ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav letecké dopravy

Pravidla vzniku U-space prostorů

The Rules for Implementing of U-space Airspace

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.

Ing. Šárka Hulínská

Bc. Michal Černý

Praha 2022

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. Michal Černý

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterské – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Pravidla vzniku U-space prostorů**

Název tématu (anglicky): **The Rules for Implementing of U-space Airspace**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout použitelná pravidla pro definování vzdušných prostorů zpřesňující provoz bezpilotních systémů, včetně pravidel pro vznik vzdušných prostorů U-space v ČR.
- Vzdušný prostor ČR a provoz v něm
- Integrace UAS do vzdušného prostoru
- Návrh pravidel vzniku vzdušných prostorů U-space
- Aplikace návrhu na Českou republiku
- Zhodnocení návrhu a možností vývoje

Rozsah grafických prací: Podle 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: Nařízení (EU) 2019/947, Nařízení (EU) 2019/664
EUROCONTROL: UAS ATM Airspace Assessment, ed. 1.2, listopad 2018
Concept of operations for European UTM systems - CORUS project

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

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2021**
(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: **16. května 2022**
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 Ústav letecké dopravy

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Michal Černý
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... **16. července 2021**

Abstrakt

Bezpilotní systémy prošly v posledním desetiletí rapidním vývojem. Tento technologický pokrok umožňuje jejich využití v rámci průmyslu a dalších odvětví lidské činnosti. Jejich hromadnější využití ovšem znemožňuje absence bezpečného a efektivního způsobu organizace tohoto druhu provozu s ostatními účastníky vzdušného prostoru. V rámci Evropské unie byl tento koncept označen U-space. Skrze poskytování služeb U-space má následně dojít k harmonizaci provozu UAS s letadly s pilotem na palubě. Tato technologie je v současné době připravena a umožňuje vytvoření prvních zkušebních prostorů U-space, a to i na území České republiky. Přesto v tuto chvíli neexistuje nástroj, skrze který by bylo možné určit vhodnost zavedení prostorů U-space ve zvolených oblastech. A právě na tuto oblast se zaměřuje tato diplomová práce, přičemž výsledkem práce je metoda určující vhodnost vzniku vzdušného prostoru U-space.

Klíčová slova

metoda, bezpilotní systém, faktor, riziko, U-space, velmi nízký prostor

Abstract

Unmanned aircraft systems have undergone rapid development in the last decade. This technological advancement allows their use in industry and other sectors of human activity. However, in order to increase their area of deployment there is a need for safe and effective way of harmonising this type of operation with other current airspace users. Within the European Union this concept has been designated as U-space Airspace. Through the provision of U-space services, the combination of unmanned and manned operations in the same part of the airspace is possible. The required technology for creation of U-space Airspace including Czech Republic is ready. Nevertheless, at this moment there is no tool through which it would be possible to determine the suitability of introducing U-space Airspace in the selected areas. This is the area that this thesis focuses on, and the result of the thesis is a method determining the suitability of the creation of U-space Airspace.

Keywords

method, factor, risk, unmanned aerial system, U-space, very low level

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji doc. Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. a Ing. Šárce Hulínské za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu psaní diplomové práce. Také bych rád poděkoval celé mé rodině a blízkým za podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 16. května 2022

.....

podpis

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
AFIS	Aerodrome Flight Information Service	Letištní letová informační služba
AGL	Above Ground Level	Výška od povrchu Země
AMSL	Above Mean Sea Level	Metrů nad mořem
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATZ	Aerodrome Traffic Zone	Letištní provozní zóna
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	(Provoz) mimo vizuální dohled
CNS	Communication, Navigation, Surveillance	Komunikační, navigační a přehledové systémy
CTR	Control Zone	Řízený okrsek letiště
DAA	Detect and Avoid	Detekovat a vyhnout se
DPIA	Data Protection Impact Assessment	Posouzení vlivu na ochranu osobních údajů
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agentura Evropské Unie pro bezpečnost letectví
EU	European Union	Evropská unie
FL	Flight Level	Letová hladina
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální družicový polohový systém
GRC	Ground Risk Class	třída rizika na zemi
IFR	Instrument Flight Rules	Let podle přístrojů
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
JARUS	Joint Authorities for the Rulemaking of Unmanned Systems	Sdružení úřadů pro předpisovou činnost v oblasti bezpilotních systémů
MEDUSA	Methodology for the U-Space Safety Assessment	Metodika pro posouzení bezpečnosti prostoru U-space
MTOW	Maximum Take Off Weight	Maximální vzletová hmotnost
OSO	Operational Safety Objective	Cíl provozní bezpečnosti
SAIL	Specific Assurance and Integrity Level	Specifická úroveň zabezpečení a integrity
SESAR	Single European Sky ATM Research	Program výzkumu uspořádání letového provozu jednotného evropského nebe

SORA	Specific Operations Risk Assessment	Posouzení rizika specifické kategorie provozu
SRM	Safety Risk Management	Řízení bezpečnostního rizika
TMA	Terminal Control Area	Koncová řízená oblast
UAS	Unmanned Aircraft Systems	Bezpilotní systém
USP	UTM Service Provider	Poskytovatel služeb UTM
USSP	U-space Supplementary Service Provider	Poskytovatel služeb U-space
UTM	Unmanned Aircraft System Traffic Management	Řízení bezpilotního provozu
VLOS	Visual Line of Sight	(Provoz) ve vizuálním dohledu
VLL	Very Low Level	Velmi nízký prostor

Obsah

Úvod 9
1. Analýza současného stavu 10
1.1. Vzdušný prostor ČR a provoz v něm 10
1.2. Integrace UAS do vzdušného prostoru 14
1.3. U-space 16
1.4. Subjekty U-space 18
1.5. Analýzy provozní bezpečnosti 20
2. Návrh metody hodnocení 24
2.1. U-space a stávající rozdělení vzdušného prostoru 24
2.2. Plánovaná koncepce provozu 25
2.3. Kladné a záporné dopady zavedení prostoru U-space 27
2.3.1. Ekonomický přínos 28
2.3.2. Obecný prospěch 29
2.3.3. Pokrytí vybavením CNS 30
2.3.4. Výzkumná činnost 32
2.3.5. Pozemní riziko 33
2.3.6. Hluk 38
2.3.7. Omezení vstupu současným uživatelům 40
2.3.8. Zatížení ATC 43
2.3.9. Vizuální smog 45
2.3.10. Dopad na životní prostředí 46
3. Aplikování metody na modelové scénáře 48
3.1. CTR Ruzyně 48
3.2. Tovární komplex Mladá Boleslav 53
3.3. Přeprava zásilek do výdejního boxu v Praze 55
3.4. Přeprava krve v Českých Budějovicích 59
4. Diskuse 64
Závěr 66
Použité zdroje 68
Seznam obrázků 70
Seznam tabulek 71

Úvod

Bezpilotní systémy, veřejností označované spíše jako drony, zaznamenaly v posledním desetiletí skokový růst. Již dnes se těší hojné oblibě mezi amatérskými piloty pro svou jednoduchost a všestrannost, nicméně začínají být také využívány pro komerční činnost. V současné době jsou využívány především v zemědělství, inspekcích infrastruktury, snímkování či doručování zásilek koncovým zákazníkům. K těmto úkolům jsou využívány především z důvodu zvýšení efektivity práce a celkovému snížení nákladů. Jejich budoucí využití v průmyslu bude doprovázeno ekonomickými příležitostmi, které možná dalece předčí začátky letectví s pilotem na palubě.

Pro maximální využití jejich ekonomického a průmyslového potenciálu je nicméně nutné umožnit monitorování a organizování jejich provozu. Bezpilotní systémy začínají operovat i v částech vzdušného prostoru, ve kterých hrozí konfliktní situace s letouny s pilotem na palubě. Předcházení a řešení těchto situací si klade za cíl evropský koncept U-space od EUROCONTROL. U-space sestává ze skupiny služeb, které budou poskytovány dronům a jejich operátorům. Tyto služby budou podporovat provoz skrze poskytování důležitých informací, například o počasí či okolním provozu.

V současné době se zdá, že technologie nutné pro zavedení prvních zkušebních prostorů U-space již existují. Nicméně stále neexistuje nástroj, skrze který by bylo možné jednoznačně určit, kde se mají tyto první prostory nacházet. Zvolení nevhodných lokalit, například ve vztahu k nezúčastněným osobám, by zhoršilo celkový přístup veřejnosti k tomuto odvětví civilního letectví.

Cílem této diplomové práce je navrhnout metodu, která umožní ohodnotit vhodnost zavedení prostoru U-space v dané lokalitě. Nejprve jsou identifikovány kladné a záporné faktory provázející vytvoření prostoru U-space ve stanovené oblasti. Tyto faktory jsou následně ohodnoceny z finančního hlediska, jelikož pouze ekonomická výhoda tohoto nového konceptu umožní jeho další vývoj do budoucna.

V následujícím kroku je takto navržená metoda aplikována na vybrané modelové scénáře, které korespondují s očekávaným způsobem využití UAS v blízké budoucnosti. Na základě získaných výsledků je nakonec rozhodnuto o správnosti metody a možnostech jejího využití pro určování vhodnosti zavedení prostorů U-space v daných lokalitách.

1. Analýza současného stavu

Rozvoj bezpilotních systémů a myšlenka U-space je dalším krokem ve vývoji organizace letového provozu a rozdělení vzdušného prostoru. Z tohoto důvodu je zásadní představit současný stav rozdělení vzdušného prostoru České republiky a dosavadní způsoby integrace provozu bezpilotních letadel, včetně myšlenky U-space a existujících důvodů nevhodnosti aktuálního rozdělení vzdušného prostoru ve vztahu k bezpilotnímu letectví.

1.1. Vzdušný prostor ČR a provoz v něm

Vzdušný prostor nad územím České republiky je rozdělen dle standardu ICAO v rámci Leteckého předpisu L2 [1], což zahrnuje horizontální a vertikální členění. Pro provoz v rámci konvenčního letectví je tím vytvářen systém, který má cíl vytvořit bezpečné prostředí, které umožňuje řízení letového provozu a snižuje riziko vzdušného konfliktu či škodu vzniklou pádem letadla na zem.

Vertikálně je vzdušný prostor dělen do 7 tříd dle standardu ICAO, které jsou označeny písmeny A-G. V České republice jsou uplatňovány pouze prostory C, D, E a G. Vzdušný prostor třídy G se nachází nejníže. Sahá přímo od země až do výšky 300 metrů AGL (Above Ground Level). Pro let v této třídě vzdušného prostoru není nutné letové povolení ani vybavení pro navázání rádiového spojení. Důležité je zmínit, že do prostoru třídy G nespadají řízené okrsky (CTR, Control Zone).

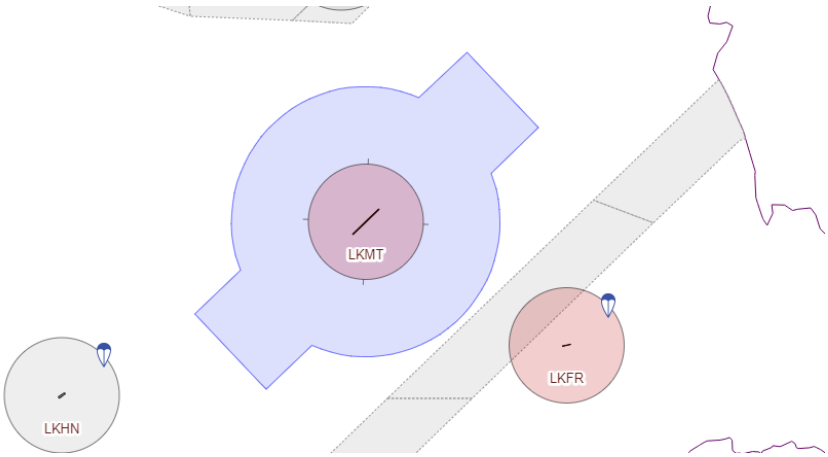
Nad ním se nachází vzdušný prostor třídy E. Ten sahá od 300 metrů AGL do FL95. Pro vstup do tohoto vzdušného prostoru musí lety IFR (Instrument Flight Rules) podat letový plán, získat letové povolení a disponovat oboustranným rádiovým spojením mezi letadlem a ŘLP (Řízení letového provozu). Letům IFR jsou dále poskytovány rozestupy mezi sebou spolu s informacemi o provozu VFR, pokud je to možné. Oproti tomu lety VFR nemusí disponovat rádiovým spojením, letovým plánem ani nemusí získat letové povolení pro vstup do vzdušného prostoru třídy E. Stejně jako u předchozí třídy vzdušného prostoru ani třída E nezasahuje do CTR. Zároveň nezasahuje do koncové řízené oblasti (TMA, Terminal Control Area).

Nejvýše položená část vzdušného prostoru je definována třídou C. Zasahuje od FL95 do FL660 tedy od 9500 do 66000 stop, pokud je barometr nastavený na hodnotu 1013,25 hPa. Jelikož se jedná o prostor, ve kterém se odehrává většina komerčního provozu velkých dopravních letadel, platí zde nejpřísnější pravidla. Lety IFR i VFR jsou předmětem letového povolení, letového

plánu a zároveň musí disponovat oboustranným rádiovým spojením s ŘLP. Letům IFR jsou navzájem poskytovány rozestupy a zároveň jim jsou předávány informace o provozu VFR.

Poslední třída vzdušného prostoru, která se nachází v České republice, nese označení D. Spadají do ní pouze prostory CTR. Obdobně jako u předchozí třídy vzdušného prostoru jsou lety IFR i VFR předmětem letového povolení a musí disponovat oboustranným spojením s ŘLP. Podaný letový plán se nicméně vztahuje pouze na lety IFR. Rozestupy se poskytují pouze letům IFR navzájem, nicméně o letech VFR jsou podávány informace.

Mimo rozdělení na vzdušné třídy jsou dále aplikovány vymezené prostory, které jsou definovány uzavřenou křivkou v mapě spolu s výškovým určením. Například CTR jsou definovány v okolí řízených letišť. Nejčastěji se jedná o kombinaci kruhové plochy se středem v dráhovém systému letiště a obdélníků položených ve směrech vzletových a přistávacích drah viz Obrázek 1. Řízené okrsky sahají od země až do stanovené výšky a spadají do třídy vzdušného prostoru D. Jejich hlavním úkol je ochrana přistávajících a odlétajících letadel. V České republice se nachází celkem 6 oblastí CTR. Konkrétně se jedná o CTR Ruzyně, Karlovy Vary, Vodochody, Tuřany, Kunovice a Mošnov. Zároveň se na území České republiky nachází 4 vojenské řízené okrsky (MCTR, Military Control Zone). Ty se nachází v těsné blízkosti vojenských letišť Kbely, Čáslav, Pardubice a Náměšť.



Obrázek 1: Řízený okrsek Letiště Leoše Janáčka Ostrava [2]

K ochraně odlétávajících a přistávajících letadel v okolí letiště se zřizuje také koncová ochranná oblast, která přímo navazuje na CTR. Na rozdíl od CTR ovšem nezačíná hned u země, ale zpravidla až ve výšce několika set metrů. Horizontální hranice jsou stanoveny tak, aby byly pokryty všechny příletové a odletové tratě daného letiště. TMA je zpravidla rozdělena do více

částí, přičemž každý z nich má jinou spodní a horní hranici, čímž je zaručeno ideální pokrytí v okolí řízeného letiště.

V okolí neřízených letišť se nachází pouze ATZ. Horizontálně je vytyčena kružnicí o poloměru 5,5 km se středem ve vztažném bodu letiště. Vertikálně je omezena zemským povrchem a výškou 4000 stop AMSL (Above Mean Sea Level). Obdobně jako u CTR a TMA, slouží ATZ také k ochraně provozu v okolí letiště, nicméně v tomto případě není provoz nijak řízen. Pro podporu letového provozu může být poskytována služba AFIS (Aerodrome Flight Information Service, Letištní letová informační služba). V některých případech je poskytována pouze služba RADIO. Mimo provozní dobu letiště nemusí být poskytována žádná služba okolnímu provozu.

Zatímco CTR, TMA a ATZ slouží především k ochraně provozu v okolí letišť, zakázané prostory jsou zřizovány především tam, kde je nutné ochránit pozemní objekty před pádem letadla v případě nehody. V České republice se jedná především o jaderné elektrárny Temelín a Dukovany, továrny vyrábějící výbušniny a velké chemické závody. Tímto prostorem je chráněn také Pražský hrad.

Z naprosto opačného důvodu jsou zřizovány nebezpečné prostory. V těch naopak hrozí nebezpečí prolétávajícím letadlům. V České republice se jedná především o vojenské střelnice, místa vypouštění plynu do atmosféry a lokality, ve kterých probíhá likvidace výbušnin. Zatímco zakázaným prostorem není možné proletět, u nebezpečných prostorů závisí pouze na kapitánovi daného letadla, zda se odváží do tohoto prostoru vstoupit. Přesto by se v zájmu zachování bezpečnosti letu měla letadla těmto prostorům vyhýbat. Oba tyto druhy prostorů jsou vymezeny zemským povrchem a stanovenou výškou.

Mírnější pravidla platí v rámci omezených prostorů. Ty jsou zřizovány tam, kde nebezpečí vyplývající z provozu je časově omezené nebo je nutné v dané oblasti snížit intenzitu provozu. Těmito prostory je možné proletět s povolením ŘLP, které zodpovídá za dodržení bezpečnosti. Jsou zřizovány například v místech vojenských cvičení. Dále byly zřízeny 4 omezené prostory nad národními parky České Švýcarsko, Krkonošský národní park, Šumava a Podyjí.

