ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Zeměpisná zóna umožňující UAM

Geographical Zone Enabling UAM

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Provoz a řízení letecké dopravy

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

Bc. Adam Tománek

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Adam Tománek

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Zeměpisná zóna umožňující provoz UAM**

Název tématu (anglicky): Geographical Zone Enabling UAM

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout zeměpisnou zónu pro bezpilotní systémy a pravidla v ní nad aglomerací tak, aby umožnila koexistenci bezpilotního provozu ve formě UAM, společně s provozem letadel s posádkou na palubě.
- Výběr aglomerace a definice dotčených vzdušných prostorů.
- Identifikace veškerého současného provozu v dotčeném vzdušném prostoru.
- Definice provozu UAM.
- Návrh začlenění provozu UAM do definovaného prostoru.
- Zhodnocení návrhu a diskuze výsledků.

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Evropská Komise: Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/664 a 2021/666
FAA Urban Air Mobility ConOps
EASA Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe

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

L. S.

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

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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Adam Tománek
jméno a podpis studenta

V Praze dne 16. května 2023

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na tvorbu geozóny pro Urban Air Mobility, jakožto budoucí koncept v oblasti letecké dopravy. Urban Air Mobility představuje nový způsob přepravy, kdy převážně elektrické bezpilotní prostředky a pilotovaná letadla k tomuto provozu určená, poskytují efektivní a rychlou dopravu ve městech. V současné době je trend takový, že dochází k čím dál větší urbanizaci a rozšiřování měst. S tím přichází také problémy spojené s narůstajícím počtem aut a cestujících v rámci městské hromadné dopravy, což může způsobovat poměrně velké dopravní komplikace a mimo jiné i zhoršené ovzduší v souvislosti s produkovanými emisemi. Tyto problémy může právě Urban Air Mobility částečně řešit. Cílem práce je prozkoumat regulační a technické aspekty spojené s tímto konceptem a navrhnout přesně vymezenou oblast pro Urban Air mobility nad aglomerací tak, aby zároveň umožňovala koexistenci s letadly s posádkou na palubě.

Klíčová slova: UAM, UAS, urban air mobility, U-space

Abstract

This thesis focuses on the creation of a geographical zone for Urban Air Mobility as a future concept in air transport. Urban Air Mobility represents a new concept of transportation, where predominantly electric unmanned vehicles and manned aircraft designated for this kind of operation provide efficient and fast transportation in cities. The current trend is that cities are becoming increasingly urbanised and expanded. This situation accompany problems associated with the increasing number of cars and passengers in regard of public transport, which can cause relatively large traffic complications and, among other things, worsened air quality due to the emission production. These are problems that Urban Air Mobility can effectively solve. The aim of this thesis is to investigate the regulatory and technical aspects associated with this concept and to design a well-defined area for Urban Air Mobility over agglomerations in such a way that it also allows coexistence with manned aircraft.

Keywords: UAM, UAS, urban air mobility, U-space

Poděkování

Tímto bych moc rád poděkoval doc. Ing. Jakubovi Krausovi, Ph.D. za jeho trpělivost a vedení během psaní této diplomové práce. Jeho pomoc a odborné rady pro mne byly velkou pomocí.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě po celou dobu studia podporovala a byla mi nesmírnou oporou. V neposlední řadě patří dík také blízkým kamarádům, kteří mě vždy motivovali a stejně tak i podporovali.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Zeměpisná zóna umožňující provoz UAM vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské/diplomové práci.

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).

Praze dne 30.11. 2023 ……...

Podpis

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ **10**

SEZNAM TABULEK **13**

1 ÚVOD **19**

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY **20**

2.1 PRAVIDLA LETU 21

2.1.1 Pravidla VFR letu *22*

2.1.2 Pravidla IFR letu *24*

2.1.3 Současná pravidla letu pro UAS *25*

2.2 ZPŮSOB USPOŘÁDÁNÍ LETOVÉHO PROVOZU 29

2.2.1 ATM *30*

2.3 ROZDĚLENÍ VZDUŠNÉHO PROSTORU NA ZÁKLADĚ ICAO 31

2.4 UTM 35

2.4.1 U-space *37*

2.4.2 Současná legislativa U-space *39*

2.5 TYPY LETADEL V UAM 41

2.5.1 UAS *41*

2.5.2 eVTOL *42*

2.5.3 Aktuálně běžící komerční projekty *44*

2.6 LIMITACE SOUČASNÉHO STAVU 46

3 METODIKA **47**

3.1 PODMÍNKY PRO VYTVOŘENÍ NOVÉHO VZDUŠNÉHO PROSTORU 47

3.2 VÝBĚR OBLASTI PRO IMPLEMENTACI UAM 51

3.3 DOTČENÉ VZDUŠNÉ PROSTORY V RÁMCI PRAHY 57

3.4 IDENTIFIKACE VEŠKERÉHO PROVOZU V DANÉM PROSTORU 60

3.5 KLÍČOVÁ HLEDISKA PRO TVORBU GEOZÓNY 62

PRAVIDLA LETU V GEOZÓNĚ UAM 65

4 NÁVRH ZAČLENĚNÍ GEOZÓNY UAM **66**

4.1.1 Návrh 1 ..... *66*

4.1.2 Návrh 2 ..... *67*

4.1.3 Návrh 3 ..... *68*

4.2 PRAVIDLA GEOZÓNY 69
4.2.1 Možnost 1 69
4.2.2 Možnost 2 69
4.2.3 Výběr pravidel 70
5 DISKUSE 72
6 ZÁVĚR 75
7 POUŽITÉ ZDROJE 77

Seznam obrázků

Obrázek 1: Předpoklad EASA pro použití pilotovaných a autonomních letadel [14] 20

Obrázek 2: Schéma Boeing s hlavními aspekty UAM (vlastní zpracování na základě: [3]) ... 21

Obrázek 3: Minima pro VFR lety [5] 24

Obrázek 4: Úseky IFR letu (vlastní zpracování na základě: [6]) 25

Obrázek 5: Rozhraní mezi LFR a VFR (vlastní zpracování na základě: [11]) 26

Obrázek 6: Společné začlenění typů vzdušného prostoru X, Y a Z [12] 27

Obrázek 7: Schéma typu vzdušného prostoru X (vlastní zpracování na základě: [12]) 28

Obrázek 8: Schéma typu vzdušného prostoru Y (vlastní zpracování na základě: [12]) 28

Obrázek 9: Schéma typu Z (vlastní zpracování na základě: [48]) 29

Obrázek 10: Vertikální rozdělené vzdušného prostoru ČR [17] 32

Obrázek 11: Architektura UTM (vlastní zpracování na základě: [19]) 36

Obrázek 12: Ekosystém U-space (vlastní zpracování na základě: [21]) 39

Obrázek 13: City Airbus NextGen [33] 44

Obrázek 14: eVTOL Joby Aviation [35] 45

Obrázek 15: Ochranná pásma v souvislosti s prostory (vlastní zpracování na základě:[39]) .. 48

Obrázek 16: Hodnocení měst na základě perspektivy kyvadlové dopravy na letiště (vlastní zpracování na základě: [27]) 52

Obrázek 17: KPIs hodnotící implementaci UAM (vlastní zpracování na základě [27]) 53

Obrázek 18: Logistické uzly v Praze a okolí [50] 54

Obrázek 19: Schéma pražské integrované dopravy [53] 55

Obrázek 20: Hlavní pozemní komunikace Prahy (vlastní zpracování na základě [55] a [56]) 56

Obrázek 21: Vzdušný prostor nad Prahou a okolím [57] 58

Obrázek 22: Prostory P1 a R1 v rámci Prahy (vlastní zpracování na základě [59]) 59

Obrázek 23 Provoz nad Prahou za červen 2022 ve výšce mezi 0 až 200 ft (vlastní zpracování na základě: [60]) 60

Obrázek 24: Provoz v CTR Ruzyně za červen 2022 ve výšce mezi 200 až 400 ft (vlastní zpracování na základě: [60] 61

Obrázek 25: Provoz v CTR Ruzyně na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce mezi 0 až 200 ft (vlastní zpracování na základě: [60]) 61

Obrázek 26: Schéma dopravní dostupnosti a logistických uzlů. (vlastní zpracování na základě [38] a [42]) 62

Obrázek 27: Vyznačení přístrojové přistání na RWY 24 s provozem v CTR Ruzyně za červen 2022 ve výšce 0 až 400 ft(vlastní zpracování na základě: [60] a [16]) 63

Obrázek 28: Přístrojové přistání na RWY 30 s provozem v CTR Ruzyně červen 2022 ve výšce 0 až 400 ft (vlastní zpracování na základě: [60] a [16]) 64

Obrázek 29: Vymezení oblastí zájmu pro návrh geozóny (vlastní zpracování na základě: [50], [53] a [55]) 66

Obrázek 30: Návrh geozóny pro UAM na základě vrstev zájmu. (vlastní zpracování na základě: [50], [53] a [55]) 67

Obrázek 31: Implementace geozóny UAM do vzdušných prostorů CTR Ruzyně a MCTR Kbely. (vlastní zpracování na základě: [50], [53], [55] a [57]) 68

Obrázek 32: Geozóna rozšiřující současné CTR Ruzyně a MCTR Kbely. (vlastní zpracování na základě: [50], [53], [55] a [57]) 68

Seznam tabulek

Tabulka 1: Cestovní hladiny pro VFR lety (vlastní zpracování na základě: [4]) 22

Tabulka 2: Obecná specifika tříd vzdušných prostorů (vlastní zpracování na základě: [15]) . 31

Tabulka 3: Intenzita dopravy v Praze v roce 2022 (vlastní zpracování na základě [56]) 56

Tabulka 4: Rozdílné faktory mezi možností 1 a 2 pravidel v geozóně [vlastní zpracování] ... 71

Seznam symbolů a zkratek

ACC	Area Control Center, Oblastní středisko řízení
AGL	Above Ground Level, Výška nad terénem
AIP	Aeronautical Information Publication, Letecká informační příručka
AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control, Regulovaná systém šíření leteckých informací
AIS	Aeronautical Information Services, Letecká informační služba
ALRS	Pohotovostní služba
AMSL	Above Mean Sea Level, Výška nad střední hladinou moře
ANS	Air Navigation Services, Letecké navigační služby
APP	Approach Control, Služba přiblížení
ARO	Aerodrome Reporting Office, Letištní úřad
ASM	Airspace Management, Management vzdušného prostoru
ATC	Air Traffic Control, Řízení letového provozu
ATCO	Air Traffic Control Officer, Letový dispečer
ATFM	Air Traffic Flow Management, Řízení toku leteckého provozu
ATM	Air Traffic Management, Management letového provozu
ATS	Air Traffic Services, Letové provozní služby
ATZ	Aerodrome Traffic Zone, Letištní provozní zóna
AUP	Airspace Use Plan, Plán využití vzdušného prostoru

BVLOS	Beyond Visual Line of Sight, Pravidla letu bez přímého vizuálního dohledu pilota
CIS	Common Information Service, Služba běžných informací
CNS	Communication, Navigation, Surveillance, Komunikace, Navigace, Přehled
ConOps	Concept of Operations, Koncepce provozu
CTR	Control Zone, Řízený okrsek
D	Danger Airspace, Nebezpečný vzdušný prostor
EASA	European Union Aviation Safety Agency, Evropská agentura pro bezpečnost letectví
eVTOL	Electric Vertical Takeoff and Landing, Elektrické letadlo s vertikálním vzletem a přistáním
FAA	Federal Aviation Administration, Federální úřad pro letectví
FAF	Final Approach Fix, Fix konečného přiblížení
FIS	Flight Information Service, Letová informační služba
FL	Flight Level, Letová hladina
FT	Feet, Stopy
IAF	Initial Approach Fix, Počáteční bod přiblížení
ICAO	International Civil Aviation Organization, Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IF	Intermediate Fix, Střední bod přiblížení
IFR	Instrument Flight Rules, Let podle přístrojů

IMC	Instrument Meteorological Conditions, Meteorologické podmínky pro lety podle přístrojů
KASM	Komise managementu vzdušného prostoru
KPI	Key Performance Indicator, Klíčový ukazatel výkonnosti
KSASM	Konzultační skupina managementu vzdušného prostoru
LFR	Low-level Flight Rules, Pravidla letu v nízkých výškách
LKBU	Letiště České Budějovice
LKKB	Letiště Kbely
LKKL	Letiště Karlovy Vary
LKLT	Letiště Letňany
LKPR	Letiště Václava Havla Praha
LKSN	Letiště Sazená
LKTC	Letiště Točná
LKVO	Letiště Vodochody
MAPt	Missed Approach Point, Nezdařený bod přiblížení
MCTR	Military Control Zone, Vojenská řízená oblast
MHD	Městská hromadná doprava
MO	Ministerstvo obrany
MSA	Minimum Safe Altitude, Minimální bezpečná výška nad terénem
NASA	National Aeronautics and Space Administration, Národní úřad pro letectví a kosmonautiku

NM	Nautical Mile, Námořní míle
P	Prohibited Airspace, Zakázaný vzdušný prostor
PID	Pražská Integrovaná Doprava
R	Restricted Airspace, Omezený vzdušný prostor
RMZ	Radio Mandatory Zone, Oblast s povinným rádiovým spojením
RNAV	Area Navigation, Prostorová navigace
RNP	Required Navigation Performance, Požadovaná navigační výkonnost
RWY	Runway, Vzletová a přistávací dráha
ŘLP	Řízení letového provozu České republiky
SAR	Search and Rescue, Hledání a záchrana
SESAR	Single European Sky ATM Research, Výzkum jednotného evropského leteckého prostoru
SID	Standard Instrument Departure, Standardní přístrojový odlet
STAR	Standard Terminal Arrival Route, Standardní přístrojový přílet
TMA	Terminal Control Area, Koncová řízená oblast
TMZ	Transponder Mandatory Zone, Oblast s povinným odpovídačem
TRA	Temporary Reserved Airspace, Dočasně vyhrazený vzdušný prostor
TRA GA	Temporary Reserved Airspace for General Aviation, Dočasně vyhrazený vzdušný prostor pro všeobecné letectví
TSA	Temporary Segregated Area, Dočasně vyhrazený prostor
TWR	Tower, Řídící věž

UAM	Urban Air Mobility, Městská letecká mobilita
UAS	Unmanned Aircraft Systems, Bezpilotní letecké systémy
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
UFR	Unmanned Flight Rules, Bezpilotní pravidla letu
USAF	United States Air Force, Letectvo Spojených států amerických
USSP	U-space Service Provider, Poskytovatel služeb U-space
UTM	Unmanned Traffic Management, Řízení bezpilotního provozu
VFR	Visual Flight Rules, Let za dohlednosti
VHL	Very High-Level Airspace, Velmi vysoký vzdušný prostor
VLL	Very-Low Level Airspace, Velmi nízký vzdušný prostor
VLOS	Visual Line of Sight, Létání na dohledovou vzdálenost
VMC	Visual Meteorologial Conditions, Vizuální meteorologické podmínky

1 Úvod

Dnešní doba se vyznačuje neustálou technologickou expanzí a vývojem ve všech odvětvích, a ani to letecké není výjimkou. Jsme svědky neustálých zlepšení dosavadních technologií a vzniku technologií úplně nových. Vedle letadel s posádkou na palubě (tzv. pilotovaných letadel[1]) se společnost začala více zaměřovat i na letadla bezpilotní, která již dávno nejsou výsadou pouze v oblasti vojenské, ale čím dál více se dostávají do podvědomí i v té civilní, která pro ně nachází stále nové využití. Drony, jak se letadlům bez pilota na palubě přezdívá, začínají sloužit ke stále většímu počtu účelů, než je klasické amatérské využití pro pořizování fotografií a videí. Jedna z největších vizí pojednává o aplikaci bezpilotních letadel (UA – Unmanned Aircraft) v městské letecké mobilitě neboli takzvané Urban Air Mobility (UAM).

UAM představuje naprosto nový druh dopravy, ve které se využívají automatické, či dokonce autonomní bezpilotní systémy (UAS) nebo letadla s posádkou na palubě pro přepravu osob a nákladu v urbanizovaných oblastech, respektive ve městech. Jedná se o novou a inovativní formu dopravy, která chce využívat převážně elektrický pohon a schopnost vertikálního vzletu a přistání, jež je využívána a dosahována multikoptérami, a tzv. eVTOL (electric vertical take-off and landing) letadly, což jim umožňuje operovat z menších ploch v blízkosti cílových míst a přispívat k nízkému environmentálnímu dopadu přepravy.

Jedním z cílů UAM je odlehčit již velmi přehuštěné dopravě v městských oblastech tím, že se část dopravy přesune do vzduchu, kdy se dá říct, že se zároveň přesune do nové dimenze, která ještě není tímto způsobem významně využívána. Tím by se měl zlepšit celý dopravní systém ve městech s dopadem efektivnější přepravy, resp. mobility.

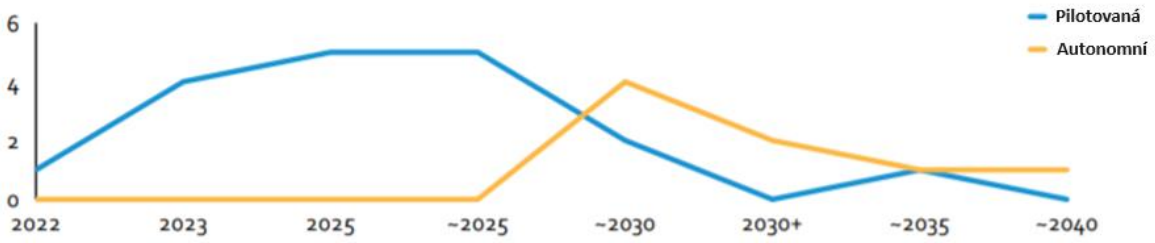
Nicméně ještě než se tato forma dopravy stane běžnou součástí městského prostředí, existuje řada výzev, které je nutné více definovat, včetně bezpečnosti, infrastruktury, regulace, či například vytvoření pravidel pro vznik a využívání vzdušného prostoru pro UAM, což je cílem této diplomové práce.

[1] Ač sousloví pilotovaných letadel není zcela správné, je stále více využíváno v českém jazyce jako protiklad k bezpilotním letadlům, které také ne zcela vystihuje podstatu. K tomu dochází díky překladům z anglického jazyka, kde jsou používány výrazy manned a unmanned, ve správnosti logiky určující s/bez posádky na palubě. Pilotované letadlo proto v této práci bude označovat vždy letadlo s posádkou na palubě.

2 Současný stav problematiky

UAM ve své podstatě zahrnuje veškerou mobilitu využívající jako provozní prostředí vzdušný prostor a která je prováděna nad zastavěným územím. Obecně řešenými tématy v této oblasti dopravy jsou bezpečnost, zohlednění pozemní infrastruktury, využívané vzdušné prostory a přístup společnosti k této možnosti přepravy, takzvanou „social acceptance“ [1].

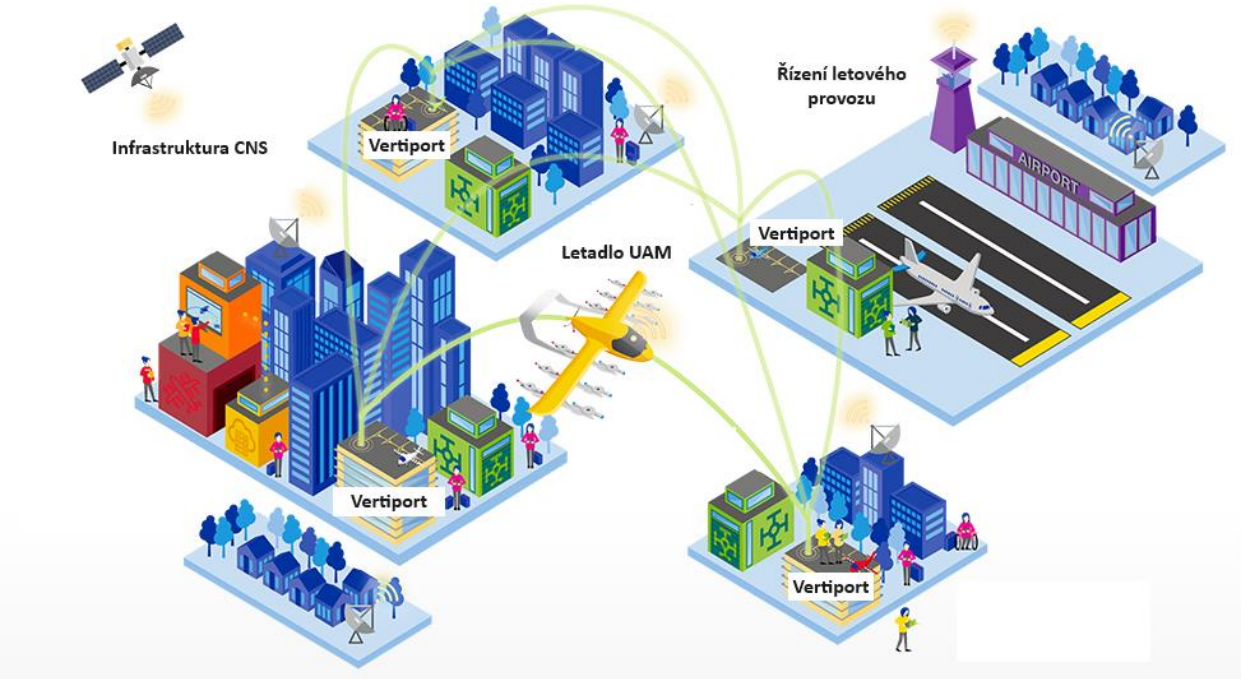
Sama Agentura Evropské Unie pro bezpečnost letectví (EASA – European Union Safety Agency) definovala deset klíčových aspektů, jež konkretizují přístup v podpoře ve společensky prospěšném typu provozu, zrychlení dopravy a snížení emisí CO_2, celkovém odlehčení životnímu prostředí a spolupráci všech států Evropské Unie [2]. Typy letadel, která budou operovat v UAM jsou eVTOL a UAS, která by pro přepravu osob měla být ze začátku pilotovaná a v horizontu 10 let od masového spuštění provozu se předpokládá aplikace kompletně bezpilotních a autonomních systémů. Na druhé straně, přeprava nákladu je od samotného začátku zamýšlena bezpilotními drony. Predikovaný harmonogram EASA je možno vidět na obrázku 1 [2].



Obrázek 1: Předpoklad EASA pro použití pilotovaných a autonomních letadel [14]

O konceptu UAM se mimo jiné zmiňují i přední výrobci komerčních letadel jako je Boeing, Airbus, či Embraer nebo americké úřady NASA (National Aviation And Space Agency) a FAA (Federal Aviation Authority). Všichni zmiňovaní vidí UAM jako budoucí koncept letecké přepravy s velkým potenciálem, jež bude schopen udržitelného způsobu dopravy a zvládání čím dál tím více narůstající poptávky po přepravě ve městech, která se exponenciálně více potýká s dopravními komplikacemi. Například Boeing zkoumá aspekty UAM prostřednictvím své dceřiné společnosti Boeing NeXt, Airbus má své řešení CityAirbus a Embraer pro tyto účely vytvořil EmbraerX. Všichni zmiňovaní pracují na svých konceptech pilotovaných i bezpilotních letadel, která by mnohonásobně zefektivnila způsob propojení měst, zefektivnila dopravu na krátké vzdálenosti, čímž by vzniklo revoluční řešení přepravy zboží a osob. Díky tomu vzniká i větší potřeba pro koncepci a regulaci veškerých pravidel, jak UAM bude reálně vypadat. Například Boeing ve svém dokumentu Concept of Operations for Uncrewed Urban Air Mobility

[3] řeší jednotlivé požadavky a aspekty, které je nutné zohlednit. Hlavní klíčové body jsou znázorněny na obrázku 2.



Obrázek 2: Schéma Boeing s hlavními aspekty UAM (vlastní zpracování na základě: [3])

Z klíčových bodů pro UAM vyplývá, že současný systém konvenčního letectví není na UAM zcela připraven a je nutno řešit spoustu legislativních a technologických požadavků. Pro pochopení celkové problematiky je dále popsán současný systém u vzdušného prostoru, včetně pravidel letu, tak dosavadní legislativa pro provoz UAS a vyvíjené koncepty, které v budoucnu koncept UAM umožní. Je nutno zmínit, že v poslední době se do vývoje UAM vynakládají nemalé prostředky a všechny velké společnosti a vysoké orgány v rámci letecké dopravy počítají s tím, že jde o nové odvětví a budoucnost leteckého průmyslu.

2.1 Pravidla letu

Pro bezpečné provedení všech letů jsou stanovena konkrétní pravidla, jež specifikují jednotlivé požadavky. Jako takové současně rozeznáváme takzvaná pravidla letu za viditelnosti (VFR – Visual Flight Rules) a letu podle přístrojů (IFR – Instrument Flight Rules). VFR, jak již název napovídá, označuje pravidla za vizuálních meteorologických podmínek (VMC – Visual Meteorological Conditions), kdy je podstatné, aby pilot viděl z kabiny letadla ven a mohl tak reagovat na veškeré situace bez primárního použití palubních přístrojů. Vedle toho při IFR je naopak podstatné orientovat se podle palubního vybavení, bez nutnosti přímého výhledu z kabiny.

IFR je tedy možno provádět i za horších meteorologických podmínek, než jsou VMC. Pravidla létání jsou popsána ve stejnojmenném předpisu L2 [4].

2.1.1 Pravidla VFR letu

Jak již bylo řečeno, VFR pravidla umožňují let v případě, pokud jsou dobré meteorologické podmínky, především pro viditelnost, aby měl pilot dostačující vizuální reference s terénem a letěl v souladu s předpisy. Obecně jsou tato pravidla využívána primárně v rámci všeobecného letectví, tedy nekomerční letecké dopravě u jiných, než složitých letadel, jako jsou například menší sportovní letadla, kluzáky, vrtulníky apod. Nutné je podotknout, že existuje více typů VFR letů, a to klasický VFR let ve dne, noční VFR a zvláštní VFR let, který je možno provést za určité situace se zhoršenými meteorologickými podmínkami a pouze v řízeném prostoru.

