky umístěna na okraji Prahy nebo v její těsné blízkosti v okolí hlavních silničních tazích jako jsou dálnice. Největším takovým areálem je Prologis Prague Jirny na východě Prahy v blízkosti dálnice D11, který je se svojí rozlohou 350 000 m² třetím největším areálem v ČR. Dalšími významnými areály jsou například P3 Prague Horní Počernice v okolí dálnice D10, P3 Prague na dálnici D1 nebo Prologis Prak Rudná na dálnici D5. Na Obrázku 40 můžeme vidět, že logistické areály jsou situovány především v okolí dálnic. Na severu Prahy jsou to zejména oblasti podél dálnice D8, na východní straně se skladové plochy soustřeďují podél dálnic D10 a D11. Další významné skladové plochy jsou situovány na západě Prahy u dálnice D5, D6 a D7 a na jihu

Praha se jedná o plochy v blízkosti dálnice D1. V poslední době se ale v Praze kvůli rostoucí poptávce a vysoké stavební aktivitě projevuje akutní nedostatek vhodných pozemků pro průmyslové projekty. Tento nedostatek, zejména v oblastech blízko hlavních dopravních cest, vede k posunutí hranic pro vyhledávání lokalit vhodných pro logistické areály dále od centra města.



Obrázek 40 - Skladovací areály v Praze a okolí [51]

Dopravní situace v Praze byla z hlediska vytížení hlavních silničních komunikací zkoumána v předchozí kapitole z pohledu přepravy osob. Nákladní doprava však sdílí tuto infrastrukturu spolu s MHD a s dopravou osobní, a proto můžeme aplikovat výsledky i na analýzu dopravní situace z hlediska přepravy nákladu a zboží. Nákladní doprava zaujímá pouze 10 % z celkového počtu vozidel na pražských silnicích, avšak musíme si uvědomit, že nákladní vozidla svou velikostí zabírají mnohonásobně větší prostor než vozidla osobní. Také jejich nízká rychlost a manévrovatelnost nikterak nepřispívá plynulosti dopravy. Využitím UAM k dopravě nákladu do centra lze snížit počet kamionů na hlavních silničních tazích, čímž lze docílit větší plynulosti a efektivity provozu.

Návrh využití UAM pro přepravu nákladu by se měl zaměřit na přepravu nákladu z logistických oblastí na okraji Prahy do city logistických center v rámci města, které budou dále distribuovat zboží v jejich blízkém okolí prostřednictvím postupů city logistiky. City logistická centra jsou konsolidační centra, která jsou umístěna blízko centra města.

Konsolidační centrum tvoří bránu mezi dálkovou dopravou a tzv. zásobováním na poslední míli.

5.1.2.2 Vypracování strategie integrace UAM

Vzhledem k celkové povaze logistických operací a náročnosti logistické infrastruktury z pohledu využití prostoru není v husté zástavbě městského centra jednoduché navrhnout prostorné logistické centrum pro UAM. Oproti přepravě osob totiž nestačí pouze FATO a několik parkovacích míst, které je možné umístit nad středně velké parkoviště nebo na střechu budovy. Součástí vertiportu musí být také skladovací prostory pro dočasné uložení nákladu a silniční infrastruktura pro rozvážkové vozy, které náklad rozvezou v rámci města ke spotřebitelům. V rámci studie city logistiky byly popsány dvě oblasti pro výstavbu konsolidačních center. Dle aktuálně platných zásad územního rozvoje a platného územního plánu hlavního města Prahy jsou pro možnost výstavby city logistických center nákladní dopravy územně chráněné lokality Smíchov a Malešice. Zde se nabízí možnost integrovat do těchto city logistických center i infrastrukturu UAM [52].

Vymezená oblast na Smíchově je součástí územního plánu pro DZ, tedy tratě a zařízení železniční dopravy a nákladní terminály. Představuje unikátní lokalitu na západním pobřeží Vltavy, umístěnou v optimální blízkosti jádra města a nedaleko dynamicky se rozvíjejícího centra Smíchova, což je ideální pro městské zásobování. Přestože byly v minulosti výhrady kvůli možnému komerčnímu tlaku na tento žádaný prostor, plány na výstavbu Terminálu Smíchov mají v úmyslu ponechat rezervu pro logistický terminál zaměřený výhradně na zásobování Prahy.

V Malešicích je navrženo kontejnerové překladiště rakouské společnosti RCO, která zde vlastní pozemky. Tento projekt je umístěn v oblasti určené k zástavbě dle územního plánu, v zónách určených pro různé využití, včetně obecných smíšených oblastí, železničních tratí s nákladními terminály a sběrných komunikací městského významu. Projekt je v souladu s platným územním plánem Prahy, nicméně, Zásady územního rozvoje, nadřazený dokument k územnímu plánu, specifikují potřebu vymezení terminálů city logistiky v oblastech Smíchova a Malešic. Podle města Prahy by měl investor předložit variantu takzvaného centra city logistiky, kdy by se zboží překládalo jen do dodávek a pouze pro zásobování hlavního města [53].

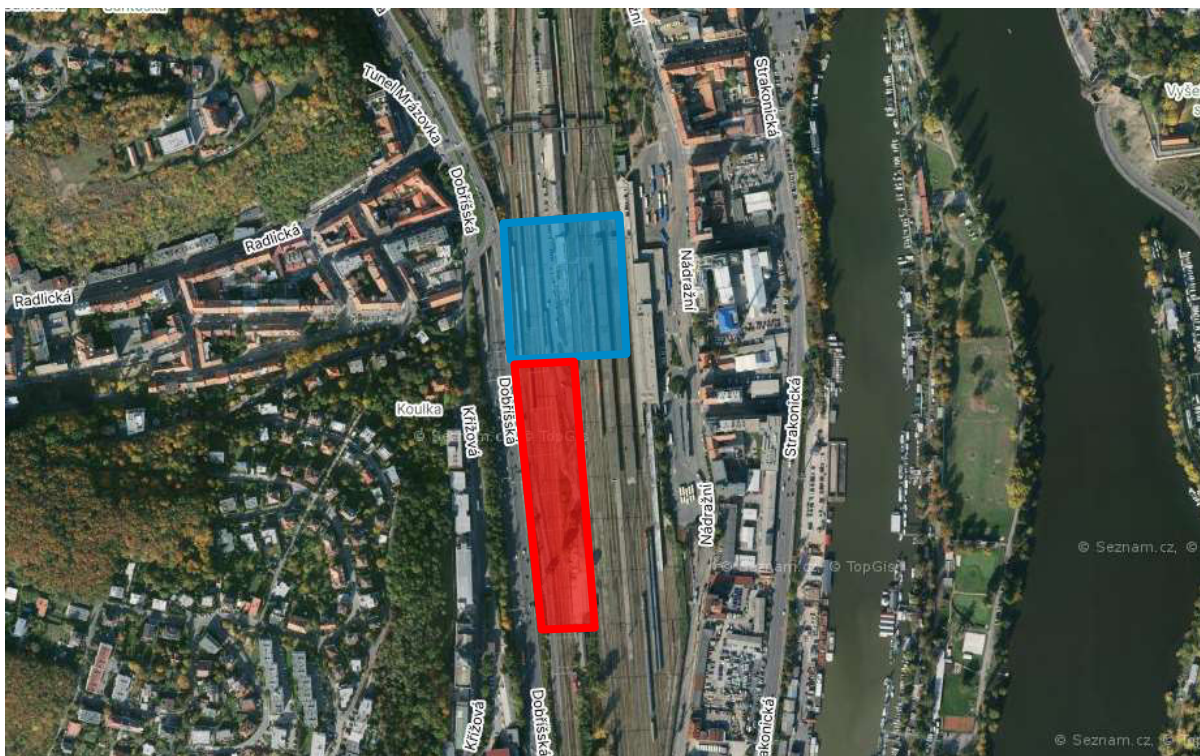
Tyto dvě logistická centra by byla hlavními konsolidačními centry v rámci Prahy, skrze která by mohlo proudit zboží pro zásobování města z okrajových logistických areálů za pomoci UAM. Tato centra by disponovala také železničním spojením, díky čemuž lze vytvořit multifunkční logistická centra v samém srdci Prahy, která by usnadnila situaci na silničních tazích směrem do centra města.

5.1.2.3 Plánování

Na základě definice potřeb zásobování městského centra Prahy z předchozích kapitol lze navrhnout umístění vertiportů ve vhodných lokalitách. Zároveň je potřeba navrhnout trasy, které umožní zásobování konsolidačních center ze skladovacích areálů v okolí Prahy tak, aby nenarušovaly stávající leteckou dopravu. Vzdušný prostor byl analyzován v rámci návrhu přepravy osob a vzhledem ke sdílení vzdušného prostoru UAM i s přepravou nákladu, lze při návrhu letových tras využít poznatky z předchozích kapitol.