Speciálními druhy prostorů jsou TRA (Dočasně rezervovaný prostor, Temporary Reserved Area) a TSA (Dočasně vyhrazený prostor, Temporary Segregated Area). Dočasně rezervovaný prostor je zřizován tam, kde provoz letadla neumožňuje poskytování rozestupů vůči ostatním letům. V případě potřeby lze ovšem požádat ŘLP, které skrze vydávání přesných instrukcí umožní bezpečný průlet daným prostorem, přičemž ŘLP poskytne všem letadlům dostatečné

rozestupy. Průlet dočasně vyhrazeným prostorem není možný ani s povolením ŘLP, jelikož není možné zajistit rozestupy. Tyto druhy prostorů se využívají nejčastěji v případě leteckých soutěží či provozu vojenských letadel.

Tento systém rozdělení vzdušného prostoru byl vytvořen pro provoz velkých motorových letadel, v důsledku čehož je zcela nedostatečný pro provoz bezpilotních letadel, která povětšinou disponují menšími rozměry a výkony. Vertikální dělení sahající do výšky přes 20 km je v současné době pro naprostou většinu provozu bezpilotních letadel zbytečné. V těchto výškách operují pouze HAPS (High Altitude Platform System). Naprostá většina bezpilotního provozu bude i nadále provozována pouze ve VLL (Very Low Level, Velmi nízký prostor), který spadá do třídy D a G.

VLL je část vzdušného prostoru sahající do výšky 500 stop na nad nejvyšší překážkou v dané oblasti, přičemž nad hustě zabydlenými oblastmi se jeho horní hranice zvyšuje na 1000 stop. V rámci evropského projektu CORUS [3] byl vytvořen koncept provozu, který obsahuje nastínění organizace této části vzdušného prostoru skrze navržená pravidla a regulace. V rámci tohoto projektu také došlo k rozdělení VLL do tří hlavních typů označených X, Y a Z. Hlavním faktorem pro rozdělení byl očekávaný objem provozu UAS v dané oblasti, dále pak hustota zalidnění a s tím související riziko vůči zemi. Dalším důležitým faktorem byla hustota provozu letadel s pilotem na palubě. Na základě těchto nejdůležitějších faktorů byly navrhnuty povinné služby U-space, které bude nutné v daném typu VLL poskytovat.

V podkategorii Z je očekáván nejvyšší objem provozu UAS. Z tohoto důvodu je nutné mít podaný a schválený operační plán pro daný let před vstupem do tohoto prostoru. Konfliktům mezi jednotlivými lety UAS bude zabráněno skrze strategickou a taktickou separaci. Strategická dekonflikce spočívá v porovnávání operačních plánů delší dobu dopředu. V případě hrozící konfliktní situace je jeden z operačních plánů náležitě upraven, čím je minimalizováno nebezpečí nehody. Taktická dekonflikce pak již probíhá během samotného letu v reálném čase. Informace o poloze a plánované trajektorii letu jsou zasílány v reálném čase do U-space, kde jsou následně vytvořeny příkazy o modifikaci trajektorie letu pro jednotlivé UAS, čímž je opět sníženo nebezpečí nehody.

Podkategorie Y má vzniknout především v místech, kde je očekáván provoz v rámci BVLOS, nicméně očekávaná hustota tohoto provozu není tak vysoká jako u prostoru Z. Pro vstup do této části VLL je opět možný pouze s podaným a schváleným operačním plánem. Na rozdíl od

prostoru Z není ovšem poskytována taktická dekonflikce. Spolu se službou strategické dekonflikce je poskytována pouze letová informační služba, skrze kterou jsou operátorovi UAS sdělována data týkající se ostatního provozu v dané lokalitě.

V místech, kde je očekáván velmi slabý provoz, především pak v režimu VLOS, bude vytvořen prostor podkategorie X. V rámci této podkategorie nebude nutné poskytovat žádné služby U-space, které souvisí s řešením přímých vzdušných konfliktů.

Dále lze říci, že zavedená pravidla v určitých třídách vzdušného prostoru nejsou převeditelná pro použití v rámci bezpilotního letectví. Například při létání dle pravidel VFR se předpokládá, že se budou dvě letadla schopna navzájem vyhnout pouze za použití vizuálního kontaktu. Tento postup je ovšem při létání bezpilotních letadel neaplikovatelný. Při létání v rámci režimu BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) nelze spoléhat na to, že dálkově řídící pilot bude schopný zpozorovat jiné přibližující se letadlo pouze za použití palubní kamery. V případě UAS bez palubní kamery se možnosti řídícího pilota na vyhnutí se okolnímu provozu ještě snižují.

Uspořádání letového toku je řešeno pomocí létání v rámci tratí. To umožňuje bezpečně navigovat velká dopravní letadla na velké vzdálenosti. Povaha takového provozu se ovšem neslučuje s lety bezpilotních letadel, které plní úkoly buď v rámci kratších tratí či v uzavřených oblastech o menší rozloze.

Současný systém je také uzpůsobený pro dlouhodobé plánování letů dopředu. Dočasně rezervované a dočasně vyhrazené prostory jsou oznamovány ve velkém předstihu a zároveň mají dlouhou dobu účinnosti. Tento fakt jde proti rychlému a dynamickému světu bezpilotního létání. Například při použití UAS pro dopravu zásilek ke koncovým zákazníkům bude nutné podat operační plán a zahájit let během několika minut, aby byla zajištěna konkurenceschopnost tohoto druhu přepravy.

1.2. Integrace UAS do vzdušného prostoru

Prvním implementovaným uceleným legislativním dokumentem České republiky, který se zabýval otázkou integrace bezpilotních letadel do vzdušného prostoru, byl Doplněk X leteckého předpisu L2 [4]. Tento doplněk se ovšem zabýval pouhými základy ve vztahu k samotnému provozu UAS. Například byl řešen dostatečný dohled pilota či byly vymezeny vzdušné prostory, do kterých lze vstoupit bez povolení ÚCL.

Dne 31. 12. 2020 se stalo účinným prováděcí nařízení komise (EU) 2019/945 [5], které přineslo nová ucelená pravidla provozu UAS spolu s novými třídami jejich dělení. V závislosti na maximální rychlosti ve vodorovném letu a maximální vzletové hmotnosti (MTOW) jsou v rámci tohoto nařízení UAS rozděleny do tříd označených C0 – C6. V rámci těchto tříd jsou také stanoveny požadavky na vybavení pro provoz za snížené viditelnosti či vysílání polohové informace v reálném čase.

Dále byly v rámci tohoto nařízení vytvořeny tři kategorie provozu (otevřená, specifická a certifikovaná). Do otevřené kategorie spadá provoz UAS o hmotnosti nižší než 25 kg. Během letu se nesmí UAS vzdálit od nejbližšího bodu na zemi do větší vzdálenosti než 120 metrů. Tímto pravidlem je omezena výška letu. Zároveň obecně není povoleno létat nad nezapojenými osobami či jejich shromážděním. Pro jednotlivé lety v této kategorii není nutné získat povolení od ÚCL.

Otevřená kategorie se dále dělí na 3 podkategorie, označené A1 – A3, v závislosti na provozních omezeních, technických parametrech UAS a úrovni výcviku dálkově řízeného pilota. Podkategorie A1 umožňuje provoz UAS do hmotnosti až 900 gramů. V rámci této podkategorie je z důvodu relativně nízké hmotnosti UAS, a tedy nižšího rizika, povoleno létat nad nezúčastněnými osobami.

Podkategorie A3 obsahuje veškerý provoz mimo osídlené oblasti a nezúčastněné osoby. Hlavním omezením je opět maximální výška 120 metrů spolu s maximální hmotností UAS, která nesmí přesáhnout 25 kg.

V rámci otevřené kategorie je zakázáno létat v TMA. V CTR je povoleno létat pouze mimo ochranná pásma letiště a do výšky 100 metrů, pokud je vzdálenost od letiště menší než 5,5 km. V prostoru ATZ je možné létat po obdržení souhlasu od provozovatele dotčeného letiště. Provoz je také zakázán v ochranných pásmech silnic, železnic, vodních zdrojů, chráněných území a zařízení elektrizační soustavy. Dále je důležité respektovat zakázané a omezené prostory, ale také dočasně vyhrazené a rezervované prostory. Pro létání uvnitř hustě obydlených oblastí musí dálkově řídící pilot získat osvědčení o způsobilosti pro provoz v rámci podkategorie A2.

Pokud nejsou splněny požadavky letu v otevřené kategorii, spadá provoz do specifické kategorie, kde musí provozovatel požádat letecký úřad o oprávnění k provedení daného letu. Alternativou by byly tzv. standardní scénáře, které však ještě nejsou aplikované, nebo získání certifikace provozovatele lehkých bezpilotních systémů. Do specifické kategorie tedy spadá

například provoz, během kterého je nutné přesáhnout výškové omezení 120 metrů od nejbližšího bodu na zemi. Dalším případem je situace, kdy se během zamýšleného provozu nelze vyhnout letu nad nezúčastněnými osobami či je nutné vstoupit do vzdušného prostoru, ve kterém není bez povolení let možný.

Ani oprávnění k provozu ve specifické kategorii neumožňuje provozovateli létat nad shromážděními osob ani osoby přímo na palubě UAS přepravovat. Pro podobné aktivity je nutné splnit požadavky pro provoz v certifikované kategorii. Bezpilotní letadla, která bude možné pro tento druh provozu využívat musí být od základu navržena s myšlenkou vysoké úrovně provozní bezpečnosti. Při selhání a následné nehodě totiž hrozí velké nebezpečí zranění osob na zemi. Ze stejného důvodu spadá do certifikované kategorie také přeprava nebezpečného materiálu.

1.3. U-space

Pro umožnění širšího a ekonomicky výhodnějšího využití UAS v průmyslu a leteckých pracích je nutné vytvořit prostředí, které bude pro provoz bezpečné. Pro zabránění vzdušným konfliktům s letadly s pilotem na palubě, ale také mezi jednotlivými UAS, je nutné vytvořit UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management). Zjednodušeně by bylo možné říct, že se jedná o systém řízení bezpilotního letového provozu.

V rámci Evropské unie byl zavedením tohoto nového řešení řízení vzdušného provozu pověřen EUROCONTROL. Tento nově vzniklý koncept dostal označení U-space. V prostorech, které budou takto označené, budou poskytovány U-space služby. Skrze ty budou operátorům, či samotným UAS, odesílána data, která umožní bezpečný a efektivní provoz v těchto prostorech. Důraz je kladen především na vytvoření systému řízení, který je založen na principu vysoké automatizace a digitalizace.

Z důvodu snahy o bezpečnější a plynulejší zavedení tohoto konceptu bylo jeho zavádění rozděleno do 4 implementačních fází, které byly označeny U1-U4. V rámci fáze U1 mají být spuštěny pouze služby elektronické registrace a identifikace spolu se službou umožňující geofencing. Důležité je zmínit, že UAS a letadla s pilotem na palubě, která nebudou využívat tyto základní služby, nebudou moci do vytvořených prostorů U-space vstoupit. Při zavádění těchto prostorů je tedy nutné minimalizovat situace, kdy dojde k zabrání vzdušných prostorů, a tím k zamezení přístupu všem účastníkům, kteří dané prostory do té doby volně využívali.

Vysílání polohové informace je možné skrze přímou nebo síťovou dálkovou identifikaci. Přímá dálková komunikace označuje koncept, při kterém jsou data vysílána z jednoho UAS a následně přijímána třetí stranou. To znamená, že informace o poloze neputuje skrze žádného prostředníka. Síťová dálková komunikace spočívá ve vysílání polohové informace z UAS, která je následně zachycena anténou systému, který tato data dále skrze přenosovou síť poskytne všem účastníkům letového provozu, kteří o ní projeví zájem. K přenosu síťové dálkové komunikace je nutný systém U-space. Největší výhodou síťové dálkové komunikace je vzdálenost, na kterou je možné data přenášet. Přímá dálková komunikace na druhou stranu disponuje nižší latencí a náročností na vybavení.

Ve fázi U1 mají být zavedeny služby strategického geofencingu. Geofencing označuje vytváření dočasných ohraničených prostorů, do kterých je vstup buď úplně zakázán nebo je nutné nejdříve získat zvláštní povolení. Tuto metodu lze využít například ve chvíli, kdy se v dané oblasti očekává průlet vrtulníku IZS či se na zemi nachází shromáždění osob, přes které je průlet UAS zakázaný. Zavádění prostorů skrze strategický geofencing má spíše dlouhodobější charakter. Pokud již započal let, bude velmi obtížné o této změně v lokalitě informovat zúčastněné UAS operátory.

Do implementační fáze U2 bylo zařazeno celkem 9 dalších služeb U-space. První z nich má být taktický geofencing. To znamená, že zavádění těchto speciálních druhů prostorů bude operátorům komunikováno již v reálném čase, tudíž budou schopni okamžitě reagovat a náležitě upravit 4D trajektorii svého letu. Dále do této implementační fáze spadá zavedení služeb poskytujících informace o počasí. Tato data mohou být důležitá především v oblastech s častými a náhlými změnami počasí. Důležitým bodem je také propojení U-space s okolním řízením letového provozu skrze jednotné rozhraní. To umožní efektivní a plynulé prostředí, ve kterém budou současně provozovány bezpilotní letadla i letadla s pilotem na palubě.

V této implementační fázi je také počítáno se zdokonalením schopnosti monitorovat a následně trackovat veškerý provoz v prostoru U-space. Porovnáváním podaných operačních plánů je následně možné detekovat konfliktní situace. Upravení jednoho či více těchto nevhodných operačních plánů bude pověřena služba strategické dekonflikce.

V předposlední implementační fázi, tedy U3, má dojít k vylepšení 4 již zavedených služeb U-space. Taktický geofencing bude posunut do dynamické podoby. To umožní ještě rychlejší a přesnější zavádění ochranných prostorů. Další plánovanou službou U-space v rámci této

implementační fáze je taktická dekonflikce. Skrze monitorování 4D pozic a plánovaných trajektorií jednotlivých UAS bude docházet k jejich porovnávání. V případě detekování hrozící konfliktní situace bude vyslán příkaz ke změně 4D trajektorie jednoho či více UAS.

Poslední implementační fáze U4 má přinést plnou automatizaci celého systému řízení letového provozu. Z toho vyplývá, že vše již bude probíhat plně automaticky, bez zásahu lidských řídících, což umožní rychlejší a efektivnější řešení krizových situací. Vyřazením lidí z rozhodovacích procesů zároveň vznikne lepší ekonomické prostředí skrze snížení provozních nákladů.

1.4. Subjekty U-space

Již v prvních rámcových dokumentech ICAO [6], které se zaměřovaly na popis a námět zavádění konceptu UTM, byla upřednostňována cesta decentralizovaného systému UTM. Na rozdíl od ATM, které je v současné době zpravidla spravované státem či jeho institucemi, přičemž i většina služeb je poskytována státními subjekty.

V této podobě decentralizované architektury UTM představilo ICAO koncept, ve kterém jsou některé služby poskytovány soukromými společnostmi označovanými USP (UTM Service Provider, Poskytovatel služeb UTM). Tyto soukromé subjekty nejsou v důsledku nuceny poskytovat všechny služby UTM, ale umožňuje jim to specializovat pouze na vybrané, čímž může dojít ke zvýšení poskytované kvality.

Decentralizovaná architektura nabízí celou řadu výhod oproti centralizovanému přístupu, který lze najít u ATM. Rozdělením celkové zátěže na jednotlivé subjekty lze zvýšit efektivitu a odolnost proti nenadálým situacím. Pokud dojde k výpadku služeb v jednom místě systému, lze přenést zatížení na další subjekty, čímž je zachována funkčnost celku.

Rozdělení systému na menší subjekty také podporuje jeho rychlejší implementaci a následnou škálovatelnost. Bezpilotní letectví se stále nachází v brzké fázi, nicméně již nyní je z praktických příkladů zapojení UAS v průmyslu a dalších leteckých pracích zřejmé, že bude nutné systém UTM náležitě rozšiřovat a vylepšovat, aby byl schopný pokrýt nárůst poptávky v následujících desetiletích.

Decentralizace spolu nicméně přináší jistá rizika ve vztahu k integritě a bezpečnosti systému. Z tohoto důvodu byla vytvořena centrální entita v podobě CIS (Common Information Service, Společná informační služba). Tento subjekt bude sloužit především ke kontrole a předávání dat

mezi jednotlivými účastníky systému UTM. Díky existenci centrálního uzlu nebude nutné ustanovovat komunikační cesty mezi všemi subjekty. Zároveň je možné v reálném čase ověřovat integritu a správnost zasílaných dat, čímž je zvýšena bezpečnost. Také je tím vyřešen problém různých typů rozhraní na straně jednotlivých subjektů.

Podoba řešení, ktera je zamýšlena pro zavedení v rámci států Evropské unie je inspirována již zmíněným konceptem UTM od ICAO. Tato evropská koncepce byla označena U-space, přičemž role USP byla přeznačena na USSP (U-space Service Provider, Poskytovatel služeb U-space).

Koncovým zákazníkem systému U-space je v tomto případě provozovatel UAS, popřípadě samotné bezpilotní letadlo. Ustanovení spojení s CIS by bylo technologicky složité. Z tohoto důvodu byl mezi tyto dva subjekty vložen již zmíněný USSP. Z provozu UAS jsou tedy do USSP zasílány stavové informace o letu. Na druhé straně USSP poskytuje služby U-space, které slouží k podpoře provozu UAS. Část informací je získávána od CIS, nicméně USSP má možnost sloužit také jako zdroj necertifikovaných dat.