Před letem je povinností každého pilota obstarat si veškeré informace, které souvisí se zamýšleným letem, ať už se jedná o meteorologické podmínky, pravidla provozu na daných letištích, informace o dotčených prostorech a jejich povolení a zahrnutí požadavků na palivo. Dále musí být dodržována daná letová pravidla, která jsou primárně následující [4]:

Výška letu

Let musí být obecně proveden tak, aby se uskutečnil výše než 500 stop nad zemí (AGL – Above Ground Level). Výška letu může být označena i jako letová hladina, a to pokud letadlo stoupá výše, než 3000 stop nad zemí nebo 5000 stop AMSL, přičemž druhá hodnota na našem území často odpovídá převodní vrstvě, která je určena pro stoupání letadel z převodní výšky nebo naopak klesání z převodní hladiny, kde není možno provádět horizontální let. Převodní výška se však často mění díky aktuálnímu tlaku, a proto ji nelze jednoduše konkretizovat. Pokud letadlo stoupá nad převodní výšku, jsou pro VFR lety určeny hladiny na základě směru letu, který může být buď 000º – 179º nebo 180º – 359º. V tabulce 1 je zobrazeno určování cestovních hladin letů VFR.

Tabulka 1: Cestovní hladiny pro VFR lety (vlastní zpracování na základě: [4])

Tabulka cestovních hladin Lety VFR			
Směr letu 000-179		**Směr letu 180-359**	
Altitude	**FL**	**Altitude**	**FL**
3500		4500	
	55		65
	75		85
	95		105
	115		125
	135		

Let mimo překážky

Pilot musí letět tak, aby se vyhnul hustě obydleným a zastavěným místům, alespoň 1000 stop vertikálně a 600 metrů horizontálně nad nejvyšší překážkou [4]. Je to z toho důvodu, aby v případě nutnosti nouzového přistání bylo zajištěno, že letadlo bezpečně doklouže na vybranou bezpečnou plochu bez přímého ohrožení osob a majetku na zemi.

Vyhýbání se srážkám a právo přednosti

Pilot musí mít neustálé situační povědomí o terénu i provozu kolem něj. S tím poté souvisí právo přednosti, které má více rovin. Obecně vzato musí být vždy dodrženy bezpečné vzdálenosti mezi letadly a není tedy možné provádět manévry jako je nadlétnutí nebo podlétnutí, pokud letadla nejsou bezpečně separovaná. Ve chvíli, kdy se letadla přibližují na sbíhajících se tratích, platí, až na výjimky, pravidlo vyhnutí se směrem doprava, čímž se vzdálenost mezi nimi zvýší na bezpečnou úroveň. Výjimky zahrnují situace, kdy motorová letadla těžší vzduchu dávají přednost bezmotorovým letadlům nebo letadlům lehčím než vzduch, tedy kluzákům, balónům a vzducholodím. Takto se výjimka stupňuje, kdy dále vzducholodě dávají přednost kluzákům a balónům, kluzáky balónům a ve výsledku motorová letadla dávají přednost jiným letadlům s vlekem. Z toho vyplývá, že letadla se sníženou schopností manévrování mají vždy přednost. Na přistání dává přednost letadlo tomu, kdo je buďto v nižší výšce, popřípadě letadlu, které je před ním a přistává. Vedle toho však platí stejná podmínka jako již zmíněná výše, a to ta, že motorová letadla dávají přednost kluzákům, jež mají obecně zhoršené schopnosti delšího vyčkávání před přistáním. Pokud provoz probíhá v řízeném prostoru, mají zde přednost instrukce od ATC.

Meteorologické podmínky

Problematika meteorologických podmínek je při VFR letu velmi důležitá, jelikož musí být zajištěno, aby pilot nevlétl do podmínek IMC (Instrument Meteorological Conditions), tedy do prostoru, kde bude mít výrazně snížený nebo dokonce žádný výhled okolo sebe. Obecně jsou definovány aspekty jako je letová dohlednost a vzdálenost od oblačnosti, a to na základě dané výšky, respektive třídy vzdušného prostoru, ve kterém se letadlo nachází. V rámci vzdušných prostorů jsou dále definovány i maximální rychlosti, které mohou letadla dosáhnout. Na obrázku 3 jsou podrobně ukázána všechna minima použitelná v rámci VMC, a tedy pro běžný let VFR.

Pásmo nadmořské výšky	Třída vzdušného prostoru	Letová dohlednost	Vzdálenost od oblačnosti
3 050 m (10 000 ft) nad střední hladinou moře a více	A (**) B C D E F G	8 km	1 500 m horizontálně 300 m (1 000 ft) vertikálně
Pod 3 050 m (10 000 ft) nad střední hladinou moře a nad 900 m (3 000 ft) nad střední hladinou moře nebo více než 300 m (1 000 ft) nad terénem, podle toho, která z výšek je větší	A (**) B C D E F G	5 km	1 500 m horizontálně 300 m (1 000 ft) vertikálně
900 m (3 000 ft) nad střední hladinou moře a méně než 300 m (1 000 ft) nad terénem, podle toho, která z výšek je větší	A (**) B C D E	5 km	1 500 m horizontálně 300 m (1 000 ft) vertikálně
	F G	5 km (***)	Mimo oblačnost a za viditelnosti země

(*) Kde je převodní výška nižší než 3 050 m (10 000 ft) nad střední hladinou moře, musí se použít letová hladina 100 namísto 10 000 ft.

(**) Minima VMC dohlednosti a vzdálenosti ve vzdušném prostoru třídy A jsou uvedena jako vodítko pro piloty a neznamenají přijetí letů VFR ve vzdušném prostoru třídy A.

(***) Když je tak předepsáno příslušným úřadem:

a) lety při snížené letové dohlednosti, ale ne nižší než 1 500 m, se smí provádět:

1) při rychlostech 140 kt IAS a nižších, které poskytnou přiměřenou možnost včas spatřit jiný provoz nebo překážky v čase tak, aby bylo možno se vyhnout srážce, nebo

2) za okolností, při kterých pravděpodobnost setkání s jiným provozem by byla normálně malá, např. v prostorech s malou hustotou provozu nebo při leteckých pracích v nízkých hladinách;

b) lety VRTULNÍKŮ při letové dohlednosti nižší než 1 500 m, ale ne nižší než 800 m, se smí provádět, jestliže manévrují rychlostí, která poskytne přiměřenou možnost včas spatřit jiný provoz nebo překážky v čase tak, aby bylo možno se vyhnout srážce.

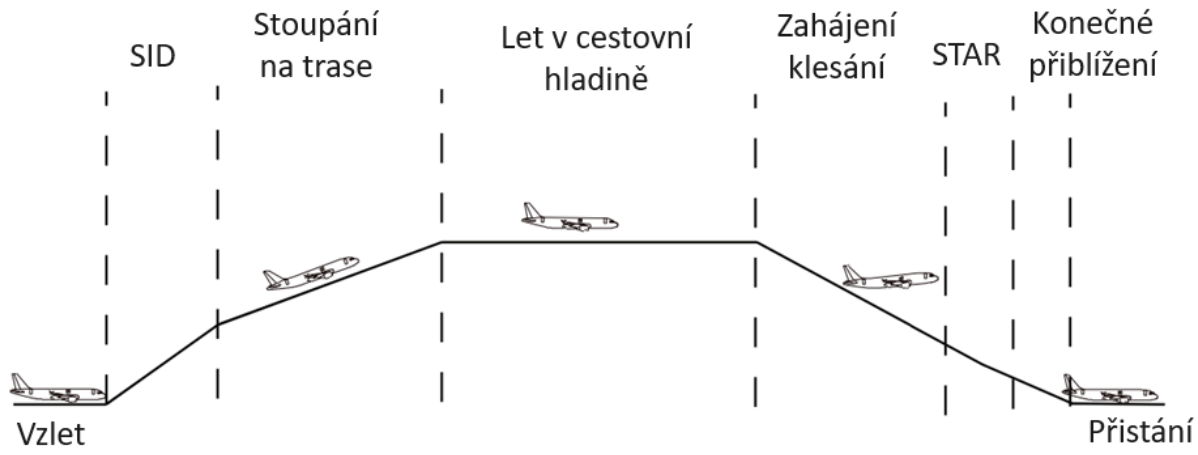
Obrázek 3: Minima pro VFR lety [5]

2.1.2 Pravidla IFR letu

Oproti VFR letům jsou IFR lety povětšinou řízené, či jim je poskytováno více letových provozních služeb, a proto je zde větší zásah ze strany letových provozních služeb. Aby letadlo mohlo provádět lety za podmínek IFR, musí být vybaveno přístroji danými předpisy a mimo jiné i posádkou, která je k těmto letům způsobilá. Tím, že pilot čerpá informace hlavně z palubních přístrojů, je možné provádět lety i za snížené nebo minimální viditelnosti, tedy i v oblačnosti, přičemž je mimo prostor třídy G (a příp. F) vždy zajištěno, že letadlo bude v bezpečné vzdálenosti od jiného provozu nebo překážek díky řízení letového provozu.

Samotný let podle přístrojů má více částí, které zahrnují Standartní přístrojový odlet (SID), let v hladině po trati (En-route), klesání po příletové trati (STAR) a konečné přiblížení podle přístrojů, které zahrnuje body počátečního přiblížení (IAF), středního přiblížení (IF), konečného přiblížení (FAF) a úseku nezdařeného přiblížení (MAPt). Na rozdíl od VFR letů je ve všech částech letu více postupů, které dodržují všechna letadla letící za podmínek IFR [5]. Pro potřeby

práce však není nutné je více charakterizovat. Na obrázku 4 jsou znázorněny všechny části letu IFR.



Obrázek 4: Úseky IFR letu (vlastní zpracování na základě: [6])

2.1.3 Současná pravidla letu pro UAS

V současné době jsou stanovena základní pravidla pro provoz UAS, tedy v jakých prostorech se mohou nebo nemohou pohybovat, do jaké výšky lze létat, popřípadě jsou definovány povinnosti dávání přednosti ostatnímu provozu, především letadlům s posádkou na palubě. Obecně platí, že pro provoz UAS mohou být stanoveny specifické vzdušné prostory, tzv. geozóny, kde například v České republice jsou stanoveny v opatření obecné povahy s názvem LKR10 – UAS [7], které právě obsahuje též zóny, kam se s UAS létat nesmí. To platí hlavně pro letiště a větší metropole. Také je zde stanoveno, že maximální výška letu je 120 metrů nad nejvyšším bodem země a pro stoupání výše je třeba získat oprávnění k provozu.

Mimo to však existují možné budoucí koncepty, které jsou mnohem komplexnější a počítají právě s provozem UAM v nových podmínkách tak, aby splňovaly veškeré kladené požadavky. To představují nové koncepce pravidel [9] [11] [13].

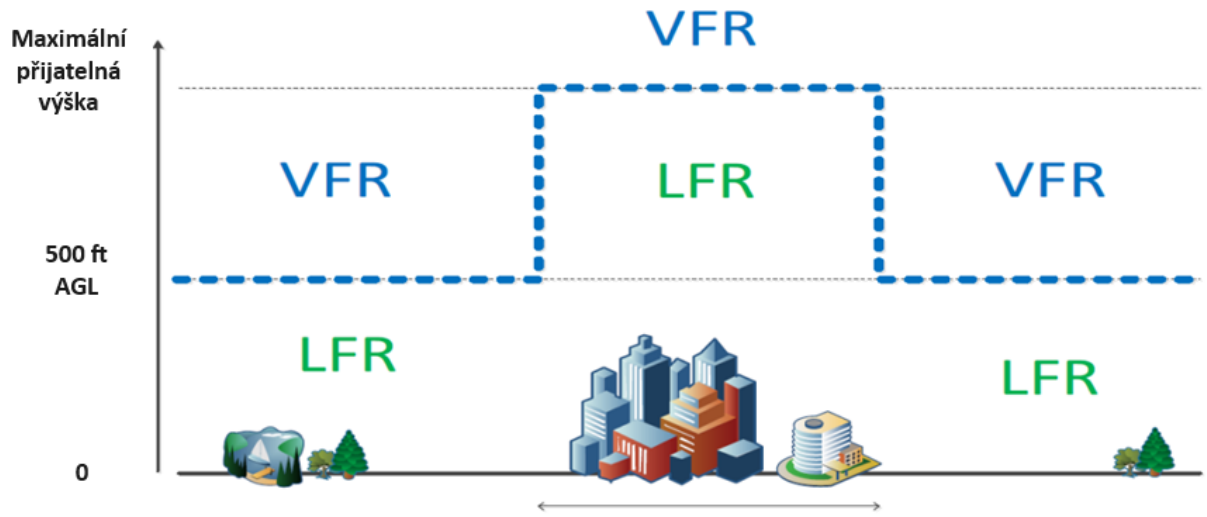
Pravidla letu VLOS a BVLOS

Ačkoli dnes existují pravidla pro létání bezpilotních letadel, jedná se spíše o základy v podobě pravidel VLOS (Visual Line of Sight) a BVLOS (Beyond Visual Line of Sight), které nebudou schopny pokrýt veškeré potřeby do budoucna. VLOS od dálkově řídícího pilota vyžadují, aby měl UAS po celou dobu letu ve svém dohledu. BVLOS naopak umožňuje lety mimo vizuální dosah dálkově řídícího pilota, s čímž se zároveň pojí větší stupeň autonomie a technologické nároky jako jsou například systémy pro sledování letu. Mimo to BVLOS podléhá povolení od regulačních orgánů a větším bezpečnostním opatřením [10]. Dnes je praxe taková, že pilotovaná letadla mají

vždy přednost a dálkově řídící piloti UAS se snaží dostat svůj stroj mimo jakoukoli kolizní trasu, jakmile je nějaké letadlo v blízkosti a přibližuje se. Pro piloty klasických letadel je velmi obtížné najít malý dron a vyhnout se mu. Tato pravidla jsou však velmi zjednodušená, protože uvažovaný provoz bezpilotních letadel bude zahrnovat mnohem komplexnější operace a v těchto případech musí být otázka přednosti předefinována. V každém případě je nutná efektivní organizace uvnitř celého vzdušného prostoru, a to z důvodu různých typů strojů, jejich různých rychlostí a vyřešení přednosti je tedy pouze jeden z mnoha problémů.

LFR (Low-level Flight Rules)

Lety pilotovaných letadel se uskutečňují především nad hranicí 150 metrů nad zemí (s výjimkou zastavěného území, kde je to 300 metrů), a prostor pod touto hranicí je nazýván VLL (Very Low-level Airspace). Pro tento typ vzdušného prostoru je tak uvažováno, že by mohla vzniknout nová pravidla létání se zkratkou LFR (Low-level flight rules). Vedle toho se předpokládá, že naopak vznikne i takzvaný VHL (Very High-level Airspace), který se bude nacházet nad hranicí FL600, tedy nad výškou 18 km. Tento prostor však není pro práci tak důležitý, jelikož se bude jednat o úplně odlišný typ provozu, než je UAM. Nastíněná hranice mezi LFR a VFR v rámci daných vzdušných prostorů je ukázána na obrázku 5 [11].



Obrázek 5: Rozhraní mezi LFR a VFR (vlastní zpracování na základě: [11])

UFR (Unmanned Flight Rules)

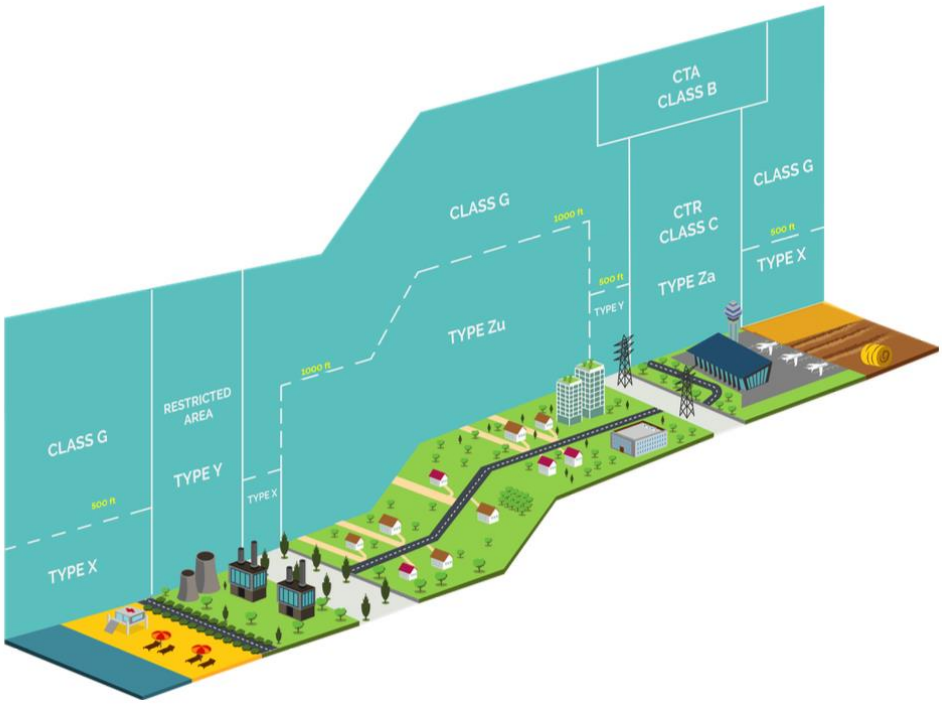
Vzhledem k tomu, že v současné době má bezpilotní letectví velký potenciál pro budoucí provoz, vznikl v rámci SESAR (Single European Sky ATM Research) projekt CORUS [13], jež řešil možné koncepce a podobu provozu UAS v prostoru U-space. Při této příležitosti CORUS

specifikoval provoz a jednotlivé služby ve VLL, sahající do výšky 500 stop AGL, jež je považována za bezpečnou vzhledem k pozemnímu segmentu i ostatnímu letovému provozu.

V rámci CORUS byl zveřejněn také dokument ConOps, který specifikuje veškeré parametry, týkající se prostoru, kde tato pravidla budou platit a zahrnuje též jasně danou představu o samotném využití, včetně rozdělení provozu do jednotlivých kategorií a nutnosti splňovat předem dané podmínky na základě určitých pravidel. Provoz je koncipován pouze jako bezpilotní, přičemž je rozdělen do jednotlivých typů vzdušných prostorů následovně [12] [13]:

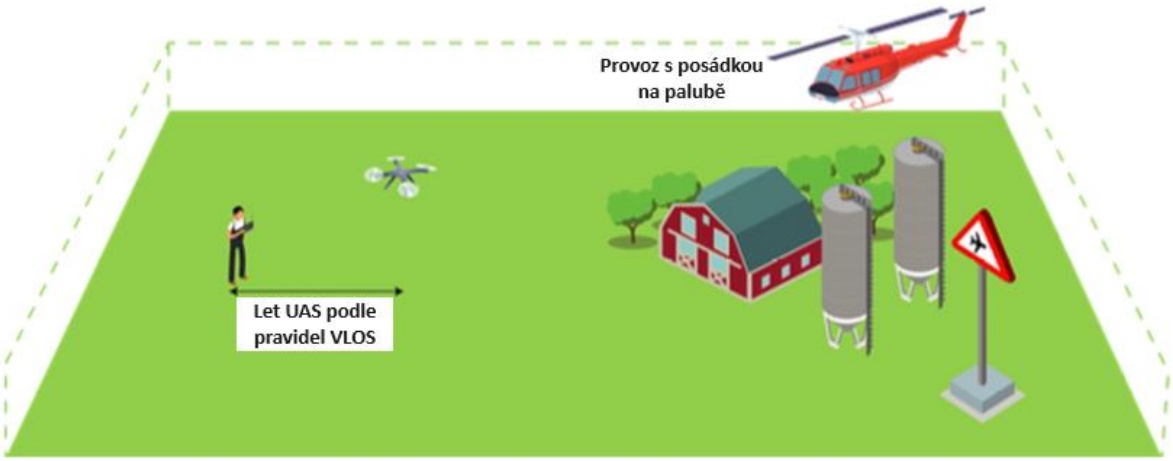
- X: neobsahuje službu pro řešení konfliktního provozu
- Y: předletové řešení konfliktního provozu (strategické)
- Z: předletové (strategické) řešení konfliktního provozu a zároveň řešení konfliktního provozu během letu (taktické)

Toto vše by tvořilo systematické rozdělení provozu ve vzdušném prostoru, jak je znázorněno na obrázku 6.



Obrázek 6: Společné začlenění typů vzdušného prostoru X, Y a Z [12]

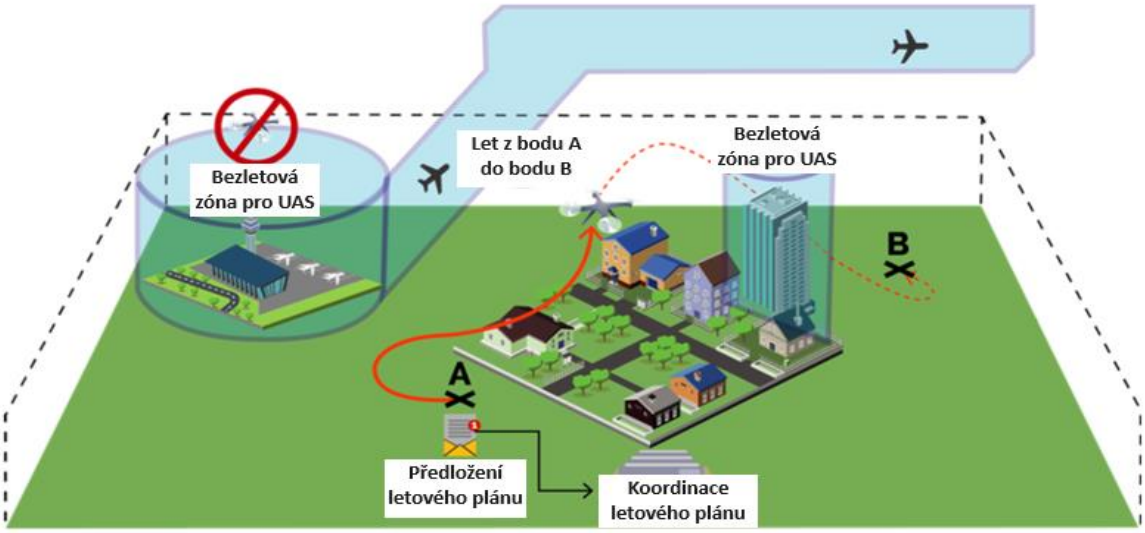
Typ X by v praxi fungoval v místech s obecně menší poptávkou po provozu UAS, kde hrozí menší riziko ze strany jiného leteckého provozu, či ohrožení subjektů na zemi. Tato kategorie je ze tří definovaných ta nejjednodušší a je zde nabízeno také nejmenší množství služeb. Proto jsou na pilota UAS kladeny relativně nízké nároky a jen on sám zodpovídá za bezpečné provedení letu za podmínek VLOS [12] [13]. Typ vzdušného prostoru X je graficky znázorněna na obrázku 7.



Obrázek 7: Schéma typu vzdušného prostoru X (vlastní zpracování na základě: [12])

Typ Y

Pro vzdušný prostor typu Y bude již potřeba obdoba letového plánu, přičemž může obsahovat řadu specifikací na technické požadavky, zahrnující jak řídící platformu napojenou na U-space, tak i na samotný UAS, schopný mimo jiné vysílat i svou polohu v reálném čase. Hlášení polohy může být stanoveno přinejmenším v některých oblastech, a to především na začátku a na konci letu. Kategorie letů v typu Y obsahuje VLOS i BVLOS provoz. Snižování rizik a řešení konfliktů je řešeno na strategické úrovni, tedy ještě před samotným letem. V prostoru typu Y jsou dostupné také informace o dalším letovém provozu, nicméně tím, že konfliktní provoz není dále řešen na taktické úrovni během samotného letu, mohou být následkem větší časové rozestupy mezi jednotlivými UAS [12] [13]. Příklad typu vzdušného prostoru Y je možno vidět na obrázku 8.