Pro přepravu nákladu na území Prahy byly navrženy dva vertiporty, které budou součástí konsolidačních center. Tato centra se ukázala být pro město žádaným projektem z hlediska podpory city logistiky s cílem snížit dopravní kongesce a celkové zatížení silniční dopravy v Praze. Za účelem maximalizace potenciálu těchto logistických center počítá návrh s integrací UAM infrastruktury, která poskytne možnost alternativní dopravy nákladu na území města Prahy. V Příloze 3 jsou vyznačené nákladní vertiporty Smíchov a Malešice včetně tras, které slouží k zásobování konsolidačních center, jejichž jsou vertiporty součástí.

Prvním navrhovaným vertiportem pro přepravu nákladu je vertiport Smíchov. Tento vertiport může navazovat v rámci logistického centra city logistiky na Terminálu Smíchov. Na Obrázku 41 můžeme vidět modře vyznačený prostor plánované výstavby Terminálu Smíchov a červeně plochu využitelnou pro integraci UAM v rámci konsolidačního centra. Je však důležité zmínit, že city logistické centrum má v této oblasti pouze rezervovaný prostor v rámci územního plánu a zatím není jisté, jak velký prostor pro výstavbu bude ve skutečnosti navržen. Pro účel práce byl však navržen prostor o rozloze 20 000 m², na kterém lze vybudovat středně velké konsolidační centrum, které může být obsluhováno jak prostřednictvím UAM, tak i železniční dopravou, což by mohlo umožnit přepravu nákladu za pomoci UAM nejen do centra města ale i z něj do okolních skladovacích areálů, které nedisponují železničním spojením. Vertiport navazuje na ulici Dobříšská, která dále pokračuje do centra města. Tímto způsobem je možné navázat na adekvátní silniční spojení pro rozvoz zboží z konsolidačního centra do centra města [54].



Obrázek 41 - Využitelná plocha pro výstavbu nákladního vertiportu Smíchov

Z pohledu okolních překážek, které by mohli způsobit komplikace při návrhu letových tras se nejedná o příliš náročnou lokalitu. Naproti vertiportu přes Dobříšskou ulici se nachází několik vysokých obytných domů a za nimi postupně se zvyšující terén. Plocha vertiportu se ale obecně nachází ve volnějším prostranství vzhledem přítomnosti rozlehlého vlakového nádraží, díky kterému je možné vést trasy podél železničního vedení směrem na jih města, kdy jsou letadla UAM schopna vystoupat dostatečně vysoko. Vyšší okolní budovy tedy nehrají z hlediska návrhu velkou roli.



Obrázek 42 - 3D vizualizace okolního prostoru nákladního vertiportu Smíchov

Druhým navrhovaným vertiportem pro přepravu nákladu je vertiport Malešice. Stejně jako v předchozím případě se jedná o vertiport navrhovaný v rámci konsolidačního centra, které by se mohlo na tomto místě vybudovat. Na tomto místě je plánovaná výstavba vlakového překladiště, se kterou však vedení města Prahy ne zcela souhlasí a požaduje investora o navržení city logistického centra namísto tohoto překladiště. Na Obrázku 43 je vyobrazena využitelná plocha pro návrh vertiportu a plánovaného konsolidačního centra. Na ploše více než 70 000 m² lze vybudovat nejen velké konsolidační centrum ale také dostatečně prostorný vertiport, který vyhoví poptávce většího logistického areálu. Podobně jako nákladní vertiport Smíchov bude i tento doplněn železniční infrastrukturou, která bude rozšiřovat možnosti využití tohoto vertiportu. Na východní straně vertiportu se nachází Průmyslová ulice, se kterou bude možné vertiport propojit za účelem propojení tohoto logistického centra ze severní a severovýchodní oblastí Prahy. Na jihu pak ulice Černokostelecká poskytne přímé spojení s centrem [55].



Obrázek 43 - Využitelná plocha pro výstavbu nákladního vertiportu Malešice

V těsné blízkosti vertiportu se nachází jedna z nejvyšších staveb v Praze, jak můžeme vidět na Obrázku 44, kterou je se svými 180 metry jeden z komínů Malešické spalovny. Tento komín blokuje možnost vedení trasy z vertiportu směrem na jih. Proto je trasa spojující vertiport Malešice a jihovýchodní logistické areály vedena nejprve na západ nad stávající železniční infrastrukturou a poté se stáčí na jih nad ulici Černokostelecká. Při návrhu bezpečnostních postupů bude přesto nutné dbát na výskyt možných rizik spojených s provozem Malešické spalovny.



Obrázek 44 - 3D vizualizace okolního prostoru nákladního vertiportu Malešice

Trasy jsou navrženy tak a by spojovaly dva definované vertiporty spolu s logistickými areály podél hlavních silničních tahů mimo město. To se však neobejde bez křížení vzdušného prostoru s ostatním leteckým provozem, který je veden tak, aby se vyhnul centru města. Je tedy veden spíše po okraji Prahy, přičemž dochází ke kolizi s navrhovanými trasy UAM. Trasa číslo 1, 2 a 3 křížuje provoz letecké dopravy, avšak pouze od výšky 600 ft AGL. To znamená, že tyto trasy nesmí tuto výšku přesáhnout. V případě trasy 4, která vede skrze odletový koridor Kbelského letiště jde o výšku 400 ft AGL. Po celém průběhu tras omezených maximální výškou se nenachází žádná výšková budova, která by znemožňovala dodržování nastavené výšky, a proto lze považovat tento návrh za validní.

Tato kapitola se zaměřila na návrh implementace UAM do města Prahy z hlediska přepravy nákladu. Na základě analýzy potřeb města Prahy, dopravní situaci a vzdušného prostoru byly navrženy dva vertiporty a pět letových tras. Síť funguje na principu zásobování centra města z okolních skladovacích areálů za hranicemi Prahy, které se jsou budovány čím dál tím dále od těchto hranic z důvodu nedostatku prostoru pro jejich výstavbu v okolí dálnic. Navrhované trasy počítají s postupným prodlužováním, a umožňují budoucí napojení vzdálenějších logistických areálů. Cílem integrace tímto způsobem je především snížení vytížené silniční sítě na hlavních tazích směrem do města, což se každým rokem stává čím dál tím větším problémem. Dílčí cíl integrace spočívá také v urychlení přepravy nákladu do centra města. Rychlost zásobování je jednou z hlavních výhod, kterou UAM disponuje.

5.1.3 Integrace do jednoho celku

Celkem bylo pro provoz UAM na území města Prahy navrženo 12 vertiportů a 14 letových tras. Tabulka 1 obsahuje přehled všech vertiportů s rozlišením, pro jaké dopravní úkoly vertiport slouží, jaké trasy využívá, zda je integrován dostávající infrastruktury a v případě

vertiportu pro přepravu osob jaký typ uspořádání využívá. Můžeme si všimnout, že z hlediska integrace do stávající infrastruktury je poměr zhruba poloviční. Integrace například nad plochu parkoviště umožňuje multifunkční využití prostoru, což je důležité v husté zástavbě dnešních měst, avšak za cenu vyšších nákladů. Oproti tomu výstavba nového vertiportu je finančně méně náročná, ale využívá poměrně velkého prostoru, který je dnes v centru Prahy ceněn zlatem. V návrhu figurují oba případy integrace, jelikož v centru města je vhodné využít stávající infrastruktury za cenu vyšších nákladů. V okrajových částech města je zatím prostoru dostatek, což umožňuje větší flexibilitu. Implementace a následné monitorování ukáže limitace jednotlivých typů integrace.