CIS dále slouží k umožnění předávání informací mezi ATM a UTM skrze spojení s poskytovatelem letových navigačních a letových provozních služeb. Ten již dále distribuuje informace týkající se UAS provozu řízeným letům s pilotem na palubě. Opačným směrem poskytuje do U-space informace týkající se provozu letadel s pilotem na palubě. Letadla s pilotem na palubě budou mít možnost svou polohu sdílet i přímo skrze USSP. Pro vstup neřízeného provozu do prostoru U-space je sdílení své polohové informace povinné.

Pro zvýšení důvěry veřejnosti v bezpilotní letectví je nutná jeho maximální transparentnost. Během vytváření modelu U-space byla tato skutečnost vzata v úvahu. Do budoucna je plánována tvorba mobilní aplikace pro chytré telefony, ve které bude možné zobrazovat blízko letící bezpilotní letadla, skrze zachytávání signálu elektronické identifikace. V praxi to bude znamenat, že si občan bude moci zobrazit registrační značku pilota či dronu, který ho obtěžuje nad jeho pozemkem. Tuto registrační značku bude dále možné předat státním orgánům pro prošetření události. Může se zdát, že se jedná o zasahování do svobod a soukromí pilotů, nicméně lze zde vidět určitou paralelu s osobními automobily, které jsou také vybaveny veřejně přístupnou registrační značkou. V případě bezpilotních letadel bude pouze převedena do virtuální podoby.

1.5. Analýzy provozní bezpečnosti

S rostoucím počtem provozovaných bezpilotních letadel vyvstala potřeba přesně definovat a následně ohodnotit nebezpečí, která svým provozem vytváří. Prvním skutečně sofistikovaným nástrojem se stala SORA (Specific Operations Risk Assessment) od organizace JARUS (Joint Authorities for the Rulemaking of Unmanned Systems, Sdružení úřadů pro předpisovou činnost v oblasti bezpilotních systémů).

Analýza SORA [7] se zaměřuje na posouzení provozní bezpečnosti skrze vícekrokové ohodnocení rizika, které z dané mise UAS vyvstává vzhledem k osobám a objektům na zemi v kombinaci s nebezpečím vznikajícím okolnímu leteckému provozu. Pokud se ukáže, že je provoz příliš nebezpečný, nabízí tato analýza řadu zmírňujících opatření, při jejichž aplikování se úroveň provozní bezpečnosti zvýší.

Prvním krokem analýzy je určení třídy rizika na zemi (GRC). K určení této hodnoty je nutné využít tabulku, která kombinuje charakteristické rozměry UAS, zvolený režim letu a lokalitu zamýšleného provozu. Větší charakteristické rozměry UAS znamenají vyšší třídu GRC. Let v režimu BVLOS dosáhne vždy vyšší hodnoty GRC než let v režimu VLOS. Výsledná hodnota také stoupá s vyšší hustotou zalidnění v lokalitě provozu. Nejvyšší hodnoty dosahuje provoz nad shromážděním osob, jelikož zde platí velké riziko poranění nezapojených účastníků při nehodě.

Počáteční GRC je možné snížit za pomocí aplikování zmírňujících opatření. Ty jsou rozděleny do tří kategorií, přičemž každá z nich je následně rozdělena do tří úrovní (nízká, střední a vysoká) dle nároků na integritu. Do kategorie M1 spadají strategická zmírňující opatření. Jedná se o úkony, které musí být provedeny před zahájením provozu. První možnost zahrnuje deklaraci, podle které se reálné hodnoty zalidnění dané lokality liší od oficiálních údajů. Toto zmirňující opatření lze využít například v méně zalidněných částech měst a obcí, které jinak spadají do hustě zalidněných. Druhou možností je upoutaný provoz UAS.

Kategorie M2 obsahuje zmírňující opatření, která snižují následky nárazu UAS na zem. Jednou z možností je vybavení UAS padákem. Poslední zmirňující opatření, označované jako kategorie M3, zahrnuje vytvoření pohotovostního plánu, který bude zahájen v případě nehody UAS. Hlavním cílem je zamezení stupňujícím se následkům havárie či ztráty kontroly nad UAS. Jedná se například o kontaktování záchranných složek či řízení letového provozu v dané oblasti.

V dalším kroku analýzy SORA je nutné určit počáteční hodnotu třídy vzdušného rizika (ARC), která je označena písmeny A - D. Ta se odvíjí od druhu vzdušného prostoru a výšky, ve kterém je provoz zamýšlen. Tuto hodnotu lze dále snížit skrze deklarování nižšího objemu provozu v dané lokalitě. Od výsledné hodnoty se odvíjí nároky na TMPR (Tactical Mitigation Performance Requirement, Požadavky na výkonnost taktických zmírnění).

Kombinací výsledných ARC a GRC je získána úroveň SAIL (Specific Assurance and Integrity Level, Specifická úroveň zabezpečení a integrity). SAIL může dosahovat hodnot 1 až 6. Čím vyšší číslo, tím lze očekávat menší vlastní provozní bezpečnost provozu UAS. Na základě hodnoty SAIL je proto dále určeno 24 jednotlivých cílů provozní bezpečnosti spolu s jednotlivými nárokovanými úrovněmi robustnosti, které je dle různých úrovní SAIL nutné plnit.

Analýza SORA byla vytvořena jakožto nástroj pro ohodnocení provozní bezpečnosti pro jednotlivé lety UAS v relativně malé definované oblasti. To jí velmi limituje pro použití v rámci určení možnosti a výhodnosti vytvoření prostoru U-space. Největším omezením je způsob, kterým posuzuje a ohodnocuje riziko vzdušné srážky s letadly s pilotem na palubě. Pokud je provoz zamýšlen v blízkosti řízeného letiště, SORA tento provoz vyhodnotí jako velmi nebezpečný. To je ale v přímém rozporu s teorií zavádění prostorů U-space, které mají vznikat především tam, kde hrozí nebezpečí konfliktů s letadly s pilotem na palubě.

SORA zároveň vyhodnocuje provoz BVLOS jako velmi nebezpečný, především v rámci velmi hustě zalidněných oblastí. Na druhou stranu hlavním argumentem pro vznik prostorů U-space je právě plánovaný BVLOS provoz, který bude podporován řadou U-space služeb, čímž dojde ke zvýšení úrovně provozní bezpečnosti. Pokud by byla pro vyhodnocení vhodnosti zavedení prostorů U-space použita SORA, pak by byly tyto prostory zaváděny především v oblastech s nižším zalidněním a s určením primárně pro lety v režimu VLOS.

Zároveň je důležité zmínit, že zmírňující opatření, která umožňuje analýza SORA, jsou v současné době velmi špatně aplikovatelná na běžný provoz UAS. Například možnost upoutání UAS výrazně omezuje operační oblast pro daný let. To dále snižuje možnosti efektivního využití UAS v rámci průmyslu a dalších oblastí lidské činnosti.

Největším nedostatkem analýzy SORA je pak nemožnost započítat poskytované služby U-space jakožto zmírňující opatření snižující riziko vzdušné srážky. Některé z těchto služeb budou zaměřeny na poskytování rozestupů mezi jednotlivými lety UAS. Oproti tomu SORA

ani nepočítá s více lety UAS v daném prostoru současně, tudíž nedokáže tato zmírňující opatření v posuzovacím procesu reflektovat.

V současné době vzniká nová metodika MEDUSA (Methodology for the U-space Safety Assessment) [8], pro určování úrovně bezpečnosti pro provoz UAS, která kombinuje analýzy SORA a SRM (Safety Risk Management). Pokrokovým prvkem MEDUSA je implementace služeb U-space, jakožto zmírňujících opatření, které mohou přispět ke zvýšení provozní bezpečnosti.

V první části analýzy MEDUSA jsou identifikovány tři druhy rizik. První druh rizika označuje konfliktní situace, které vznikají mezi účastníky vzdušného prostoru. Jedná se tedy o konflikty mezi UAS a letadly s pilotem na palubě, ale zároveň o konflikt mezi dvěma a více bezpilotními letadly. Do této skupiny rizik také spadá konflikt mezi UAS a zemí, tudíž náraz do překážky či terénu.

Druhým druhem jsou vnější rizika, která zahrnují incidenty, které nelze ovlivnit. Jedná se například o střet s ptákem, či úder blesku do UAS. Třetí typ rizik je systémový. Tato rizika vychází z nedokonalosti celého zamýšleného systému, který bude pro účast v provozu vytvořen. Do této skupiny spadá například ztráta kontroly nad UAS, selhání poskytování služeb U-space či jiný systémový problém v U-space.

Z kombinace těchto tří skupin možných rizikových scénářů budou vytvořeny minimální požadavky pro vznik prostoru U-space v dané lokalitě. Následně je provedena analýza SORA, ve které jsou minimální požadavky na U-space použity jako zmírňující opatření. V rámci této iterační metody jsou minimální požadavky na U-space pokaždé zpřísněny, dokud nejsou nastaveny tak, že výsledný systém dosahuje vysoké úrovně provozní bezpečnosti.

Ze své podstaty není možné využít metodiku MEDUSA jakožto jediný nástroj pro určení vhodnosti vytvoření prostoru U-space v dané lokalitě. MEDUSA totiž odpovídá na naprosto odlišnou otázku a to, zda je zamýšlený provoz bezpečný. MEDUSA se zaměřuje pouze na nebezpečí plynoucí z konfliktu UAS vůči zemi či okolnímu leteckému provozu. Nejsou zahrnuty například dopady hlukové zátěže plynoucí z provozu UAS či narušení soukromí obyvatel v dané lokalitě. Tato metodika se nachází stále ve svém vývoji. I z tohoto důvodu do ní není stále možné dosadit konkrétní hodnoty týkající se plánovaného provozu UAS v rámci prostoru U-space.

Při zavádění prostorů U-space je provozní bezpečnost z hlediska důležitosti jednou z hlavních priorit, nicméně nelze opomenout další sociálně-ekonomické dopady. Například omezení přístupu operátorů UAS a pilotů sportovních létajících zařízení do tohoto prostoru. Z tohoto důvodu je nutné vytvořit zcela novou metodu, která bude zahrnovat jak posouzení zasazení prostoru U-space do současného rozdělení vzdušného prostoru, tak všechny kladné a záporné faktory spojené s organizovaným provozem UAS.

2. Návrh metody hodnocení

Při prvotním zpracování tohoto tématu se ukázalo, že vlastnost dané lokality ve vztahu k povaze objektů a pohybu nezúčastněných osob na zemi v kombinaci s typem vzdušného prostoru není dostatečným kritériem. Bylo zjištěno, že velký vliv na určení vhodnosti zavedení prostoru U-space má také předpokládaná podoba činností, pro které jsou UAS v dané oblasti plánovány být využity.

Pro větší přehlednost byla metoda rozdělena do tří částí v závislosti na druhu posuzovaných charakteristik, kterých se plánované zavedení prostoru U-space dotýká. V počáteční části dochází k posouzení zasazení prostoru U-space do stávajícího rozdělení vzdušného prostoru České republiky. Dále je nutné posoudit, zda v dané oblasti nehrozí přímé nebezpečí pro prolétající UAS. V následující části práce dochází k posouzení vhodnosti plánovaného konceptu provozu. To zahrnuje například jaká činnost má být s využitím UAS provozována, dále pak velikost či typ bezpilotního letadla kombinované se zamýšleným režimem letu.

2.1. U-space a stávající rozdělení vzdušného prostoru

V první části navrhované metody je nutné ověřit, zda oblast vytyčená pro zavedení prostoru U-space nevytváří konflikt v rámci současného rozdělení vzdušného prostoru. V současné době nelze vytvořit prostor U-space, který by zasahoval do zakázaných prostorů. Tento druh prostoru byl vytvořen s úmyslem ochránit citlivé a důležité objekty na zemi. Tento zákaz nelze obejít ani v případě komerčního letectví, z čehož vyplývá, že ani velká ekonomická významnost prostoru U-space by neměla umožnit jeho vznik.

Do nebezpečných prostorů může letadlo vstoupit, nicméně kapitán musí zvážit míru rizika takového činu. Nebezpečné prostory byly ovšem vytyčeny ve vztahu k letectví s pilotem na palubě. Předpokládá se, že se zdroj nebezpečí nachází na povrchu Země či velmi blízko něj. Hlavním faktorem o rozhodnutí vstoupení do nebezpečného prostoru je tedy výška letu.

Bezpilotní letadla zpravidla létají velmi blízko zemi. Z toho vyplývá, že se při letu v nebezpečných prostorech mohou nacházet blíže potenciálnímu zdroji nebezpečí. Při vytváření rozdělení vzdušného prostoru se počítalo s tím, že určité objekty na zemi sice disponují schopností být nebezpečné pro velmi nízko letící provoz, nicméně nebyly takto označeny, jelikož se nepředpokládalo, že by letadla s pilotem na palubě létala takto nízko.

Z tohoto důvodu by měla být vytvořena nová kategorie rozdělení vzdušného prostoru, tedy nebezpečné prostory pro UAS. Do této kategorie by spadaly prostory, které svou činností či vybavením, přímo ohrožují bezpečnost letu UAS. Jedná se například o prostory, ve kterých může dojít k neúmyslnému zasáhnutí UAS fyzickým objektem. Může se například jednat o civilní střelnice nebo povrchové doly, ve kterých dochází k pravidelným odstřelům. Také by měly být zahrnuty prostory, v jejichž blízkosti je aktivně rušen radiový signál, který je v současné době využíván jako primární zdroj dálkového řízení UAS.

Zavádění U-space v oblastech, které jsou nebezpečné pro provoz UAS je diskutabilní. Nicméně skrze poskytování služeb U-space lze vytvořit procedury, skrze které bude možné provozovatele informovat o probíhajících nebezpečných aktivitách v daných oblastech. Například v případě povrchových dolů či oblastech vytyčených pro likvidování výbušnin by bylo možné skrze dynamický geofencing provoz na kratší dobu omezit.

Omezené prostory, jak jejich název vypovídá, byly vytvořeny s cílem regulovat množství provozu v dané oblasti. Pokud ovšem kladné faktory vzniku prostoru U-space převáží ty negativní, pak by bylo možné jeho vznik povolit. Tato myšlenka je důležitá z hlediska budoucího využití UAS v rámci hlavního města Prahy, jelikož se převážná část nachází v omezeném prostoru LKR9.

Jedním z bodů plné integrace konceptu U-space je spolupráce civilního a vojenského řízení letového provozu. Cílem je tedy umožnit provoz civilních UAS v prostorech, které jsou v současné době řízeny a využívány především armádou. Ve fázi, ve které se vývoj U-space nachází, by mohlo být velmi náročné integrovat provoz UAS do vojenských prostorů. Pro vytvoření prostoru U-space by bylo nutné získat povolení armády.

2.2. Plánovaná koncepce provozu

Ve druhé části navrhované metody dochází k posouzení konceptu plánovaného provozu, který je v rámci U-space zamýšlen. Je velmi pravděpodobné, že první prostory U-space budou vznikat na žádost ekonomicky významnějších subjektů. Při schvalování jejich požadavků nelze ovšem zanedbat všechny negativní dopady a principy, na kterých je U-space postavený.

Hlavním důvodem zavádění prostorů s koordinovaným provozem dronů je umožnění letů v rámci režimu BVLOS. Skrze poskytování služeb U-space, které poskytnou operátorovi UAS přesná a spolehlivá data v reálném čase. To se projeví v možnosti provozovat najednou dva či více bezpilotních letadel v režimu BVLOS v dané oblasti.

Plánovaný provoz v režimu VLOS by neměl být argumentem pro zavedení prostoru U-space. V tomto režimu je operátor povinen v každém bodě letu disponovat vizuálním kontaktem s provozovaným UAS. U běžně velkého stroje se jedná o vzdálenosti v řádech stovek metrů. Zároveň by dálkově řídící pilot neměl provádět let tak, aby se nebyl schopný vyhnout jinému letadlu, i tomu bezpilotnímu.

Bez oprávnění k provozu nelze létat například uvnitř CTR pod jeho ochrannými pásmy ve vzdálenosti menší než 5,5 km, především z důvodu rizika, které vzniká v důsledku vyšší intenzity civilního provozu v přízemních výškách. Jedná se především o přistávající a odlétající dopravní letadla. Prostor U-space by umožnil zobrazení polohové informace všech letadel, která se v něm nachází. Zároveň již v současné době platí přísná pravidla týkající se vstupu do těchto prostorů, tedy negativní dopad spočívající v omezení přístupu pro ostatní účastníky letového provozu je nízký. Zavedení prostoru U-space pro potřeby letů UAS v rámci CTR je tedy možné.

V rámci nové evropské legislativy byl provoz UAS rozdělen do tří kategorií na otevřenou, specifickou a certifikovanou. Z výsledků projektů Amu-LED [9] a AURA [10] financovaných SESAR vyplynulo, že nezáleží pouze na režimu letu, ale také na kategorii, do které spadá. Specifická a certifikovaná kategorie zahrnují lety s vyšším rizikem. Z tohoto důvodu by mělo být prioritou, aby byly lety v těchto dvou kategoriích podporovány službami U-space.

V certifikované kategorii budou s největší pravděpodobností provozovány UAM, tedy bezpilotní letadla větších rozměrů určená pro přepravu osob a nákladu uvnitř větších aglomerací. Pro umožnění tohoto druhu provozu bude nutné dosáhnout vysoké úrovně provozní bezpečnosti. To znamená například minimalizovat vznik nehod z důvodů chyb navigace či pilotáže. Při letech UAM uvnitř vzdušného prostoru s hustším provozem je zároveň nutné poskytnout služby řešení vzdušných konfliktů.