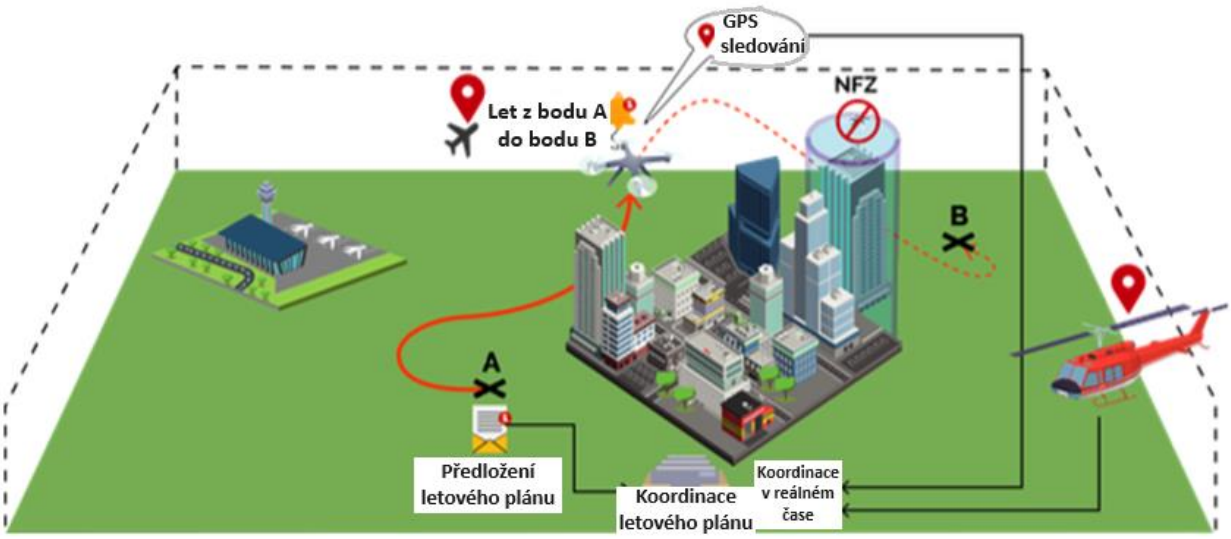
Obrázek 8: Schéma typu vzdušného prostoru Y (vlastní zpracování na základě: [12])

Typ Z

Typ Z jakožto nejkomplexnější, umožňuje provoz v oblastech s větším počtem letů, popřípadě i v hustěji obydlených, urbanizovaných místech. Mimo to, že přístup do prostoru typu Z musí být podřízen schválenému provoznímu plánu, musí být také zajištěné nepřetržité napojení pilota na nabízené služby a hlášení o poloze letadla. Typ Z umožňuje lety VLOS, BVLOS a také autonomní lety UAS. Díky lepším metodám pro zmírňování rizik a taktickému řešení konfliktů je zajištěna schopnost letů v oblastech s hustším provozem, na rozdíl od typu Y, kde je nutné vzít v potaz chyby, ovlivněné například povětrnostními podmínkami. Taktické řešení konfliktních situací v typu Z tyto zbytkové chyby dokáže podstatně snížit, či úplně eliminovat, a proto je umožněno lepší sledování a řízení UAS, jež zajistí bezpečnost letu v oblasti s hustým provozem. Příklad provozu v typu Z je ukázán na obrázku 9.

Typ vzdušného prostoru Z se dále dělí podle zodpovědnosti za separaci letadel, a to [12] [13]:

- Zu: separace je řízená v rámci nabízených služeb, tudíž může být spravován i v neřízeném prostoru
- Za: za separaci zodpovídá řízení letového provozu a je tedy součástí řízeného prostoru



Obrázek 9: Schéma typu Z (vlastní zpracování na základě: [48])

2.2 Způsob uspořádání letového provozu

Letové navigační služby (ANS – Air Navigation Services) jako takové obsahují vše, co je potřebné pro správné fungování vzdušného prostoru, přičemž současný systém bude páteří pro integraci těch právě vyvíjených jako je UAM. Zde se dá poté uvažovat o konvenčním uspořádání letového provozu (ATM – Air Traffic Management), či budoucím uspořádáním bezpilotního letového

provozu (UTM – Unmanned Aircraft System Traffic Management), jež bude vysoce digitalizovaný a automatizovaný a má za cíl koordinovat provoz UAS. V dokumentu CORUS-XUAM [13] se též píše o kombinování těchto dvou systémů, přičemž mezi ATM a UTM by fungovala kooperace a sdílení dat, čímž by se postupně snižovala váha lidského faktoru v řízení letového provozu, respektive pracovní zátěž řídících letového provozu (ATCO – Air Traffic Controller) by se se zavedením UAM výrazně nezvýšila. Nicméně je nutné podotknout, že UTM nebudou fungovat s ATM odděleně, ale jedná se o integraci obou systému tak, aby byly pokryty veškeré požadavky na provoz [13] [14].

2.2.1 ATM

ATM je dlouhodobě rozvíjený konvenční koncept, který zajišťuje bezpečné, ekonomické a efektivní řízení vzdušného prostoru, včetně veškerého leteckého provozu v něm a včetně pohybů na pozemních provozních plochách. Jako takový se dělí na [5]:

Management vzdušného prostoru (ASM – Airspace Management)

Hlavním cílem je uspořádání vzdušného prostoru, vzhledem ke všem typům provozu, tedy jak k soukromým, komerčním, tak i vojenským letům. Vzhledem k tomu jsou utvořeny samotné vzdušné prostory, tratě, po kterých je možno letět a k nim i výšky a letové hladiny.

Uspořádání toku letového provozu (ATFM – Air Traffic Flow Management)

Jak již název napovídá, úkolem ATFM je kontrolovat a případně regulovat objem letového provozu v oblasti tak, aby koreloval s možnostmi vzdušných prostorů a nedošlo k jejich přeplnění. Opatření mohou mít více povah jako například vypočítaný čas vzletu (CTOT), tedy slot, který má toleranci –5 minut a +10 minut, ve kterém by letadlo mělo odletět, dále třeba určitá kritéria pro lety po konkrétních letových trasách, odpovídající řízení určitých sektorů a počet řídících letového provozu pracujících ve stejnou dobu.

Letové provozní služby (ATS – Air Traffic Services)

Letové provozní služby se dělí na další podčásti, a to [5]:

- řízení letového provozu (ATC – Air Traffic Control);
    - oblastní služba řízení (ACC – Area Control Service);
    - přibližovací služba řízení (APP – Approach Control Service);
    - letištní služba řízení (TWR – Tower/ Aerodrome Control Service);
- letové informační služby (FIS – Flight Information Services);
- pohotovostní služby (ALRS – Alerting Service);
- ohlašovny letových provozních služeb (ARO – Air Traffic Services Reporting Office).

Z toho tedy vyplývá řešení pohybů a potřeb letového provozu v aktuálním čase. ATC zodpovídá za řízení letového provozu a poskytování nezbytných informací pilotům. ACC se stará primárně o traťovou separaci a koordinaci mezi oblastmi a sektory navzájem, APP má na starosti letadla klesající na přistání na konkrétní letiště, přičemž řídí jejich pohyby po sestupové trati a TWR koordinuje provoz na ploše letadla a vydává povolení ke vzletu či přistání. FIS je služba poskytování rad a užitečných informací známému provozu pro bezpečné provedení letu, ALRS informuje a vypomáhá příslušným orgánům v případě nouzových situacích a při SAR (Search and Rescue – pátrání a záchrana). ARO pak slouží především k podávání letových plánů a jejich další distribuci [5].

2.3 Rozdělení vzdušného prostoru na základě ICAO

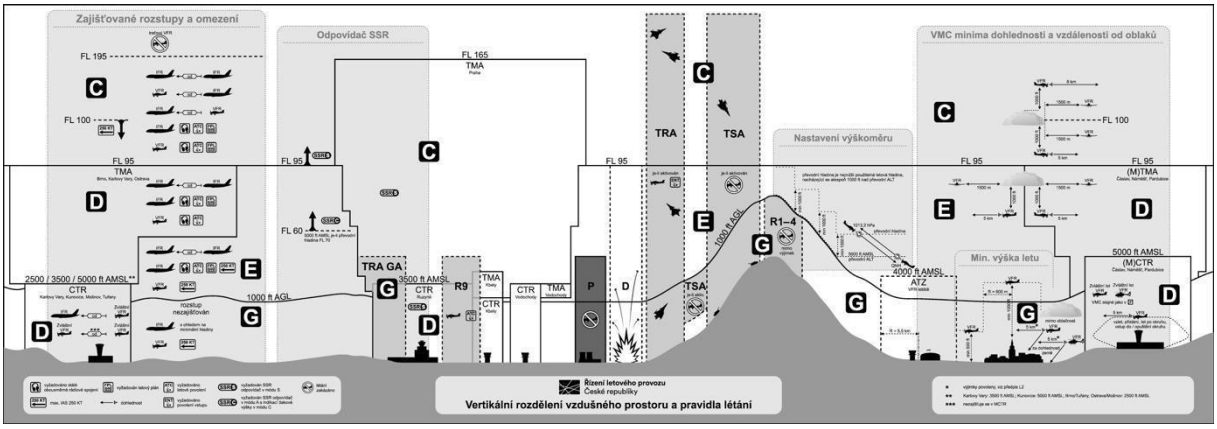
Vzdušný prostor je dle přílohy 11 k Chicagské úmluvě (v České republice Letecký předpis L11) rozdělen na třídy A až G, přičemž každá z nich vyžaduje podmínky a omezení pro její použití, a navíc je též uspořádání u každého státu trochu odlišné. Například v České republice neexistují třídy vzdušného prostoru A, B a F [15]. Obecná specifika jsou však stanovena v tabulce 2.

Tabulka 2: Obecná specifika tříd vzdušných prostorů (vlastní zpracování na základě: [15])

Třída	Typ provozu	Zajištění separací	Rychlostní omezení	Požadavek na radiovou komunikaci	Předmětem povolení řízení letového provozu
A	IFR	Pro všechna letadla	žádné	Obousměrné spojení	ano
B	IFR	Pro všechna letadla	žádné	Obousměrné spojení	ano
	VFR	Pro všechna letadla	žádné	Obousměrné spojení	ano
C	IFR	Separace od IFR i VFR	žádné	Obousměrné spojení	ano
	VFR	VFR od IFR	Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS	Obousměrné spojení	ano
D	IFR	IFR od IFR	Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS	Obousměrné spojení	ano
	VFR	Nezajištěno	Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS	Obousměrné spojení	ano
E	IFR	IFR od IFR	Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS	Obousměrné spojení	ano
	VFR	nezajištěno	Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS	nepožadováno	ne

F	**IFR**	**IFR od IFR**	**Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS**	**Obousměrné spojení**	**ne**
	VFR	**nezajištěno**	**Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS**	**nepožadováno**	**ne**
G	**IFR**	**nezajištěno**	**Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS**	**Obousměrné spojení**	**ne**
	VFR	**nezajištěno**	**Pod nadmořskou výškou 10 000 ft maximálně 250 kts IAS**	**nepožadováno**	**ne**

V České republice se podle letecké informační příručky (AIP – Aeronautical Information Publication) [16] využívají třídy C, D, E, G s tím, že vzdušný prostor třídy G kopíruje terén země a sahá do 1000 stop AGL. Nad ním se obecně nachází vzdušný prostor třídy E a od letové hladiny FL95 do FL660 je již vzdušný prostor třídy C. Co se týče řízených prostorů CTR (Control zone) a koncových řízených oblastí TMA (Terminal Control Area), zde je až na jednu výjimku prostor třídy D. Jediná výjimka je řízený prostor TMA Praha, který je klasifikován jako třída C [16]. Na obrázku 12 je možno vidět vertikální rozdělení vzdušného prostoru České republiky.



Obrázek 10: Vertikální rozdělené vzdušného prostoru ČR [17]

Vzdušný prostor jednotlivých států zasahuje do FL660 a je obecně velmi rozsáhlá a rozmanitá struktura, skládající se z mnoha jednotlivých celků. UAM je však záležitostí letů v nižších výškách, kde se hovoří o horní hranici do 500 stop AGL. Z tohoto důvodu je vhodné se zaměřit pouze na vzdušné prostory, které do této výšky spadají, reflektují potřeby UAM, a tudíž jsou pro tento koncept více relevantní.

Řízený okrsek (CTR/ MCTR)

Prostor CTR se běžně zřizuje okolo řízených letišť jako ochrana samotného letiště a též jeho provozu. Vedle CTR existuje MCTR, kde písmeno „M“ značí slovo „military“ a tedy příslušnost řízeného okrsku k vojenskému letišti. Horní hranice CTR není vždy stejná, nicméně spodní

hranice je vždy tvořena zemským povrchem. Na CTR dále navazuje TMA. Horizontální rozměry začínají na 5 námořních mílích od středu letiště, ale většinou bývají rozsáhlejší [18].

Zakázaný prostor (P)

Jedná se typ vzdušného prostoru, kde je vstup pro letadla zakázán. Vytvořen je primárně za účelem ochrany objektů na zemi, které mohou mít například strategický charakter, či jiné důležité postavení. Ukázkový příklad mohou být zakázané prostory nad jadernými elektrárnami a v jejich přilehlém okolí. Vstup do zakázaného prostoru se automaticky nepovoluje, až na výjimky jako jsou policejní lety, lety pátrání a záchrany či jiné, za účelem záchrany života, hasičské lety a lety s charakterem obrany a bezpečnosti státu [18].

Omezený prostor (R)

Omezený prostor může být vytvořen nad zemí nebo vodními plochami a je možné ho využívat pouze na základě předem daných podmínek. Obecně je možno jeho specifikace a přesnou dobu aktivace najít v AUP. Kupříkladu v rámci České republiky jsou omezené prostory vytvářeny nad národními parky. Podobně jako u jiných prostorů podobného typu, i zde mají výjimky pro vstup určití uživatelé, a to policejní lety, lety SAR, či jiné za účelem záchrany lidského života, hasičské lety, vojenské lety, bezmotorová letadla, včetně jejich vzletů a přistání nebo bezpilotní letadla. Poslední dva typy letů jsou však specifikovány předchozí domluvou se správci prostoru [18].

Nebezpečný prostor (D)

Za vstup nebo vyhnutí se tomuto prostoru je odpovědný sám velitel letadla, nicméně je nutné vzít v potaz, že v případě aktivace prostoru zde probíhá taková činnost, která může být pro let ohrožením, ať už jde například o likvidaci nevybuchlé munice ve vojenských újezdech, či vypouštění různých plynů z továren. Vhodné je tedy tento vzdušný prostor obletět [18].

Dočasně vyhrazený prostor (TSA)

Typ vzdušného prostoru, jež je po předchozí dohodě určený pro využití konkrétní složkou letectví. V naprosté většině případů se jedná o využití vyhrazeného prostoru armádním letectvem, ať už za účelem nácviků různých letových činností, či například střeleb. Aktivaci prostoru je možno najít skrze AUP s tím, že v případě využívání prostor TSA příslušné stanoviště ATS průlet skrze něj nepovolí. Pokud však prostor není aktivován a pilot si zažádá průlet, je nutno vzít v potaz, že informace platí pouze 15 minut. Jestli se tedy i po tomto časovém úseku bude v daném prostoru nacházet, musí se opět spojit se stanovištěm ATS a zažádat si možnost k činnosti v něm [18].

Dočasně rezervovaný prostor (TRA)

Podobně jako dočasně vyhrazený prostor je i tento využit v daný časový úsek jinou složkou letectví. Oproti TSA je však po předchozí domluvě s příslušným stanovištěm ATC možnost do prostoru vstoupit, ale spíše za specifických podmínek, jako je nutnost vyhnout se význačnému počasí na trati. I TRA určené spíše pro vojenské uživatele, kteří operují za jiných podmínek než civilní letecká doprava. A opět je zde pravidlo, že informace o aktivaci, či vstupu do prostoru od stanoviště ATS platí pouze 15 minut. Pokud se pilot i poté nachází v daném prostoru, musí si po této době opět zažádat o možnost jeho využití [18].

Dočasně rezervovaný prostor určený pro provoz všeobecného letectví (TRA GA)

Dočasně rezervovaný prostor určený pro všeobecné letectví je obecně zřizován v rámci řízených prostorů C a D, tedy buď v řízeném okrsku letiště CTR nebo koncové řízené oblasti TMA. Díky vytvoření TRA GA je po jeho aktivaci umožněno provádět místní činnost GA, která by jinak byla složitější na koordinaci, v rámci ostatního provozu nebo realizaci obecně. V případě aktivace se tedy z řízeného prostoru C nebo D mění třída na G, kde řízení provozu neprobíhá a není tedy podřízen letovému povolení. To ale piloty nezbavuje odpovědnosti dodržovat předem dané podmínky a vyžádat si letové povolení ve chvíli, kdy prostor TRA GA směrem do CTR nebo TMA opouští. Oproti ostatním prostorům není jeho aktivace publikována v AUP, ale často dochází na základě telefonické koordinace ATC a správcem prostoru TRA GA [18].

Letištní provozní zóna (ATZ)

ATZ je kruh s poloměrem 3 námořních mil se středem ve vztažném bodu letiště a s horní hranicí 4000 stop AMSL, přičemž je vždy zřizován okolo neřízených letišť, kdy slouží jako jejich ochranná zóna. Pokud je letiště zasazeno v blízkosti řízeného prostoru, který má pro řízení letového provozu větší váhu, kruh nemusí být vždy celý a je do prostoru zasazen podle tvaru daného řízeného prostou. Příkladem může být letiště Kladno [17]. Ačkoli se jedná o prostor okolo neřízených letišť, je předpisem dáno, že pilot hlásí na frekvenci daného prostoru vstup a výstup v rámci ATZ, popřípadě zamýšlenou činnost [18].

Oblast s povinným rádiovým spojením (RMZ)

V případě označení oblasti jako RMZ (Radio Mandatory Zone) je povinnost pilotů mít radiostanici a aktivně ji provozovat. Pro VFR lety by se jednalo o třídy vzdušného prostoru G a E a pro IFR lety pouze třídu G. V těchto situacích je nutností mít naladěný kmitočet náležící dané oblasti a již během vstupu do prostoru navázat komunikaci s příslušným stanovištěm ATS, která

má mimo samotné identifikace letadla obsahovat například i následující záměry, pokud není stanoveno jinak [18].

Oblast s povinným odpovídačem (TMZ)

TMZ je část vzdušného prostoru, kde musí být letadlo vybaveno odpovídačem SSR, schopným vysílat v módech S nebo A/C, tedy aby byla zajištěno hlášení tlakové výšky řídícím letového provozu, pokud není stanoveno jinak [18].

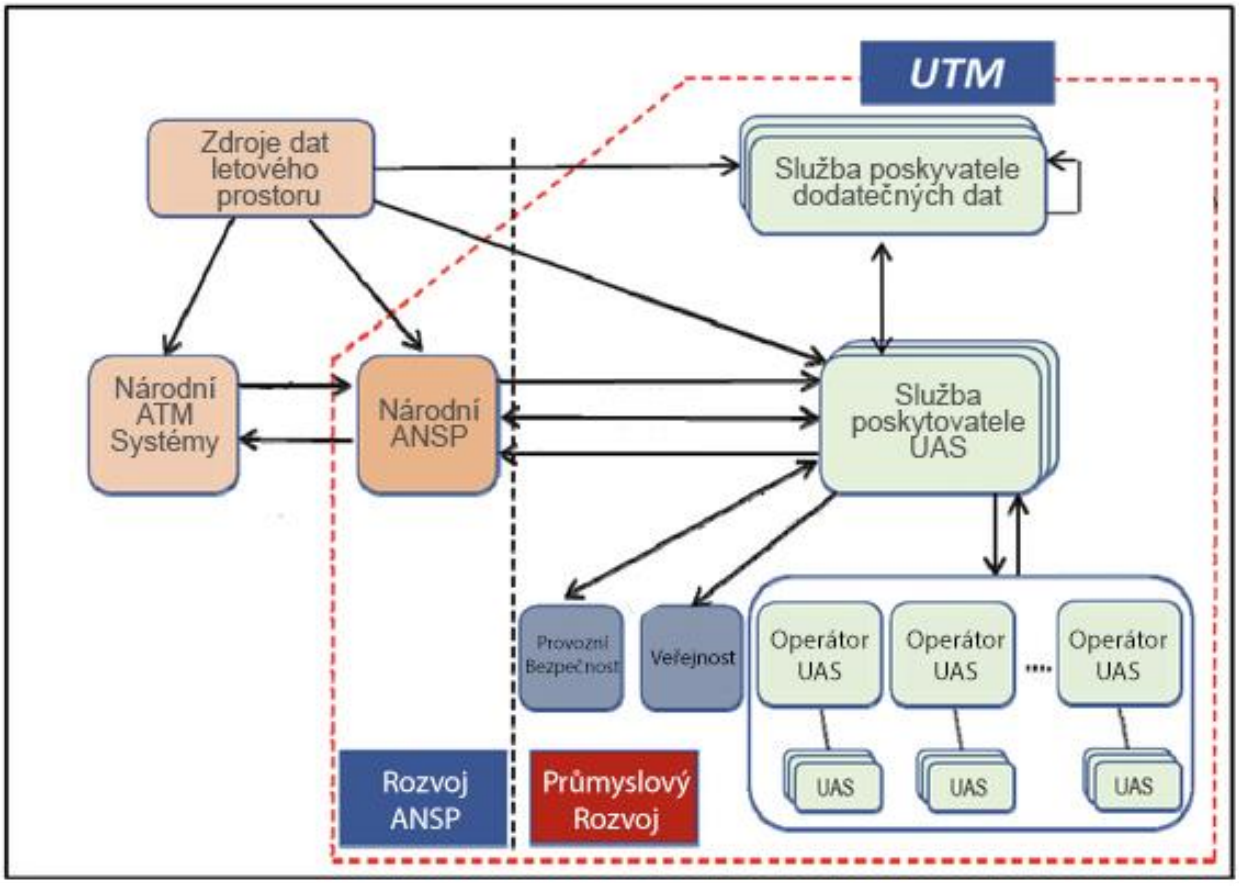
2.4 UTM

UTM jako jeden z možných konceptů vznikl v roce 2016, kdy se objevila myšlenka separace řízení bezpilotních letadel od těch pilotovaných s tím, že existuje potenciál řídit koordinaci UAS v reálném čase a s vícenásobnými BVLOS operacemi. ICAO proto UTM dále specifikovalo v dokumentu "Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM) – A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization" [19] tak, že k současnému ATM by mělo sloužit jako jakási jeho podmnožina, která bude obsahovat především sadu služeb, jež zajistí stejnou efektivitu řízení bezpilotních letadel jako ATM u pilotovaných letadel s tím, že je uzpůsobeno přímo pro UAS. UTM ve spolupráci s ATM zajistí koexistenci bezpilotního letectví současně s pilotovaným a nabídne tak prostor pro koncepty jako je UAM se zajištěním bezpečnosti jako prioritním aspektem.

Ačkoli se počítá s využitím současných systémů ATM a interoperabilitou mezi oběma způsoby uspořádání letového provozu, UTM má své systémové požadavky, které se teprve vyvíjejí. Principiálně lze však uvažovat několik zásad pro samotnou použitelnost UTM, a to jsou [19]:

- odpovědnost regulátora za poskytování služeb u UTM i ATM;
- slučitelnost postupů UTM a ATM u opatření prioritizace letů, která vznikají u letadel v nouzi, či zachováním veřejné bezpečnosti;
- rovnocenný přístup do vzdušného prostoru pro všechna letadla, která splňují předem dané podmínky ohledně regulací, vybavení a procesů, jež jsou definovány pro každý prostor;
- nutnost příslušných kvalifikací dálkově řídícího pilota UAS k provádění veškerých postupů, jež zahrnují běžný i pohotovostní provoz, a které jsou dané pro jednotlivé třídy prostorů, ve kterých je UAS provozován;
- jednotlivé státy by měly mít zajištěný přístup ke všem provozovatelům UAS k zajištění dohledu v oblasti provozní bezpečnosti a bezpečnosti týkající se protiprávních činů,

přičemž obdržené informace by se měly týkat letových údajů jako je poloha, rychlost, plánovaná trajektorie a v neposlední řadě i výkonnost každého UAS skrze systém UTM. Architekturu UTM je možno vidět na obrázku 11.



Obrázek 11: Architektura UTM (vlastní zpracování na základě: [19])

Provozní koncept UTM je zamýšlen tak, že provoz UAS může fungovat v řízeném i neřízeném prostoru, nicméně vždy budou vyžadovány různé druhy dodávaných služeb. Obecně vzato je však nutné dodržovat postupy dané třídy vzdušného prostoru, což platí primárně pro řízenou oblast. V neposlední řadě hrají roli aspekty jako umístění prostoru a s tím spojená bezpečnost v souvislosti s počtem prováděných letů v dané oblasti.

Následující služby mohou být dodávané buď poskytovateli služeb UTM, poskytovateli letových navigačních služeb ANSPs nebo i jinými státními organizacemi a jsou to [19]:

- **Služba hlášení aktivity (Activity reporting service)** – zprostředkování informací o probíhajících operacích v UTM, buď na vyžádání, periodicky nebo na základě probíhající události;
- **AIS** – letová informační služba, zajišťující poskytování potřebných informací vzhledem k bezpečnosti, efektivitě a úspornosti letů UAS;

- **Služba oprávnění vzdušného prostoru (Airspace authorization service)** – oprávnění od pověřeného státního orgánu provozovateli UAS k využívání vzdušného prostoru;
- **Služba vyhledávání (Discovery service)** – informace uživatelům UTM o daných službách na základě lokace ve vzdušném prostoru, přičemž se může jednat například o poskytování meteorologických služeb;
- **Mapování (Mapping service)** – poskytování informací o místním terénu a jeho případných překážkách, což je nutné například pro stanovení separací nebo samotné plánování letu;
- **Registrace (Registration service)** – služba umožňující registraci UAS a zároveň zprostředkování registračních údajů zúčastněným subjektům, například regulačním orgánům nebo policii;
- **Řízení restrikcí (Restriction management service)** – služba, jež má za úkol šíření aktuálních pravidel, provozních omezení a omezení vzdušného prostoru, jež jsou specifikovány daným úřadem pro civilní letectví nebo poskytovateli navigačních a letových služeb;
- **Plánování letu (Flight planning service)** – optimalizace letových tratí před provedením letu na základě aktuálních specifik vzdušného prostoru, jako jsou omezení a využití;
- **Konfliktní provoz a separace (Conflict management and separation service)** – odkazuje se na ICAO Doc 9854, věnující se globálnímu provoznímu konceptu ATM;
- **Identifikace (Identification service)** – služba, jež zajišťuje identifikaci jednotlivých UAS a jejich registraci;
- **Služba sledování a lokalizace (Tracking and location service)** – zajištění informací o přesné poloze v čase provozovateli UAS a sdílení v rámci UTM;
- **Meteorologické informace (Meteorological service)** – poskytování meteorologických předpovědí provozovateli UAS.

2.4.1 U-space

Vzhledem k velkému nárůstu využívání civilních dronů, ať už ke komerčním účelům, či k rekreaci, nastala nutnost s tímto provozem počítat ve větším měřítku a zakomponovat ho do toho současného, kdy je nezbytné, aby došlo ke koexistenci a kooperaci ve vzdušném prostoru. Proto na evropské půdě vznikla vlastní verze UTM, a to koncept U-space, který je odpovědí právě na zvýšenou poptávku po operování dronů.