Tabulka 1 - Přehled všech navržených vertiportů

Název vertiportu	Typ přepravy	Uspořádání	Trasy	Integrace
Černý Most	Osoby	Vertipad	B	Parkoviště P+R
Galerie Butovice	Osoby	Vertibáze	C, I	-
Hlavní nádraží	Osoby	Vertibáze	A, B, D, H	Parkoviště
Letiště Václava Havla	Osoby	Vertibáze	A, E	-
Malešice	Náklad	-	3, 4, 5	-
Modřany	Osoby	Vertipad	F	-
Opatov	Osoby	Vertipad	G	Parkoviště P+R
Pankrác	Osoby	Vertihub	C, D, F, G	-
Smíchov	Osoby	Vertipad	E, I	Autobusový terminál
Smíchov	Náklad	-	1, 2	-
Střížkov	Osoby	Vertipad	H	Parkoviště P+R
Zličín	Osoby	Vertipad	C	-

Tabulka 2 zobrazuje všechny navrhované trasy s informací, které vertiporty spojuje a jaká jsou na trase omezení, co se týče vzdušného prostoru a prostoru v okolí vertiportů. Důvody implementace omezení byly popsány v předchozích kapitolách. Podíváme-li se na mapu vertiportů v Příloze 4, která slučuje oba návrhy z pohledu přepravy osob i nákladu, můžeme vidět, že některé trasy osobní a nákladní přepravy se navzájem křížují. Trasa C křížuje trasy 1 a 2 nákladní přepravy UAM, avšak trasa 1 a 2 vedou koridorem přírodně vytvořeného

řekou Vltavou a zároveň mají výškové omezení 400 ft AGL. Trasa C je bez omezení, a proto může využít vyšších letových hladin, čímž lze docílit dostatečného vertikálního rozestupu. NASA ve své studii uvádí bezpečný vertikální rozestup minimálně 450 ft, což za těchto podmínek lze splnit. Další křížení nastává na trase F a 2. I v tomto případě je však trasa 2 výškově omezená, a proto lze považovat toto křížení za bezpečné. Trasa F bez omezení povede ve vyšších letových hladinách. Poslední situací je křížení trasy 5 s trasami B a H. V tomto případě je bez omezení trasa 5 a H, a proto může trasa 5 vést ve vyšší letové hladině, čímž umožní hladký průlet eVTOL na trasách B a H [56].

Tabulka 2 - Přehled všech navržených letových tras

Trasa	Vertiporty na trase	Omezení
A	Letiště Václava Havla – Hlavní nádraží	Max výška 200 ft AGL v počátečním úseku z letiště
B	Černý Most – Hlavní nádraží	Max výška 400 ft AGL
C	Zličín – Galerie Butovice – Pankrác	Bez omezení
D	Hlavní nádraží – Pankrác	Bez omezení
E	Letiště Václava Havla – Smíchov	Max výška 200 ft AGL v počátečním úseku z letiště
F	Modřany – Pankrác	Bez omezení
G	Opatov – Pankrác	Bez omezení
H	Střížkov – Hlavní nádraží	Bez omezení
I	Galerie Butovice – Smíchov	Bez omezení
1	Smíchov – logistické areály západ a jih	Max výška 600 ft AGL
2	Smíchov – logistické areály západ a jih	Max výška 600 ft AGL
3	Malešice – logistické areály jih, východ, sever	Max výška 600 ft AGL
4	Malešice – logistické areály jih, východ, sever	Max výška 400 ft AGL
5	Malešice – logistické areály jih, východ, sever	Bez omezení

5.1.4 Navržení technických řešení pro implementaci UAM do městské infrastruktury

Technické řešení implementace UAM je důležitým aspektem celkové integrace UAM do městské infrastruktury. Z hlediska technických řešení je potřeba zodpovědět otázku spojenou s návrhem samotné infrastruktury jako jsou rozměry a počet FATO na základě velikosti vybraného eVTOL. Volba vhodného eVTOL bude záviset na dopravním využití a doletu, aby byl eVTOL schopný dané letové trasy obsloužit. Od návrhu eVTOL se následně odvíjí velikost FATO a tím i jejich počet na navržených vertiportech. V této kapitole bude navrženo rozložení vertiportu Letiště Václava Havla a následně popsáno v podobě grafického znázornění v reálném prostředí v souladu s vybraným eVTOL. Tento návrh bude představovat jedno z řešení návrhu vertiportů v navržené UAM síti na základě, čehož lze v budoucnu možné navrhnout zbylé vertiporty. Tento návrh nám poskytne náhled na vztah mezi rozlohou navrhované plochy vertiportu a počtem FATO.

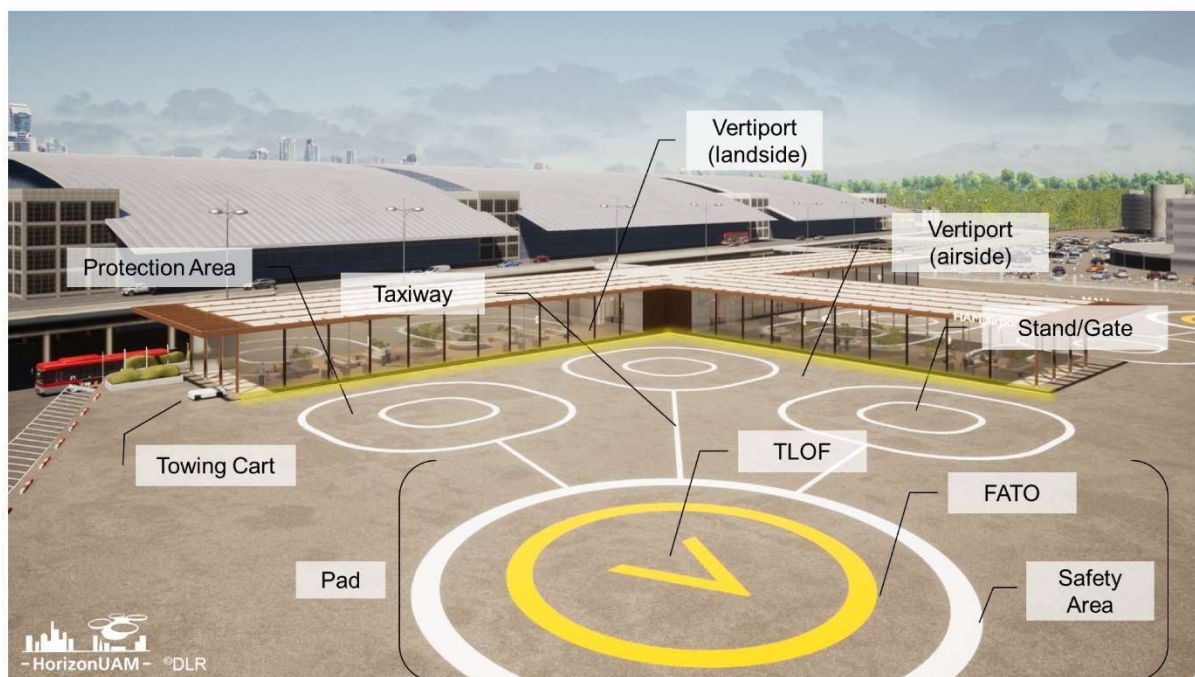
V první řadě je tedy potřeba vybrat vhodný eVTOL pro implementaci do navržené sítě vertiportů. V předchozích kapitolách byly definovány tři základní typy eVTOL a jejich výhody a nevýhody. Z pohledu přepravy osob se zdá být nejvhodnější eVTOL typu multikoptéry. Multikoptéry mají sice nejmenší dolet a obecně nižší nosnost ale jejich výborná manévrovatelnost je v husté zástavbě městského centra nenahraditelná. Z pohledu přepravy nákladu lze využít stejný typ eVTOL, vzhledem k menším vzdálenostem, které je třeba překonat pro dovoz nákladu z okraje Prahy do centra města.

Pro návrh technických parametrů vertiportu pro přepravu osob byl zvolen eVTOL Volocity německé společnosti Volocopter, jelikož má z hlediska certifikace a testování nejlepší výsledky. Volocopter usilovně pracuje na procesu certifikace EASA SC-VTOL, který by měl být úspěšně dokončen v první polovině roku 2024. Zároveň Volocity patří se svým průměrem 11,3 m ke větším multikoptérám, což umožní navrhnout větší FATO, která bude v budoucnu kompatibilní s vícero multikoptéry, které nebudou limitované jejich rozměry. V Tabulce 3 jsou uvedeny základní parametry Volocity. Přestože má Volocity dolet pouze 35 km, vyměnitelné baterie umožňují dobu obratu pouze několika málo minut, což je doba, za kterou dojde k výstupu a nástupu cestujících, a proto v tomto případě nehraje nízký dolet zásadní roli. Co však nízký dolet ovlivní, je potřeba dobíjecích stanic na téměř každém z navrhovaných vertiportů, aby byla zajištěna efektivita provozu. Dalším důležitým parametrem je počet cestujících, který se může zdát v porovnání s jinými druhy dopravy velmi malý. Je to dáno především technickými parametry Volocity jako je samotná prázdná váha a fakt, že se jedná o multikoptéru. Lze však předpokládat, že v rámci vývoje pokročilejších technologií dojde postupem času ke zvýšení výkonnostních parametrů UAM, přičemž dojde i ke zvýšení kapacity eVTOL. Zatím však musíme počítat s menší maximální nosností [13, 14, 57].