Na základě předložené plánované koncepce provozu UAS je také nutné posoudit dopady na soukromí obyvatel žijících v oblasti zavedení prostoru U-space. Jak již bylo zmíněno UAS jsou mnohdy vybaveny palubní kamerou, ze které je obraz přenášen do řídící stanice. Takto pořízený video záznam může být následně také uložen.

Současná legislativa povoluje pořizování audiovizuálních záznamů na volně přístupných místech. Tyto záznamy ovšem musí být anonymní. Tedy nemělo jich být využíváno ke

sledování pohybu a činností konkrétních osob. Tento výklad lze přenést i na posouzení dopadu na soukromí obyvatel při zavedení prostoru U-space.

Bezpilotní letadla vybavena palubní kamerou tedy mohou vytvářet záznam pro účely řízení a vyhodnocení prováděného letu. Zároveň by měly být podstoupeny kroky, aby se zamezilo natáčení dění na soukromých pozemcích či uvnitř neveřejných budov. Důležitou roli v tomto případě hraje především vzdálenost UAS od dotčených osob. Čím větší je tato vzdálenost, tím menší je dopad na soukromí nezúčastněných osob.

V současné době je pro získání oprávnění k provozu UAS nutné provést posouzení nutnosti vypracování DPIA (Data Protection Impact Assessment, Posouzení vlivu na ochranu osobních údajů) na základě článku 35 nařízení (EU) 2016/679 [11]. Tuto analýzu je nutné vypracovat především v případech, kdy zpracování dat, především za použití nových technologií, bude mít za následek vysoké riziko pro práva a svobody fyzických osob.

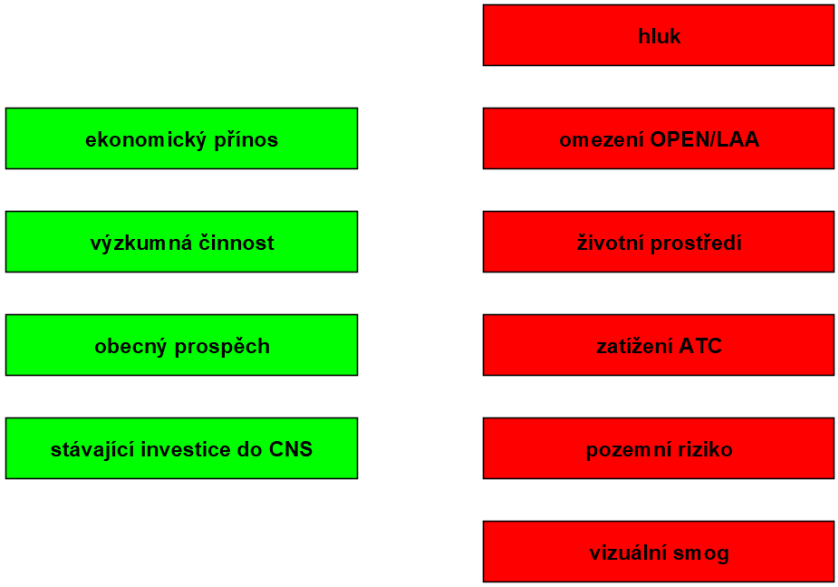
Může se jednat o případy, kdy se automatické zpracování nasbíraných dat zaměřuje na sledování charakteristických údajů nezúčastněných osob. Těmito údaji mohou být například zdravotní stav, pohyb, lokace, ekonomická situace, etnicita či biometrických údajů. Z toho vyplývá, že prostory U-space by neměly být zaváděny z důvodu snahy o sběr tohoto typu dat týkajících se nezúčastněných osob.

S postupným vývojem služeb U-space bude klesat důležitost instalace palubních kamer do UAS. Skrze poskytování kvalitnějších navigačních služeb budou moci UAS létat v automatických či autonomních režimech. Jelikož nebudou pořizovat žádné audiovizuální záznamy, bude možný jejich provoz v blízkém okolí neveřejného prostoru nezúčastněných osob.

2.3. Kladné a záporné dopady zavedení prostoru U-space

Ve třetí části navrhované metody dochází k posouzení kladných a záporných dopadů zavedení prostoru U-space v dané lokalitě. Celkem bylo identifikováno 10 faktorů, přičemž 4 jsou kladné a 6 je záporných viz Obrázek 2. Kladné faktory čítají ekonomický přínos, obecný prospěch, investice do výzkumné činnosti spojené s UAS či konceptem U-space a také hodnota již provedené investice do CNS vybavení v daném místě. Do záporných faktorů lze zařadit vzniklou hlukovou zátěž, pozemní riziko, vizuální smog, navýšení zatížení řízení letového provozu, dopad na životní prostředí a omezení vstupu pro stávající účastníky letového provozu.

U jednotlivých faktorů je vysvětleno, z jakého důvodu byly do této metody zařazeny. Dále jsou popsány jejich vztahy k jednotlivým druhům provozu UAS. Nakonec je představen způsob, kterým lze jednotlivé kladné i záporné dopady převést na finanční ohodnocení vztažené na rok provozu prostoru U-space.



Obrázek 2: Kladné a záporné faktory zavedení prostoru U-space

2.3.1. Ekonomický přínos

Hlavním ovlivňujícím faktorem pro zavedení prostoru U-space je množství finančních prostředků, o které bude zvýšen zisk dané společnosti. Ke zvýšení zisku společnosti může dojít zvýšením výnosů nebo snížením nákladů na provoz. V některých případech lze zisk zvýšit i kombinací těchto dvou zmíněných faktorů. Stát, na jehož území se U-space nachází, bude v důsledku profitovat z vyšší zaměstnanosti a výnosech na daních.

Zvýšení výnosu lze očekávat například u společností, které přepravují a doručují zásilky ke koncovým zákazníkům. Výhoda použití bezpilotních letadel spočívá v rychlejším času doručení zásilky ke koncovému zákazníkovi. Není nutné čekat, až se nashromáždí dostatečný počet zásilek, které jsou následně nákladním automobilem převezeny na výdejní místo. Zvýšení počtu doručených zásilek za jednotku času povede pravděpodobně ke zvýšení výnosu. Za rychlejší doručení je již dnes nutné si připlatit. Podobný trend lze teoreticky očekávat i s příchodem ještě rychlejších způsobů doručení.

V současné době jsou již bezpilotní systémy využívány v oblastech, ve kterých sice nepřispívají ke zvýšení výnosu, nicméně citelně snižují náklady. Jedná se například o inspekce

v průmyslových objektech jako jsou elektrárny a továrny. Využití dronů při inspekci továrního komínu dokáže celou činnost zkrátit o celé hodiny, čímž jsou ušetřeny náklady na zaměstnance. Dále jsou plánovány inspekce dálkového vedení vysokého napětí, kde lze připočítat také náklady ušetřené na provozu automobilů a dalšího technického vybavení. Zároveň není nutné vypínat jednotlivé segmenty vedení, aby mohla být provedena ruční inspekce.

Specifickou kategorií jsou letecké práce v zemědělství. Pomocí sofistikovaných senzorů a kamer lze za relativně krátkou dobu analyzovat mimo jiné vlhkost půdy, pokročilost růstu plodin, množství očekávané úrody či aktuální napadení škůdci. Pomocí infračervené kamery lze například zjistit, v jakých částech zemědělské plochy je nutné plodiny přihnojit. Tyto informace mohou následně pěstitelům pomoci aplikovat hnojiva či postřiky lokálně, čímž jsou dále šetřeny náklady, ba dokonce potenciálně zvýšen výnos zemědělské plochy.

Při analyzování ekonomických výhod plynoucí z využití bezpilotních letadel ovšem nelze zapomenout na připočítání nákladů, které vzniknou při vytváření a zavádění prostoru U-space. To se týká především poplatků za poskytované služby ze strany CIS a USSP. Zároveň je nutné započítat náklady na všechna zmírňující opatření, která povedou ke snížení nevýhod zavedení prostoru U-space v dané lokalitě.

2.3.2. Obecný prospěch

V případě soukromých i státních společností lze za použití účetních nástrojů jednoduše určit, jaký ekonomický přínos může nasazení UAS v rámci operací mít. Při určování, zda má v dané lokalitě smysl zavádět prostoru U-space, nelze zapomenout na obecný prospěch, který to může nyní, ale i v budoucích letech přinést. Navíc je pravděpodobné, že pokud budou UAS využívány také ke zlepšení obecného blaha, zvýší se jejich oblíbenost v očích veřejnosti. Následně bude možné začít odvážnější způsoby provozu UAS bez větších námitek občanů.

Jedná se o případy, ve kterých nedojde ani ke zvýšení výnosu ani ke snížení nákladů ve srovnání s použitím jiného druhu přepravy nebo činnosti. Do této kategorie spadají například nejrůznější aktivity spojené se zdravotnictvím či sociální politikou. V těchto případech je sice obtížné výhody nasazení vyčíslit, nicméně je nelze ani zanedbat.

V prosinci 2021 došlo ve Švédsku k historickému prvenství, když byl za pomocí defibrilátoru, který na místo doručilo bezpilotní letadlo, zachráněn muž, který zkolaboval po zástavě srdce. UAS s defibrilátorem byl na místo vyslán operátorem tísňové linky prakticky okamžitě po obdržení nouzového hovoru. Resuscitační zařízení se tak dostalo k pacientovi mnohem dříve,

než na místo dorazili záchranáři v sanitce. Takto navíc získané minuty pravděpodobně zachránily pacientovi život.

V tomto případě nebyly ušetřeny žádné náklady, jelikož sanitka s posádkou musela k danému pacientovi stejně vyrazit. Ba dokonce se náklady zvýšily, pokud započítáme nákupní cenu UAS a dalšího vybavení. Na druhou stranu došlo k zachránění životu pacienta, který by s největší pravděpodobností bez včasného doručení defibrilátoru nepřežil.

Ve vztahu ke zdravotnictví je situace stejná u obdobných využití UAS. Jde například o přepravu vzorků z nemocnice do dedikované laboratoře. V současné době se vzorky vozí pravidelně osobním automobilem. V tomto postupu ovšem může docházet ke zdržením a časovým prodlevám. Vzorky se odváží okamžitě po odběru pouze ve chvíli, kdy je jich větší množství. Provozní náklady na UAS by bylo možné snížit natolik, že by se vyplatilo vozit vzorky okamžitě po odběru. Tím by bylo možné urychlit diagnostikování chorob pacientů a v důsledku zahájit léčbu dříve. Mimo spočitatelných nákladů na personál a lůžka je další výhodou možné snížení doživotních následků daných nemocí.

Obecného prospěchu lze také dosáhnout zpřístupněním odlehlých oblastí například skrze doručování zásilek či poskytování jiných služeb. Z rozvoje zapadlých regionů profitují nejen obyvatelé zde žijící, ale také stát, kterému se zvýší výnosy z těchto oblastí. Rozvinutější regiony také vykazují menší úroveň kriminality a zároveň vyšší životní úroveň jejich obyvatel viz [12].

2.3.3. Pokrytí vybavením CNS

Rozšíření bezpilotních letadel v průmyslu přinese ekonomické výhody především společnostem, které je dokážou efektivně využít v rámci svých aktivit. Státy, které budou podporovat zavádění prostorů U-space urychlí vývoj své ekonomiky a průmyslu, což se odrazí ve vyšší zaměstnanosti a růstu HDP. Současná koncepce ovšem počítá také se zapojením stávajících poskytovatelů navigačních služeb, což znamená, že i oni mohou ze zavádění prostorů U-space profitovat.

V prostředí České republiky lze očekávat, že první CIS vznikne pod správou ŘLP. Tato organizace v současné době poskytuje navigační služby, skrze které dochází k řízení letů v rámci civilního letectví. Zároveň spravuje rozsáhlou infrastrukturu navigačního a přehledového vybavení, které bude v počátcích možné využít také k podpoře provozu v rámci prostorů U-space. Jedná se nejen o rozsáhlou síť primárních a sekundárních radarů, ale také o

systémy pro přenos dat či navigaci. Dále je pravděpodobné, že bude možné využít přijímače ADS-B.

Pro zahájení letu UAS bude nutné podat operační plán, ve kterém bude blíže specifikována 4D trajektorie letu. Skrze jejich porovnání dojde k lokalizování možných konfliktních situací, které budou vyřešeny automatickým upravením operačních plánů. Bezpilotní letadla operující v prostoru U-space budou následně muset po celou dobu letu vysílat svou polohovou informaci. Nastavením přísných standardů na vybavení pro vysílání polohové informace se docílí vysoké úrovně přesnosti i robustnosti.

Nicméně žádná technologie není dokonalá. Proto by měly být instalovány další systémy, například radary s vysokou rozlišovací schopností, které budou moci ověřovat správnost 4D polohy vysílané UAS. Tato redundance nabírá na důležitosti především v blízkosti velkých mezinárodních letišť, kde může mít odklonění UAS z plánované trasy letu nebezpečné následky.

Relativně snadná dostupnost UAS kombinovaná s relativně jednoduchou ovladatelností vytvořila nové výzvy z hlediska bezpečí v rámci civilního letectví. Vzniklý prostor U-space je nutné monitorovat, aby byl případně zavčasu zjištěn neoprávněný vstup neautorizovaného UAS. Tento monitoring lze zabezpečit již zmíněnými radary s vysokou rozlišovací schopností, popřípadě za pomocí optických senzorů a kamer.

Naprostá většina UAS určuje svou polohu na základě GNSS. V rámci projektu GAUSS [13] od SESAR byla zkoumána zranitelnost tohoto druhu navigace. Výsledkem projektu bylo zjištění, že GNSS v současné době dosahuje velmi velké přesnosti a spolehlivosti, nicméně je velmi jednoduché tyto systémy oklamat. Případní pachatelé mohou signál GNSS rušit či jej zfalšovat. Bezpilotní letoun se pak v důsledku odkloní od své plánované trasy.

Motivem pro rušení či falšování signálu GNSS může být pokus o únos UAS i s jeho nákladem. Dalším motivem může být teroristický čin, kdy lze využít odklonění UAS z jeho plánované trasy v blízkosti velkého mezinárodního letiště, kde hrozí střet s přilétávajícím či odlétajícím letadlem. V těchto případech je nutné dbát na instalaci systémů, které mohou detekovat a monitorovat případné rušení či falšování signálu GNSS za pomocí pozemní sítě antén. Pokud by byl nějaký útok detekován, je okamžitě nutné daný prostor uzavřít pro zachování dostatečné úrovně bezpečnosti.

Pokud by tyto detekční systémy byly již instalovány například jakožto ochrana mezinárodního civilního letiště, mělo by se jednat o kladný faktor pro zavedení prostoru U-space v dané lokalitě. Vytvořením prostoru U-space v dané oblasti by došlo k zužitkování již provedené investice.

Do analýzy vhodnosti zavedení prostoru U-space v dané lokalitě slouží jako vstupní data množství finančních prostředků, které je možné ušetřit na investicích do CNS z důvodu již instalovaných systémů. Může se jednat o již zmíněné radary, které disponují dostatečnou rozlišovací schopností a jsou schopné detekovat malé letící objekty. Dále mohou být využity sítě pro přenos dat spolu s jejich uložišti.

Přestože stále nebyly určeny standardy technologií, které budou vyžadovány pro vstup do prostoru U-space, velká pozornost se upíná k novým sítím 5G. Jejich rozšíření je v současné době limitované pouze do větších měst. V budoucnu by ovšem tato technologie mohla umožnit rychlý přenos dat mezi jednotlivými UAS v daném prostoru. Pokud se v dané lokalitě již nachází antény 5G, určitě se jedná o kladný faktor, který může ovlivnit analýzu vhodnosti zavedení konkrétního prostoru U-space.

Jak již bylo řečeno, naprostá většina UAS využívá k určení své polohy satelitní navigaci. Ta odpovídá požadavkům pro lety v rámci tratí či při plnění úkolů, u kterých není nutná vysoká přesnost polohy. Pokud ovšem vyvstane požadavek na velmi přesné určení polohy, například při přistání v rámci menší vyznačené plochy, bude nutné polohovou informaci dále zpřesňovat. V blízkosti touto technologií vybavených letišť by bylo možné využít například GBAS.

2.3.4. Výzkumná činnost

Prostory s koordinovaným provozem bezpilotních letadel jsou stále novinkou ve světě civilního letectví. Jakožto jedno z mála jeho odvětví se stále posouvá a vyvíjí velmi rychlým tempem. Přesto je nutné dále podporovat výzkum technologií a postupů, který povede k pokroku v této oblasti civilního letectví. V rámci těchto aktivit budou dále prozkoumávány například možnosti poskytování U-space služeb, funkčnost a praktičnost palubního vybavení UAS či vytváření a ověřování procedurálních postupů v těchto oblastech.

Lze očekávat, že budou vznikat prostory U-space, ve kterých budou UAS provozovány především v rámci ekonomických aktivit, které budou doplněny výzkumnou činností. Pokud ekonomické výhody plynoucí z provozování UAS nebudou dostatečné, bude možné skrze provádění investic do výzkumné činnosti převážit ostatní negativní dopady související se

zavedením těchto prostorů. K dosáhnutí tohoto cíle budou moci společnosti provádět výzkum v rámci svých aktivit, či se spojit s dalšími subjekty, které tyto aktivity za ně převezmou.