U-space se dá specifikovat mnoha způsoby, avšak ten nejpřesnější je, že to je soubor vysoce digitalizovaných a automatizovaných služeb a postupů, které jsou uplatňovány v přesně vymezeném prostoru, které zajistí optimální integraci UAS do současného provozu [20]. S tímto vzniknou i nové způsoby managementu vzdušného prostoru a umožní větší počet letů UAS.

Soubor definovaných služeb U-space může být rozdělen na povinné a volitelné [20]. Povinné jsou celkem čtyři a jsou to:

- **Network identification service** – jedna ze základních služeb, jejíž cílem je identifikace nejen dálkově řídícího pilota dronu, ale i zařízení samotného, včetně doplňujících informací jako je přesná poloha a trajektorie letu;
- **Služby Geo-awareness** – tato služba sama o sobě tvoří část celé páteře pro operování UAS, přičemž poskytuje dálkově řídícímu pilotovi informace o vzdušném prostoru a jeho omezeních v reálném čase;
- **UAS flight authorisation service** – dálkově řídícímu pilotovi UAS jsou v rámci této služby poskytovány informace, týkající se veškerých povolení pro každý jeho let. Tímto by se mělo předejít nechtěným a nepovoleným vstupům do konkrétních vzdušných prostorů;
- **Traffic information service** – udává dálkově řídícímu pilotovi UAS informace o pohybech ostatního provozu ve vzdušném prostoru, respektive o ostatních letadlech a UAS v okolí.

Dvě volitelné služby jsou následující:

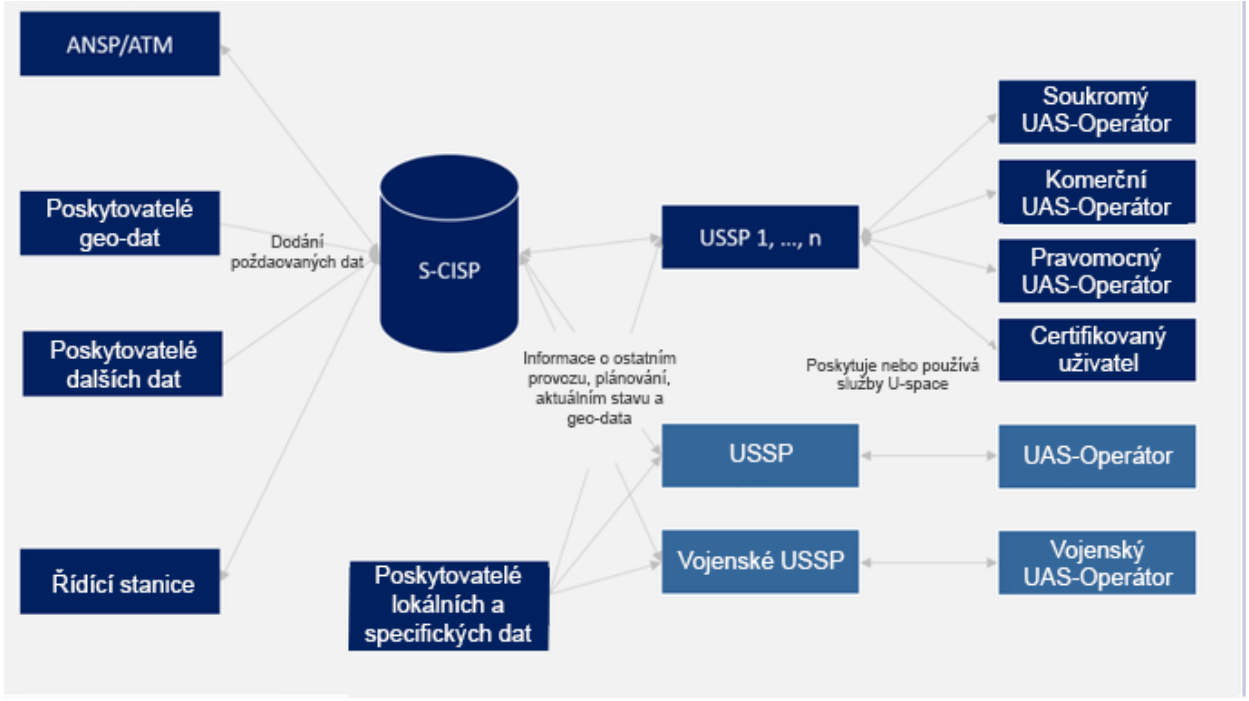
- **Weather information service** – slouží jako doplňková služba, která usnadní celé plánování letů, jelikož bude schopna uvádět informace o současném a budoucím vývoji počasí na dané trati UAS;
- **Compliance monitoring service** – sledování, zdali se UAS neodchyluje od zamýšleného a autorizovaného letu, přičemž dálkově řídícímu pilotovi UAS také ukazuje, zda jsou veškeré informace a povolení aktualizovány současně s aktuálními omezeními a nároky na vstup do vzdušného prostoru.

U-space jako takový zahrnuje převážně tři hlavní subjekty, a to dálkově řídící piloty UAS, poskytovatele služeb U-space a poskytovatele takzvaných „Common Information Services“ (CIS), tedy informací týkající se požadavků a omezení prostoru U-space. Konkrétně tato data obsahují geografické informace o vertikálních a horizontálních limitech využití prostoru, požadavky na výkonnost UAS, seznam poskytovaných služeb U-space, seznam konkrétních

poskytovatelů, kteří tyto služby zprostředkovávají, restrikce týkající se pravidel létání, informace o provozu, týkající se dynamické rekonfigurace prostoru pro zajištění, aby letadla s posádkou na palubě a bezpilotní letadla byla bezpečně separována, a nakonec smluvní podmínky poskytovatelů U-space [20].

V návaznosti na to vznikají požadavky pro dálkově řídící piloty UAS a poskytovatele služeb U-space, což v praxi znamená dodržování veškerých nároků vzniklá přítomností prostoru U-space, včetně správného dodržování letových povolení a zajištění určitých opatření pro případné nepředvídatelné události [13] [20].

Na obrázku 16 je již vidět praktická aplikace, v tomto případě U-space v rámci Německa, kde je znázorněno, že pro správné fungování CIS je potřeba více subjektů, které dodávají jednotlivá data, která se potom shlukují do jednotné databáze, jež je dále zprostředkovávána poskytovatelům služeb U-space (USSP) a následně jednotlivým operátorům UAS [21].



Obrázek 12: Ekosystém U-space (vlastní zpracování na základě: [21])

2.4.2 Současná legislativa U-space

V současné době je U-space legislativně zajištěn především třemi následujícími předpisy, a to prováděcím nařízením komise (EU) 2021/664, 2021/665 a 2021/666 [22] [23] [24]. Pravidla vznikla především z různých koncepcí U-space a také kvůli čím dál většímu využívání UAS v EU. Je tedy zřejmé, že v budoucnu se změny dotknou i současného pilotovaného letectví.

Prováděcí nařízení komise (EU) 2021/664

Toto prováděcí nařízení je prakticky regulačním rámcem pro vzdušný prostor U-space, přičemž došlo k úpravám stanovujícím základní požadavky na bezpilotní systémy a jejich začlenění do současného vzdušného prostoru a samotného U-space s jeho službami. Mimo jiné obsahuje požadavky na provozovatele UAS, myšlenku pro certifikaci jednotlivých poskytovatelů služeb U-space a také zahrnuje budoucí vývoj čím dál větší automatizace a digitalizace, která bude pro tento typ prostoru nezbytná. Dokument obsahuje celkem 6 kapitol [22]:

- Kapitola I: Zásady a obecné požadavky;
- Kapitola II: Vzdušný prostor U-space a společné informační služby;
- Kapitola III: Obecné požadavky na provozovatele UAS a poskytovatele služeb U-space;
- Kapitola IV: Služby U-space;
- Kapitola V: Certifikace poskytovatelů služeb U-space a jediných poskytovatelů společných informačních služeb;
- Kapitola VI: Všeobecná a závěrečná ustanovení.

Prováděcí nařízení komise (EU) 2021/665

Pro účely upřesnění a dalšího vývoje platného evropského právního rámce přijala Evropská komise nařízení 2021/665, jež přináší změny a doplňky pro nařízení 2017/373, zaměřující se na požadavky pro poskytovatele letového provozu. Vzhledem k zavedení prostoru U-space je klíčem tohoto nařízení důsledek na koordinaci mezi poskytovateli služeb U-space a poskytovateli současných letových provozních služeb, přičemž hlavní odpovědnost u pilotovaného letectví zůstává v rukou poskytovatelů letových navigačních služeb, v případě České republiky tedy ŘLP ČR. Nicméně těmto orgánům je uložena pravomoc provádět dynamickou rekonfiguraci i prostorů jako je právě U-space, přičemž v případě potřeby je možné dočasně pozměnit či omezit oblast prostoru U-space změnou jeho vertikální nebo laterální hranice [23].

Prováděcí nařízení komise (EU) 2021/666

Třetí prováděcí nařízení komise, 2021/666, nahrazuje a rozšiřuje určité aspekty z nařízení 923/2012, určující společná pravidla létání a provozní předpisy týkající se služeb a postupů v oblasti letecké navigace. Doplnění formou nařízení 2021/666 bere v potaz prostor U-space a řeší tak zejména začlenění pilotovaných letadel v neřízených vzdušných prostorech. V tomto případě přibyla primárně nová pravidla v neřízeném vzdušném prostoru, kdy pilotované letadlo musí být v U-space v neřízeném vzdušném prostoru neustále viditelné, pakliže má zájem do něj vstoupit a provádět zde činnost [24].

2.5 Typy letadel v UAM

UAM je souhrn několika druhů provozu s tím, že minimálně v prvopočátku spuštění bude nutná koexistence jak pilotovaných, tak bezpilotních systémů, které jsou pro tento provoz přímo určené nebo splňují podmínky pro vstup do vyhrazené geozóny.

2.5.1 UAS

V rámci provozu ve vzdušném prostoru z pohledu UAM je možné využívat UAS. Samotný název je zkratkou pro „Unmanned Aircraft System“ neboli systém bezpilotního systému. Jako takový zahrnuje samotné bezpilotní letadlo a vybavení, které je určeno pro jeho ovládání. Celkem se skládá ze tří komponentů, a to:

- Autonomní nebo člověkem ovládaný řídící systém;
- Bezpilotní letadlo;
- Systém řízení a komunikace.

Ačkoli se dnes nachází stále nové možnosti a využití dronů, i přesto má již v současnosti jejich aplikace široké spektrum. Jedná se hlavně o [25]:

- SAR;
- transport menších zásilek;
- usnadnění komunikace a vysílání;
- bezpečnostní dohled;
- vizuální, spektrální a termální zkoumání struktur staveb a infrastruktury (například elektrické vedení, dopravní stavby atd.);
- pořizování fotografií a videí;
- průzkum atmosféry;
- aplikaci hnojiv a ošetřovacích chemikálií v zemědělství;

V současné době je provoz UAS rozdělen dle EASA do určitých kategorií podle Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/947 [26] uvažující aspekty jako jsou váha a činnost, které má UAS provádět. Kategorie provozu jsou definovány následovně:

- **Otevřená kategorie**: Především menší drony, které z hlediska provozní bezpečnosti nepředstavují velké riziko. Za provoz zodpovídá dálkově řídící pilot UAS, který je povinen znát regulace, vyobrazující konkrétní požadavky a omezení pro letovou činnost. Hlavní specifika bezpilotních letadel kategorii v této jsou hlavně ta, že zařízení nepřesahuje maximální vzletovou hmotnost 25 kg, dálkově řídící pilot musí mít dron neustále v dohledu (mimo režim „follow-me“, kde se dron sám udržuje v blízkosti dálkově řídícího

pilota), nesmí být převáženo nebezpečné zboží a maximální výška letu je 120 m od bodu země, nad kterým se nachází;

- **Specifická kategorie:** Pro tento typ provozu musí být na základně žádosti vydáno zvláštní povolení od místního civilního leteckého úřadu, jelikož představuje zvýšená rizika během jeho použití. Provozní oprávnění zahrnuje posouzení rizik, specifikující požadavky pro bezpečný provoz dronu;
- **Certifikovaná kategorie:** Kategorie uvažující větší bezpečnostní rizika, kde dálkově řídící pilot i jeho UAS musí být řádně licencovaní. Pokud jde například o přepravu lidí, tak daný dron bude muset být vždy vedený v této kategorii [26].

2.5.2 eVTOL

Samotná zkratka VTOL vyjadřuje schopnost vertikálního vzletu a přistání. V souvislosti se vzdušnou přepravou osob a nákladu v urbanizovaných oblastech vznikl stejný název pro menší pilotovaná i bezpilotní letadla, která tuto schopnost VTOL mají.

V současné době existuje již mnoho funkcí, u kterých se počítá, že je budou eVTOL zastávat. EASA ve své studii Social Acceptance [27] popisuje například převoz cestujících, nákladní lety, inspekce infrastruktury v civilním sektoru, využití v rámci policie, popřípadě i jako platforma pro vysílání signálu, například pro internet, či jiné aplikace. Nejčastěji jsou však uváděny následující, které mají tvořit páteř všech operací v rámci UAM, a to [27]:

- **Letadla pro převoz cestujících –** Převoz cestujících je jednou z nejvýznamnějších a zároveň nejzajímavějších aplikací UAM pro širokou veřejnost. Jak již bylo zmíněno, v budoucnu bude hlavním trendem rozšiřování urbanizovaných oblastí a stěhování se do měst. Proto bude čím dál náročnější pro tradiční pozemní dopravu zvládat výzvy jako jsou časté dopravní zácpy, limitovaná infrastruktura, optimální čas cesty pro běžného uživatele a tak dále. V tomto ohledu je koncept eVTOL letadel naprosto revoluční a přináší jedno z řešení pro tyto problémy, přičemž cestující doveze do cíle mnohem rychleji a bez nutnosti řešení obtíží na zemi. Koncepčně jsou eVTOL pro přepravu osob vymýšlena pro menší počet cestujících [27]. Samozřejmostí je vybavení s pokročilou avionikou, která bude zvládat veškeré požadavky na uskutečnění letu v U-space, včetně autonomních systémů, které budou převládat s postupující integrací UAM. Pohon je jako u většiny eVTOL, či dronů řešen jako elektrický, což je jedna z páteří a cílů tohoto typu dopravy, která má současně eliminovat větší produkci emisí a snížení hlukové zátěže.

- **Nákladní letadla –** Další z potenciálů, které se nabízí, jsou eVTOL určená pro přepravu nákladu. Podobně jako eVTOL pro převoz cestujících je použita stejná logika, kdy pozemní doprava může být velmi limitující a v případě dovozu zásilek často vytváří velká zpoždění. Přeprava nákladu vzdušnou cestou mimo jiné může potenciálně řešit i problémy samotných doručovacích služeb jako je například nedostatečný počet zaměstnanců v kritických obdobích jako jsou svátky, kdy je velmi těžké pokrýt vzniklou poptávku. Podobná koncepce již existuje například ve Spojených státech v podobě společnosti Wing [28], která má vlastní flotilu dronů určených právě k rozvážce menších balíčků. Vedle toho na více místech v Irsku funguje společnost Manna [29], jež provádí stejnou činnost. Obě společnosti provedly již statisíce úspěšných letů [28] [29].
- **Záchranná letadla –** eVTOL použitá v rámci integrovaného záchranného systému mají za cíl zvýšení schopnosti reagovat na vzniklé nouzové situace, především záchranu životů. V takovýchto chvílích hraje největší roli čas a aplikace eVTOL v tomto segmentu nabízí velké snížení reakční doby, co se týče například dosažení místa nehody s lékaři na palubě, transport pacientů v rámci jednotlivých lékařských zařízení, dodávku potřebných léků, převoz orgánů určených k transplantaci a tak dále. Vzhledem k těmto faktorům je nutné, aby byla eVTOL opatřena potřeným vybavením. Mimoto se uvažuje i o vývoji hasičských letadel, zaměřených na boj s požáry. Nutné je však podotknout, že na vývoji těchto typů letadel se zatím společnosti podílí nejméně a největší zaměření je momentálně na letadla určená pro převoz cestujících a nákladu. Nicméně i tento typ bude mít své zastoupení.
- **Ostatní –** Jelikož využití eVTOL nabízí velké možnosti, je jasné, že své zastoupení najdou i v jiných odvětvích než výše zmíněných. Jako příklad je možno použít aplikaci u ozbrojených složek, kde sice prostor určený pro UAM nemusí být zásadní, nicméně tato technologie je již testována armádami po celém světě s tím, jak se mění povaha moderních konfliktů a problematika boje v obydlených oblastech [30]. S uplatněním se v budoucnu počítá dále u policejních složek, kterým se zvýší schopnosti v případě dohledu nad urbanizovanými oblastmi a snížením reakční doby na případně vzniklé nouzové situace. V neposlední řadě mohou být eVTOL vytvářena i pro provádění různých inspekcí částí infrastruktury, popřípadě i jejich opravy. Každopádně toto zatím není věc, která by se v případě UAM zásadně řešila.

2.5.3 Aktuálně běžící komerční projekty

Dnes je již nespočetné množství běžících projektů vývoje VTOL letadel. V této oblasti dominují především současní přední výrobci letadel, ale zároveň vznikají nové společnosti, často jako start-upy, které se na tomto typu letectví snaží uchytit. Následně jsou popsány některé projekty, které již dosáhly určitých výsledků a počítají s dalším vývojem.

Airbus

Mezi právě realizovatelný projekt patří například ten od společnosti Airbus, který uvádí vizi o budoucím masivním přesunu obyvatel do urbanizovaných oblastí a měst a bude tak navýšena potřeba pro čím dál lepší a spolehlivější mobilitu. Proto Airbus přišel s návrhem pilotované eVTOL multikoptéry „CityAirbus NextGen“, jejíž první let se očekává v dohledné době. Původní plány byly ještě na rok 2023, nicméně je projekt provázen mnoha zpožděními. Elektricky poháněná multikoptéra uveze celkem čtyři osoby na palubě a cestovní rychlosti 120 km/h uletí až 80 km [31] [32]. City Airbus NextGen je možno vidět na obrázku 13.

Obrázek 13: City Airbus NextGen [33]

Lilium

Německá společnost založená v roce 2015, která přišla s vizí stát se jedním z budoucích lídrů v oblasti UAM. Lilium za dobu svého působení dokázala vyprodukovat již čtyři prototypy konceptu eVTOL. V roce 2018 společnost požádala o certifikaci EASA a FAA pro zatím největší model, Lilium Jet. Pilotovaný Lilium Jet dokáže pojmout až sedm lidí na palubě. Zajímavostí u tohoto eVTOL je, že bude poháněn 36 malými elektrickými dmychadly, která zajistí rychlost až 280 km/h a dolet přes 250 km [34].

Joby Aviation

Joby Aviation je americká společnost s působištěm v Kalifornii. V roce 2020 získala dotaci 75 milionů USD od společnosti Uber Technologies na vývoj eVTOL taxi. Od doby založení Joby Aviation, tedy 2009, dokázala společnost vyrobit prototyp eVTOL a mimo jiné má podporu od organizací jako jsou FAA a NASA, či USAF (United States Air Force) [35] [36]. Jeden z modelů eVTOL je možno vidět na obrátku 14.

Obrázek 14: eVTOL Joby Aviation [35]

Urban Aeronautics

Americký výrobce sídlící v Kalifornii je zajímavý především tím, že vyvíjí čtyřmístný eVTOL bez křídel, tudíž je s velikostí srovnatelnou klasickému autu velmi kompaktní. Projekt CityHawk, nazývaný také jako „létající auto“, má dva uzavřené rotory, jeden vpředu a druhý vzadu. Díky takovému umístění se věří, že bude vozidlo stabilnější při zhoršených meteorologických podmínkách. Mimoto společnost věří, že díky malé velikosti bude velmi vhodný do měst [37].

Volocopter

Tato německá firma se zaměřuje jak na pilotované eVTOL, tak i na autonomní drony, a to v projektech VoloDrone a VoloCity. VoloDrone je autonomní elektrický dron, jež unese až 200 kg nákladu a uletí přes 40 km, a proto se počítá s využitím v náročnějších operacích, kde je třeba uvézt velkou váhu ve ztíženém terénu.

VoloCity je naopak myšlen jako vzdušné taxi. Dokáže uvézt celkem dva lidi a je poháněn osmnácti elektrickými rotory. V rámci Urban Air Mobility chce Volocopter s komerčním provozem začít během tří následujících let v Paříži a v Singapuru [38].

2.6 Limitace současného stavu

Jak bylo popsáno, UAM je prozatím koncept určený pro budoucnost a všechna hlediska provozu jsou teprve zkoumána. V současné době se pomalu začínají utvářet veškeré rysy pro implementaci UAM, ale současná doba neumožňuje náhlé uvedení do provozu. Samozřejmě je to způsobeno tím, že – jak zmíněno – jedná se o revoluci v leteckém odvětví a s tím přicházejí výzvy, které je nutné překonat. Až dodnes jsme byli zvyklí pouze na konvenční leteckou dopravu, kde jsou veškeré postupy a technologie jasně dané nebo se dále vyvíjí, ale je známa jasná metodika, veškeré aspekty jsou již popsány a počítá se s nimi.

Pro UAM je nutno vytvořit nová pravidla a letové procedury. Tato změna se dotkne veškerého dosavadního leteckého provozu, organizace vzdušného prostoru a mimo jiné i pozemních segmentů. Dosavadní text této práce popisuje současný stav problematiky, přičemž naznačuje, kde jsou stále mezery pro uvedení UAM do provozu. Jednou z těch největších je problematika pravidel letu. Momentálně letecká doprava funguje na dvou variantách, a to VFR a IFR. UAS poté mají svá pravidla, která jsou ale pro hustý provoz v urbanizovaných oblastech nepoužitelná z důvodu malé komplexnosti, která je stěžejní věcí pro UAM.

Vzdušný prostor jako takový je rozdělen do jednotlivých tříd od A až po G, nicméně zde též zatím není definovaná oblast pro hustý provoz eVTOL a UAS v městských oblastech a zaměřuje se pouze na konvenční letectví. Každopádně existují i koncepty, které řeší právě problematiku UAM. Jedná se především o UTM a U-space. Tyto pojmy definují možné budoucí začlenění řešeného provozu do toho současného a zaměření je pojímáno od základních věcí jako je správa vzdušného prostoru, až po samotná pravidla. Postupně provoz UAM dostává čím dál jasnější rysy, zároveň ale mnoho z popisovaných technologií v těchto návrzích musí být teprve vyvinuto, či více definováno. Jedná se zpravidla o prvky v rámci CNS systémů.

Celkově vzato je nutno jasně určit organizaci vzdušného prostoru a odpovědnost za poskytování služeb danému provozu, ať už se jedná o soudobé ATM nebo budoucí UTM, respektive U-space s jeho službami. Zde je však nutné definovat a nastavit veškeré procesy, které zajistí datový tok, který bude pro fungování nezbytný, přičemž musí být zapojeny jak státní, tak i soukromé subjekty. Cílem této práce je odstranit koncepční mezeru v nedefinovaném vzdušném prostoru pro UAM a tento koncept navrhnout.

3 Metodika

Po identifikování všech současných aspektů ohledně budoucího zavedení UAM je aplikována případová studie, jež zahrnuje samotné podmínky pro tvorbu vzdušného prostoru, který se opírá o současný stav. Pro návrh je nutno zahrnout několik aspektů. Tvorba vzdušných prostorů má své základy v metodice ICAO, která je nicméně určena pro pilotované letectví, a proto ve všech ohledech nemusí korelovat s potřebami UAM. Po výběru oblasti pro tvorbu geozóny je tedy vhodné uvážit současné rozhraní vzdušného prostoru nad danou aglomerací a jednotlivé oblasti zájmu, o které se opírá koncepce provozu UAM tak, aby byl co nejvíce efektivní. Na základě těchto hledisek metodika v několika krocích navrhuje dosažení cíle, kterým je vymezení geozóny pro UAM a vhodnou volbu pravidel s ohledem na současný provoz tak, aby došlo ke vzájemné koexistenci.