Tabulka 3 - Technické parametry Volocity [13]

Volocity	
Maximální vzletová hmotnost (MTOM)	900 kg
Prázdná provozní hmotnost (EOW)	700 kg
Počet cestujících	2
Dolet	35 km
Maximální rychlost	110 km/h
Průměr včetně rotorů	11,3 m
Výška	2,5 m
Počet baterií	9
Doba výměny baterií	5 min

Nyní je potřeba specifikovat, jaké parametry budou stěžejní při návrhu vertiportu a co vlastně takový návrh obnáší. Z hlediska parametrů eVTOL, je jediným důležitým parametrem jeho celkový rozměr, který se značí D . Tímto rozměrem se rozumí průměr nejmenšího kruhu obklopujícího průmět eVTOL ve vodorovné rovině, když je letadlo ve vzletové nebo přistávací konfiguraci s otáčejícími se rotory. V předchozích kapitolách jsme definovali rozměr FATO na základě D , avšak z pohledu návrhu vertiportu je i každý další rozměr odvozen pomocí násobku D . Na Obrázku 45 můžeme vidět jednotlivé části vertiportu, které v návrhu figurují. Podobně jako letiště je vertiport rozdělen na landside a airside. Součástí airside jsou pad, který je rozdělen na bezpečnostní zónu FATO a přistávací a vzletová plocha (TLOF Take-off and Lift-off area), dále pojezdové dráhy a parkovací stání. Všechny tyto prvky jsou definované hodnotou D , která je v případě Volocity 11,3 m [25].

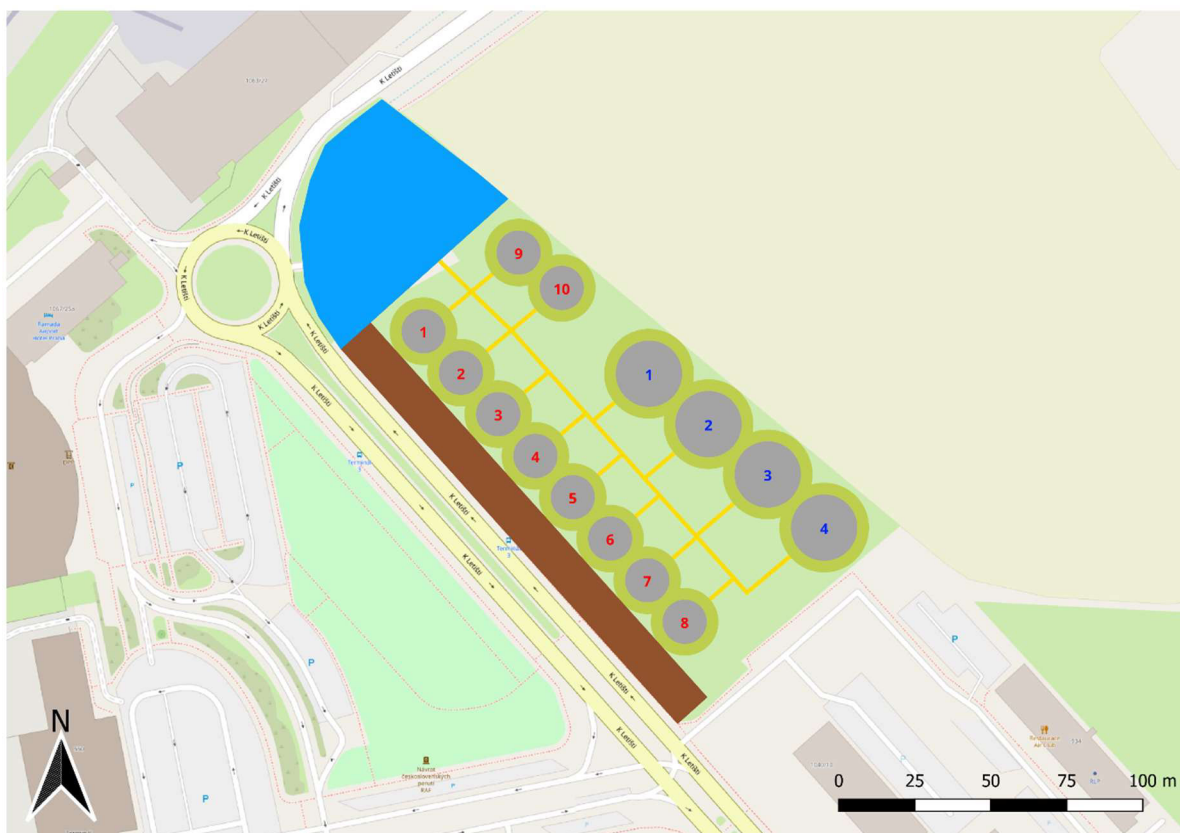


Obrázek 45 - Popis jednotlivých částí vertiportu [58]

V návrhu jednotlivých částí airside budeme uvažovat s kruhovou FATO a kruhovým parkovacím stáním. Poloměr kružnice padu se pak bude rovnat 22,95 m. Parkovací stání bude o něco menší z důvodu absence koeficientu 1,5, kterým se hodnota D nemusí násobit, jak je uvedeno v dokumentu PTS-VPT-DSN. Bezpečnostní zóna však zůstává stejná a to 3 m na každé straně. Poloměr parkovacího stání bude tedy 17,3 m. Posledním důležitým parametrem, který definuje EASA je šířka pojezdových drah a jejich bezpečnostní zóna. V rámci UAM existují dva typy pojezdových drah. Prvním typem je klasická pojezdová dráha, kterou známe z letištního prostředí, kdy eVTOL pojíždí po zemi ať už s využitím vlastního pohonu či za pomoci tažného vozidla. Tento typ pojezdové dráhy má šířku $1,5 \cdot D$ včetně bezpečnostní zóny. Druhým typem je vzdušná pojezdová dráha, kdy se eVTOL vznáší těsně nad pojezdovou dráhou a na parkovací stání či z něj letí. V tomto případě je šířka $2 \cdot D$. V návrhu vertiportu budeme uvažovat se vzdušnou pojezdovou dráhou už jen z toho důvodu, že Velocity nedisponuje kolovým podvozkem. Šířka pojezdové dráhy bude tedy 22,6 m. Před samotným návrhem řešení vertiportu je ještě důležité zmínit, že bezpečnostní zóny jak samotného padu tak i parkovacího stání lze překrývat s bezpečnostní plochou jiných padů a parkovacích stání. Ve výsledku tedy budou sdílet prostor bezpečnostní zóny [25].

Na základě definovaných parametrů padů, parkovacích stání a pojezdových drah byl vytvořen návrh řešení rozložení těchto prvků na vertiportu Letiště Václava Havla. Na ploše o rozloze 13 200 m² bylo navrženo celkem deset parkovacích stání, čtyři pady a pojezdové dráhy tak, aby splňovaly dané parametry. Na Obrázku 46 můžeme vidět celkové rozložení. Plocha vyznačená hnědou barvou je landside. Tudy bude lidem umožněn přístup

k parkovacím stáním k nástupu a výstupu do eVTOL. Plochy označené modrým číslem jsou pady. Ty jsou následně spojené pojezdovými dráhami s parkovacími stánými, které jsou označené červeným číslem. Parkovací stání 9 a 10 jsou určena pro dočasnou údržbu nebo krátkou odstávku eVTOL. Modrá plocha představuje prostor pro doplňkovou infrastrukturu. Tou může být například systém dobíjení baterií či hangár pro údržbu eVTOL. Proto je tento prostor záměrně propojen s pady a parkovacími stánými prostřednictvím pojezdové dráhy. Návrh padů vychází z prostorového omezení týkajícího se vyšších okolních budov definovaných v předchozích kapitolách. Tímto způsobem mohou eVTOL vzlétat a přistávat ze severovýchodu nad přilehlým polem.



Obrázek 46 - Návrh rozložení vertiportu Letiště Václava Havla

Návrh vertiportu Letiště Václava Havla nám poskytuje jakousi představu o využití plochy v závislosti na počtu padů, parkovacích stání a doplňující infrastruktury. Na základě těchto informací můžeme předpokládat určitý počet padů v rámci celé navrhované infrastruktury UAM. Tabulka 4 obsahuje přehled všech vertiportů určených pro přepravu osob a maximální počet padů a parkovacích stání na jednotlivých vertiportech vypočteného poměrem plochy, kterou vertiport disponuje.