Mohlo by se zdát, že prostory určené čistě pro výzkum by měly obdržet výjimku. Tedy že by měly vznikat i v místech, kde svou činností nedokážou převážit negativní dopad vzniku prostoru U-space v dané lokalitě. Je nutné si ovšem uvědomit, že by tím stále došlo k záboru části vzdušného prostoru, v důsledku čehož mohou být ovlivněny aktivity pilotů konvenčních, tak i bezpilotních. Dále také vyvstane riziko vůči osobám a objektům na zemi spolu s dopady na životní prostředí v daném místě.

Vstupními daty do analýzy vhodnosti zavedení prostorů U-space bude předpokládaná roční investice, která bude vynaložena na výzkum v libovolné oblasti související s bezpilotním letectví ve vztahu k U-space. Jedná se tedy o celkovou částku, který bude vynaložena na výzkumné aktivity související s daným prostorem U-space. V případě výzkumného projektu, který bude využívat více lokalit či prostorů, bude do analýzy vložena proporcionální částka, která bude závislá na plánované míře využití dané oblasti.

2.3.5. Pozemní riziko

Komerčně dostupná bezpilotní letadla byla od samého začátku velmi oblíbená mezi veřejností. Relativně nízká pořizovací cena kombinovaná se snadnou ovladatelností vytvořily představu, že se jedná o jakési hračky, které slouží především k zábavě a vlastnímu pobavení. Přestože se dle platné legislativy jednalo prakticky o civilní letadla, nebylo nutné projít žádným výcvikem ani složit zkoušky. Tento přístup znepokojoval regulatorní úřady především z hlediska rizika, které hrozí při nehodě UAS a jeho následném pádu na zem.

Nebezpečí vyvstávající z provozu UAS vzhledem k zemi bylo také zahrnuto v první ucelené analýze provozní bezpečnosti SORA, která byla zmíněna v předchozí části této práce. Míra rizika letu UAS je určena na základě charakteristických rozměrů, režimu letu a hustotě zalidnění dané oblasti. Z těchto parametrů vyplývá, že se pozemní riziko hodnotí spíše vzhledem k možnosti zranění nezúčastněných osob než z hlediska možnosti poškození majetku či vzniku dalších hmotných škod.

Analýza SORA posuzuje úroveň provozní bezpečnosti pro jednotlivé lety. V takovém případě je skutečně důležité se zaměřit především na ohrožení nezúčastněných osob. V případě periodicky se opakujícího provozu je nutné se zaměřit i na materiální škody, které mohou vzniknout v důsledku neobvyklé situace.

Jak již bylo zmíněno, první prostory U-space budou vznikat především za účelem provozu UAS většími společnostmi. Pro letecké práce ve vytvořeném prostoru U-space bude využíván určitý typ UAS. Na základě provozních dat bude možné určit míru spolehlivosti v provozu. Z této hodnoty bude možné vyvodit pravděpodobnost, která vyjádří, jak často se bude u daného typu objevovat porucha vedoucí k nehodě, ze které vyplynou materiální škody či zranění nezúčastněných osob na zemi.

Prostory U-space budou vznikat především za účelem umožnění provozu v režimu BVLOS, tedy za hranicí viditelnosti dálkově řídícího pilota. Z této skutečnosti vyplývá, že tyto prostory budou dosahovat velkých rozměrů. To znamená, že v některých případech budou zasahovat do řídce i hustě zalidněných oblastí v kombinaci s pozemními kontrolovanými plochami. Bylo by nepraktické, aby se celkové pozemní riziko určovalo pouze na základě nejtvrději ohodnoceného druhu území, jelikož to neodpovídá skutečné míře rizika v jednotlivých částech oblasti.

V rámci posouzení úrovně pozemního rizika bude zvolené území určené pro zavedení prostoru U-space rozděleno na charakteristické části. Hlavním dělícím faktorem bude charakter a výše škody vzniklé při nehodě UAS. Základními dělícími typy částí budou zastavěná území, pozemní komunikace, železnice, zemědělská půda, zalesněné plochy, vodní plochy a další.

Tato část analýzy je založena na myšlence, že pokud je prostor U-space využíván rovnoměrně všude stejně intenzivně, pak je šance, že dojde k nehodě UAS z důvodu konstrukční nespolehlivosti, v každém bodě této lokality stejná. Pro každou oblast i označuje P_i pravděpodobnost, že dojde k pádu UAS do této oblasti. Je tedy rovna procentuálnímu podílu části tohoto území vůči celku. Dále pak D_i označuje finanční ohodnocení škody, která vznikne v důsledku dopadu UAS do dané části území. Výslednou hodnotu pozemního rizika pro celou oblast lze určit skrze aplikování střední hodnoty.

$$EX = \sum_{i=1}^{n} (P_i \cdot D_i) \tag{1}$$

Za pomocí vzorce (1) lze tedy určit finanční ohodnocení pozemního rizika v případě jedné nehody. V případě, kdy se spolehlivost provozovaného UAS odrazí ve více nehodách za dobu jednoho roku, je dále nutné vynásobit vypočtenou hodnotu příslušným koeficientem.

Příkladová oblast se skládá ze čtvrtiny zastavěné oblasti, čtvrtiny zalesněné plochy, čtvrtiny vodní plochy a čtvrtiny pole. Pokud dojde k pádu UAS z důvodu nespolehlivosti konstrukce, pak je pravděpodobnost dopadu do jedné ze čtyř charakteristických území 25%. Následky dopadů do jednotlivých charakteristických území se ovšem liší. Celkové riziko pro prostor U-space, tedy pravděpodobnost dopadu do jednotlivých druhů území kombinované s potencionálními škodami, vznikne skrze průměr dílčích hodnot.

Specifickým druhem území je pozemní kontrolovaná oblast. Tento pojem byl definován v rámci analýzy provozní bezpečnosti SORA a označuje lokalitu, ve které se v době provozu nenachází žádné nezúčastněné osoby. Pokud dojde ke zranění, pak je to chyba dané osoby, jelikož nedodržovala stanovená pravidla v dané oblasti provozu. V přeneseném slova smyslu by bylo možné pozemní kontrolovanou oblastí označit pozemek společnosti, která plánuje zavést prostor U-space.

Jedním z diskutovaných využití UAS v průmyslu je zapojení do výrobního procesu v rámci velkých továrních komplexů. Bezpilotní letadla lze využít v rámci inspekcí infrastrukturu, ale také pro přenos menších součástek a dílů dále do výroby. V rámci těchto výrobních zařízení jsou zpravidla nastavena velmi přísná pravidla bezpečnosti práce, která jsou doplněna kvalitními bezpečnostními procedurami. Celý tento systém je doplněný povinností nošení ochranných pomůcek. Všechna tato opatření vytváří prostředí, které je výrazně bezpečnější skrze zmírňování dopadů nehod UAS. Tyto skutečnosti je nutné zahrnout do výsledné analýzy pozemního rizika.

V současné době jsou specifická území chráněna ochrannými pásmy. Jedná se například o ochranná pásma železnic, silnic či vedení vysokého napětí. Ve stanovené vzdálenosti okolo těchto objektů je zakázáno provozovat UAS bez povolení správce. Z toho vyplývá, že prostor U-space by bylo možné zavést i v rámci ochranných pásem, pokud správce infrastruktury vydá náležitá povolení. Především v České republice je prakticky nemožné vytvořit efektivní prostory U-space, aniž by nebyla narušena ochranná pásma, z důvodu velmi husté sítě pozemních komunikací, železnic a vedení vysokého napětí.

Riziko zranění náhodné nezúčastněné osoby v důsledku nehody UAS je vyšší především ve větších aglomeracích. Lze předpokládat, že čím větší hustotu zalidnění daná aglomerace má, tím více lidí se v danou chvíli nachází ve volně přístupném prostranství. Dále bude větší

koncentrace nezúčastněných osob na místech, kterými mohou být například náměstí či stanice veřejné hromadné dopravy.

Kvůli vysokému pozemnímu riziku je v současné době zakázáno provozovat UAS přímo nad shromážděním lidí. Český úřad pro civilní letectví jej definuje jako takové množství lidí, kdy jednotlivec ztrácí možnost se libovolně přemístit v prostoru a tím se vyhnout pádu UAS. Shromáždění osob lze zahrnout jako kritérium při posuzování bezpečnosti ojedinělých letů. Při plánování prostoru, který je určen pro periodický provoz nelze shromáždění osob předpovídat. Lze nicméně očekávat, že skrze služby U-space, například geofencingu, bude možné dočasně prostor U-space uzavřít pro letecké aktivity.

Pozemní komunikace a železnice jsou v současné době chráněny ochrannými pásmy, které znemožňují provoz UAS v jejich těsné blízko. Hlavní snahou je zabránit pádu UAS na infrastrukturu. V případě pozemních komunikací je největším rizikem pád UAS na účastníky silničního provozu. Kromě poškození automobilu, může dojít ke zranění účastníků silničního provozu, kteří nejsou chráněni karosérií, tedy cyklistů a motorkářů.

V případě pozemní komunikace nezpůsobují ležící trosky UAS kritické nebezpečí. Účastníci silničního provozu jsou povinni přizpůsobit styl jízdy tak, aby se mohli objektům ležícím na silnici vyhnout. Rizikovější situace nastává u železnice, kde není možné změnit směr jízdy, pouze je možné soupravu zastavit. Je velmi pravděpodobné, že si trosek ležících na kolejích strojvůdce všimne až příliš pozdě, než aby stihl adekvátně reagovat. Trosky větších UAS bezesporu disponují schopností soupravu vykolejit.

Riziko určuje poměr mezi závažností nehody a pravděpodobností jejího vzniku. V případě pozemních komunikací je velmi pravděpodobné, že celkové riziko stoupá s rychlostí a hustotou provozu v dané lokalitě. Provoz UAS v okolí dálnic a silnic I. třídy bude tedy výrazně rizikovější než lety v blízkosti silnic III. třídy a místních komunikací.

Ve výsledné analýze je nutné zohlednit i škodu na nemovitém majetku, která může vzniknout v důsledku nehody UAS. V tomto případě je rozhodujícím faktorem váha havarovaného UAS. Do určité hmotnosti UAS dojde velmi pravděpodobně pouze ke kosmetickým, a tedy nízkým škodám.

Celkové následky nehod UAS lze snížit celou řadou konstrukčních opatření. V rámci této práce byl již zmíněn vystřelovací padák, který sníží dopadovou rychlost UAS. Dále se jedná o volbu

materiálů, které jsou pružnější, tudíž při dopadu absorbují část energie. Nebo například klece na vrtule, které zamezí kontaktu s čepelemi.

Charakteristickým územím, ve kterém hrozí nejmenší nebezpečí zranění nezúčastněné osoby či způsobení škody na majetku jsou louky, pole a zalesněné oblasti. Samotný pád UAS v těchto lokalitách způsobí prakticky zanedbatelné škody. Naprostá většina UAS, které jsou v současné době provozovány, nicméně využívají k uskladnění energie lithiové baterie. Ty se mohou v důsledku pádu UAS poškodit a následně vzplanout. Především v suchých letních měsících se následně požár může velmi rychle šířit a vzniklé škody mohou být velmi vysoké.

Jisté pozemní riziko existuje i v případě letu nad vodními plochami. Hlavní výhodou je eliminace možnosti vzplanutí baterie UAS po nehodě. Zároveň ovšem existuje riziko úniku nebezpečných látek do vody. Běžné bezpilotní letouny disponují pouze malým množstvím chemických látek, které mohou mít za normálních okolností relativně malý dopad na životní prostředí. Pokud se v daném tělese nachází větší množství vody, dojde ke zředění nebezpečných látek, u UAS především z lithiových baterií, na hodnoty, které nejsou již tak škodlivé ve srovnání s dalšími zdroji znečištění. Nicméně je důležité vzít v úvahu vodní plochy, které jsou na tento druh znečištění velmi citlivé.

Velkou plochu v České republice zabírají vodárenské nádrže, které slouží jako zdroje pitné vody. Z tohoto důvodu jsou chráněny ochrannými pásmy. Na chemické znečištění mohou být také náchylné vodní toky s nižším objemem průtoku, ve kterých se vyskytuje chráněná či ohrožená skupina živočichů a rostlin. Vodní toky, které jsou více náchylné na znečištění, by měly být dále chráněny skrze pásma a pravidelný provoz UAS by měl být velmi důkladně zvážen.

Pro snížení těchto sekundárních škod by bylo možné vytvořit systém, který by monitoroval průběh letu UAS. Při nastalé nehodě či pádu UAS by byl vyslán signál do řídící jednotky. Místo dopadu by mohlo zkontrolovat například jiné blízko letící bezpilotní letadlo. Pokud by byl detekován požár či jiná neodkladná záležitost, mohl by být aktivovaný nouzový plán, který by zahrnoval informování složek IZS.

Vysokým pozemním rizikem disponují oblasti, ve kterých mohou potenciální sekundární škody ovlivnit širší okolí prostoru nehody. Jedná se zpravidla o objekty, v jejichž blízkosti již dnes platí velmi přísná bezpečnostní pravidla. Provozování bezpilotních letadel, především těch využívajících elektrickou energii, například v blízkosti čerpacích stanic či transformátorových

rozvoden, může přinášet vysoké pozemní riziko. V případě čerpacích stanic hrozí nebezpečí výbuchu z důvodu výboje elektrické energie pocházející z UAS.

2.3.6. Hluk

Hluková zátěž pramenící z dopravy je stále se zhoršující problém velkých aglomerací. Nasazení bezpilotních letadel v rámci velkých měst může tento problém dále zhoršit. Ba dokonce může přenést zdroj hluku do vyšších výšek, což může některým zmírňujícím opatřením snižovat účinnost. Nicméně je důležité zmínit, že při nahrazení například nákladních automobilů se spalovacími motory elektrickými bezpilotními letouny, se může celková hluková zátěž v dané oblasti snížit. Při zavádění prostorů U-space je tedy nutné dbát, aby na dopady zvýšené hlukové zátěže platila obdobná pravidla a zákony, které byly v minulosti nastaveny pro ostatní druhy infrastruktury. Tou je myšlena především infrastruktura silniční, železniční a letecká.

V České republice vstoupil 11. října 2000 v platnost zákon č. 258/2000 Sb. [14], jehož hlavním úkolem je ochrana veřejného zdraví. Mimo jiné jsou v tomto zákoně stanoveny hlukové limity, které nesmějí být přesáhnuty v blízkosti důležité dopravní infrastruktury. V případě, kdy není možné hladinu produkovaného hluku snížit, je provozovatel infrastruktury povinný financovat zmírňující opatření, která povedou ke snížení hlukové zátěže na obyvatele v daném místě. Limity jsou stanovené zvlášť pro venkovní a vnitřní chráněné prostory. Limitní hodnoty jsou dále nižší u budov pro předškolní a školní výchovu. Dále u budov pro zdravotní a sociální účely. U těchto druhů staveb je bezpodmínečně nutné dodržet limity alespoň pro vnitřní ochranné prostory.

Zákon o ochraně veřejného zdraví zároveň zavádí pojem stará hluková zátěž. Ta označuje stav hlučnosti, který se v daném místě nacházel před zavedením tohoto zákonu. Jedná se především o hlavní silniční a železniční tepny, které byly vybudovány v dávné minulosti. Tento dodatek chrání provozovatele před financováním zmírňujících opatření. Nejvyšší hlukový limit je stanovený pro denní starou hlukovou zátěž u železničních drah. Hodnota tohoto limitu se rovná 70 dB.

Nová evropská legislativa [15] rozděluje bezpilotní letadla do tříd dle jejich rozměrů, výkonů a vybavení. Hluk produkovaný UAS třídy C1, po vstoupení tohoto nařízení v platnost, nebude smět překračovat 85 dB. Po dvou letech bude tato hodnota snížena na 83 dB, přičemž 4 roky od vstoupení nařízení v platnost se tato hodnota dále sníží na 81 dB. Z toho vyplývá, že

bezpilotní letadla budou legálně schopna produkovat hodnoty zvuku, které již mohou být při delším vystavení člověku nebezpečné.

V minulosti byly hluk a vibrace plynoucí z dopravního provozu pokládány pouze za otravný a klid rušící prvek. Výsledky studie ITF [15] ovšem ukazují, že se u obyvatel žijících blízko silného zdroje hluku a vibrací objevují nemoci metabolického a kardiovaskulárního systému. Dále mohou například způsobovat stres, poruchy spánku, psychologické problémy a zhoršené kognitivní vnímání u dětí.

Nicméně je důležité zmínit, že se v těchto případech jedná o účinky dlouhodobého vystavení vysoké průměrné hodnotě intenzity hluku. Krátkodobé výkyvy způsobené například používáním hlučných strojů do této kategorie nezapadají. Ve vztahu k U-space lze předpokládat, že pokud se bude jednat například o koridor, kterým budou pravidelně létat velké a hlučné stroje, bude nutné pohlížet na způsoby, kterými bude možné snížit dopady hluku na obyvatelstvo v jeho okolí.

Přestože zákon o ochraně veřejného zdraví popisuje hluk pouze z hlediska hlasitosti, existují i další faktory, které ovlivňují, jakým způsobem lidský organismus daný vjem vnímá. Výzkumy ukazují, že vnímání hluku je u každého člověka subjektivní. Svou roli hraje například výška vnímaného zvuku, či míra familiárnosti daného vjemu. Bezpilotní systémy jsou stále relativně nová technologie. Z toho vyplývá, že lidé ještě neměli dost času si na nový druh vjemu zvyknout, což může vést k větší iritaci.