3.1 Podmínky pro vytvoření nového vzdušného prostoru

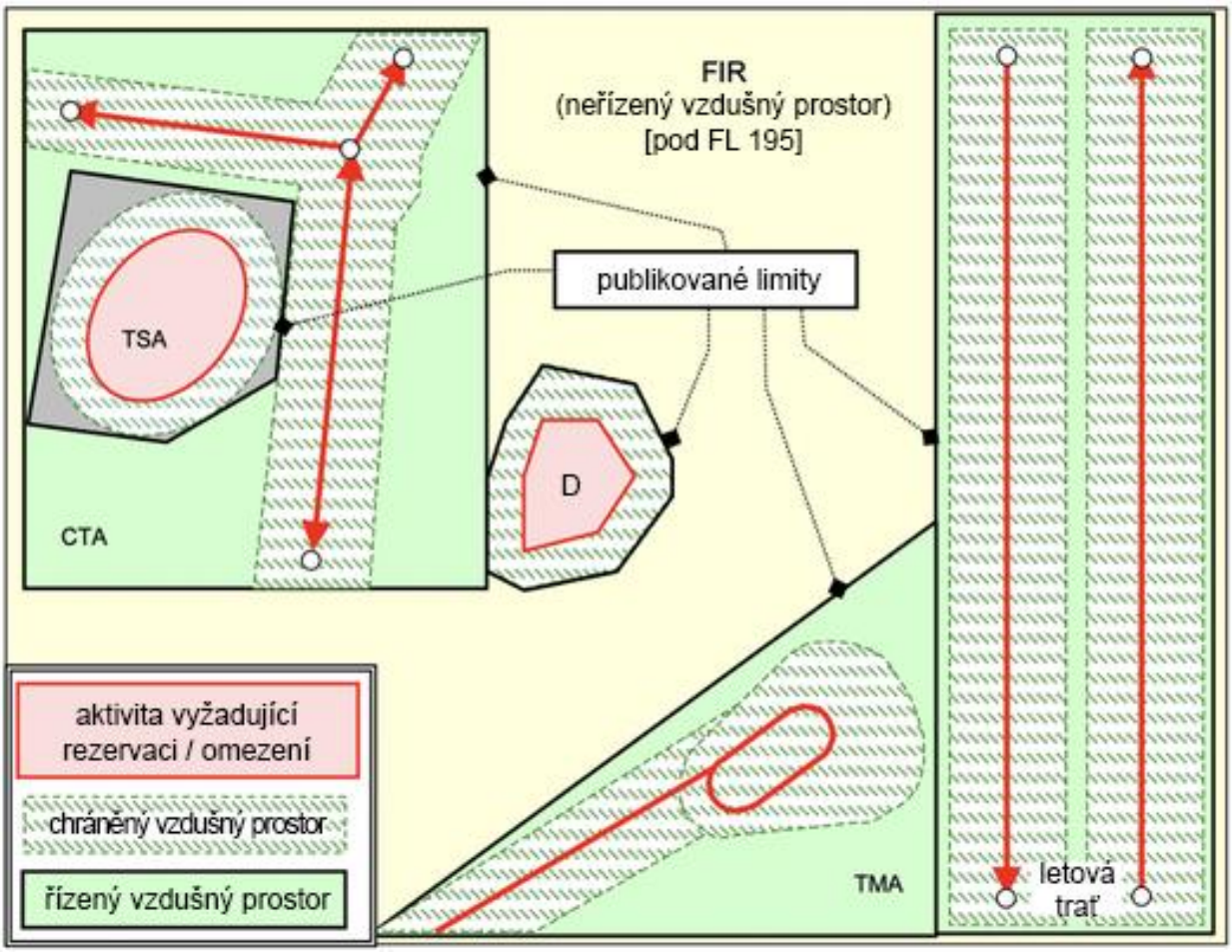
Vytvoření vzdušného prostoru obnáší spoustu aspektů, které je nutné zohlednit, a to z technického i legislativního hlediska. ICAO proto vytvořilo dokument ICAO doc 8168 [39], věnující se právě designu vzdušného prostoru. Mimo to je tento dokument i přenesen na evropské standardy v rámci dokumentu od EUROCONTROL s názvem Manual for Airspace Planning [40]. Technické hledisko obsahuje především následující požadavky, které je při tvorbě každého nového vzdušného prostoru vždy uvážit a jsou to hlavně třída vzdušného prostoru, jeho ohraničení a struktura, způsob jeho zprávy a způsob řízení letového provozu, využití CNS systémů, kupříkladu i s uvážením na terénní podmínky a v neposlední řadě environmentální faktory [39].

Vzdušný prostor

Jak již bylo popsáno výše, existuje celkem 7 tříd vzdušných prostorů A až G. V rámci procesu tvorby nového prostoru je mimo jiné nutno definovat jeho třídu na základě provozních požadavků a charakteristiky.

Vedle toho je třídy vzdušného provozu nutné též vymezení hranic prostoru, které jsou definované vzhledem k oblasti, kde je uvažován letový provoz. S tím jsou vázána též ochranná pásma a zohlednění již existujících vzdušných prostorů a pohybů v okolí. Nutno také podotknout, že zde mohou být začleněny i zvláštní kategorie prostorů jako jsou zakázané, omezené, nebezpečné, dočasně rezervované/vyhrazené. Ochranná pásma mezi jednotlivými prostory mohou vypadat jako je ukázáno na obrázku 15. Obecně jsou tvořena tak, aby se jednotlivá pásma vzájemně nepřekrývala.

Struktura vzdušného prostoru se dále odráží například ve vertikální a horizontální separaci daného provozu, kdy mimo jiné závisí i na tom, zda je řízený nebo neřízený. Pro každou možnost se pak jednotlivě aplikují pravidla letu VFR/ IFR.



Obrázek 15: Ochranná pásma v souvislosti s prostory (vlastní zpracování na základě:[39])

Řízení a způsob letového uspořádání ve vzdušném prostoru

Tento aspekt navazuje na výběr třídy prostoru a specifikaci provozních požadavků, kdy je nutné vybrat takový způsob řízení, který odpovídá danému provozu a v neposlední řadě i aspekty jako pokrytí oblasti přehledovými systémy a možnostmi komunikace. Obecně záleží, zda se prostor uvažuje jako řízená či neřízená oblast, kdy každá má své odlišnosti. Poskytování služeb ATS je otázkou samotného využití prostoru, objemu letového provozu, typu prováděné činnosti v něm, jeho umístění, nutnosti letových povolení a požadavků na architekturu přehledových systémů.

Procedury ve vzdušném prostoru

Procedury se odráží na několika faktorech jako je třída vzdušného prostoru a zda je řízený, či nikoliv, jeho vymezení, způsob jeho managementu, terén v oblasti a v dnešní době i snaha o lepší udržitelnost v kontextu s životním prostředím.

CNS je pojem sestávající z komunikace, navigace a sledování. Dohromady tak tvoří takzvané komunikační, navigační a přehledové systémy, jakožto infrastrukturu ATM, nutnou pro bezpečné provedení letu na základě daných požadavků pro každou oblast. Komunikace zastupuje veškeré komunikační prostředky mezi letadly a řídícími stanovištěmi. Navigace jsou veškeré systémy mající co dočinění s určování polohy letadla a přehledové systémy pak slouží převážně pro ATC, kdy v reálném čase může sledovat pohyby daného provozu.
Hledisko terénu je velmi důležité a ovlivňuje i samotnou tvorbu letových tratí a postupů. Proto je vhodné vytvořit analýzu pro určení rizik v dané oblasti a na základě toho stanovit bezpečnou výšku nad terénem MSA (Minimum Safe Altitude), která je obecně 1000 stop nad nejvyšší překážkou s tím, že při případném přiblížení na přistání se snižuje. Vedle toho se na základě překážek a terénu tvoří i postupy pro přístrojová přistání a odlety, které mají specifické tratě SID a STAR pro každé letiště.
Zachování životního prostředí je v poslední době velkým tématem a ve velkém měřítku se týká i letecké dopravy. V době, kdy je snaha o snižování produkce emisí a jiných škodlivých látek, se uzpůsobují letové tratě i na základě faktorů jako je co nejnižší spotřeba paliva a hluková zátěž.

Obecně vzato je několik kroků a principů, potřebných k samotné realizaci designu vzdušného prostoru, a to [39]:

- úřad pověřený daným státem je zodpovědný za design vzdušného prostoru, typ poskytovaných letových provozních služeb a dalších věcí, spojených se strukturou konkrétního vzdušného prostoru;
- rozměry a struktura daného vzdušného prostoru by měly být definovány tak, kdy zahrnují co nejmenší prostor, nezbytný pro provoz, čímž se design stává víc efektivní;
- tak, aby bylo zajištěno, že letová činnost v daném vzdušném prostoru neohrozí nezúčastněná letadla, měly by být publikovány veškeré limitace;
- vzdušný prostor by měl být tvořen tak, aby nepřekrýval jiné prostory, včetně jejich ochranných pásem;
- současně s přilehlými vzdušnými prostory by měla být stanovena definovaná hranice s tím, že pokud se jedná o společnou hranici, je optimální zvolit vhodná opatření pro provoz v její blízkosti.

Veškeré postupy nadále publikovány a popsány v souladu s ICAO v Annexech 4 [41] a 15 [42] a ICAO [43] dokumentu 8126. Odpovědný orgán má dále za úkol stanovit a zveřejnit pravidla letu pro daný vzdušný prostor, včetně dohledu nad jejich dodržováním

Politika uspořádání vzdušného prostoru České republiky

V České republice má jako odpovědný orgán na starosti uspořádání vzdušného prostoru Úřad pro civilní letectví (ÚCL), respektive vytvořená Komise Airspace Management (KASM), složená z oprávněných zástupců ÚCL a Ministerstva obrany (MO). V dokumentu politika uspořádání vzdušného prostoru České republiky [44] jsou popsány veškeré zásady a legislativní rámec při změnách, či tvorbě vzdušných prostorů, podléhající zákonu č.49/1997 o civilním letectví [45]. Úloha KASM je v této souvislosti zajištění bezpečného a efektivního využívání struktur veškerých vzdušných prostorů na našem území.

Co se týká řízení změn ve vzdušném prostoru ČR, žádost přichází od takzvaného klienta, který v nejčastějších případech představuje uživatele vzdušného prostoru, poskytovatele služeb ATS, či provozovatele letišť. Klient jakožto iniciátor přichází s návrhem, který mimo jiné musí dosahovat požadované úrovně bezpečnosti, zefektivňuje dosavadní stav a případně odlehčuje životnímu prostředí. Návrh může být konzultován s ÚCL po stránkách bezpečnosti, jednotlivých pravidel a samotné konstrukce. Dále je povinnost klienta konzultovat návrh s veškerými dotčenými subjekty, tedy například poskytovateli služeb ATS, provozovateli letišť a tak dále, aby vznikla dostatečně dlouhá doba pro vydání jejich stanoviska ohledně navrhovaných změn. Zpracování návrhu od klienta je dále prováděno konstruktérem vzdušného prostoru podle všech doložených informací, které obsahují také veškerá stanoviska z konzultací, a to vše v souladu s čl. 3 odst. 8 prováděcího nařízení komise EU 2017/373 [46].

Po dokončení návrhu konstruktérem vzdušného prostoru ho klient předloží s formální žádostí. ÚCL v návaznosti na to předá informaci o návrhu koncepční skupině Airspace Management (KSASM), včetně všech náležitostí. Při bezproblémovém postupu ÚCL zahájí postup tvorby podkladů, které podléhají paragrafu 44a zákona 49/1997 a současně s tím probíhá hodnocení bezpečnosti skrze KASM podle nařízení evropského parlamentu a rady EU č.2150/2005 čl.7 [44] s tím, že pokud by změna zahrnovala rizika, která nelze snížit a překračují požadovanou úroveň provozní bezpečnosti, nelze ji přijmout.

Po úspěšném ukončení veškerých formálních konzultací je stanoveno datum zavedení navrhované změny, kdy je též ze strany ÚCL vydáno stanovisko ÚCL, zda došlo ke shodě v rámci KSASM a nadále je věc předána k dalšímu řízení. Pakliže změny vyžadují významné změny dosavadního

stavu, zejména provozní postupy, musí být v dle norem ICAO, tj. v rámci regulovaného systému šíření leteckých informací (AIRAC) vydána informace s předstihem alespoň 56 dnů [44] před datem platnosti za předpokladu, že jsou schváleny ÚCL v dohodě s MO.

Po uvedení do provozu dochází konstruktérem vzdušného prostoru k pravidelným revizím a případným údržbám daného vzdušného prostoru, kdy je vydán pětiletý plán, který je každoročně vyhodnocován, případně upravován. Vedle toho provozovatelé a správci prostorů jsou povinni poskytovat veškeré podklady, které mají co dočinění s pětiletým plánem údržby a revizí, a to v souladu s čl.3 odst.9. prováděcího nařízení komise EU 2017/373 [44].

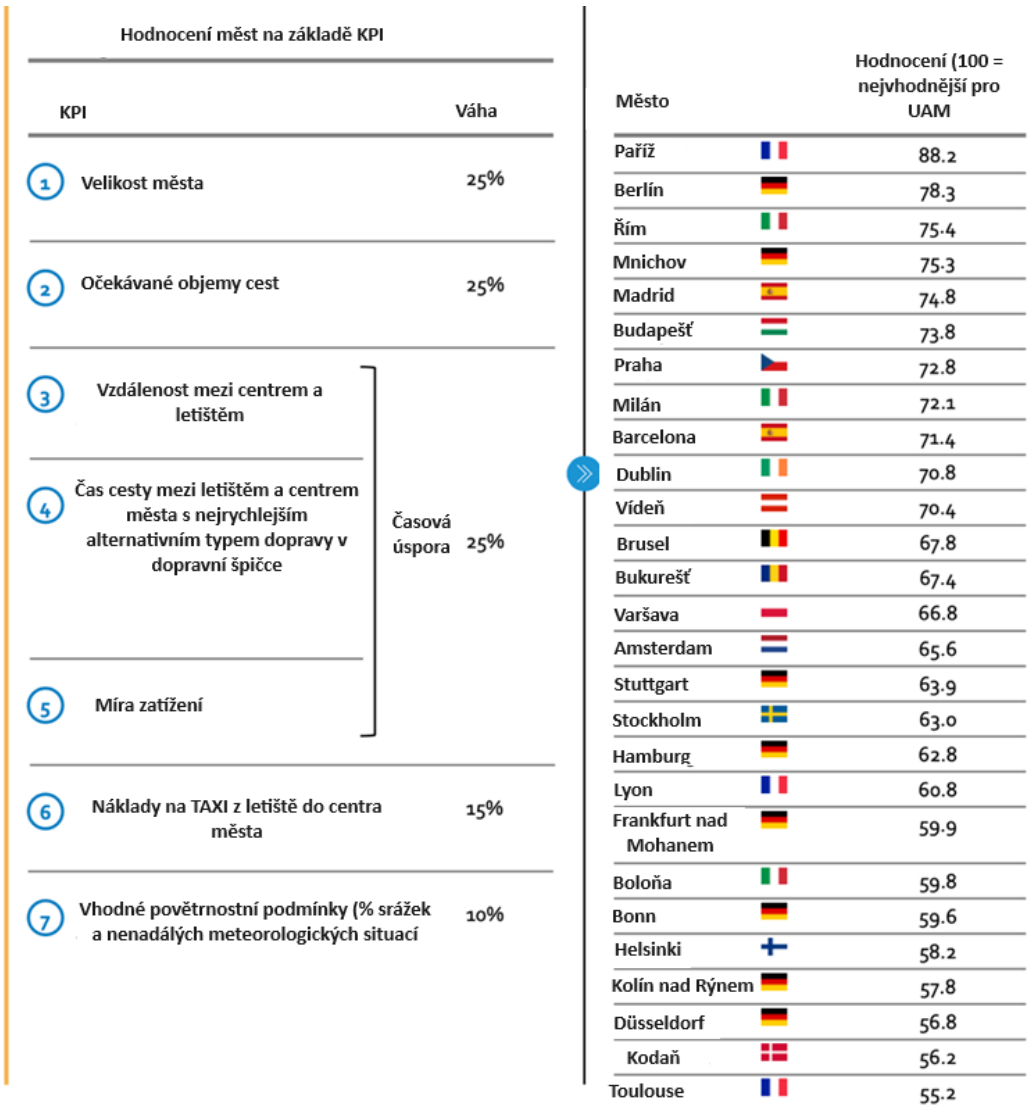
Dokument politika uspořádání vzdušného prostoru se neustále aktualizuje podle následujících aspektů:

1) identifikace potřeb;
2) analýza možných následků;
3) rozhodnutí, zda pokračovat;
4) konzultace;
5) schválení;
6) publikace.

Nejnovější vydání je momentálně verze. 4.0, platná od 1.9.2023 [47].

3.2 Výběr oblasti pro implementaci UAM

Co se týče jednoho z primárních úkolů, a to výběru aglomerace, bude diplomová práce zaměřena na vytvoření zeměpisné zóny umožňující provoz UAM nad Prahou. Takovýto výběr mimo jiné podporuje i studie přijatelnosti UAM neboli „Social Acceptance“ [27], vytvořená EASA, která definovala Prahu jako jednoho z kandidátů na vhodnost jeho zavedení. Hodnocení probíhalo na základě takzvaných klíčových ukazatelů výkonnosti (KPI – Key Performance Indicator), zahrnujících mnoho faktorů, a to především velikost města, očekávané využití UAM, vhodné meteorologické podmínky, využití k dopravě na/ z letiště. Zde získala Praha hodnocení 72.8 bodů ze 100 v kategorii kyvadlové přepravy z města na letiště, jak je možno vidět na obrázku 16. A ačkoli se pak Praha do celkového nejužšího výběru měst nedostala, pořád je zde velký potenciál na vytvoření takového druhu dopravy [27].



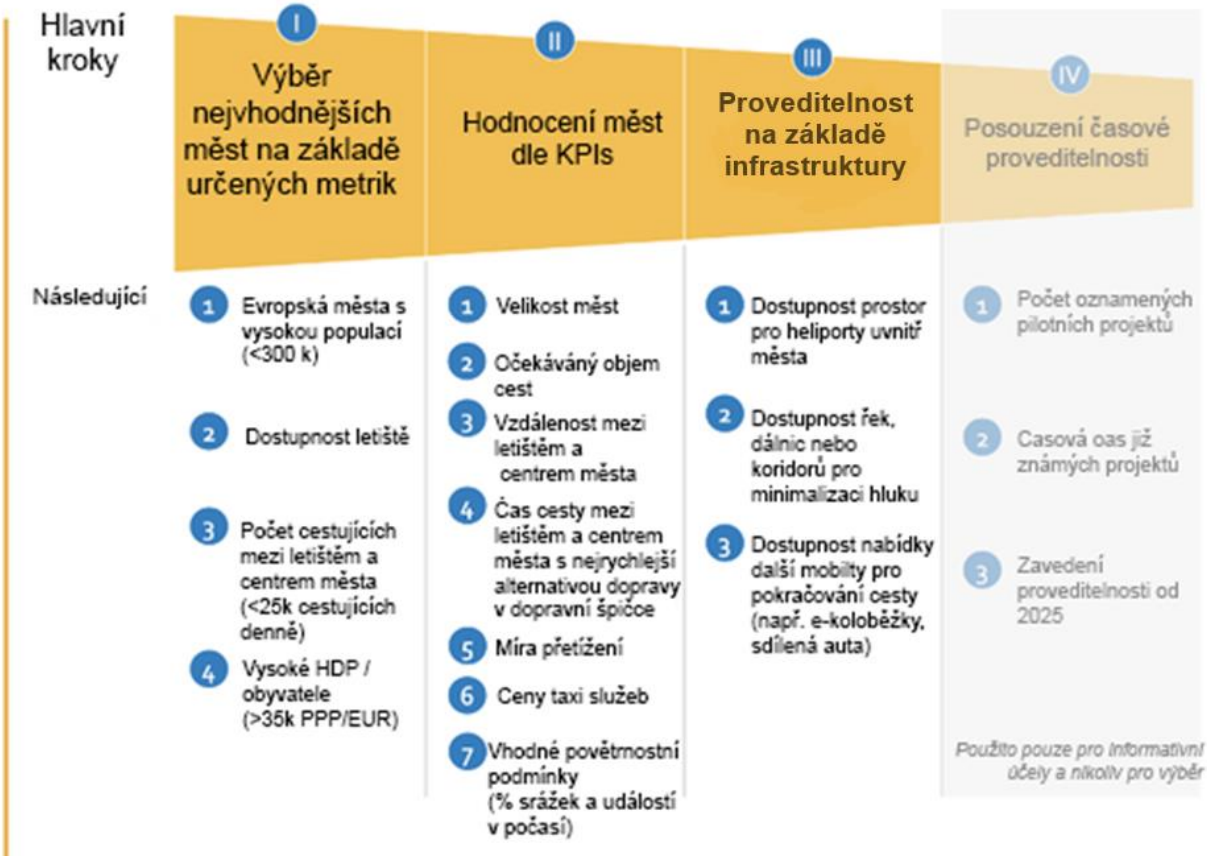
Hodnocení měst na základě KPI

KPI		Váha
1	Velikost města	25%
2	Očekávané objemy cest	25%
3	Vzdálenost mezi centrem a letištěm	Časová úspora 25%
4	Čas cesty mezi letištěm a centrem města s nejrychlejším alternativním typem dopravy v dopravní špičce	
5	Míra zatížení	
6	Náklady na TAXI z letiště do centra města	15%
7	Vhodné povětrnostní podmínky (% srážek a nenadálých meteorologických situací	10%

Město	Hodnocení (100 = nejvhodnější pro UAM
Paříž	88.2
Berlín	78.3
Řím	75.4
Mnichov	75.3
Madrid	74.8
Budapešť	73.8
Praha	72.8
Milán	72.1
Barcelona	71.4
Dublin	70.8
Vídeň	70.4
Brusel	67.8
Bukurešť	67.4
Varšava	66.8
Amsterdam	65.6
Stuttgart	63.9
Stockholm	63.0
Hamburg	62.8
Lyon	60.8
Frankfurt nad Mohanem	59.9
Boloňa	59.8
Bonn	59.6
Helsinki	58.2
Kolín nad Rýnem	57.8
Düsseldorf	56.8
Kodaň	56.2
Toulouse	55.2

Obrázek 16: Hodnocení měst na základě perspektivy kyvadlové dopravy na letiště (vlastní zpracování na základě: [27])

Obecně EASA uvažovala několik KPI v oblasti dané problematiky, které poukazují na samotný smysl nějakého systému, v tomto případě implementace UAM. Jednotlivě se dají ukazatele posuzovat a lze jim přiřadit hodnotu výkonu. Sloučeně pak KPIs udávají celkový pohled. U hodnocení UAM bylo použito několik aspektů, ukázaných na obrázku 17.



Obrázek 17: KPIs hodnotící implementaci UAM (vlastní zpracování na základě [27])

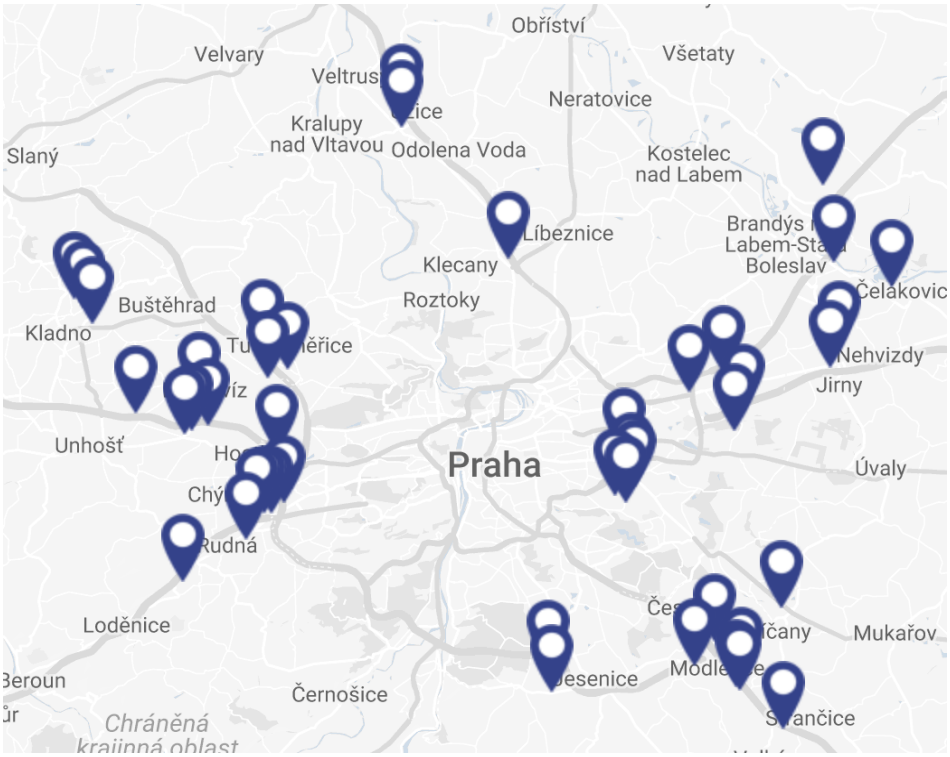
Mimo zmíněnou studii má však po hlubším zkoumání Praha jako taková potenciál v mnoha dalších oblastech, které je vhodné brát v potaz. Jako takové lze popsat aspekty jako logistický trh, dostupnost veřejné dopravy pro veřejně prospěšné činnosti, zároveň i pro více specifické jako je obchod, rychlost dostupnosti na konkrétní lokality a turismus [27].

Logistický trh

Česká republika je velmi významným evropským logistickým uzlem, a to i přestože zde není takový celkový objem jako v jiných zemích. Praha měla vždy v historii silný logistický trh a je tomu i doposud [48]. Díky tomu zde sídlí velké množství společností, specializujících se právě na tuto oblast, a to jak mezinárodních, tak místních. S tím se pojí nutnost přítomnosti rozsáhlých skladů, kde je veškeré zboží uchováváno, tříděno a dále distribuováno.