Tabulka 4 - Rozložení infrastruktury vertiportů pro přepravu osob

Název	Rozloha (m ²)	Typ	Počet padů	Počet stání	Doplňující infrastruktura
Černý most	6 500	Vertipad	1-2	3-5	Dobíjecí zařízení
Galerie Butovice	17 300	Vertibáze	4-5	10-12	Dobíjecí a údržbové zařízení
Hlavní nádraží	10 000	Vertibáze	4	10	-
Letiště Václava Havla	13 200	Vertibáze	4	10	Dobíjecí a údržbové zařízení
Modřany	17 500	Vertipad	4-5	10-12	Dobíjecí a údržbové zařízení
Opatov	6 800	Vertipad	2	6	Dobíjecí zařízení
Pankrác	28 000	Vertihub	8-10	20-22	Dobíjecí a údržbové zařízení
Smíchov	9 300	Vertipad	2-3	5-7	Dobíjecí zařízení
Střížkov	6 000	Vertipad	1-2	3-5	Dobíjecí zařízení
Zličín	6 500	Vertipad	1-2	3-5	Dobíjecí zařízení

Vertihub a vertibáze zpravidla propojují dva či více vertiportů. Z toho důvodu je potřeba větší počet padů a parkovacích stání k zajištění dostatečné efektivity i na úkor doplňující infrastruktury jako je tomu v případě Hlavního nádraží. Hlavní nádraží je umístěno v centru města a tím pádem nabízí menší plochu pro využití integrace UAM. Z toho důvodu je u této vertibáze upuštěno od doplňující infrastruktury s cílem maximalizace využití plochy pro pady a parkovací stání.

K dopravě nákladu byl zvolen eVTOL Volodrone stejné společnosti vyvíjející Volocity. Tato upravená nákladní verze disponuje stejnými parametry jako Volocity s tím rozdílem, že místo kabiny pro cestující využívá Volodrone vyjímatelný kontejner. Z hlediska návrhu nákladních vertiportů hraje zásadní roli především návrh konsolidačních center, do kterých budou vertiporty integrovány. Pro účely práce však budeme počítat s využitím celé plochy střechy těchto center, tedy s plochou navrženou v předchozí kapitole. Za použití logiky definované výše můžeme navrhnout počet padů a parkovacích stání i pro nákladní vertiporty díky jednotným rozměrům, kterými disponují jak Volocity tak Volodrone. Větší návrhová plocha

daná potřebou logistických center umožňuje navržení většího počtu padů a parkovacích stání. Tabulka 5 obsahuje přehled nákladních vertiportů a maximální počet padů a parkovacích stání na jednotlivých vertiportech. Doplnující infrastruktura je opět omezena pouze na dobíjecí zařízení v případě vertiportu Smíchov. Je to dáno celkově menší plochou, pro integraci UAM do prostoru centra města [22].

Tabulka 5 - Rozložení infrastruktury nákladních vertiportů

Název	Rozloha (m²)	Počet padů	Počet stání	Doplnující infrastruktura
Malešice	70 000	20	50	Dobíjecí a údržbové zařízení
Smíchov	20 000	7	18	Dobíjecí zařízení

V této kapitole bylo navrženo rozložení vertiportů na základě návrhu technického řešení jednoho z vertiportů, kterým byl Letiště Václava Havla. Pro návrh byly využity eVTOL německé společnosti Volocopter, která je jedním z lídrů ve vývoji jak nákladních eVTOL tak i eVTOL pro přepravu osob. Na základě parametrů obou eVTOL byl navržen rozměr padů, parkovacích stání a šířky pojezdové dráhy, které byly implementovány do navržené plochy vertiporty Letiště Václava Havla.

5.1.5 Zhodnocení přínosů a rizik implementace UAM do městské infrastruktury

Síť UAM byla navržena na základě potřeb obyvatelstva města Prahy tak, aby efektivně doplnila stávající pozemní a podpovrchovou infrastrukturu městské mobility. Díky své dlouholeté historii a geografické poloze je město Praha rozprostřeno na celé své ploše rovnoměrně s historickým jádrem uprostřed, komerčními zónami kolem něj a obytnými oblastmi na okraji města. Toto uspořádání vytváří velkou poptávku po dopravě do centra města, ale také z něj, přičemž nejvíce trpí dopravní infrastruktura. To způsobuje narušení efektivity provozu, což vede k časovým a často i finančním ztrátám. Mimo tyto problémy je narušen i komfort cestujících využívajících MHD, která je ve špičkách často přeplněná obzvláště v oblastech kde chybí alternativní druh dopravy.

UAM jakožto nový druh městské mobility přináší oproti konvenčním druhům dopravy řešení mnohých problémů dnešní městské mobility. Největším přínosem je bezpochyby schopnost využití vertikální roviny prostoru nad městskou zástavbou, která umožňuje vyhnout se dopravním komplikacím na pozemních komunikacích. Díky této schopnosti se UAM stává rychlou a efektivní alternativou s obrovským potenciálem. Další výhodou, která je v dnešní době velmi žhavým tématem je šetrnost k životnímu prostředí. UAM využívá elektricky

poháněných UAS, které nevytváří téměř žádné zplodiny a zároveň představují mnohem menší hlukovou zátěž. UAM jako nově vznikající koncept také představuje nemalý zdroj nových odvětví a pracovních příležitostí, od výroby až po poskytování služeb a údržbu.

Navržená síť UAM byla vytvořena s cílem maximalizovat především potenciál schopnosti využití vertikální roviny k odlehčení dopravní situace na zemi. Na základě analýzy dopravní situace a urbanizmu bylo zjištěno, že nejsvětější přínos pro Prahu z hlediska přepravy osob spočívá v implementaci UAM do míst odkud cestuje největší množství obyvatel do centra města, jelikož centrum města nabízí nevíce pracovních příležitostí či volnočasových aktivit díky turismu a celkovému rozložení města. Tento způsob implementace cílí především na odlehčení silniční infrastruktury a MHD, která v dopravních špičkách již jen velmi těžko zvládá nápor cestujících. Toto vytížení bude s rostoucím počtem obyvatel Prahy a blízkého okolí dále narůstat. UAM zároveň poskytuje rychlou alternativu přepravy využitelnou například pro cestu na letiště, kdy cestující pospíchá za účelem dosažení navazujícího leteckého spojení. Síť UAM byla navržena jako hub-and-spoke, což je rozložení, které zajistí obsluhu okrajových částí Prahy, kde je soustředěno nejvíce obyvatel, přičemž poskytne těmto obyvatelům rychlou alternativu cestování do centra města nebo skrze něj. Implementace UAM z hlediska přepravy nákladu vychází z analýzy dopravní situace a logistických potřeb města Prahy. Převoz nákladu za pomoci UAM nejvíce těží opět ze schopnosti vyhnout se dopravním komplikacím na pozemních dopravních komunikacích. Urbanistické řešení města Prahy je na jednu stranu velmi chytré, avšak na stranu druhou přináší jistá úskalí především v otázce zásobování městského centra, které je pro nákladní dopravu jen těžko dostupné vzhledem k okolní zástavbě. Tomu nenapomáhá ani umístění logistických areálů za hranicemi města. Velký počet nákladních automobilů pak cestou do centra města komplikuje dopravní situaci a zbytečně zatěžuje silniční infrastrukturu. UAM může těmto komplikacím předejít díky schopnosti rychle a efektivně dopravit náklad do městských konsolidačních center bez nutnosti využití jakékoliv pozemní infrastruktury. Nákladní síť UAM je koncipována tak, aby byla v budoucnu rozšiřitelná na dosah vzdálenějších logistických areálů.

Za hodnotnými přínosy se však ukrývají i četná rizika spojená s provozem UAM. Největší obavu vzbuzuje otázka bezpečnosti provozu UAM nad obydlenými oblastmi, se kterým úzce souvisí legislativní procesy a technologický vývoj robustních UAM systémů. Stejně jako v letectví je i z pohledu UAM na prvním místě bezpečnost, kterou lze zajistit správným nastavením regulačních rámců, zdokonalováním technologií nebo třeba vhodným navržením letových tras UAM. Legislativní orgány usilovně pracují na nastavení prostoru provozu UAM, světoví lídři v oboru na vývoji špičkové technologie a vědecká obec na návrhu UAM infrastruktury pro svá města. Zatím je však úspěšná optimalizace těchto nastavení ve svých počátcích. Dalším zásadním rizikem je hluková zátěž a celková přijetí UAM veřejností.