Pro zmírnění dopadů silniční a železniční dopravy jsou v blízkosti velkých tahů budovány stavby, které mají za cíl odstínit vznikající hluk a vibrace. Jedná se například o protihlukové stěny a valy. Na vyhovujících místech lze snížit účinky hluku výsadbou rozsáhlé zeleně. U letecké dopravy jsou zpravidla aplikovány dva přístupy. První je provozní, kdy jsou příletové a odletové trasy na daná letiště plánovány tak, aby bylo zasaženo co nejméně obyvatel. Druhým způsobem je financování stavebních úprav domů a bytů, které pomohou snížit úroveň hluku ve vnitřních prostorech. Nejčastějším řešením jsou protihluková okna a rekuperační systémy. Rekuperační systémy umožňují průběžnou výměnu vzduchu v budově, čímž minimalizují potřebu otevírat okna. Tím je snížen dopad vnější hlukové zátěže na obyvatele.

Pro snížení dopadů provozu UAS lze stanovit minimální výšku, ve které je možné provést let. Tím bude snížen dopad hluku a vibrací na obyvatele v daném místě. Dále lze přistoupit ke

konvenčním stavebním úpravám, které pomohou snížit dopad hlukové zátěže plynoucí z provozu bezpilotních letadel.

Zatímco v blízkosti letišť je možné vybudovat například protihlukové valy, či vysadit zeleň, u bezpilotního provozu není tato možnost ideální. V čistě teoretické rovině by bylo možné vytvořené koridory uzavřít mezi protihlukové stěny. Mimo vysokých nákladů na výstavbu ovšem vyvstávají další problémy. S postupnou automatizací budou některé řídící signály vznikat přímo na palubě stroje, nicméně stále bude nutné zachovat možnost přijímání příkazů ze řídící stanice na zemi. Protihlukové stěny ze stínících materiálů by mohly narušovat možnost přijmutí důležitého řídícího signálu, čímž by byla následně ohrožena provozní bezpečnost. Tento problém by bylo možné vyřešit instalováním přijímačů vně a vysílačů uvnitř koridoru. Tato možnost by ovšem dále zvyšovala náklady a složitost celého řešení.

V případě doručování zásilek koncovým zákazníkům lze argumentovat, že stanovení minimální výšky provozu tento problém nevyřeší, jelikož stroj musí pro předání nákladu v dané lokalitě přistát. Zákon o ochraně veřejného zdraví jasně říká, že pro nárok na zmírňující opatření financovaná provozovatelem infrastruktury, musí být hluková zátěž vysoká a zároveň pravidelná. Pokud bude doručovací služba létat za každým zákazníkem pouze několikrát ročně, nejedná se v tom případě o pravidelný provoz.

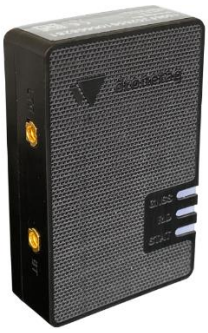
2.3.7. Omezení vstupu současným uživatelům

Nynější podoba rozdělení vzdušného prostoru vzešla z organického vývoje civilního letectví v uplynulém století. V počátcích byla trasa letu plánována na základě charakteristik a výkonů používaných strojů v kombinaci se zvolenou metodou navigace. První dopravní piloti byli nuceni létat velmi nízko nad zemí a navigovat za pomocí výrazných objektů na zemi, například hradů a kostelních věží. S rostoucími výkony a doletem civilních letadel se tento provoz, s výjimkou blízkého okolí letišť, přesunul do vyšších letových hladin.

V současné době je prostor těsně nad zemí využíván především vrtulovými letadly v režimu VFR a sportovními létajícími zařízeními. V posledním desetiletí do tohoto prostoru vstoupila také bezpilotní letadla. Dosavadní pravidla dávání předností založených na rozdílných výkonostech a manévrovatelnostech zúčastněných strojů vedla k vytvoření relativně bezpečného vzdušného prostoru. Mezi tato pravidla patří například, že motorová letadla těžší než vzduch musí dát přednost vzducholodím, kluzákům a balónům. Vzducholodě musí dále dát přednost kluzákům a balónům. Dále pak kluzáky musí dát přednost balónům.

Hlavní zásadou při vytváření těchto pravidel bylo vytvořit co nejvíce volné a svobodné prostředí, které není svázáno přebytečnými opatřeními. Téma vytvoření prostorů U-space vyvolává mezi těmito zájmovými skupinami obavy, že bude tento svobodný přístup do vzdušného prostoru porušen. Již nyní z podoby připravované legislativy vyplývá, že pro vstup do prostoru U-space bude nutné splnit mimo jiné požadavky na vysílání své aktuální polohy. V této chvíli nic takového povinné není. U letadel je tento požadavek výrazně snazší splnit než například u pilotů závěsných kluzáků. Letadla s pístovým motorem zároveň disponují možností výroby elektrické energie na palubě. Pokud by bylo nutné u sportovních létajících zařízení nést také těžké baterie, mohlo by to výrazně ovlivnit průběh letu.

Kvůli pokroku v oblasti technologií došlo v uplynulých letech k vývoji kompaktních zařízení, která umožňují vysílaní polohy UAS. Například česká firma Dronetag nabízí své řešení Dronetag Mini za 7999 Kč [16]. Jedná se o zařízení o velikosti krabičky zápalek viz Obrázek 3, které je schopné vysílání síťové i přímé dálkové komunikace po dobu 8 hodin. K přenosu přímé dálkové komunikace je použit standard Bluetooth, kvůli kterému je možné odesílat polohovou informaci až do vzdálenosti 1,5 km. Síťová dálková komunikace je naopak přenášena pomocí firemního cloudu. Data je následně možné zobrazit v mobilní aplikaci či rozhraní U-space.



Obrázek 3: Dronetag Mini od společnosti Dronetag

Jak již bylo zmíněno, vytvořením a zavedením prostoru U-space dojde prakticky k zabrání části vzdušného prostoru, který byl do této chvíle volně přístupný. Z tohoto důvodu by mělo být za pomocí zmírňujících opatření současným a pravidelným uživatelům těchto částí vzdušného prostoru umožněno jej využívat i nadále. Za pravidelné uživatele lze označit například členy aeroklubu ležícího v blízkosti zaváděného prostoru U-space.

Zároveň se nesmí zapomenout na piloty bezpilotních systémů, kteří v daném místě pravidelně létají v rámci kategorie OPEN. Pro splnění požadavků na provoz v této kategorii není nutné

předem získat povolení od ÚCL ani jiným způsobem tento let hlásit. Pokud by se jednalo například o zemědělské družstvo, které využívá bezpilotní letadla v kategorii OPEN k monitorování pole, mohlo by mu být poskytnuto dostatek zařízení, která umožní vstup do nově vytvořeného prostoru U-space skrze zasílání aktuální polohy UAS. Dále by měly být provozovatelem prostoru U-space hrazeny poplatky spojené se službami poskytovanými USSP.

V této chvíli stále nebyl vybrán jednotný a oficiální standard, skrze který bude možné sdílet svou polohu do U-space. Studie proveditelnosti vypracovaná EASA v roce 2021 [17] se zaměřila na možnost využití mobilních sítí pro tyto účely, nicméně pouze ze strany letadel s pilotem na palubě, vrtulníků a dalších sportovních létajících zařízení. Přestože se z počátku o této technologii mluvilo jako o velmi pravděpodobné možnosti, tato studie přinesla řadu důvodů, ze kterých vyplývá, že je nutné nejprve provést vhodné úpravy.

V původním návrhu měly být využity aplikace pro chytré telefony, které by skrze telekomunikační sítě zasílaly polohové informace do U-space. Prvním problémem se ukázala různorodost zařízení, na které by bylo nutné aplikace vyvíjet. Rozdíly spočívaly především ve výkonu a výdrži jednotlivých zařízení. Dále se ukázalo, že i na výkonnějších zařízení mohou nastat problémy ve chvíli, kdy si ostatní zároveň běžící aplikace začnou uzurpovat výpočetní výkon a šířku pásma. Chytré telefony také nedokážou vybírat různé frekvence šířky pásma pro jednotlivé spuštěné aplikace. Tyto skutečnosti znemožňují certifikaci této technologie pro použití v rámci civilního letectví.

Další problém spočívá v samotné infrastruktuře, skrze kterou dochází k přenosu mobilního signálu. Na vyvýšených lokalitách v krajině jsou umístěné antény, na které se následně napojují jednotlivá zařízení v síti. Za běžných okolností vidí chytrý telefon pouze několik vysílačů. Čím výše nad zemským povrchem se ovšem bude zařízení nacházet, k tím více anténám se bude schopné napojit. Z provedených experimentů vyplývá, že skupina 7 letadel zatěžuje síť až 7krát více, než kdyby se zařízení nacházela na zemi. Z tohoto důvodu postupně k odpojení těchto zařízení operátorem, aby se předešlo hrozícímu přetížení sítě.

Hlavní výhodou tohoto řešení byly především velmi nízké pořizovací náklady. Chytrý telefon vlastní v současné době prakticky každý. Oproti tomu pořizovací cena zařízení, která jsou schopna pracovat se standardy jako například OGN, FLARM či ADS-B, je výrazně vyšší. Z pravidla se jedná o náklady v řádech tisíců korun.

Jak již bylo řečeno, zavedením prostoru U-space dojde prakticky k zabrání části vzdušného prostoru. Pokud byla tato oblast využívána předtím jinými uživateli, musí zřizovatel či provozovatel prostoru U-space vynaložit úsilí a financovat definovaná zmírňující opatření. Pokud by ke vstupu do prostoru U-space stačilo uživateli stáhnout bezplatnou aplikaci, jednalo by se pouze o malou překážku, kterou by bylo možné ve výsledné analýze vhodnosti zavedení prostoru U-space zanedbat.

Jestliže bude podmínkou ke vstupu do prostoru U-space vysílání polohové informace skrze nákladná zařízení, měl by provozovatel financovat jejich distribuci mezi současné uživatele této části vzdušného prostoru. Vstupními daty do analýzy bude následně nutná roční investice. Při určování této hodnoty je nutné zahrnout celou řadu faktorů.

Největšími odpůrci zavedení prostorů budou pochopitelně aerokluby a sdružení sportovních létajících zařízení. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla zmírňující opatření dostatečná a zabránila vzniku či vzrůstu provozních nákladů těchto subjektů. Provozovatelem U-space by mělo být financováno a poskytnuto dostatečné množství zařízení schopných vysílat polohovou informaci. Při určování jejich počtu je nutné také dbát i na předpokládaný rozvoj těchto klubů a sdružení, především z hlediska zvyšování počtu jejich členů v blízké budoucnosti.

V další řadě je nutné brát v potaz očekávaný vývoj tohoto odvětví technologií. Je pravděpodobné, že bude nutné modernizovat tato zařízení, s čím budou spojené periodicky se opakující pořizovací náklady. Dále je nutné počítat s možným poškozením či opotřebením v rámci provozu.

2.3.8. Zatížení ATC

Hlavním cílem celého konceptu U-space je snížení zapojení lidského činitele v oblasti řízení letového provozu, do kterého budou spadat letadla s pilotem na palubě i UAS. Kvůli pozvolnému zavádění služeb U-space ovšem bude nutné, aby z počátku na provoz, především v okolí řízených letišť, stále dohlíželi lidé v podobě řídících letového provozu.

Především v rámci větších mezinárodních letišť bude nutná efektivní a přesná koordinace mezi provozovateli UAS a ATC. Je možné, že před každým letem UAS bude bezpodmínečně nutné získat povolení řízení letového provozu, které bude vyplývat z momentální provozní situace na daném letišti. S příchodem prostorů U-space bude i nadále platit pravidlo, že letadla s pilotem na palubě mají před UAS přednost. Provoz UAS by tedy neměl ovlivňovat provoz v rámci těchto letišť.

Propojení ATM a UTM bude velmi důležité i po plné implementaci koncepce U-space. Přestože je očekáván ještě velmi velký pokrok v oblasti navigačních a řídících systémů UAS, stále bude přetrvávat nebezpečí ztráty kontroly nad bezpilotním systémem. V takovém případě nebude možné ovlivnit trajektorii letu UAS. Jednou z mála možností bude urychlené informování ATC, které následně informuje o nastalé situaci okolní provoz s pilotem na palubě, či jej odkloní do bezpečnější oblasti.

V rámci evropského projektu ARIADNA [18] financovaného SESAR byl proveden experiment, během kterého byly provozovány UAS v blízkosti řízeného letiště. Cílem bylo otestovat schopnost komunikace operátora UAS s řídícím letového provozu, který za danou oblast zodpovídá. V druhé části experimentu byl pro snížení celkové pracovní zátěže pilotovi UAS přidělen asistent, jehož jedinou činností byla komunikace s řídícím letového provozu.

Výsledky těchto pokusů ukázaly, že pilotovat UAS a zároveň komunikovat skrze vysílačku s řídícím letového provozu je velmi náročné a v celé řadě případů to vedlo k chybě pilotáže či nepřesnosti komunikace. Přidělením asistenta se celková pracovní zátěž rozložila. V důsledku tohoto opatření byla zvýšena kvalita pilotáže i komunikace s ATC. Z výsledků také vyplynulo, že řídící letového provozu byly schopni bez větších problémů zvládnout komunikaci s týmem operujícím UAS, především kvůli dlouhému a kvalitnímu výcviku.

Vstupními daty do analýzy vhodnosti zavedení prostoru U-space bude zvýšení nákladů spojených s aktivitami řízení letového provozu. Jak již bylo zmíněno, lety UAS v blízkém okolí řízení letišť bude nutné monitorovat, což povede ke zvýšené pracovní zátěži řídících. Z důvodu snahy o zachování dostatečné úrovně provozní bezpečnosti je určen maximální počet letů, který může jeden pracovník v dané chvíli efektivně sledovat a řídit. V tuto chvíli nelze říct, jestli se pracovní zátěž plynoucí z jednoho letu s pilotem na palubě rovná letu UAS. To bude možné určit až na základě provozních dat.

Dále do této části nákladů lze započítat školení pro personál ATC, který bude zaměřený koordinaci bezpilotního provozu se stávajícím provozem letadel s pilotem na palubě v okolí letišť, které spadají pod zodpovědnost daného okrsku. Tento dodatečný výcvik byl měl být zaměřený také na řešení krizových situací, které mohou nastat během provozu UAS. Důležité je také přípravu personálu aktualizovat na základě zkušeností získaných z ostrého provozu.

2.3.9. Vizuální smog

Na rozdíl od letectví s pilotem na palubě, které se ve svých počátcích vyvíjelo přirozenou cestou, je bezpilotní sektor velmi regulovaný již od svého vzniku, především z důvodu snahy o vytvoření bezpečného a integrovaného prostředí. V rámci celosvětové snahy byly definovány negativní dopady, které může bezpilotní letectví mít.

Především je nutné zpočátku využívat UAS způsobem, který o nich zvýší povědomí v očích veřejnosti, ale nezpůsobí zhoršení veřejného mínění, což by dále komplikovalo vývoj tohoto segmentu letectví. Jednou z mnoha starostí je vytváření vizuálního smogu. Na rozdíl od letadel s pilotem na palubě budou UAS moci létat velmi nízko, což může zhoršovat celkové vnímání daného místa lidmi, kteří se zde nachází. Pokud bude daná lokalita vyhlášená vysokou intenzitou provozu UAS, může to odradit část obyvatel od návštěvy. To může v důsledku negativně ovlivnit obchodní aktivity v daném místě.

Nezanedbatelnou roli v této problematice hraje kontrast. Pokud člověk zahlédne UAS uvnitř rušného města, kde se nachází další rušivé vjemy, jako například pohybující se automobily či kolejová vozidla, nebude rušivý efekt plynoucí z provozu UAS tak velký. Horší situace nastane, pokud bude UAS provozován v klidnějších místech, kde jeho pohyb více vynikne.

Místa, která spadají pod tento popis, jsou například městské parky, které jsou využívané k relaxaci a trávení volného času obyvateli. Skrze výběr klidnějších lokalit, spolu s dalšími úpravami daného prostoru, je cílem vytvořit nerušené prostředí. Bezpilotní letadla by v tomto prostoru vytvářela velmi rušivý subjekt už svou samotnou existencí. Obdobný problém vyvstává v blízkém okolí pietních míst.

Pokud se má zavádění prostorů U-space řídit myšlenkou, že je nutné nezhoršit obecné povědomí a názor na ně v očích veřejnosti, neměly by být dotčené největší a nejznámější kulturní památky. Pokud by byly v blízkosti velmi starých památek vysoké kulturní hodnoty provozovány velké bezpilotní letouny disponující pestrobarevnou livrejí mezinárodních přepravních společností, mohlo by to vzbudit odpor v očích veřejnosti k tomuto nové odvětví civilního letectví.

Vstup do analýzy vhodnosti zavedení prostoru U-space tvoří finanční prostředky, které reprezentují potenciální škodu, která vznikne jako důsledek vytváření vizuálního smogu skrze provoz UAS. Ve vztahu ke kulturním památkám se může jednat o ztráty způsobené menší

návštěvností daného místa. Ta se dále promítá do míry výnosu dalších podpůrných segmentů jako je například občerstvení a ubytování turistů.

2.3.10. Dopad na životní prostředí

V předchozích kapitolách této diplomové práce byly popsány negativní dopady zavedení prostorů U-space z hlediska hlukové zátěže a vizuálního smogu, které vznikají vůči lidem žijícím v dané oblasti. Při posuzování negativních faktorů nelze opomenout dopad na životní prostředí, který provoz UAS může přinést. Pro lidské vnímání jsou bezpilotní letadla stále novinkou, přičemž to platí o to více z hlediska volně žijících zvířat. Pouze při samotném letu v blízkosti zvěře může dojít k jejímu plašení, což může následně vést k uhynutí. Výskyt takových případů je nutné přinejmenším omezit.