Ačkoli současný stav umožňuje ve většině případů včasné doručování zásilek, tak především v určitých obdobích v rámci roku je často problém dostát dané poptávce. Mimo vysoké nároky a náklady na lidský personál a používanou techniku působí také vnější vlivy, kde se tato činnost uskutečňuje, což je primárně okolní doprava [49]. I toto je jednou z často zmiňovaných témat v oblasti přepravy nákladu UAS, přičemž se jedná hlavně o ztíženou dopravní dostupnost na

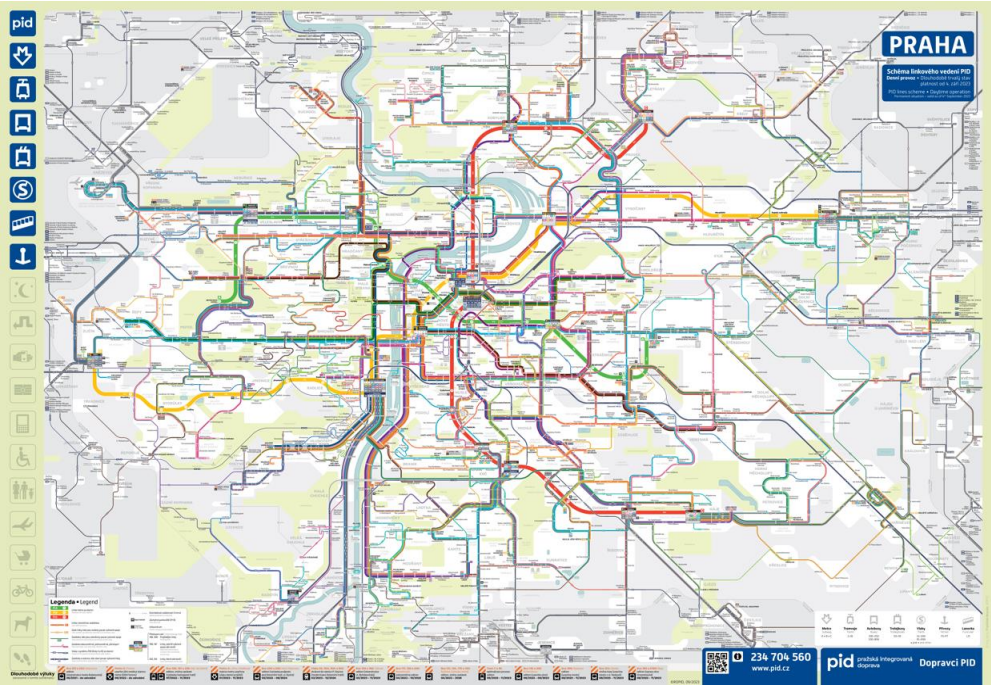
pozemních komunikacích měst. Na obrázku 18 je možno vidět lokality logistických skladů v Praze a blízkém okolí.



Obrázek 18: Logistické uzly v Praze a okolí [50]

Dopravní dostupnost

Praha má sama o sobě velmi ceněnou veřejnou dopravu a často se umisťuje v prvních příčkách celosvětového hodnocení MHD (Městská hromadná doprava), v roce 2022 dokonce na druhém [51]. I tak je však v nejvyšších denních špičkách často na pokraji své kapacity s tím, že na různá místa cesta není úplně vhodně vymyšlená. Příkladem může být spojení centrum – letiště, kde ačkoli je v plánu vystavení nové železniční linky [52], v určitých případech by problém mohl řešit právě koncept UAM. Není to však jen otázka propojení města s letištěm, UAM umožňuje cesty v celé sféře daného místa a díky využití vzdušné cesty se doba přepravy může rapidně zkrátit. Na obrázku 19 je možno vidět schéma městských linek PID (Pražská Integrovaná Doprava).



Obrázek 19: Schéma pražské integrované dopravy [53]

Vedle toho je také stěžejní doprava osobních aut, přičemž současným trendem minimálně v rámci Evropy je jejich využívání regulovat, či omezovat za účelem ochrany životního prostředí, hlavně snižování emisí. UAM má možnost díky elektrickému pohonu odlehčit dlouhodobě zhoršené kvalitě a čistotě ovzduší [54]. Současný koncept dopravní infrastruktury v Praze a okolí je založen na několika okruzích, které mají sloužit jako tranzitní uzel ať už pro cesty v rámci města, tak i mimo něj [55]. Obrázek 20 zmíněné okruhy znázorňuje, avšak je nutné zdůraznit, že koncept výstavby ještě není zcela hotový a často jej sužují zpoždění. Čísla poukazují na denní počet automobilů v jednotlivých úsecích.

Obrázek 20: Hlavní pozemní komunikace Prahy (vlastní zpracování na základě [55] a [56])

Jak si lze dále povšimnout, velká část hlavní komunikace vede skrz samotné centrum a ačkoli to tak bylo plánováno, s narůstajícím objemem dopravy se stává čím dál obtížnější splnit požadavky na bezproblémový průjezd, především bez přítomnosti dopravních kolon. Pro bližší představu je možno v tabulce 3 vidět nejvytíženější úseky za rok 2022, kde první příčky obsazují tranzitní oblasti, především jižní spojka. Problematika využívání osobních aut se též pojí s jejich postupným nárůstem, kdy jich v roce 2022 bylo registrováno 1 258 144, což je nárůst o více než 40 000 oproti roku 2021 [56]. Paradoxně s tím se ale též snižuje jejich obsazenost, která činní přibližně 1,3 osoby na jedno auto [56].

Tabulka 3: Intenzita dopravy v Praze v roce 2022 (vlastní zpracování na základě [56])

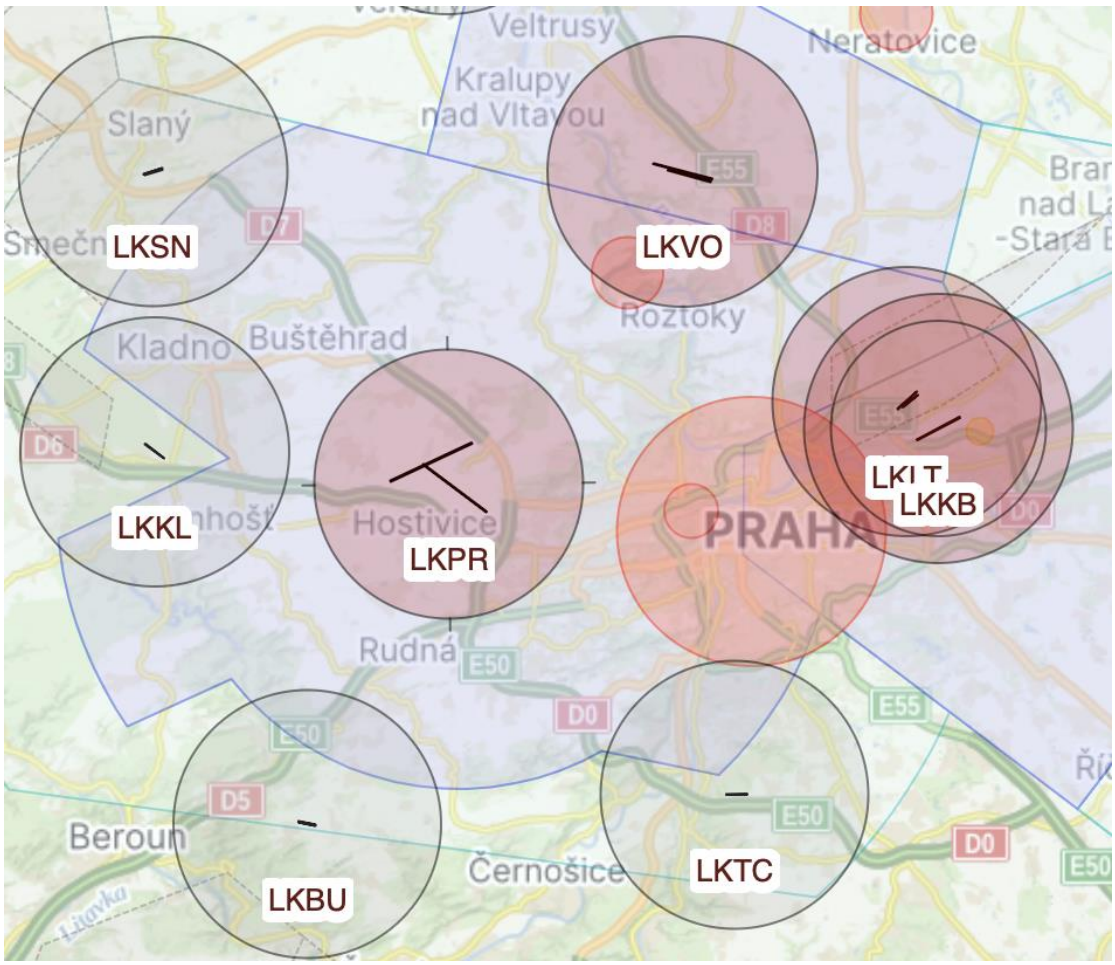
Nejzatíženější úseky na pražské komunikační síti v roce 2022			
Úsek		**Vozidel za den (0-24 h) celkem**	
Barrandovský most		139 000	
Jižní spojka (Chodovská – V korytech)		129 000	
Jižní spojka (5. května – Vídeňská)		128 000	
Strakonická (Dobříšská – Barrandovský most)		124 000	
Jižní spojka (Průběžná – V korytech)		121 000	
Nejzatíženější mosty přes Vltavu a tunely na pražské komunikační síti v roce 2022			
Most	**Vozidel za den (0-24 h) celkem**	**Tunel**	**Vozidel za den (0-24 h) celkem**
Barrandovský most	139 000	Dejvický tunel	93 000
Hlávkův most	67 000	Brusnický tunel	92 000
Radotínský most	60 000	Zlíchovský tunel	92 000
most Barikádníků	60 000	Bubenečský tunel	88 000
Jiráskův most	41 000	Strahovský tunel	85 000

Nejzatíženější křižovatky na pražské komunikační síti v roce 2022			
Mimoúrovňová křižovatka	**Vozidel za den (0-24 h) celkem**	**Úrovňová křižovatka**	**Vozidel za den (0-24 h) celkem**
5 května – Jižní spojka	209 000	Černokostelecká – Průmyslová	70 000
Strakonická – Barrandovský most	186 000	Poděbradská – Kbelská	65 000
Jižní spojka – Chodovská	157 000	Bělohorská – Kukulova	60 000
Liberecká – Cínovecká	142 000	Mezibranská – Žitná	60 000
Jižní spojka – Barrandovský most	139 000	Kolbenova – Kbelská	60 000

3.3 Dotčené vzdušné prostory v rámci Prahy

V okolí Prahy se nachází mnoho letišť, přičemž tři z nich jsou letiště řízená. Jedná se především o letiště Václava Havla Praha (LKPR), dále pak letiště Vodochody (LKVO) a vojenské letiště Kbely (LKKB). Všechna z nich jsou obklopena řízenými prostory CTR sahající od země až do výšky 3500 stop AMSL s výjimkou MCTR Kbely, které dosahuje výšky 2000 stop AMSL. Na CTR pak navazují koncové řízené oblasti TMA.

Vedle řízených letišť jsou zde i letiště neřízená s jejich provozními zónami ATZ, resp. TRA GA, a to letiště Kladno (LKKL), Slaný (LKSN), Bubovice (LKBU), Točná (LKTC) a letiště Letňany (LKLT), jež přímo sousedí s vojenským letištěm Kbely. Všechna tato letiště, včetně prostorů je možno vidět na obrázku 21, nicméně z tohoto výběru by případně bylo bráno v potaz jen letiště Letňany, které je stále součástí Prahy a jeho provoz může být pro provoz UAM omezující [57].



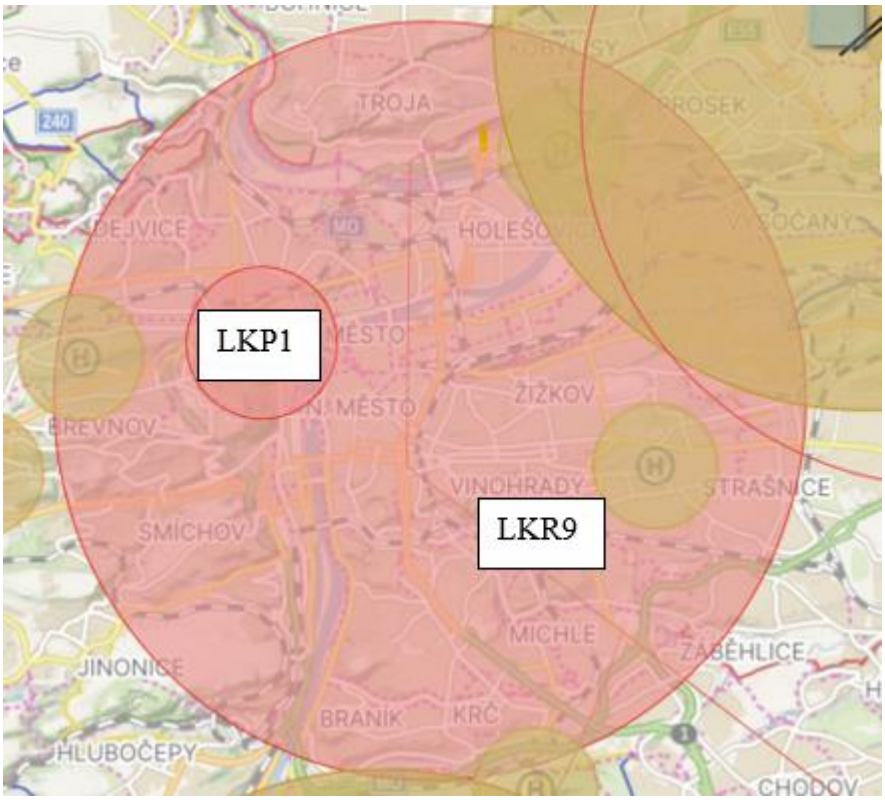
Obrázek 21: Vzdušný prostor nad Prahou a okolím [57]

Řízená letiště pak disponují trasami pro přiblížení a odlety na konkrétní dráhy (RWY – Runway). Z toho vyplývá hustý letecký provoz nacházející se v nízké hladině, jež by potenciálně mohl narušovat zónu vyhrazenou pro UAM. Velkou váhu by zde měla například RWY 12/ 30 na letišti Ruzyně, která sice není primární pro běžné využití, nicméně je v provozu kupříkladu při údržbě hlavní RWY 24/ 06 nebo pokud to vyžadují meteorologické podmínky. Běžné přiblížení na RWY 30 totiž probíhá přímo nad samotným městem a v souvislosti s UAM proto musí být tento aspekt brán v potaz. Nicméně vzhledem k provozu UAM v nízkém provozu do 500 stop AGL by tak současně nemělo docházet k narušení nebo i ohrožení jednotlivých typů letů mezi sebou.

Mimo okolní letiště jsou nad samotnou Prahou také tři vzdušné prostory, definujících různá omezení pro vstup či úplný zákaz. Největším omezeným prostorem je LKR9 PRAHA, jež zasahuje prakticky celé centrum a okolí. Jedná se o kruh o poloměru 3 NM se středem v budově pražského hlavního nádraží s horizontálními rozměry od země do 5000 stop AMSL a s aktivací 24 hodin 7 dní v týdnu (H24) [16]. Na základě povolení letových provozních služeb je vstup do prostoru povolen státním letům, letům ŘLP a ÚCL, letům vícemotorových letadel pro zvláštní

úkoly jako například SAR, letecké práce, letům volných obsazených balonů a letům provádějící přílety či odlety na/z LKPR, LKKB, LKVO, LKLT.

Dalším prostorem je zakázaný prostor LKP1 Pražský hrad, jehož kružnice má poloměr 0,6 NM. Doba aktivace je taktéž H24 a žádosti o let do prostoru se musí podávat na ÚCL minimálně 30 dní před plánovaným termínem vstupu [16]. Na obrázku 22 je ukázáno rozložení daných prostorů [34].



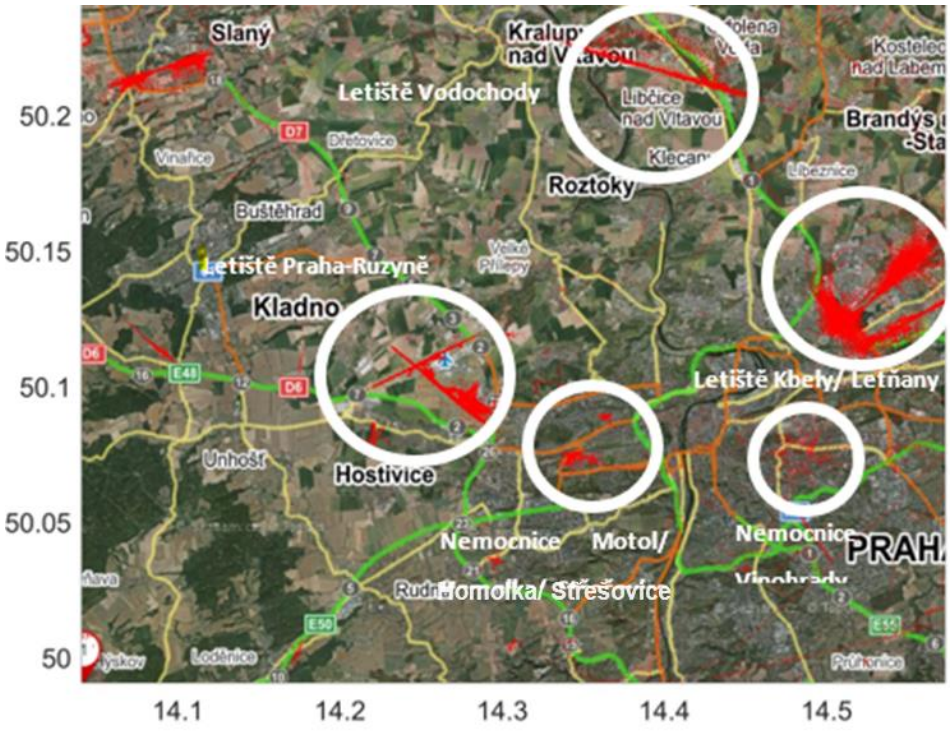
Obrázek 22: Prostory P1 a R1 v rámci Prahy (vlastní zpracování na základě [59])

Nutno podotknout, že obrázek výše představuje současný stav a je uvažováno tak, že právě především v prostoru LKR9 bude probíhat stěžejní provoz UAM. V tomto případě LKR9 jakožto omezený prostor podléhá letovému povolení. To v souvislosti s UAM nepředstavuje takový problém, kdy vytvoření pravidel letu umožní využívat právě tento prostor. Z hlediska současné legislativy a pravidel letu UAS je však přístup více omezen. S aplikací prostoru U-space, popřípadě podobného konceptu by v této zóně mohly být zprostředkovávané veškeré služby, zajišťující koexistenci UAM a pilotovaných letadel.

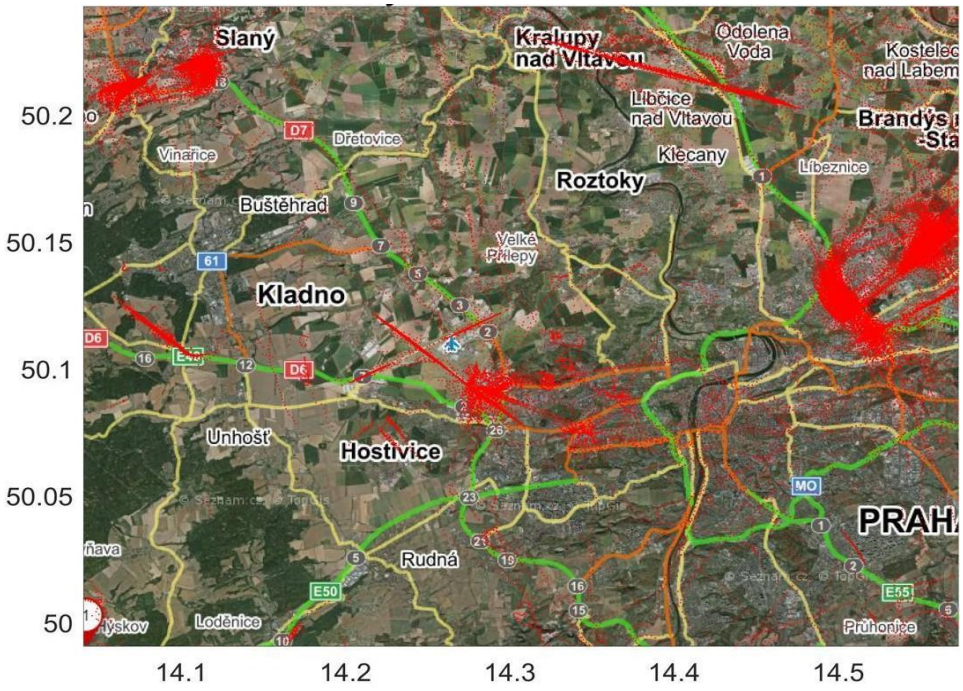
Oblast pražského hradu, tedy LKP1 je dlouhodobě zakázaná oblast. Z dlouhodobého hlediska pravděpodobně není předpoklad k žádným větším změnám, vzhledem k tomu, že se jedná o velmi historicky významné a strategické místo.

3.4 Identifikace veškerého provozu v daném prostoru

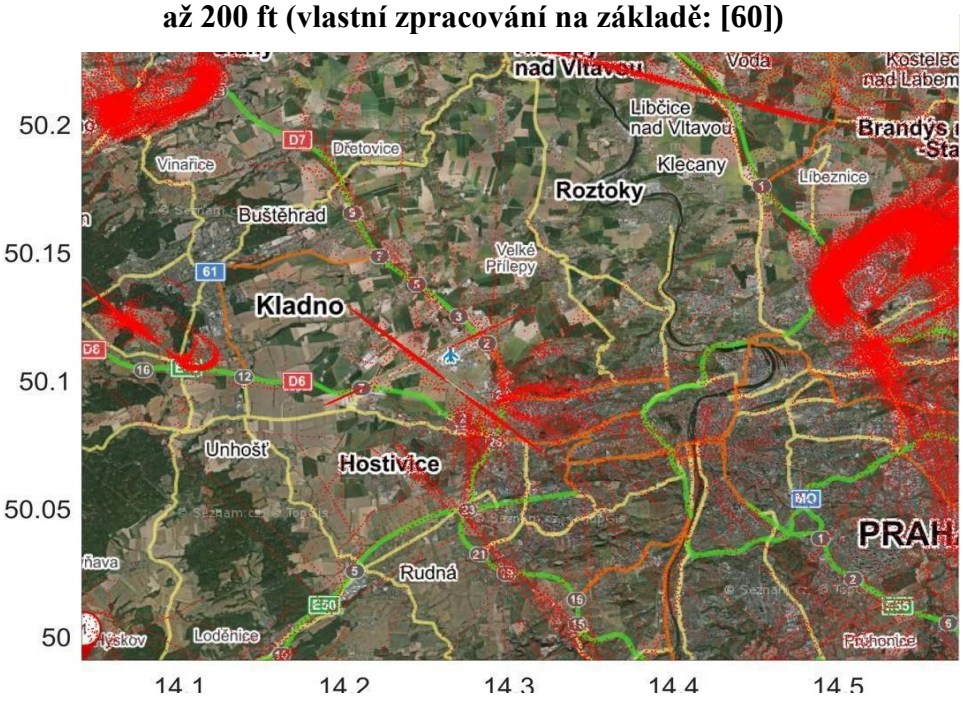
Na obrázku 31, 32 a 33 jsou znázorněné odpovědi odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 od země až do výšky 600 stop AMSL, přičemž prostor pro provoz UAM bude obecně uvažován jen do výšky 500 stop AGL [58], což tedy tomuto rozmezí odpovídá. Potvrzuje se vysoký počet pohybů letadel v rámci řízených letišť a mimo jiné i v rámci města. Lokality ve městě, kde je možno vidět větší intenzitu pohybů, jsou především nemocnice, a tudíž se jedná především o pohyby vrtulníků letecké záchranné služby (LZS). Tento druh provozu má obecně přednost letu a je tedy důležité zajistit koexistenci a správné nastavení pravidel s lety UAM. Obrázek 23 znázorňuje dané oblasti s vyšším výskytem provozu. Následné obrázky 24 a 25 více ukazují příletové a odletové trasy na jednotlivé lokality (např. LKPR) nebo kupříkladu okruhy okolo letišť určených pro všeobecné letectví (např. LKLT) [60].