Přestože jsou UAS díky elektrickému pohonu výrazně tišší než zbytek letecké dopravy, jsou stále dostatečně hlučné na to, aby dokázali znepříjemnit životy obyvatel v blízkosti letových tras či vertiportů. Hluk, obava z pádu UAS či obava z narušení soukromí nikterak nepřispívá k vytvoření přijatelného náhledu na UAM širší veřejností.

Návrh sítě UAM zohledňuje ta rizika, která jsou v současné době nastavitelná díky podpůrnému materiálu legislativních orgánů či analýzou současného stavu vzdušného prostoru. Tím mohou být například rizika spojená se vzletem a přistáním, technickým stavem UAS nebo návrhem letových tras a samotných vertiportů. Z hlediska navržených vertiportů jsou rizika minimalizována dodržováním postupu popisující parametry vertiportu vydaného EASA. Během návrhu bylo postupováno v souladu s těmito pravidly, a tudíž je zaručeno snížení rizik. Rizika spojená se vzletem a přistáním byla vyhodnocena v rámci analýzy okolního prostoru vertiportů. V případě vyššího rizika byl navržen adekvátní letový koridor umožňující vzlet a přistání mimo dosah okolních překážek. Letové trasy byly navrženy tak, aby provoz UAM minimalizoval pravděpodobnost střetu s ostatní leteckou dopravou. Pozemní rizika spojená s městskou zástavbou a návrhem tras nemají v Praze dostatečnou váhu na to, aby byla v návrhu zohledněna vzhledem k tomu, že Praha nedisponuje výškovými budovami, které by přesahovali maximální letovou hladinu 1 000 ft AGL. Co se týče technického stavu UAS a jeho robustnosti v souvislosti s UAM, zde byl zvolen UAS, který je z pohledu certifikace, a tedy i bezpečnosti nejdále v rámci jeho vývoje. Rizika, která nebyla v rámci návrhu sítě zohledněna, jsou například zmíněná hluková zátěž či přijetí UAM veřejností. Tato rizika nelze určit bez nutnosti hlubší analýzy této otázky, což není předmětem této práce. Míru hluku a přijetí širší veřejností lze však zmírnit například technologickým pokrokem UAS, kdy lze navrhnout tišší a robustnější stroj.

6 Diskuse

V diplomové práci byl vytvořen návrh integrace UAM do městské infrastruktury města Prahy, který je odrazem cílů definovaný v rámci zadání práce. Cílem práce bylo navrhnout začlenění konceptu UAM do systému městské dopravy z pohledu převozu nákladu i cestujících a zhodnotit vhodnost využití pro Českou republiku. Město Praha bylo vybráno jakožto největší město České republiky, které má velkou historickou a ekonomickou hodnotu a zároveň představuje významný dopravní uzel, což způsobuje časté dopravní komplikace.

Z pohledu přepravy cestujících bylo na základě analýzy urbanismu, stávající dopravní situace a vzdušného provozu navrženo deset vertiportů a devět letových tras, které dohromady tvoří efektivní síť UAM. Bylo zjištěno, že velký počet lidí cestuje na denní bázi z okrajových částí města do centra ať už se jedná o obyvatele Prahy nebo přilehlých oblastí, což způsobuje přetížení dopravní infrastruktury ať už povrchové či podpovrchové. Přestože systém komunikací a MHD je v Praze velice dobře nastaven, je jen otázkou času, kdy bude nápor cestujících převyšovat schopnosti dopravní infrastruktury, vzhledem k rostoucímu počtu obyvatel. V některých částech Prahy existuje navíc jen jeden druh dopravy, který je možný využít na cestě do centra města. Alternativa v podobě UAM poskytne cestujícím možnost volby na cestě do zaměstnání či v rámci volnočasových aktivit. Díky koncentrickému uspořádání Prahy byla síť navržena jako hub-and-spoke, kdy jsou vertiporty navrženy tak, aby pokrývali hustěji obydlené okrajové části města, ze kterých vedou trasu směrem do centra.

Infrastruktura přepravy nákladu UAM byla navržena na základě analýzy logistických potřeb města Prahy spolu se stávající situací na pražských silnicích. Silniční nákladní doprava sice nezabírá takový podíl v kontextu celkového objemu vozidel na silnicích Praze, avšak vzhledem k její povaze vytěžuje silniční infrastrukturu srovnatelným podílem. Silniční infrastrukturu zatěžuje nákladní doprava především na hlavních silničních tazích směrem do centra města. To je dáno zejména polohou logistických areálů, které jsou rozprostřeny za hranicemi Prahy v okolí významných dopravních tepen v podobě dálnic. Potřeba logistických areálů disponovat velkou skladovací plochou neumožňuje v husté městské zástavbě významný rozvoj. Přesto město Praha adresuje potřebu výstavby konsolidačních center v centru městě nebo v jeho blízkosti s cílem snížit dopravní vytížení pražských ulic a vyčleňuje pro jejich výstavbu dvě oblasti. Návrh přepravy nákladu za pomoci UAM v této práci počítá s integrací UAM infrastruktury do těchto center. Tato centra budou zásobována z okolních logistických areálů. Celkem pět letových tras bylo navrženo v souladu s umístěním těchto areálů, spojující dvě konsolidační centra s logistickými areály ze všech světových stran.

Návrh letových tras vycházel z analýzy vzdušného prostoru, kdy byla zpracována data o pohybu leteckého provozu nad Prahou. Na základě těchto dat byly navrženy trasy tak, aby minimalizovali potenciální riziko srážky UAM s leteckou dopravou. Kde nebylo možné vést terasu mimo prostor se zvýšeným výskytem leteckého provozu, byla navržena výšková omezení, která byla v souladu s vlastnostmi městské zástavby.

Na závěr byl zhodnocen potenciální přínos implementace UAM do městské infrastruktury, čímž bylo dosaženo požadovaného cíle této diplomové práce.

Přestože je návrh založen na dodržování stávajících doporučení tato doporučení nejsou zcela kompletní, vzhledem k rychlému vývoji UAS v posledním desetiletí. Z toho důvodu nebylo možné dostatečně dobře zhodnotit některé faktory ve vztahu k UAM. Zatím neexistují ucelená pravidla týkající se vzdušného prostoru do 1 000 ft AGL, a proto nemohl být určen například maximální horizontální rozestup v rámci UAM.

7 Závěr

UAM představuje novou éru městské mobility přinášející rychlejší, efektivnější a ekologicky udržitelný způsob dopravy v městském prostředí. Přestože má UAM velký potenciál změnit městskou mobilitu tak jak ji dnes známe, její implementace není jednoduchým úkolem z hlediska regulace, bezpečnosti a otázky městského plánování. Světové špičky v oboru pracují na nastavení pravidel provozu UAM, vývoji technologií a návrhu implementace po praktické stránce. Městské prostředí disponuje vysokou hustotou obyvatelstva, hustou dopravní infrastrukturou a hustou zástavbou, což ho dělá z pohledu přepravy obyvatel a nákladu velmi náročným prostředím. UAM slibuje zlepšení vytíženosti dopravní sítě a zkrácení cestovní doby. Pro naplnění plného potenciálu je však zapotřebí navrhnu mimo jiné funkční infrastruktury pro provoz UAS v městském prostředí.

První část práce se zabývá definicí samotného konceptu UAM od samotného počátku tohoto konceptu až po současné využití. Je zde popsána základní charakteristika UAM včetně popisu technologie, která hraje klíčovou roli z pohledu implementace UAM do městského prostředí. Následně je zde odhalen potenciál UAM a jsou popsány jednotlivé dopravní úkoly a následná analýza přínosů a limitací UAM pro aplikaci v rámci těchto úkolů.

Druhá část řeší otázku vztahu mezi UAM a městským plánováním, kde je dbán důraz především na způsob implementace UAM do městské infrastruktury. Tato část poskytuje také náhled na problematiku městské mobility se zaměřením na město Prahu a analýzu dopravní situace a potenciálních přínosů implementace UAM. V této části je dále definován způsob, jakým bude proveden konkrétní návrh integrace UAM do města Prahy. Tento způsob vychází z konceptu SUMP.

Návrh integrace UAM do města Prahy vychází z analýzy urbanismu, dopravní situace a vzdušného prostoru jak z pohledu přepravy osob, tak i nákladu. Celkem bylo navrženo 12 vertiportů a 14 letových tras, které jsou v souladu s potřebami konkrétního města. Na základě návrhu jsou identifikovány potenciální přínosy této nové infrastruktury, čímž je splněn cíl diplomové práce.