Tento faktor se nezabývá případy, kdy dojde k negativnímu dopadu na životní prostředí z důvodu havárie UAS. Situace, za kterých je životní prostředí ohroženo chemickými látkami, například z baterií, byla popsána v předchozí kapitole zabývající se rizikem vůči zemi. V této kapitole také bylo popsáno nebezpečí vzplanutí baterií, popřípadě dalších částí UAS, v případě nehody.

Problémem může být i samotná přítomnost UAS. Některé živočišné druhy mohou považovat UAS za predátora a v důsledku snahy o útěk může dojít k úhynu. Dále může hrozit situace, kdy některé vzácné druhy zvířat opustí své hnízdiště, čímž je dále ohrožena zbývající populace.

Především u ptactva vyvstává také nebezpečí srážky s UAS během letu. Pokud se do dané oblasti pravidelně stahují početnější hejna, toto nebezpečí dále stoupá. Z tohoto důvodu je nutné posoudit, zda má smysl v dané lokalitě zavádět prostor U-space, který pravděpodobně způsobí zvýšení intenzity provozu UAS.

Dopad pravidelného provozu UAS na životní prostředí bude nižší v místech, kde se již v současné době nachází vybudovaná infrastruktura. Například větší silniční a železniční tepny. Ve srovnání s intenzivním a pravidelným silničním provozem bude negativní přínos UAS z hlediska hluku a přítomnosti pravděpodobně zanedbatelný. Na druhé straně provoz v rámci přírodních rezervací a chráněných území může přinést silné negativní dopady, které je nutné posoudit.

Pro získání vstupu do analýzy vhodnosti zavedení prostoru U-space je nutné finančně ohodnotit negativní dopady na životní prostředí plynoucí z provozu UAS. Toho lze docílit například

přihlédnutím k výši financování projektů, které se zabývají environmentální činností v dané lokalitě. V důsledku zavedení prostoru U-space by byla ohrožena vybudovaná hodnota, které bylo dosaženo skrze vynaložené finance.

Pokud ekonomické výhody plynoucí ze zavedení prostoru U-space, a následný provoz UAS, nedokážou převážit negativní dopady na životní prostředí, bude nutné aplikovat zmírňující opatření. Hlukovou zátěž lze snížit stanovením minimální výšky letu UAS v dané části prostoru U-space. Dále také omezením hladiny produkovaného hluku, tedy pravděpodobně snížením výkonů UAS. Vizuální dopady lze případně zmírnit změnou velikosti zamýšleného UAS pro provoz. V případech, kdy by bylo možné dotčený environmentální subjekt přesunout na jiné místo, měl by provozovatel prostoru U-space pokrýt veškeré náklady s tím spojené.

V České republice se nachází celá řada lokalit, ve kterých by dopady provozu UAS pravděpodobně převýšili ekonomické výhody, které by mohl dotyčný prostor U-space přinést. Jedná se především o chráněné krajinné oblasti a národní parky. Dále by měly být vzaty v úvahu přírodní rezervace.

V rámci analýzy vhodnosti vytvoření prostorů U-space není uvažováno s dalšími faktory, které se týkají životního prostředí. Tímto faktorem může například uhlíková stopa vzniklá návrhem, výrobou a následnou dopravou UAS k provozovateli. Vzniklá uhlíková stopa ovšem není vázána ke konkrétnímu místu, ve kterém se posuzuje vhodnost zavedení prostoru U-space. Proto tento faktor není ve výsledné analýze zohledněn.

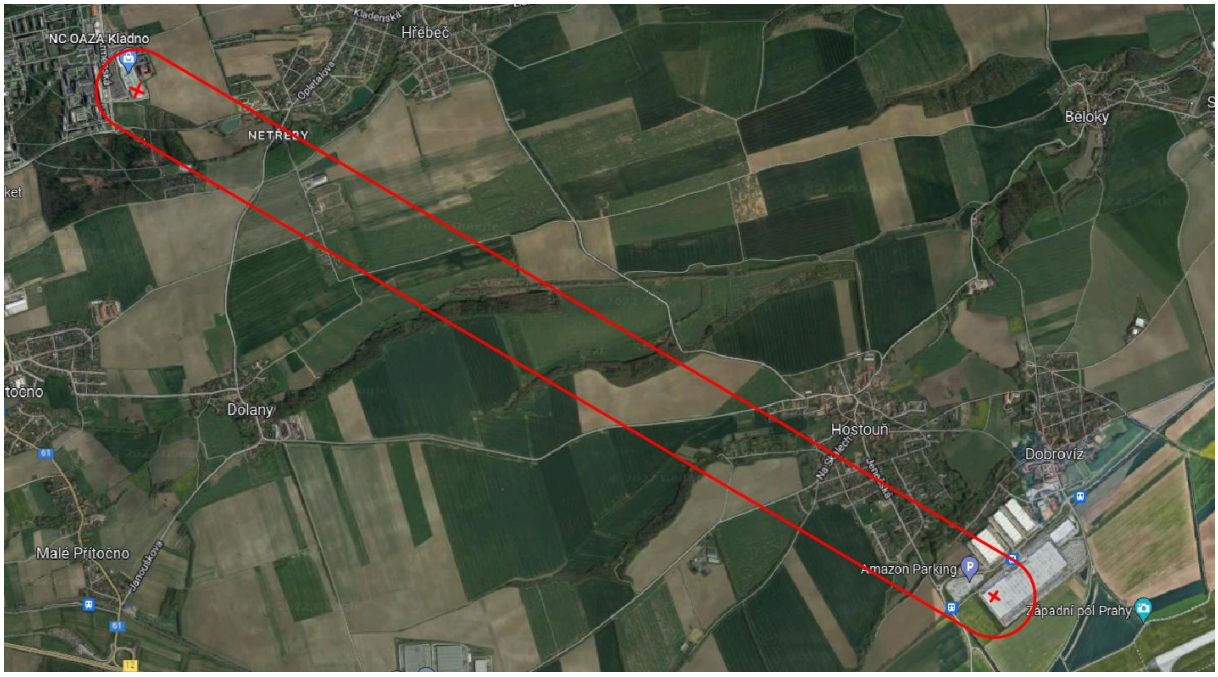
3. Aplikování metody na modelové scénáře

V této části diplomové práce byla navržená metoda aplikována na modelové scénáře. Tyto příklady zavedení prostorů U-space byly vybrány na základě očekávaného využití UAS v rámci tohoto nového konceptu. Zároveň byly vybrány tak, aby bylo možné názorně demonstrovat kladné i záporné výsledky navrhované metody.

Cílem této části je ověřit správnost a proveditelnost navrhované metody. Hodnoty pro jednotlivé faktory, kladné i záporné, byly určeny na základě vyhodnocení, které je založené na podobnostech s ostatními sektory civilního letectví. Z toho vychází, že se hodnoty těchto faktorů mohou měnit v závislosti na získání nových a přesnějších dat z provozu UAS.

3.1. CTR Ruzyně

Prvním modelovým příkladem je zavedení prostoru U-space, jakožto koridoru uvnitř CTR Ruzyně za účelem přepravy expresních zásilek mezi centrálním skladem a výdejním místem obchodu viz Obrázek 4. Vzdálenost mezi těmito dvě místy je přibližně 6 km. Šířka koridoru byla zvolena na 500 metrů. To umožňuje obousměrný provoz UAS s dostatečnou horizontální separací. Provoz je zamýšlen v režimu BVLOS. Pro lety budou využity UAS určené primárně pro tento typ provozu. Pro prvotní fázi tohoto projektu je zamýšlen provoz celkově 5 strojů v období 9:00 – 21:00 každý den.



Obrázek 4: Navrhovaná podoba U-space v CTR Ruzyně [19]

Celá oblast zamýšlená pro zavedení tohoto prostoru se nachází v CTR Ruzyně. V něm se nenachází žádné zakázané a jiné prostory, které by bránily pravidelným letům UAS. Obdobně se zde nenachází žádné další objekty, které by představovaly nebezpečí pro samotné UAS během letu.

Jelikož je provoz zamýšlen v rámci režimu BVLOS uvnitř CTR, splňuje podmínky stanovené pro zavedení prostoru U-space. Pouze skrze kooperaci s řízením letového provozu zodpovědného za tuto část vzdušného prostoru je možné vytvořit bezpečné a efektivní prostředí pro zamýšlený provoz UAS.

Navrhovaným provozem nedochází k zásahu do soukromí nezúčastněných osob. Audiovizuální záběry budou využity pouze k dálkovému řízení UAS. Zásilky mají být dopravovány do výdejního místa, tedy nebude nutné létat k domovům zákazníků. Nehrozí tedy nebezpečí, že by se UAS přiblížilo k zástavbě natolik, že by došlo k narušení soukromí nezúčastněných osob.

Z ekonomického hlediska se jedná o velmi významný projekt. S využitím UAS je možné začít poskytovat službu expresního doručení, které počítá s tím, že si je zákazník schopný vyzvednout svou zásilku z centrálního skladu v řádech hodin od jejího objednání. Z ekonomického hlediska dojde k ušetření nákladů spojených s provozem motorového vozidla a jeho řidiče. Tento koncept by byl revoluční a pro zákazníky zajímavý. Ekonomická výhoda této služby byla ustanovena na výši 100 Kč za let UAS.

Koncept provozu počítá s nasazením 5 kusů UAS, která budou v provozu celkem 12 hodin denně. Hlavním omezujícím faktorem bude celková nosnost zvoleného typu UAS. V důsledku toho budou UAS létat prakticky nepřetržitě, aby byla schopna pokrýt poptávku po této službě. Při uvažované cestovní rychlosti 30 km/h a vzdálenosti 6 kilometrů je očekávaná doba letu přibližně 12 minut. Se započítáním času nutného na vykládku, nakládku a lehkou traťovou údržbu UAS lze očekávat celkem 4 lety za hodinu. Nicméně 2 tyto lety budou provedeny pouze za účelem návratu UAS do skladu, tudíž z nich žádný ekonomický přínos nevychází. Pro určení ročního ekonomického přínosu je nutné doplnit, že provoz bude probíhat celý rok, tedy 365 dní. Celkový roční ekonomický přínos tedy ve výsledku činí 4 300 000 Kč.

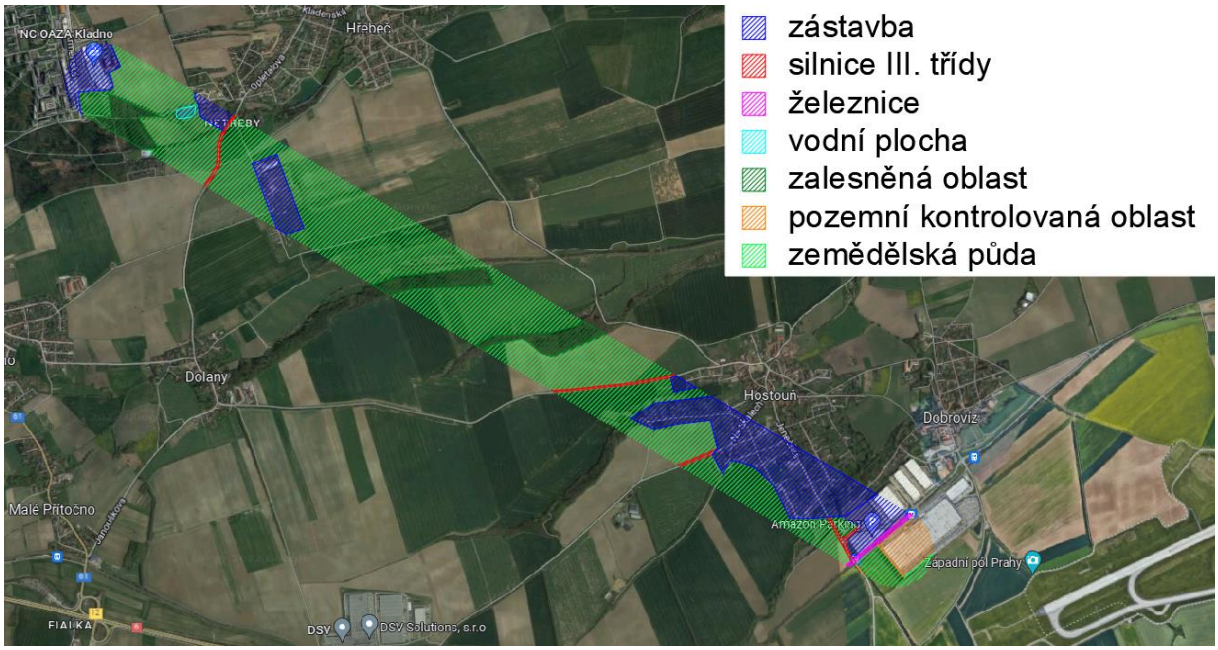
Obecný prospěch je v tomto případě zanedbatelný. Zavedením prostoru U-space nedojde ke zlepšení dopravní situace v regionu ani k přímému zvýšení životní úrovně jeho obyvatel. Zároveň se nepředpokládá využití pro přepravu, která by vedla k obecnému prospěchu, jakožto převoz zdravotnického materiálu či obdobného nákladu.

Kromě vysokého ekonomického přínosu by se v tomto případě jednalo i o příležitost pro uskutečnění širokého spektra výzkumných aktivit. V prvé řadě by šlo o sběr a analýzu provozních dat UAS v CTR v kombinaci s režimem letu BVLOS. Dále by mohl tento prostor sloužit k testování a ověřování kvality a dostupnosti U-space služeb.

Z provozního hlediska by se také jednalo o zkoumání možností ve vztahu ke konstrukčním prvkům UAS využívaných pro přepravu materiálu či zásilek. Dále pak zkoumání provozní spolehlivosti jednotlivých komponent v pravidelném denním provozu, ale také možnosti zvýšení kapacity baterií či přesnosti dálkového řízení. Vzhledem k blízkosti hlavního města lze očekávat i zapojení pražských univerzit. Roční investice do výzkumu spojeného s tímto prostorem U-space byla odhadnuta na 4 000 000 Kč.

Blízká poloha mezinárodního letiště umožňuje využití stávající CNS infrastruktury. Jednalo by se především o síť přijímačů schopných příjmu zpráv v pásmu 1090MHz. Letiště Václava Havla je v současné době vybaveno protidronovými systémy, které sestávají také z Dopplerových radarů s dostatečnou rozlišovací schopností pro zachycení nízko letících UAS. Ty by bylo možné využít pro sledování průběhu letu UAS. Investice do ekvivalentní CNS infrastruktury nutné pro zavedení bezpečného prostoru U-space byla vyčíslena na přibližně 2 000 000 Kč ročně.

Pro určení hodnoty pozemního rizika byla oblast rozdělena na charakteristické části viz Obrázek 5. Procentuální zastoupení jednotlivých charakteristických území je uvedeno v Tabulce 1 spolu s odhadovanou mírou škody, která může vzniknout v důsledku pádu UAS. Provozovatel deklaruje spolehlivost zvoleného stroje, která odpovídá jedné nehodě ročně.



Obrázek 5: Vizualizace charakteristických územních částí [19]

Z hlediska pozemního rizika jsou nejpřísněji ohodnoceny zastavěné oblasti, železnice a pozemní komunikace. Převážná část, kterou zabírá plánovaný koridor se ovšem nachází v oblastech, ve kterých nehrozí vysoká finanční škoda v případě nehody UAS. Jedná se o zemědělskou půdu, zalesněnou oblast a menší vodní těleso.

Tabulka 1:Posouzení pozemního rizika pro U-space v CTR Ruzyně

Charakteristické území	**Procentuální část oblasti**	**Výše vzniklých škod**
Zástavba	22,5 %	12 000 000 (Kč)
Zemědělská půda	66,0 %	-
Zalesněná oblast	6,9 %	-
Silnice III. třídy	1,1 %	200 000 (Kč)
Železnice	0,5 %	7 000 000 (Kč)
Pozemní kontrolovaná oblast	2,8 %	-
Vodní plocha	0,2 %	-
Celkové pozemní riziko		2 500 000 (Kč)

Zvýšenou hlukovou zátěží mohou být v tomto případě ohroženi především obyvatelé obce Hostouň. Přestože nelze vliv pravidelného provozu UAS zanedbat, blízká poloha velkého mezinárodního letiště znamená, že již nyní je tato obec vystavována nadměrným hlukovým zátěžím. Lze tedy předpokládat, že v rámci tohoto zastavěného území již byly implementována zmírňující opatření například v podobě stavebních úprav.

Pro vstup letadel s pilotem na palubě do CTR Ruzyně je povinné disponovat odpovídačem sekundárního radaru. Bezpilotní letadla bez povolení ÚCL nesmí být v CTR provozována. Kombinace těchto dvou skutečností nahrává vzniku prostoru U-space, jelikož za těchto okolností nedochází k dalšímu omezování otevřené kategorie UAS ani letectví s pilotem na palubě.

Dopady provozu UAS v rámci tohoto prostoru U-space z hlediska vytváření vizuálního smogu a dopadu na životní prostředí byly stanoveny jako zanedbatelné, z důvodu blízkosti velkého mezinárodního letiště. V oblasti se zároveň nenachází žádné významné památky ani místa výskytu chráněných živočichů.

Jedním z dominantních negativních faktorů je nárůst pracovní zátěže pro personál ATC. Počet aktivních řídících v danou chvíli je volen s ohledem na optimální rozložení pracovní zátěže. V počátcích provozu by bylo pravděpodobně nutné vytvořit novou pozici, který by zodpovídala čistě za kooperaci běžného provozu v rámci letiště a prostoru U-space. Celkové náklady na tuto pozici byly odhadnuty na 1 500 000 korun ročně.