Obrázek 23 Provoz nad Prahou na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce mezi 0 až 200 ft (vlastní zpracování na základě: [60])



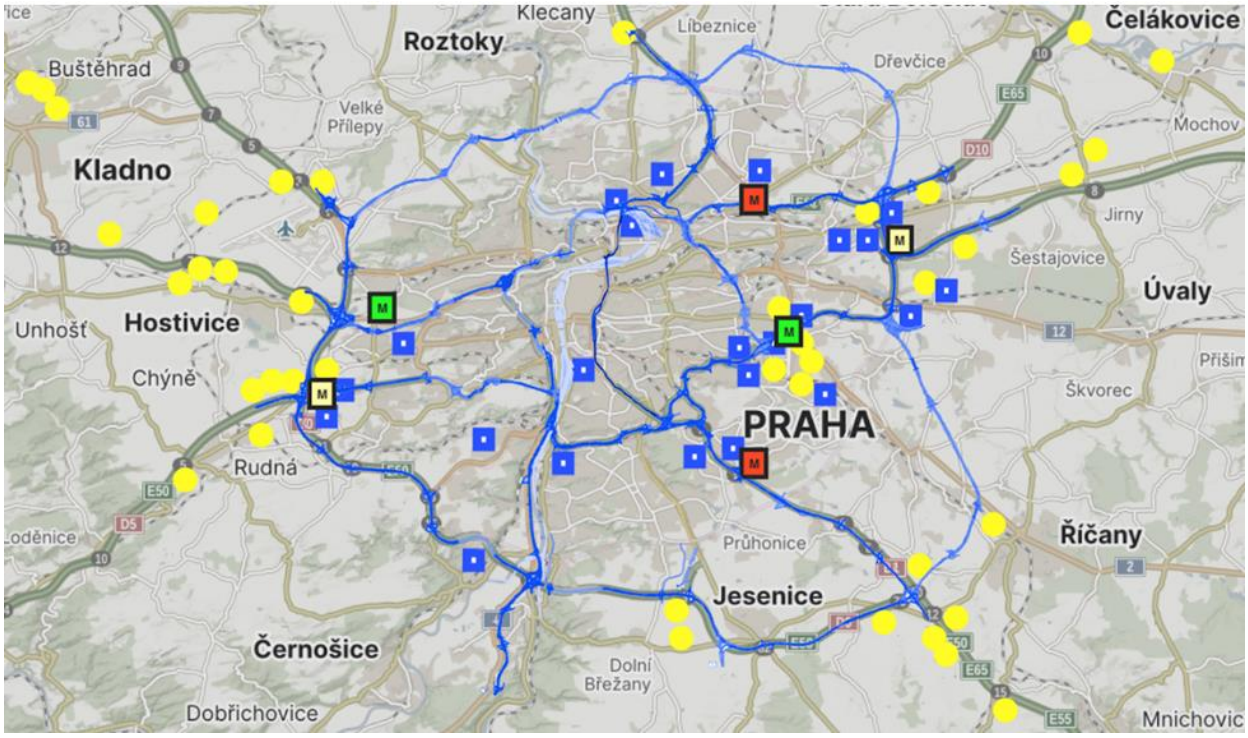
Obrázek 25: Provoz v CTR Ruzyně na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce mezi 0 až 200 ft (vlastní zpracování na základě: [60])



Obrázek 24: Provoz v CTR Ruzyně na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce mezi 200 až 400 ft (vlastní zpracování na základě: [60]

3.5 Klíčová hlediska pro tvorbu geozóny

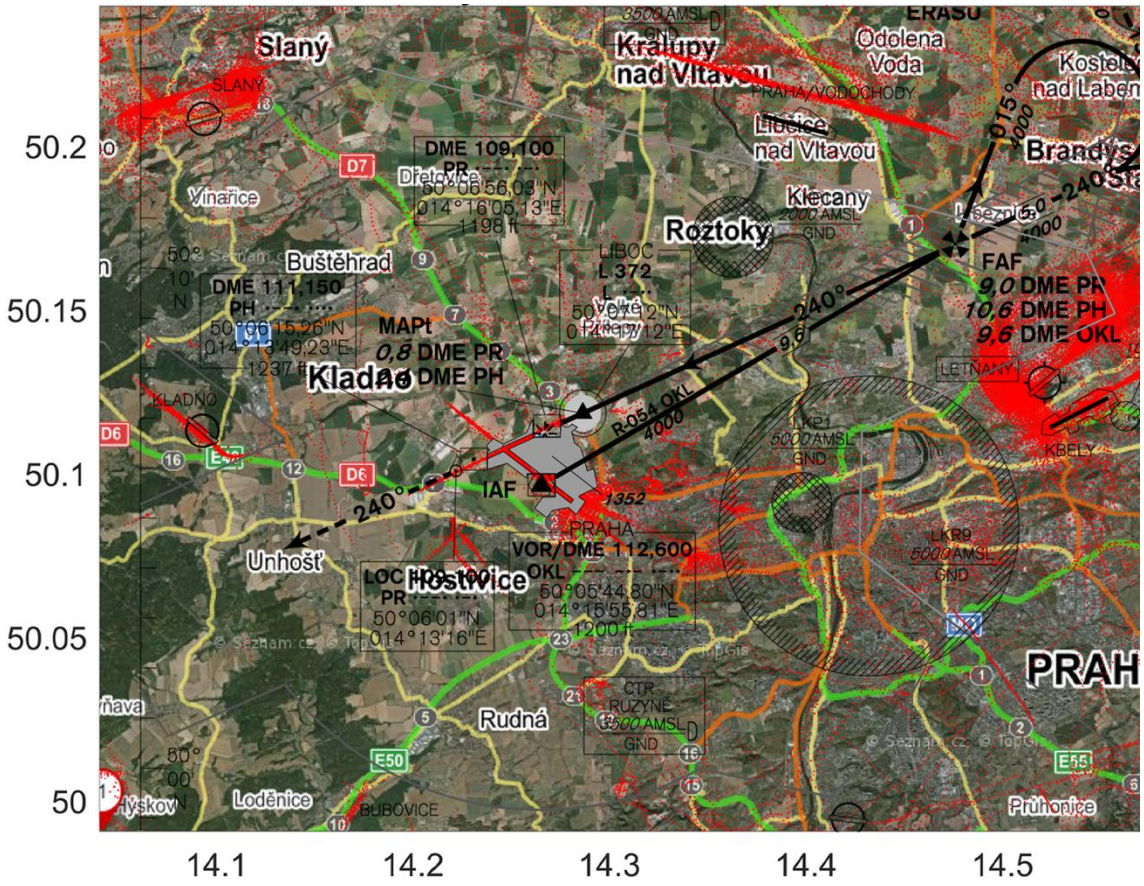
Celkově lze metodickou část založit na dvou hlavních aspektech, které zároveň kolidují s myšlenkou využití UAM, kde se jedná o pohled současné dopravní dostupnosti a využití logistiky. Na obrázku 26 je složená mapa obsahující hlavní pozemní komunikace v Praze a též logistické uzly. Jak si lze povšimnout, tak tyto uzly se nachází v místech, kde současně bývá největší problém s dopravními kongescemi. Na dané mapě je tudíž základ, ze kterého by geozóna mimo jiné mohla vycházet, jelikož páteří provozu UAM je právě provoz, který by toto mohl alespoň částečně řešit.



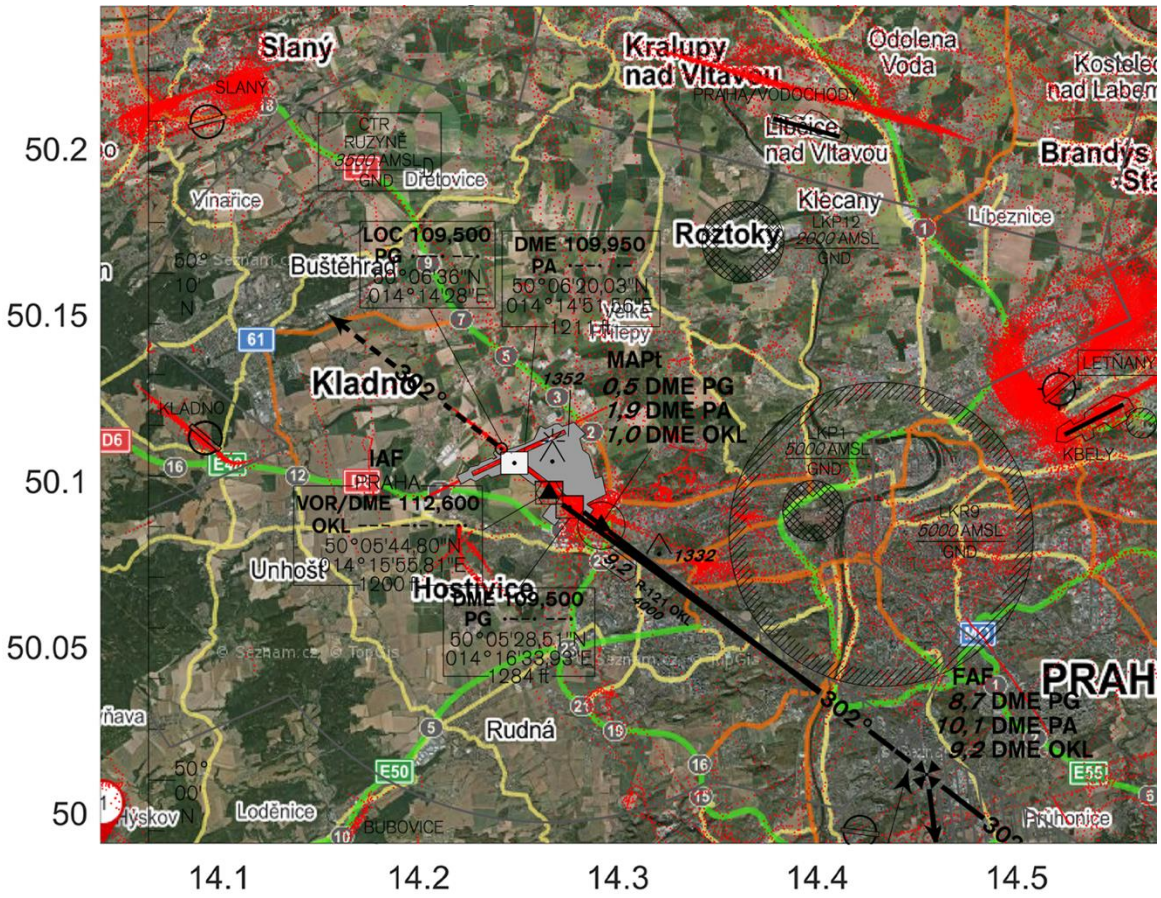
Obrázek 26: Schéma dopravní dostupnosti a logistických uzlů. Žluté tečky znázorňují jednotlivé logistické uzly, modré čtverce s bílou výplní pak současně dostupná parkoviště P+R a barevné čtverce s písmenem „M“ konečné stanice metra, které jsou zásadní pro lidi dojíždějící do Prahy z jiných krajů. V tomto případě zelený čtverec je linka metra A s koncovými stanicemi Depo Hostivař a Nemocnice Motol, žlutý čtverec se stanicemi Černý Most a Zličín, a nakonec červený čtverec linky metra C se stanicemi Háje a Letňany. (vlastní zpracování na základě [38] a [42])

Výsledná podoba geozóny se však musí zakládat na více aspektech a zahrnout i současnou podobu vzdušného prostoru a jeho omezení, a to vzhledem k tomu, že je žádoucí koexistence veškerého provozu na daném území. Z tohoto pohledu je nutné zohlednit především procedury pro odlet a přistání na letišti Praha Ruzyně. Na obrázcích 27 a 28 jsou znázorněné odpovědi na sekundární radar ŘLP za červen 2022 od země do výšky 400 ft AMSL, které pro ilustraci zahrnují přístrojové

přistání na RWY 24 a 30. V tomto případě je stěžejní RWY 30, která ačkoli není využívána jako hlavní dráha, vede přímo přes centrum Prahy. Nicméně tato přístrojová přistání mají svá ochranná pásma, která nesmí být narušena ostatním provozem, což musí být během koncipování geozóny zahrnuto.



Obrázek 27: Vyznačení přístrojové přistání na RWY 24 s provozem v CTR Ruzyně na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce 0 až 400 ft (vlastní zpracování na základě: [60] a [16])



Obrázek 28: Přístrojové přistání na RWY 30 s provozem v CTR Ruzyně na základě odpovědí odpovídačů letadel na dotazy sekundárního radaru za červen 2022 ve výšce 0 až 400 ft (vlastní zpracování na základě: [60] a [16])

Pravidla letu v geozóně UAM

Je zřejmé, že současná pravidla pro UAS, jmenovitě především VLOS a BVLOS, nedokážou uspokojivě vyřešit vznikající potřeby UAM a nejsou kompatibilní s tím, jak má nový systém jako celek fungovat. Princip je totiž takový, že UAS se musí vyhnout jakémukoli pilotovanému provozu ve vzduchu nebo ideálně přistát se strojem na zem, aby se eliminovalo riziko kolize. Integrace UAS mezi pilotované letectví vytváří nové výzvy, zejména pokud jde o koexistenci v jednom vzdušném prostoru. Dnes nastavená pravidla nepilotované letectví v budoucím měřítku limitují, a proto je nutná jejich proměna. Jako nová alternativa se jeví koncept U-space, kde upřená pozornost je na vyměňování služeb skrze služby, využívající vysokou míru digitalizace a automatizace. Tento koncept však podporuje dynamickou rekonfiguraci vzdušného prostoru neboli dočasnou úpravu zeměpisných hranic prostoru U-space, která vyhoví nárazovým a krátkodobým poptávkám využití oblasti pilotovanými letadly [23]. V tomto ohledu dochází k jasnému oddělení pilotovaných a bezpilotních letů. To však může působit potíže při zasazení U-space v rámci větších měst, jež mají řízená letiště v blízkém okolí. Právě zde je vhodná oproti segregaci koexistence tak, že veškerá pravidla letu budou vzájemně slučitelná a dojde tedy k integraci. Proto bude využito komplexních znalostí popsaných v kapitole 2, kdy je cílem této integrace dosáhnout, přičemž mimo jiné závisí i na samotném rozsahu geozóny UAM a v jakém rozmezí bude vymezena v závislosti na dosavadních řízených a neřízených prostorech. Toto hledisko má vliv na způsob, jakým může být provoz UAM řízen a začleněn do stávajícího leteckého prostředí [47].

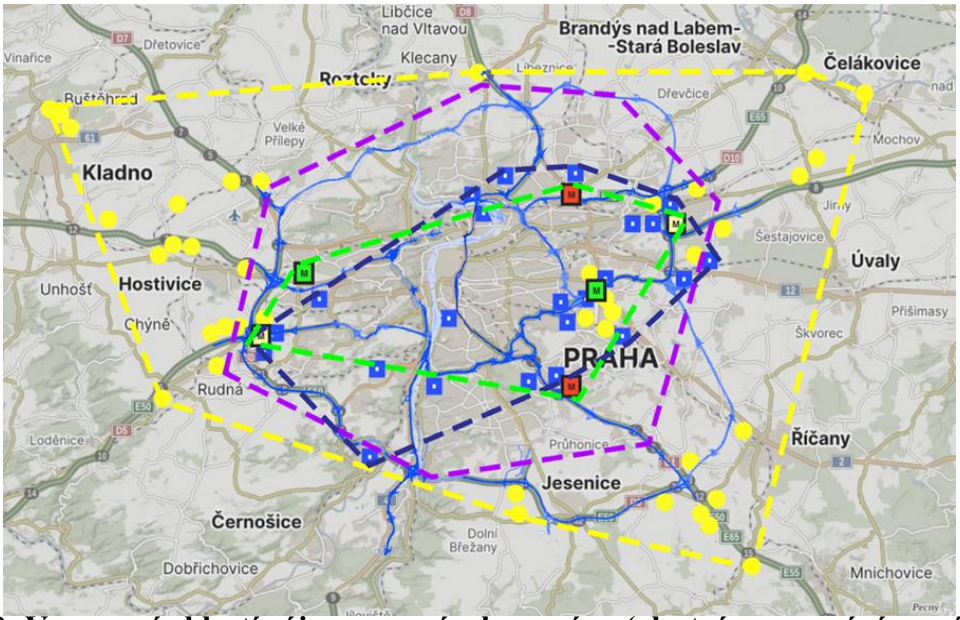
4 Návrh začlenění geozóny UAM

V této části jsou představeny výsledky práce, tedy konečné návrhy implementace geozóny UAM nad Prahou a jejich pravidla. Návrh rozsahu velikosti geozóny pro UAM je definován ve třech možnostech založených na veškerých definovaných aspektech v různém vztahu mezi pozemní a vzdušnou situací.

4.1.1 Návrh 1

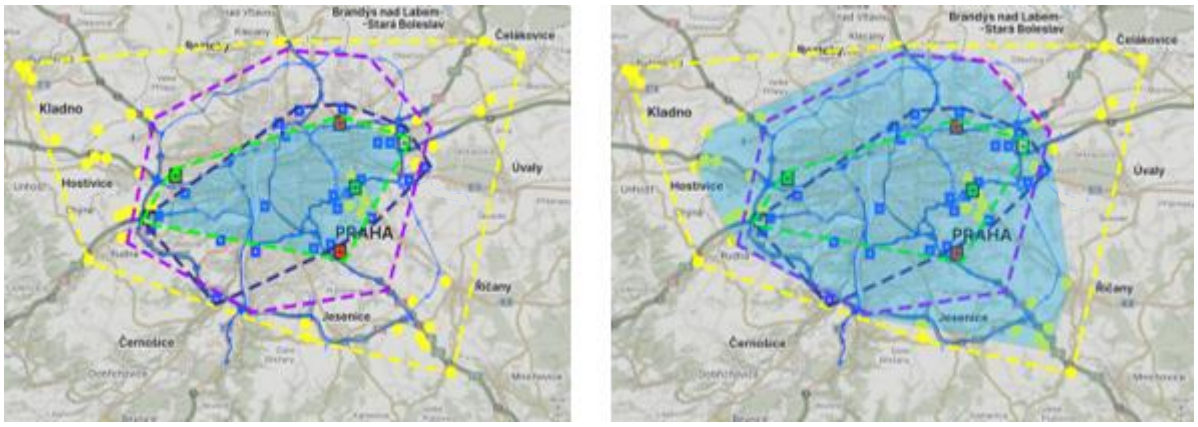
První návrh velikosti geozóny je založen na analýze stavu městské infrastruktury tak, aby provoz UAM dával co největší smysl pro samotnou lokaci, tedy Prahu. Jedním z referenčních bodů pro budoucí implementaci je současně fungující vzdušný prostor, kdy je žádoucí jednak koexistence mezi UAM a klasickým pilotovaným provozem a zároveň žádná nebo minimální interference se zavedenými postupy, vztahujícím se k jednotlivým letištím v rámci oblasti.

Na obrázku 29 je možné vidět spojení jednotlivých bodů zájmu v rámci rozličných vrstev tak, že každá z oblastí tvoří jeden propojený útvar. Jedná se o hlavní dopravní tepny, určené pro tranzitní provoz v rámci Prahy a okolí, parkoviště určená pro osoby cestující z jiných regionů, městská hromadná doprava a logistické uzly, jež mají velký význam z hlediska celé České republiky. Tento návrh dává dohromady všechny tyto aspekty s cílem minimalizovat jakékoli změny z pohledu podoby dosavadního vzdušného prostoru a zároveň vyhovět jednotlivým potřebám, které jsou přeprava cestujících na území Prahy a spojení s logistickými sklady pro přepravu nákladu a zásilek.



Obrázek 29: Vymezení oblastí zájmu pro návrh geozóny (vlastní zpracování na základě: [50], [53] a [55])

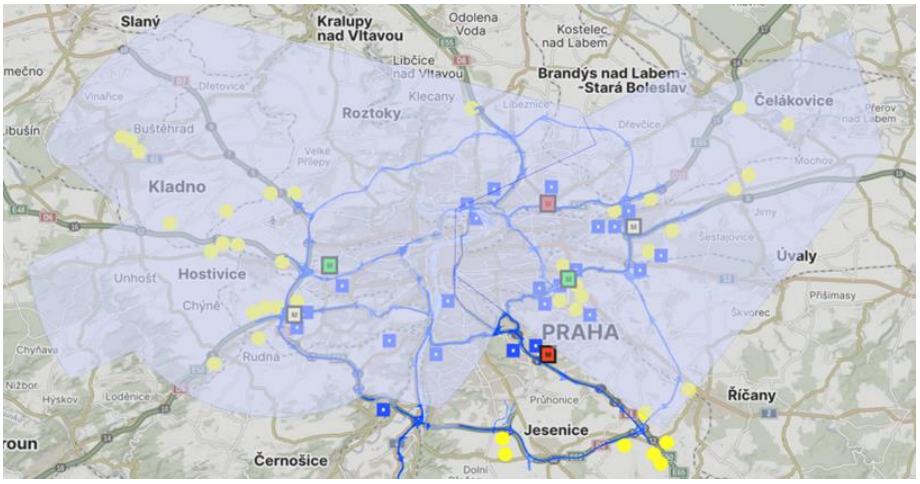
Sloučení, resp. zahrnutí těchto definovaných vrstev umožní určení velikosti geozóny pro UAM. Na obrázku 30 je možné vidět dva způsoby tohoto sloučení. První (a) je prostým průnikem daných prostorů, který ačkoli obsahuje všechny zmíněné body, tak ve skutečnosti by nebyl efektivní. Je pokryta pouze malá část území, která například nezahrnuje všechny konečné stanice metra, v tomto případě Nemocnice Motol linky A, což je zásadní bod, který by nenaplnil potřeby cestujících. Mimo jiné v ohledu přepravy osob též není přístup na letiště Václava Havla Praha, přičemž tedy chybí perspektivní aspekt, který zmiňuje studie EASA o společenské přijatelnosti UAM. Z pohledu přepravy zboží pak chybí dostupnost ke stěžejním logistickým uzlům a parkům. Druhý (b) rozšiřuje tuto oblast, která zahrnuje celou délku vnějšího okruhu, který bude v budoucnu dokončen, a právě i stěžejní logistické sklady a uzly z blízkého okolí. V tomto případě je poté zahrnuta veškerá páteřní hromadná doprava v Praze, včetně parkovišť pro dojíždějící.



Obrázek 30: Návrh geozóny pro UAM na základě vrstev zájmu. a) průnik jednotlivých oblastí zájmu, b) sloučení jednotlivých oblastí s limitací vzdálenosti logistických uzlů (vlastní zpracování na základě: [50], [53] a [55])

4.1.2 Návrh 2

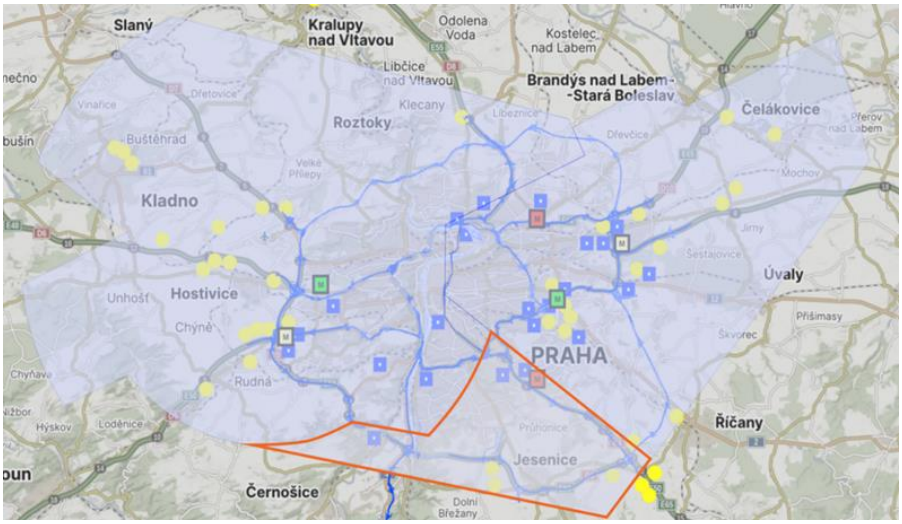
Druhý návrh navrhuje implementaci na základě již existujícího vzdušného prostoru, respektive řízených prostorů CTR Ruzyně a MCTR Kbely. V tomto případě ačkoli nedochází k pokrytí všech zaznačených míst, je zachována podoba daných CTR, což zároveň ulehčuje koexistenci jednotlivých typů provozu a způsobu řízení v rámci vzdušného prostoru a není nutné definovat nové vzdušné prostory, resp. jejich hranice Nicméně je však zřejmé, že takovýto koncept zcela neobsáhne koncepci provozu a nepokrývá všechny oblasti zájmu. Zejména pak jižní část vnějšího okruhu dálnice D0 a konečnou stanici metra C, Háje. Návrh 2 je zobrazen na obrázku 31.



Obrázek 31: Implementace geozóny UAM na základě vymezení hranic existujících vzdušných prostorů CTR Ruzyně a MCTR Kbely. (vlastní zpracování na základě: [50], [53], [55] a [57])

4.1.3 Návrh 3

Třetí z návrhů odstraňuje limitaci Návrhu 2, kde je vedle CTR Ruzyně a MCTR Kbely přidána oblast, která geozónu rozšiřuje v rámci celé aglomerace a zahrnuje tak celý vnější okruh, další parkoviště pro dojíždějící z krajů mimo Prahu, logistické uzly a v neposlední řadě rozšiřuje možnost působnosti s městskou hromadnou dopravou. Ačkoli nejsou zahrnuty všechny sklady, řešení se poté odkazuje na jednotlivá pravidla, která i tak můžou dávat možnost využívat danou oblast, kam geozóna sama o sobě nezasahuje. Tento návrh je ukázán na obrázku 32.



Obrázek 32: Geozóna rozšiřující současné CTR Ruzyně a MCTR Kbely. Přidaný obrazec pokrývá jižní část dálnice D0, konečnou stanici metra C, Háje a další logistické uzly. (vlastní zpracování na základě: [50], [53], [55] a [57])

4.2 Pravidla geozóny

Součástí začlenění geozóny s sebou také nese vhodný výběr samotných pravidel. V kapitole 2 byl popsán současný stav této problematiky a dohromady s tím též nastíněné koncepty do budoucna. Pro evropskou oblast vyplývá, že páteří těchto pravidel je U-space a jeho služby, které přináší zatím nejkomplexnější popis fungování celého ekosystému pro aplikaci UAS v širším měřítku. Ve chvíli, kdy se služby využívají současně, vzniká systém, který obsahuje přehled nad veškerým provozem, s tím, že je zajištěné zprostředkování informací všem účastníkům provozu o aktuálních podmínkách, za jakých je možno provádět let v daném vzdušném prostoru, včetně letových povolení pro konkrétní UAS a meteorologických podmínek. Existují dvě vhodné možnosti, jak UAS vhodně integrovat, které jsou dále popsány.

4.2.1 Možnost 1

V první možnosti je zohledněno vymezení geozóny, s ohledem na řízený vzdušný prostor okolo letiště, tedy CTR, kdy cílem je neoddělovat provoz na základě dynamické rekonfigurace vzdušného prostoru, ale nastavit pravidla tak, aby spolu byla kompatibilní a mohlo dojít k integraci. U-space má základ v tom, že veškerý nepilotovaný provoz, využívající dané služby musí být v rámci vymezené oblasti viditelný mezi sebou a pro pozemní segment určený pro řízení. Aby došlo k integraci, musí stejné pravidlo splňovat i pilotovaná letadla. Tato logika navazuje na koncepci pravidel UFR, která vzdušný prostor rozdělují na jednotlivé typy, respektive X, Y a Z. V rámci řízeného vzdušného prostoru, v tomto případě CTR, by byl aplikován typ Z, určený právě pro hustě obydlené oblasti s vyšším potenciálem rizik, mimo jiné díky strategické a taktické formě řešení konfliktního provozu. S ohledem na řízené vzdušné prostory je vhodný konkrétně typ Zu, který je vůbec nejkomplexnější. Podmínkou vstupu do takového vymezeného prostoru je však to, že veškerá letadla, zamýšlející činnost v geozóně s těmito pravidly, mají na palubě systém, jež dokáže vysílat a zároveň přijímat data o UAS a napojit se na poskytované služby U-space.

Mimo řízenou oblast jsou pak aplikovány typy vzdušného prostoru X a Y, kde je zachována priorita a přednost pilotovaného provozu.