Tato práce přináší ucelený náhled na problematiku UAM nejen ve světě ale také z pohledu vhodnosti implementace pro Českou republiku. Práce poskytuje možné řešení integrace UAM v rámci městské mobility s cílem zlepšit dopravní situaci v Praze a zároveň poskytnout lákavou alternativu rychlé dopravy. Zároveň také odhaluje nedostatky v oblasti regulace, bezpečnosti a potřebné infrastruktury nezbytné pro efektivní a udržitelný provoz UAM ve městě. Tyto nedostatky je třeba usilovně řešit napříč sférami zainteresovaných subjektů ať už se jedná o regulační orgány, výzkumná střediska či akademickou obec.

8 Použité zdroje

- [1] COHEN, A. P.; SHAHEEN, S. A. a FARRAR, E. M. Urban Air Mobility: History, Ecosystem, Market Potential, and Challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2021, roč. 22, č. 9, s. 6074-6087. ISSN 1558-0016. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3082767>.
- [2] NASA. *Advanced Air Mobility National Campaign (AAM NC) Tech Talks*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/directorates/armd/aosp/amp/national-campaign-tech-talks/>. [cit. 2023-11-30].
- [3] EASA. Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>. [cit. 2023-11-27].
- [4] UIC2. DRIVING THE SUSTAINABLE & RESPONSIBLE TRANSITION OF URBAN MOBILITY TO THE THIRD (VERTICAL) DIMENSION. Online. 2022. Dostupné z: https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/sites/default/files/2022-03/UIC2_Overview_February-2022.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [5] FAA. UAM Concept of Operations (ConOps). Online. 2020. Dostupné z: https://nari.arc.nasa.gov/sites/default/files/attachments/UAM_ConOps_v1.0.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [6] NASA. UAM Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML) 4 Version 1.0. Online. 2020. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20205011091> [cit. 2023-11-27].
- [7] UIC2. PRACTITIONER BRIEFING URBAN AIR MOBILITY AND SUSTAINABLE URBAN MOBILITY PLANNING. Online. 2021. Dostupné z: https://www.eltis.org/sites/default/files/practitioner_briefing_urban_air_mobility_and_sump.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [8] CIPALLA, Rita. *Taylor, Moulton "Molt" (1912-1995)*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.historylink.org/file/20929>. [cit. 2023-11-27].
- [9] MAISEL, Martin; GIULIANETTI, Demo a DUGAN, Daniel. The History of the XV-15 Tilt Rotor Research Aircraft from Concept to Flight. Online. 2000. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/24295050_The_History_of_the_XV-15_Tilt_Rotor_Research_Aircraft_from_Concept_to_Flight. [cit. 2023-11-27].

- [10] *Neuera 200 Two passenger VTOL recreational aircraft*. Online. Moller. Dostupné z: https://moller.com/moller_neuera.html. [cit. 2023-11-27].
- [11] *Introducing the first electric vertical take-off and landing jet*. Online. Dostupné z: <https://lilium.com/jet>. [cit. 2023-11-27].
- [12] *World's First Self-Flying, All-Electric, Four-Seat Air Taxi*. Online. Dostupné z: <https://wisk.aero>. [cit. 2023-11-27].
- [13] *WE AIM TO LAUNCH UAM FIRST: A new dimension of urban mobility*. Online. Dostupné z: <https://www.volocopter.com/en/urban-air-mobility>. [cit. 2023-11-27].
- [14] SPECIAL CONDITION Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/SC-VTOL-01.pdf>. [cit. 2023-11-27].
- [15] JANNÉ, Mats. *Construction Logistics Solutions in Urban Areas*. 2018. ISBN 9789176852903. Dostupné z: <https://doi.org/10.3384/lic.diva-147536>.
- [16] MOADAB, Amirhossein; FARAJZADEH, Fatemeh a FATAHI VALILAI, Omid. Drone routing problem model for last-mile delivery using the public transportation capacity as moving charging stations. *Scientific Reports*. 2022, roč. 12, č. 6361. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10408-4>.
- [17] FAA. UAM Concept of Operations (ConOps) v2.0. Online. 2023. Dostupné z: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban%20Air%20Mobility%20%28UAM%29%20Concept%20of%20Operations%202.0_0.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [18] EICHHORN, Kelsey. *The future of mobility: Urban air*. Online. Dostupné z: <https://www.arup.com/perspectives/the-future-of-mobility-urban-air>. [cit. 2023-11-27].
- [19] ORTNER, Frederick Peter a HUANG, Jeffrey. MODELING UAM SCENARIOS FOR URBAN DESIGN. Online. Dostupné z: https://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2020_346.pdf. [cit. 2023-11-27].
- [20] *Urban Mobility Planning: Challenges & Solutions*. Online. PTV Group. Dostupné z: <https://www.ptvgroup.com/en-us/application-areas/urban-mobility>. [cit. 2023-11-27].
- [21] HAZAN, Joël a BOUTENKO, Vladislav. *Putting Residents at the Heart of Urban Mobility Planning*. Online. BCG. 2021. Dostupné z: <https://www.bcg.com/publications/2021/resident-centric-approach-to-urban-mobility-planning>. [cit. 2023-11-27].
- [22] VOLOCOPTER. *Volodrone*. Online. Dostupné z: <https://www.volocopter.com/en/solutions/volodrone>. [cit. 2023-11-27].

- [23] DI VITO, V; DZIUGIEL, B; MELO, S; TEN THIJE, J; DUCA, G et al. Operational Concepts for Urban Air Mobility deployment in the next decades. *Journal of Physics: Conference Series*. 2023, č. 2526. ISSN 1742-6596. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2526/1/012098>.
- [24] BOARD, Transportation Research a NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, and Medicine. *Urban Air Mobility: An Airport Perspective: An Airport Perspective*. Washington, DC: The National Academies Press, 2023. Dostupné z: <https://doi.org/10.17226/26899>.
- [25] Prototype Technical Design Specifications for Vertiports. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/prototype-technical-design-specifications-vertiports>. [cit. 2023-11-27].
- [26] BAURANOV, Aleksandar a RAKAS, Jasenka. Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches: A review of concepts and approaches. *Progress in Aerospace Sciences*. 2021, roč. 125, č. 100726. ISSN 0376-0421. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2021.100726>.
- [27] AL-RUBAYE, Saba; TSOURDOS, Antonios a NAMUDURI, Kamesh. Advanced Air Mobility Operation and Infrastructure for Sustainable Connected eVTOL Vehicle. Online. *Drones*. 2023, roč. 7, č. 5. ISSN 2504-446X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/drones7050319>. [cit. 2023-11-27].
- [28] KELLER, Mikuláš; HULÍNSKÁ, Šárka a KRAUS, Jakub. Integration of UAM into Cities – The Public View. *Transportation Research Procedia*. 2021, roč. 59, s. 137-143. ISSN 2352-1465. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.105>.
- [29] *Vertiports in the Urban Environment*. Online. EASA. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertiports-urban-environment>. [cit. 2023-11-27].
- [30] *Paving the Way for Future Mobility: Bay Area Case Study Provides Key Insights for Vertiport Planning*. Online. Mineta. Dostupné z: <https://transweb.sjsu.edu/press/Paving-Way-Future-Mobility-Bay-Area-Case-Study-Provides-Key-Insights-Vertiport-Planning>. [cit. 2023-11-27].
- [31] MATHAVARA, Kamaleshaiah a RAMACHANDRAN, Guruprasad. Role of Human Factors in Preventing Aviation Accidents: An Insight: An Insight. Rijeka: IntechOpen, 2022. ISBN 978-1-80355-301-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/intechopen.106899>.