4.2.2 Možnost 2

Geozóna nesmí nijak zásadně narušit fungování dosavadního leteckého provozu, nicméně vznikají komplikace z důvodu rozdílů mezi klasickým pilotovaným provozem a bezpilotním provozem. Mezi pilotovaná letadla přibude nový systém, kde komunikace a výměna dat probíhá v digitální formě a při současném stavu by nemohl být zajištěn přehled mezi všemi účastníky provozu zároveň. Je tedy žádoucí, aby UAS byly schopny příjmu informací o pilotovaných

letadlech, jejich poloze, trajektorii, výšce a rychlosti a na základě toho optimalizovaly svou trasu. V tomto případě je řešením systém, který by právě díky výměně dat veškerého viditelného provozu dokázal řídit pravidla jako je především výška letu, separace a vyhnutí se konfliktnímu provozu, právo přednosti, jež jsou ve vzdušném prostoru s vysokou intenzitou provozu základem bezpečného provedení letu. Takový způsob volby pravidel zároveň výrazně nezvyšuje nároky pro vstup do prostoru geozóny. Podobnou koncepci nastiňují pravidla DFR od NASA, která se snaží co nejméně narušit současné rozhraní vzdušného prostoru a pravidla řešit výhradně na základě posouvajících se technologií v oblasti digitalizace. Tento systém zachovává fungování pilotovaného provozu a současně s tím dosahuje integrace komplexnějších letů UAS.

4.2.3 Výběr pravidel

Popsané možnosti pravidel, ačkoli mají podobný koncept ohledně vysokého stupně digitalizace, možnosti 1 a možnosti 2 se liší hlavně podmínkami pro vstup do geozóny. Je jasné, že zavedení UAM bude postupné a také mu bude předcházet provoz v menším měřítku a budoucí rozvoj. Nicméně s ohledem právě na tento faktor je v obecné rovině vhodné uvažovat obě možnosti. Možnost 1 je vhodná právě jako první ze spuštěných pravidel, přičemž i v rámci integrace UAS do prostředí s pilotovanými letadly bude nastaven svůj vlastní systém, na kterém UAS budou fungovat a řídit se jím. V tomto případě dochází začlenění ve smyslu, že pokud letadlo splňuje podmínky pro vstup do geozóny a napojení se na sužby U-space, je to umožněno. Zároveň také nedochází k omezování pilotovaného provozu, pokud UAS vyletí z typu vzdušného prostoru Z, respektive Zu do X nebo Y, jelikož zde má pilotovaný provoz vždy přednost. V takové oblasti je fungování UAS jasně vymezeno, a tudíž zajištění bezpečného provozu u všech stran.

Možnost 2 je pak méně limitující pro všechny účastníky provozu, jelikož je zajištěna absolutní integrace veškerého provozu a nedochází k výrazným změnám v zeměpisném ohraničení jednotlivých vzdušných prostorů. UAS však musí mít svůj palubní systém, který vyhodnotí veškerá data ostatního provozu, včetně toho pilotovaného a na základě toho přizpůsobuje svůj vlastní let s ohledem na faktory jako jsou trajektorie, výška, rychlost, separace a přednost. Tato možnost je však komplexnější, jelikož jednotlivé typy provozu létají současně v jedné oblasti, která není rozdělena nebo vymezena separátně buď pro UAS nebo pro pilotovaný provoz jako je to řešeno v možnosti 1 skrze typy vzdušných prostorů X, Y a Z. Se zavedením UAM a jeho postupným vývojem i v oblasti zlepšujících se technologií je proto vhodné zprvu uvažovat pravidla v možnosti 1 a následně až možnost 2. V tomto ohledu je vhodné uvažovat i to, že zprvu bude hrát velkou roli ATM a až postupem času se bude plně rozvíjet koncept UTM. Oba koncepty

spolu však musí kooperovat, aby byla zajištěna bezpečnost letu. V tabulce 4 jsou ukázány zásadní rozdíly v integraci mezi provozem s posádkou na palubě a UAS. Jedná se o základní aspekty, které jsou vymezení geozóny pro UAS, koexistenci s pilotovaným provozem a způsob řízení provozu UAS.

Tabulka 4: Rozdílné faktory mezi možností 1 a 2 pravidel v geozóně [vlastní zpracování]

Faktory	Možnost 1	Možnost 2
Vymezení geozóny pro UAS	Jasně vymezená geozóna, zasazená do daného vzdušného prostoru.	Rozhraní vzdušného prostoru nepotřebuje výrazné změny ve vymezení a je pouze vyznačena oblast pro lety UAS, která však může být shodná s vymezením vzdušných prostorů pro pilotované lety (př. CTR).
Koexistence s pilotovaným provozem	UAS mají vymezenou oblast, kde platí pravidla jednotlivých typů vzdušných prostorů X, Y a Z.	Integrace je zajištěna pomocí systému, který UAS zprostředkovává údaje o veškerém ostatním provozu, včetně toho s posádkou na palubě, kde na základě těchto dat optimalizuje svůj vlastní let s ohledem na výšku, rychlost, separaci, přednost a trajektorii.
	Pokud chce letadlo s posádkou na palubě vstoupit do geozóny, musí mít schopnost napojení se na poskytované služby.	
Způsob řízení provozu	Na základě úvahy, že možnost 1 by měla být aplikována jako první, dochází k silnému zapojení současného ATM, a to především v případech, kdy budou UAS nebo pilotovaná letadla vzájemně využívat své vzdušné prostory nebo geozónu.	Na základě úvahy, že možnost 1 by měla být aplikována jako druhá, až tomu technologie umožní, provoz bude fungovat čistě pod UTM.

5 Diskuse

Tato diplomová práce se zaměřuje na tvorbu geozóny UAM nad aglomerací, v tomto případě Prahou, aby zároveň umožňovala koexistenci provozu UAM, který může být bezpilotní, se současným provozem letadel s posádkou na palubě. V konečně podobě byly vytvořeny 3 možné podoby výsledků. Výsledkům přechází metodická část, která zprvu řeší právě podmínky, které je nutno splnit pro tvorbu nového vzdušného prostoru, které jsou zároveň legislativní a technické. Tyto podmínky jsou koncipovány na současný systém, tedy konvenční pilotované letectví, a tudíž nelze ze všeho vycházet systematicky ve výsledkové části. Dnes jasně daný postup pro tvorbu geozóny pro UAM neexistuje a práce to tedy částečně řeší i na základě vlastně uvážených faktorů. Tyto faktory jsou obsaženy v dalším postupu, kdy je na jejich základech vybrána lokalita pro implementaci geozóny, kde se jedná o Prahu. Praha je jako taková též zohledněna ve studii EASA o společenské přijatelnosti UAM, kde se dostala do výběru 20 měst s potenciálem zavedení tohoto druhu dopravy. Jako nejlepší využití je zde vybrán takzvaný „Airport Shuttle“ neboli doprava na letiště, což dnes dává smysl zejména díky dosud nepostavené železniční trati, která by zde vedla. Nicméně Praha má určitě mnohem více co nabídnout, a proto byly vybrány další faktory, kterými jsou přeprava nákladu a přeprava osob za účelem odlehčení hlavním komunikačním tahům a MHD. Vzhledem k historickému postavení Prahy jako významnému logistickému uzlu a díky vysokému počtu velkých skladů nejenom nadnárodních spedičních společností je přeprava nákladu vhodná a zapadá i do samotné koncepce provozu UAM. Vedle toho je známo, že i přes špičkové MHD je město sužováno čím dál větším počtem osobních aut a dostat se z bodu A do bodu B může být během dne náročné. Právě tady je využita výhoda využití vzdušné cesty zejména ve výrazném zkrácení doby přepravy. Faktory jsou komplexněji rozvedeny postupně, přičemž jsou znázorněny veškeré logistické sklady a centra v Praze a přilehlém okolí. Pozemní komunikace se poté odkazuje na data Technické správy komunikací za rok 2022, která ukazují nejvytíženější úseky hlavních a tranzitních tahů. Nutno podotknout, že do mapky s daty jsou přidané i úseky, které se teprve plánují nebo staví, kdy nejvyšší váhu má vnější okruh. A nakonec je zohledněno i pražské metro, které je nejvíce využívaný druh MHD pro osoby dojíždějící za prací, studiem atd. z jiných regionů.

Všechny tyto znalosti jsou propojeny do návrhu vymezení geozóny a zvolení pravidel. Samotná geozóna má 3 samostatné návrhy. Ten první spojuje všechny aspekty, které mají přidanou hodnotu pro zavedení UAM v rámci Prahy, kdy se jedná o logistické uzly, pozemní komunikace a veřejnou dopravu. Výsledkem je útvar, který toto vše zahrnuje a vytváří tak samostatný prostor uvnitř CTR Ruzyně. Návrh 2 má snahu o co největší a zároveň nejjednodušší integraci do současného vzdušného prostoru, a proto má stejné vymezení jako CTR Ruzyně a MCTR Kbely, kde jsou obsažené veškeré zájmové oblasti. Třetí a poslední návrh upravuje návrh 2 a přidává mezi CTR Ruzyně a MCTR Kbely výplň, která geozónu rozšiřuje a zahrnuje tak kompletní soubor aspektů pro tvorbu geozóny jako je jižní část pražského vnějšího okruhu a logistické uzly. Mimo jiné i další vytížené oblasti pro MHD. Tato pravidla se odkazují na DFR, vytvářené americkou NASA. Popsaná pravidla v této práci mají dvě možnosti. Možnost 1 splňuje předpoklady koncepce U-space a navazuje na pravidla UFR tím, že určuje přesně vymezenou oblast pro provoz UAS, respektive UAM, do které je možno za předem splněných podmínek vlétnout i v rámci pilotovaného letectví. Podmínky jsou především schopnost napojení se na služby U-space a případná viditelnost pro ostatní provoz tak, aby nehrozilo riziko kolize. Pravidla UFR jsou relevantní z důvodu rozdělení typů vzdušného prostoru na X, Y a Z s tím, že v geozóně by byla splňována pravidla typu Z a mimo ni X nebo Y na základě situace, což je vzhledem k rozmanitosti okolních prostorů vhodné pro zachování integrity jednotlivých typů provozu. Pravidla možnosti 2 pravidla vyžadují takovou míru digitalizace, kdy jsou UAS schopny vidět všechen ostatní provoz, včetně s posádkou na palubě a na základě toho volí svou trasu. Takováto pravidla zajišťují koexistenci a také co nejmenší nároky na dosavadní pilotované letectví. S ohledem na budoucí vývoj se pravidla v návrhu 1 jeví jako vhodná volba během počátků spuštění UAM, kdy provoz bude více separován a budou kladeny vyšší nároky na lety mezi geozónou a prostory obecně tvořené pro letadla s posádkou. Druhý návrh pravidel se dá považovat za úplnou integraci a koexistenci UAS a letů s piloty na palubě, avšak je technicky náročnější, a proto se hodí do doby, kdy bude provoz UAM běžnou součástí leteckého prostředí a technologie dané doby pravidla umožní.

Práce svou analýzou a vytvořenými návrhy splnila veškeré vytyčené body, avšak poukázala na zatím nedostatečné specifikace, které by byly spojené do jednoho uceleného postupu. Jednak se jedná o předpisovou základnu v rámci prostředí EASA a technické faktory s tím spojené. Je také

nutno vzít v potaz, že u tohoto nového typu letecké dopravy se teprve rýsuje konkrétní podoba a jednotlivé regionální letecké dozorčí orgány mají v určitých aspektech vlastní postup. Řeč je hlavně o rozdílu v evropských a amerických společnostech a organizacích, které mají své představy, jak by na daném území mohl provoz UAM vypadat a jaká bude mít pravidla. Dosud také neexistuje jasně daná metodika, která by specifikovala konkrétní postup v bodech, které jsou v této práci obsažené. Proto je využito zatím omezených detailů, které se však odrážejí v definici provozu UAM.

6 Závěr

Budoucí vývoj v letecké dopravě poukazuje na mnohem častější zapojení UAS, a to i v komerčním režimu jako je UAM. V poslední době vývoj ušel dlouhou vzdálenost kupředu, ale i tak je zatím vše v počátečním stádiu. Výhled nejenom EASA je takový, že UAM bude v budoucnu přelomem v letectví a stane se součástí běžného života minimálně ve větších městech, a proto je potřeba řešit otázky, které implementaci UAM umožní.

Tato práce měla za cíl vytvoření geozóny nad pražskou aglomerací s definicí pravidel, aby byla umožněna koexistence bezpilotního provozu s letadly s posádkou na palubě pro UAM. Vzhledem ke konkrétním návrhům v kapitole 4, týkajících se vymezení oblasti pro geozónu UAM a pravidel v ní je cíl práce splněn. Jsou navrženy tři možné rozsahy geozóny a dva koncepty pravidel v ní platící. V jednom návrhu geozóny bylo využito převážně vlastní metodiky na základě předem popsaných aspektů a oblastí zájmu. Ostatní dva návrhy více zohledňují současné uspořádání vzdušného prostoru vzhledem k CTR Ruzyně a MCTR Kbely, kdy má v jedné variantě geozóna shodné vymezení s těmito vzdušnými prostory a ve variantě druhé je pouze rozšiřuje, aby byla pokryta veškerá cílová oblast. Pravidla dosti korelují s koncepty UFR v možnosti 1 a DFR v možnosti 2, jež jsou zatím nejvíce popsaná. Základem je silná digitalizace, která pravidla umožní využívat. V práci je také zmíněna myšlenka o vývojovém stupni ve využívání pravidel, přičemž možnost 2 mnohem perspektivněji splňuje pravidlo koexistence jednotlivých druhů provozu. Nicméně jsou technologicky náročnější a spíše otázkou vzdálenější budoucnosti oproti možnosti 1. Vhodné je tedy aplikovat pravidla návazně za sebou.

Limitace práce zmiňuje především nedostatečnou legislativní základnu, která by UAM dávala jasnější rysy. Mimo to je nutnost tvorby nových pravidel a vývoj technologií, který umožní to, jakou konečnou podobu by UAM mělo mít.

Metodická část je kvůli zatím chybějícímu oficiálnímu postupu udělána z části ze současných předpisů ohledně tvorby vzdušného prostoru a studií UAM a z části konkrétních specifik Prahy a okolí, které zapadají do koncepce provozu. Výsledky poté splňují zadané cíle a popisují možné podoby geozón s jejími pravidly, včetně integrace do současného pilotovaného letectví a koexistenci s ním. Tvorba těchto návrhů však poukázala na zatím nedostatečné specifikace, které

by byly spojené do jednoho uceleného postupu. Jednak se jedná o předpisovou základnu, která v rámci prostředí EASA a technické faktory s tím spojené.

Práce se potýká s několika nezanedbatelnými limitacemi, které mohou více či méně ovlivnit celkovou efektivitu navrhnutého řešení geozóny a pravidel pro UAM. Jako taková poukázala i na výzvy spojené s provozem UAM v kontextu vzdušného prostoru a chování v něm, ale i přes tato omezení se zatím jedná o jediný komplexní návrh, jež se snaží tuto problematiku řešit hlouběji a systematicky zohledňuje různé relevantní proměnné a aspekty v této oblasti.

Myšlenka rozvoje UAM je rozhodně taková, že UAM v budoucnu vstoupí do světa letectví a bude jeho součástí, nicméně současný stav není takový, aby umožnil náhlou aplikaci tohoto systému do praxe. Proto je dále vhodné navázat na návrh této diplomové práce a v budoucnu rozpracovat ve větším detailu především v oblasti využití pravidel letu DFR/ UFR, aspektům, které předcházejí vymezení geozóny a zvolení vhodných procedur s ohledem na ostatní provoz, především letadla s posádkou na palubě.

7 Použité zdroje

[1] EASA. FREQUENTLY ASKED QUESTIONS ON UAM [online]. [cit. 2023-08-11]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/en/downloads/127750/en

[2] EASA. URBAN AIR MOBILITY 10 KEY SURVEY RESULTS [online]. [cit. 2023-08-11]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/infographics_2_-_10_key_results_download.pdf

[3] BOEING. Concept of Operations for Uncrewed Urban Air Mobility [online]. [cit. 2023-08-11]. Dostupné z: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/innovation/con-ops/docs/Concept-of-Operations-for-Uncrewed-Urban-Air-Mobility.pdf

[4] ŘLP ČR, S.P. Letecký předpis L2 [online]. [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/print/L-2_cely.pdf

[5] ŘLP ČR, S.P. Letecký předpis L11 [online]. [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-11/data/print/L11_cely.pdf

[6] LIBRETEXTS ENGINEERING. Navigation charts [online]. [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Aerospace_Engineering/Fundamentals_of_Aerospace_Engineering_%28Arnedo%29/10%3A_Air_navigation-_ATM/10.06%3A_Flight_plan/10.6.03%3A_Navigation_charts

[7] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Omezený prostor LKR10 - UAS [online]. [cit. 2023-08-20]. Dostupné z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/20201230162623731.pdf

[8] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. FAQ – často kladené dotazy [online]. [cit. 2023-08-28]. Dostupné z: https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/faq-casto-kladene-dotazy/

[9] FAA. Concepts of Operations v2.0 [online]. [cit. 2023-11-30]. Dostupné z: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban%20Air%20Mobility%20%28UAM%29%20Concept%20of%20Operations%202.0_0.pdf

[10] EASA. Cover Regulation to Implementing Regulation (EU) 2019/947 [online]. [cit. 2023-08-28]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-

publications/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems?page=4

[11] EUROCONTROL. UAS ATM Flight Rules [online]. [cit. 2023-08-28]. Dostupné z: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/uas-atm-flight-rules-v1.1-release-20181127.pdf

[12] Barrado C, Boyero M, Brucculeri L, Ferrara G, Hately A, Hullah P, Martin-Marrero D, Pastor E, Rushton AP, Volkert A. U-space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations. Aerospace. [online]. [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://www.mdpi.com/2226-4310/7/3/24

[13] CORUS-XUAM. U-space ConOps (edition 3.10) [online]. [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://corus-xuam.eu/wp-content/uploads/2022/11/CORUS-XUAM-D4.1-delivered_3.10.pdf

[14] ICAO. Doc 4444-ATM/50 - AIR TRAFFIC MANAGEMENT [online]. [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/FPL%202012%20ICAO%20EUR%20Region%20Plan/Documentation%20related%20to%20FPL%202012%20Amendment/Amendment%201%20Doc4444.EN.pdf

[15] SKYBRARY. Classification of Airspace [online]. [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://skybrary.aero/articles/classification-airspace

[16] ŘLP ČR, S.P. Letecká informační příručka [online]. [cit. 2023-09-15]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

[17] ŘLP ČR, S.P. VFR Příručka [online]. [cit. 2023-09-28]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/gen_1_cz.html

[18] AIRGURU. Druhy vzdušných prostorů [online]. [cit. 2023-09-28]. Dostupné z: https://www.airguru.cz/clanky/rozdeleni-vzdusneho-prostoru-ii

[19] https://www.icao.int/safety/UA/Documents/UTM-Framework.en.alltext.pdf

[20] ECAC. UAS Bulletin [online]. [cit. 2023-09-28]. Dostupné z: https://www.ecac-ceac.org/images/news/uas-bulletin/UAS_Bulletin_2021_02.pdf

[21] UNMANNED AIRSPACE. Germany awards EUR0.87 million grant to LUV consortium to support U-space research [online]. [cit. 2023-09-28]. Dostupné z: https://www.unmannedairspace.info/latest-news-and-information/germany-awards-eur0-87-million-grant-to-luv-consortium-to-support-u-space-research/

[22] EUR-LEX. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/664 [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN

[23] EU. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/665 [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0665

[24] EUR-LEX. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/666 [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0666

[25] SKYBRARY. UAS [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://skybrary.aero/articles/unmanned-aerial-systems-uas

[26] EASA. Civil drones (unmanned aircraft) [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones

[27] EASA. Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe [online]. [cit. 2023-10-10]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf

[28] WING. Collaboratively creating an end-to-end ecosystem. [online]. [cit. 2023-10-15]. Dostupné z: https://wing.com/ecosystem/

[29] MANNA. Drone delivery made simple [online]. [cit. 2023-10-15]. Dostupné z: https://www.manna.aero/#HowItWorks

[30] MILITARY AEROSPACE. Urban air mobility gaining traction [online]. [cit. 2023-10-15]. Dostupné z: https://www.militaryaerospace.com/uncrewed/article/14288355/urban-air-mobility-enabling-technologies-automation-artificial-intelligence-ai

[31] AIRBUS. Urban Air Mobility Taking urban transport into the sky [online]. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/urban-air-mobility

[32] AIRBUS. CityAirbus NextGen Fully-electric and integrated urban air mobility [online]. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen

[33] EVTOL NEWS. Airbus Reveals NextGen eVTOL Concept [online]. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://evtol.news/news/airbus-reveals-nextgen-evtol-concept

[34] LILIUM. Introducing the first electric vertical take-off and landing jet [online]. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: https://lilium.com/jet

[35] JOBY AVIATION. Our Story [online]. [cit. 2023-10-22]. Dostupné z: https://www.jobyaviation.com/about/

[36] GREEN BIZ. 7 urban air mobility companies to watch [online]. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: https://www.greenbiz.com/article/7-urban-air-mobility-companies-watch

[37] URBAN AERONAUTICS. THE CITYHAWK AIR TAXI [online]. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z: https://www.urbanaero.com/air-taxi

[38] VOLOCOPTER. WE AIM TO LAUNCH UAM FIRST A new dimension of urban mobility [online]. [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: https://www.volocopter.com/urban-air-mobility/

[39] ICAO. *Doc 8168* [online]. [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/11/ICAO-Doc-8168-Volume-I-Flight-Procedures.pdf

[40] EUROCONTROL. EUROCONTROL MANUAL FOR AIRSPACE PLANNING Volume 2 [online]. [cit. 2023-11-08]. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/pbn/Documentation/EUROCONTROL/Eurocontrol%20Manual%20for%20Airspace%20Planning.pdf

[41] ICAO. ICAO ANNEX 4 [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://aviation-is.better-than.tv/icaodocs/Annex%204%20-

%20Aeronautical%20Charts/Annex%204%20Aeronautical%20Charts,%20Edition%20no%201 1.pdf

[42] ICAO. ICAO ANNEX 15 [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.icao.int/ESAF/Documents/ICAO-IATA-EURO%20CONTROL%202017/FINAL%20%20PDF%20Papers/DP-1D%20-%20Consolidated%20%20Annex%2015.pdf

[43] ICAO. Doc 8126 Aeronautical Information Services Manual [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.icao.int/NACC/Documents/eDOCS/AIM/8126_unedited_en%20Jul2021.pdf

[44] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Politika uspořádání vzdušného prostoru České republiky [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2023/09/006286-23-701Politika-CR_CS-EN_ver-4.0-FINAL-002.pdf?cb=70d0a6e60203bef07bb0d476ef6c8c89

[45] ZÁKONY PRO LIDI. Zákon č. 49/1997 Sb. o civilním letectví [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49

[46] ZÁKONY PRO LIDI. PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2017/373 [online]. [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=32017R0373

[47] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Aktualizace Politiky uspořádání vzdušného prostoru ČR [online]. [cit. 2023-11-15]. Dostupné z: https://www.caa.cz/news/aktualizace-politiky-usporadani-vzdusneho-prostoru-cr/

[48] LOGISTIKA EKONOM. Praha - nejstarší a největší logistická lokalita [online]. [cit. 2023-11-15]. Dostupné z: https://logistika.ekonom.cz/c1-54498170-praha-nejstarsi-a-nejvetsi-logisticka-lokalita

[49] SUSTAINABLE REVIEW. Exploring the Future of Urban Air Mobility (UAM): Key Concepts and Innovative Technologies [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://sustainablereview.com/exploring-the-future-of-urban-air-mobility-uam-key-concepts-and-innovative-technologies/

[50] COLLIERS. WAREHOUSES FOR RENT [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://www.propertymaps.cz/en/sklady?fbclid=IwAR33pRp8EUapBISGjt9fmuRNzHILC48gjKkdbVuwQunTWLSZan7tGdADIQs

[51] #VISITCZECHIA. Prague has the 2nd best public transport system in the world Source: [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://www.visitczechia.com/en-US/9cef5c28-0463-460d-9b0c-0d446bbca304/article/n-prague-public-transport-second-best-in-world

[52] SPRÁVA ŽELEZNIC. Železnice na letiště [online]. [cit. 2023-11-19]. Dostupné z: https://www.spravazeleznic.cz/zeleznice-na-letiste/zakladni-informace

[53] PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA. Autobusy [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://pid.cz/autobusy/

[54] PORTÁL ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ HL. M. PRAHY. Ovzduší v Praze - rychle a stručně [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: https://portalzp.praha.eu/jnp/cz/ovzdusi/souhrnne_informace_statistika/ovzdusi_v_praze_strucne_a_rychle.xhtml

[55] MĚSTSKÝ OKRUH A LIBEŇSKÁ SPOJKA. Časté dotazy [online]. [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: https://mestskyokruh.info/mo/caste-dotazy/

[56] TECHNICKÁ SPRÁVA KOMUNIKACÍ HL. M. PRAHY, A.S. Ročenka dopravy 2022 [online]. [cit. 2023-10-07]. Dostupné z: https://www.tsk-praha.cz/static/udi-rocenka-2022-cz.pdf

[57] ŘLP ČR, S.P. AisView 3.9. AisView 3.9 [online]. [cit. 2023-11-23]. Dostupné z: https://aisview.rlp.cz/

[58] EASA. Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air (SERA) [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/en/downloads/68174/en

[59] ŘLP ČR, S.P. DronView [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: https://dronview.rlp.cz/

[60] ČERNÝ, Michal (2022).“Analýza odpovědi odpovídačů na dotazy sekundárního radaru.“[Výsledky]. Praha, Fakulta Dopravní ČVUT.