- [32] NEMEŠKAL, J., OUŘEDNÍČEK, M. Dojíždka do zaměstnání v Praze. Specializovaná mapa. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze. 2015 Dostupné z: <https://www.atlasobyvatelstva.cz/cs/historie>
- [33] *Nejnovější údaje: Hl. m. Praha*. Online. Český statistický úřad. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xa/1-xa>. [cit. 2023-11-27].
- [34] *Praha – Příjezdový cestovní ruch 2012-2021*. Online. Český statistický úřad. 2022. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xa/praha-prijezdovy-cestovni-ruch-2012-2021>. [cit. 2023-11-27].
- [35] NEMEŠKAL, J., OUŘEDNÍČEK, M. (2020): Pracovní příležitosti ve středních Čechách. Specializovaná mapa. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. 2019 Dostupné z: <https://www.atlasobyvatelstva.cz/cs/realne-populace>
- [36] *Dojíždka za prací a do škol v hl. m. Praze (na základě výsledků SLDB) - 2001*. Online. Český statistický úřad. 2004. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/13-1127-04-sldb-2001-4-dojizdka-za-praci>. [cit. 2023-11-27].
- [37] *Nová mapa nejzatíženějších silnic v Praze. Aut přibývá, přestože nejvíc lidí jezdí MHD*. Online. Aktuálně.cz. 2018. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/doprava/pocet-aut-v-praze-stoupl-mezirocne-o-56-tisic-na-celkem-1-05/r~6008b9cc67fb11e89f2fac1f6b220ee8/>. [cit. 2023-11-27].
- [38] *Statistiky přepravy za rok 2020*. Online. Bus Portál. 2021. Dostupné z: <https://www.busportal.cz/clanek/statistiky-prepravy-za-rok-2020-17221>. [cit. 2023-11-27].
- [39] PID. *Typy dopravy*. Online. Dostupné z: <https://pid.cz/metro/>. [cit. 2023-11-30].
- [40] IPR PRAHA. *City logistika*. Online. Dostupné z: <https://iprpraha.cz/stranka/3997>. [cit. 2023-11-29].
- [41] JOHNSTON, Tore; RIEDEL, Robin a SAHDEV, Shivika. To take off, flying vehicles first need places to land. Online. S. 8. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/To%20take%20off%20flying%20vehicles%20first%20need%20places%20to%20land/To-take-off-flying-vehicles-first-need-places-to-land.pdf>. [cit. 2023-11-29].
- [42] IPR PRAHA. *Výkres územního plánu*. Online. Dostupné z: <https://app.iprpraha.cz/apl/app/vykresyUP/>. [cit. 2023-11-30].
- [43] LETIŠTĚ PRAHA. *Údaje o společnosti*. Online. Dostupné z: <https://www.prg.aero/udaje-o-spolecnosti>. [cit. 2023-11-30].

- [44] STATISTA. *Number of passengers at Václav Havel Airport Prague, Czechia from 2006 to 2022*. Online. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/738854/prague-airport-passenger-numbers/#:~:text=Number%20of%20passengers%20at%20Prague,19>. [cit. 2023-11-30].
- [45] IPR PRAHA. *3D model Prahy*. Online. Dostupné z: <https://app.iprpraha.cz/apl/app/model3d/>. [cit. 2023-11-30].
- [46] MAPY.CZ. *Letecká mapa*. Online. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka>. [cit. 2023-11-30].
- [47] SEKYRA GROUP. *Smíchov city*. Online. Dostupné z: <https://sekyragroup.cz/pages/developersky-projekt-praha5-smichov-city-sever>. [cit. 2023-11-30].
- [48] LETIŠTĚ LETŇANY. *Letiště Praha Letňany*. Online. Dostupné z: https://www.letnany-airport.cz/?page_id=6045&lang=cs. [cit. 2023-11-30].
- [49] TOCNA. *Letiště a Letecké Muzeum Točná*. Online. Dostupné z: <https://www.tocna.cz>. [cit. 2023-11-30].
- [50] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU. *VFR příručka*. Online. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/gen_1_cz.html. [cit. 2023-11-30].
- [51] *Studie city logistiky na území hlavního města Prahy*. Online. 2019. Dostupné z: https://iprpraha.cz/uploads/assets/dokumenty/2019-05-09_studie_citylogistiky.pdf. [cit. 2023-11-30].
- [52] *ZÁSADY ÚZEMNÍHO ROZVOJE HL. M. PRAHY*. Online. 2022. Dostupné z: <https://iprpraha.cz/assets/files/files/37bd6c91af7ffa256472d74cd5350661.pdf>. [cit. 2023-11-30].
- [53] *Praha je proti návrhu překladiště v Malešicích*. Online. PRAHA 14 JINAK. 2017. Dostupné z: <http://www.praha14jinak.cz/clanky/Praha-je-proti-navrhu-prekladiste-v-Malesicich.html/>. [cit. 2023-11-30].
- [54] KAFKA, Ondřej. *Terminál Smíchovské nádraží*. Online. SILNICE ŽELEZNICE. 2021. Dostupné z: <https://silnice-zeleznice.cz/zeleznice/terminal-smichovske-nadrazi-486>. [cit. 2023-11-30].
- [55] Terminál Malešice. Online. 2019. Dostupné z: http://www.praha14jinak.cz/d/PHA1037_dokumentace-1cast-Dokumentace_EIA_Terminal_Malesice.pdf. [cit. 2023-11-30].

[56] LEE, S.; ABRAMSON, M.; PHILLIPS, J. D. a TANG, H. Preliminary Analysis of Separation Standards for Urban Air Mobility using Unmitigated Fast-Time Simulation. In: *2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*. 2022, s. 1-10. ISSN 2155-7209. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/DASC55683.2022.9925746>.

[57] WARWICK, Graham. *Volocopter Certification Progress Keeps Paris 2024 Debut In Sight*. Online. 2023. Dostupné z: <https://aviationweek.com/aerospace/advanced-air-mobility/volocopter-certification-progress-keeps-paris-2024-debut-sight>. [cit. 2023-11-30].

[58] SCHWEIGER, Karolin a PREIS, Lukas. Urban Air Mobility: Systematic Review of Scientific Publications and Regulations for Vertiport Design and Operations. Online. *Drones*. 2022, roč. 6, č. 7. ISSN 2504-446X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/drones6070179>. [cit. 2023-11-30].

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Aerocar Model I, 1949 [8]

Obrázek 2 - XV-15 během vzletu překlápí rotory z vertikální polohy do polohy horizontální [9]

Obrázek 3 - Nuera 200 třídy Volantor [10]

Obrázek 4 - Typy UAS [3]

Obrázek 5 - Lillium Jet společnosti Lillium [11]

Obrázek 6 – Wisk Aero Cora páté generace [12]

Obrázek 7 – Volocity německé společnosti Volocopter [13]

Obrázek 8 - FATO a bezpečnostní zóna [25]

Obrázek 9 - Objem nad vertiportem, který musí zůstat bez překážek [25]

Obrázek 10 - Typy uspořádání vertiportů [41]

Obrázek 11 - Osm základních principů SUMP [7]

Obrázek 12 - Čtyři fáze cyklu SUMP [7]

Obrázek 13 - Dojíždka do zaměstnání v Praze v roce 2011 [32]

Obrázek 14 - Pracovní příležitosti v Praze [35]

Obrázek 15 - Intenzita automobilové dopravy v roce 2017 [40]

Obrázek 16 – Mapa umístění parkovišť P+R [39]

Obrázek 17 – Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Letiště Václava Havla

Obrázek 18 – 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Letiště Václava Havla

Obrázek 19 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Hlavní nádraží

Obrázek 20 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Hlavní nádraží

Obrázek 21 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Pankrác

Obrázek 22 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Pankrác

Obrázek 23 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Zličín

Obrázek 24 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Zličín

Obrázek 25 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Modřany

Obrázek 26 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Modřany

Obrázek 27 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Černý Most

Obrázek 28 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Černý Most

Obrázek 29 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Opatov

Obrázek 30 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Opatov

Obrázek 31 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Smíchov

Obrázek 32 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Smíchov

Obrázek 33 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Střížkov

Obrázek 34 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Střížkov

Obrázek 35 - Využitelná plocha pro výstavbu vertiportu Galerie Butovice

Obrázek 36 - 3D vizualizace okolního prostoru vertiportu Galerie Butovice

Obrázek 37 - Vizualizace pohybu letadel ve vzdušném prostoru do 200 ft AGL

Obrázek 38 – Trasa B z Černého Mostu v souvislosti s provozem letecké dopravy do výšky 400 ft AGL

Obrázek 39 - Trasa A z letiště Václava Havla v souvislosti s provozem letecké dopravy do výšky 600 ft AGL

Obrázek 40 - Skladovací areály v Praze a okolí [51]

Obrázek 41 - Využitelná plocha pro výstavbu nákladního vertiportu Smíchov

Obrázek 42 - 3D vizualizace okolního prostoru nákladního vertiportu Smíchov

Obrázek 43 - Využitelná plocha pro výstavbu nákladního vertiportu Malešice

Obrázek 44 - 3D vizualizace okolního prostoru nákladního vertiportu Malešice

Obrázek 45 - Popis jednotlivých částí vertiportu [58]

Obrázek 46 - Návrh rozložení vertiportu Letiště Václava Havla

10 Přílohy

Příloha 1 – Veřejná doprava v Praze, zdroj: www.dpp.cz

Příloha 2 – Návrh implementace UAM v rámci Prahy z pohledu přepravy osob

Příloha 3 – Návrh implementace UAM v rámci Prahy z pohledu přepravy nákladu

Příloha 4 – Celkový návrh implementace UAM v rámci Prahy