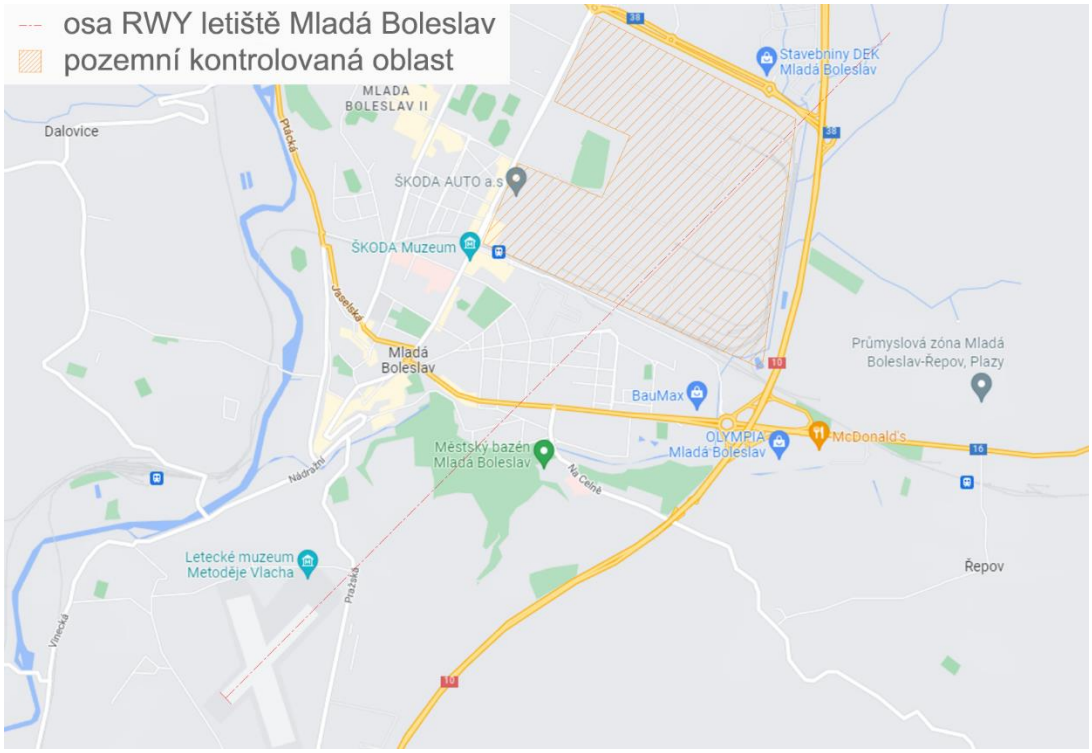
Tabulka 2:Srovnání kladných a záporných faktorů pro U-space v CTR Ruzyně

Kladné faktory		**Záporné faktory**	
Ekonomický přínos	4 300 000 (Kč)	Pozemní riziko	2 500 000 (Kč)
Obecný prospěch	-	Hluk	-
Výzkum	4 000 000 (Kč)	Zatížení ATC	1 500 000 (Kč)
Současné investice do CNS	2 000 000 (Kč)	Omezení současných uživatelů	-
		Vizuální smog	-
		Dopad na životní prostředí	-
Celkem kladné	10 300 000 (Kč)	Celkem záporné	4 000 000 (Kč)

Z výsledného porovnání vychází, že kladné faktory převyšují ty negativní viz Tabulka 2. To znamená, že je zavedení prostoru U-space pro tento provoz výhodné. Pozemní riziko by bylo možné případně snížit vyhnutím se obydleným oblastem. To by nicméně prodloužilo minimální délku trasy pro přepravu zásilky. V důsledku tohoto kroku by následně klesl ekonomický přínos tohoto druhu provozu.

3.2. Tovární komplex Mladá Boleslav

Druhý modelový příklad zahrnuje plánované vytvoření prostoru U-space v rámci automobilového výrobního komplexu ve městě Mladá Boleslav. Bezpilotní letadla budou využívána primárně k inspekcím tovární infrastruktury a přepravě součástek pro výrobu automobilů. Prostor U-space by byl zřízen na celé rozloze továrny viz Obrázek 6, tedy přibližně na ploše 2,2 km^2. Jelikož jsou zamýšleny i inspekce továrního komínu, bude prostor U-space sahat až do výšky 120 metrů. Tím zasáhne do ochranných prostorů letiště Mladá Boleslav.



Obrázek 6: Oblast pokrytí U-space ve městě Mladá Boleslav [19]

Hlavním důvodem zavedení prostoru U-space je jeho umístění v ose jedné z přistávacích a vzletových drah letiště Mladá Boleslav. Zároveň by bylo zasáhnuto do ochranných pásem tohoto letiště [20]. Z tohoto důvodu je nutné koordinovat provoz UAS a letadel s pilotem na palubě skrze U-space. Letadla s pilotem na palubě se nemusí UAS vyhýbat, nicméně při letu v U-space musí poskytovat svou 4D polohu v reálném čase. Tyto informace jsou následně využity provozovateli UAS pro adekvátní výhybné manévry.

Ekonomický přínos zavedení tohoto prostoru U-space lze rozdělit na dvě části. První složka je tvořena prováděním inspekcí infrastruktury za využití UAS. Jde především o ušetřené náklady

na personál z důvodu citelného zkrácení prováděných úkonů. Například inspekce továrních komínů lze zkrátit až v řádech hodin.

Druhá složka ekonomického přínosu plyne z nasazení UAS pro přenos součástek a jiného materiálu v rámci výrobního procesu automobilů. Může se jednat například o díly či součástky určené do speciálních edic osobních vozů, které jsou vyráběny v menším počtu kusů. Tyto součástky nejsou uskladněny v blízkosti výrobní linky, nýbrž ve vzdáleném centrálním skladu. Zapojením UAS lze lépe koordinovat a plánovat výrobu těchto méně častých konfigurací automobilů. Zároveň jsou ušetřeny náklady na řidiče a automobil, který tuto činnost vykonává nyní. Celkový ekonomický přínos zavedení tohoto prostoru U-space byl odhadnut na 2 000 000 Kč za rok.

Význam z hlediska výzkumu tohoto prostoru U-space je menší než v předchozím případě. Jelikož ovšem výrobní koncern disponuje vlastní vysokou školou, lze předpokládat její zapojení do výzkumné činnosti. Mohlo by se jednat například o zdokonalení zapojení UAS do dodavatelského a výrobního řetězce. Kladný faktor z hlediska výzkumu byl odhadnut na 1 000 000 Kč za rok.

Přestože se v blízkosti očekávané lokality zavedení prostoru U-space nachází veřejné civilní letiště, jeho vybavení nedosahuje kvalit a praktičnosti pro využití v rámci provozu UAS. V důsledku toho bude nutné pořídit veškerou CNS infrastrukturu novou. Z tohoto důvodu je tento faktor zanedbatelný. Zároveň bude mít tento prostoru U-space zanedbatelný obecný prospěch, jelikož se nachází pouze nad pozemkem výrobního koncernu.

Navrhovaný prostor U-space byl navržený tak, aby se celý nacházel nad kontrolovanou pozemní plochou, která se rozkládá na pozemku společnosti. Z tohoto důvodu nebyla zahrnuta blízká železniční trať. Během provozu bude nutné respektovat pravidlo 1:1, tedy aby vzdálenost UAS od hranice prostoru U-space byla vždy menší než aktuální výška nad terénem pro případy ztráty kontroly či pádu bezpilotního letadla. Negativní faktor pozemního rizika je tedy zanedbatelný.

Hlavním negativním faktorem je v tomto případě omezení letadel s pilotem na palubě. Provozovatel prostoru U-space by měl každému dosavadnímu pravidelnému účastníkovi této části vzdušného prostoru financovat pořízení vybavení, které umožní zasílání jeho polohové informace v reálném čase do USSP. Pro místní aeroklub by bylo financováno 50 zařízení Dronetag Mini, každé s pořizovací cenou 8 000 Kč. Dále by se platilo měsíční předplatné na

poskytované služby ve výši 250 korun. Tedy celkem 12 500 Kč ročně. Při uvažování nutnosti obnovení tohoto druhu vybavení z důvodu opotřebení a vstoupení nových standardů v platnost každých 5 let, se celková roční investice ročně rovná 92 500 Kč.

Z charakteristických vlastností zvolené části území vyplývá, že ostatní negativní faktory budou v tomto konkrétním případě zanedbatelné. Konkrétně se jedná o dopad na životní prostředí, hlukovou zátěž a vizuální smog. Z důvodu provozu UAS pouze nad pozemkem společnosti, nebude zasáhnuto do soukromí nezúčastněných osob. Jelikož je letiště Mladá Boleslav neřízené, nemůže vzniknout dodatečný náklad provozovateli spojený s vyšší pracovní zátěží ATC personálu.

Tabulka 3:Srovnání kladných a záporných faktorů pro U-space ve městě Mladá Boleslav

Kladné faktory		**Záporné faktory**	
Ekonomický přínos	2 000 000 (Kč)	Pozemní riziko	-
Obecný prospěch	-	Hluk	-
Výzkum	1 000 000 (Kč)	Zatížení ATC	-
Současné investice do CNS	-	Omezení současných uživatelů	92 500 (Kč)
		Vizuální smog	-
		Dopad na životní prostředí	-
Celkem kladné	3 000 000 (Kč)	Celkem záporné	92 500 (Kč)

Ze srovnání kladných a záporných faktorů zavedení prostoru U-space v rámci automobilového továrního komplexu v Mladé Boleslavi, viz Tabulka 3, vyplývá, že pozitivní dopady vysoce převyšují ty negativní. Z tohoto důvodu dává zavedení tohoto prostoru U-space smysl a mělo by být dále podpořeno.

3.3. Přeprava zásilek do výdejního boxu v Praze

Třetí modelový scénář zahrnuje přepravu zásilek z centrálního skladu v Holešovicích do samoobslužného výdejního boxu na Tylově náměstí viz Obrázek 7. Poloha umístění výdejního místa byla zvolena na základě míry poptávky po expresních doručovacích službách. Jedná se o lokalitu, ve které sídlí velké množství firem, které mají zájem o expresní doručení. Zároveň se jedná o důležitý dopravní uzel, skrze který denně projde velké množství lidí. Oproti prvnímu modelovému scénáři se ovšem v tomto případě jedná o provoz z majoritní části nad zastavěným

územím, které je navíc velmi hustě zalidněné. To s sebou může přinášet velmi silné negativní dopady.

Obrázek 7: Prostor U-space v podobě koridoru ve městě Praha [19]

Provoz je zamýšlen v rámci koridoru širokého 120 metrů rozděleného na dvě části, čímž budou umožněny lety UAS v obou směrech. Délka trasy je přibližně 3 km. Hlavní motivací je poskytování služby expresního doručení, které umožní zákazníkům obdržet jejich zásilku v řádech desítek minut. Do budoucna je zamýšleno vytvořit těchto koridorů co nejvíce, aby bylo možné obsloužit celé území hlavního města Prahy.

Trasa koridoru byla zalomena tak, aby provoz nezasahoval do vybraných charakteristických lokalit. Vítkov a Riegrovy sady byly vyčleněny, aby provoz nezpůsoboval zbytečný vizuální smog. Prostor Hlavního nádraží byl vynechán, jelikož by vykazoval vysoké pozemní riziko. Především z důvodu vysoké koncentrace nezúčastněných osob a nebezpečí vykolejení vlaků v případě pádu do kolejového systému.

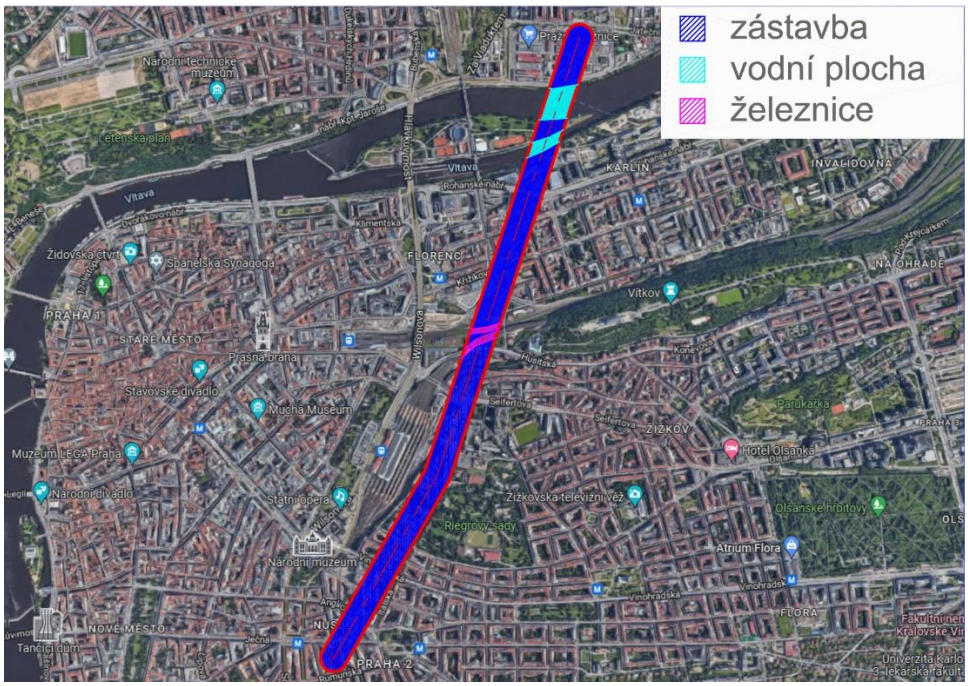
Zamýšlený prostor U-space se nachází v LKR9 (PRAHA). Pokud by ovšem provoz UAS vytvořil dostatečný ekonomický přínos, bylo by možné skrze ÚCL udělit povolení k vytvoření prostoru U-space. Zároveň se navrhovaný koridor nachází v dostatečné vzdálenosti od zakázaného prostoru okolo Pražského hradu.

Bez poskytování služeb U-space nelze zajistit dostatečnou úroveň provozní bezpečnosti. Daný koridor by zasahoval do provozu dvou civilních a jednoho vojenského letiště. Konkrétně se jedná o letiště Letňany, Kbely a Letiště Václava Havla. Tímto je splněna podmínka definovaná v předchozí části této práce, tedy že by měly prostory U-space vznikat v místech možných vzdušných konfliktů.

Ekonomický přínos, obdobně jako u prvního modelového scénáře, lze spatřit především v poskytování prémiových služeb za příplatek. Dále se jedná o ušetřené náklady na provoz automobilu s řidičem. Tato část území je obsluhována pozemními komunikacemi, které jsou velmi vytížené a trpí dopravními kongescemi. Využitím UAS lze snížit čas nutný k doručení zásilky. Celkem je plánováno nasazení 5 bezpilotních letadel, které za den umožní přepravení 100 kusů jednotlivých zásilek. Celkový ekonomický přínos byl odhadnut na 3 650 000 Kč za rok.

Relativně velká vzdálenost od Letiště Václava Havla limituje využití jeho CNS infrastruktury. Celá oblast provozu je nicméně již pokryta signálem mobilních sítí 5. generace, a to všemi třemi operátory. To umožňuje rychlé a efektivní poskytování služby elektronické identifikace UAS. Zároveň bude tuto technologii pravděpodobně možné využít pro DAA (Detect and Avoid, Detekovat a vyhnout se) systémy. Jedná se ovšem o relativně nízkou míru investice, proto byla oceněna na 200 000 korun za rok.

Výzkumná činnost není v tomto prostoru očekávána. Jedná se o velmi hustě zabydlenou oblast. Z toho vychází, že by v dané lokalitě měly být nasazovány pouze ověřené a bezpečné technologie. Z tohoto důvodu je přínos výzkumné činnosti zanedbatelný. Zároveň nelze hovořit o obecném přínosu, jelikož bude tento prostor využíván k čistě komerční činnosti.



Obrázek 8: Rozdělení území na 3 charakteristické části [19]

S provozem v rámci zastavěného území vyvstává určité pozemní riziko. Oblast, kterou zabírá plánovaný koridor lze rozdělit na tři charakteristické části viz Obrázek 8. S přihlédnutím na plánovaný objem provozu, deklaruje správce prostoru U-space výskyt nehody z důvodu nespolehlivosti zvoleného typu UAS maximálně jednou ročně.

Tabulka 4: Vyhodnocení pozemního rizika pro modelový scénář č. 3

Charakteristické území	Procentuální část oblasti	Výše vzniklých škod
Zástavba	91 %	3 445 000 (Kč)
Vodní plocha	7 %	-
Železnice	2 %	7 000 000 (Kč)
Celkové pozemní riziko		3 273 000 (Kč)

Jedním z velkých negativních faktorů je dodatečné zatížení personálu ATC. Tento koridor by se nacházel v MCTR Kbely. Dodatečná pracovní zátěž spolu s provedením doplňujícího výcviku personálu byly odhadnuty na 1 500 000 korun za rok.

Kvůli povaze zvoleného prostoru nelze hovořit o přidaných negativních dopadech na životní prostředí. Proto byl tento záporný faktor zanedbán. Zároveň byl zanedbán negativní dopad čítající omezení vstupu do této části vzdušného prostoru, jelikož se již v současné době jedná o řízený okrsek. Uvnitř ani v blízké vzdálenosti se nenachází žádná významná historická či

kulturní památka, která by byla ohrožena vizuálním smogem. Z tohoto důvodu byl zanedbán i tento faktor. Dopady hlukové zátěže budou velmi srovnatelném s ostatními druhy provozy, které se v této oblasti nachází.

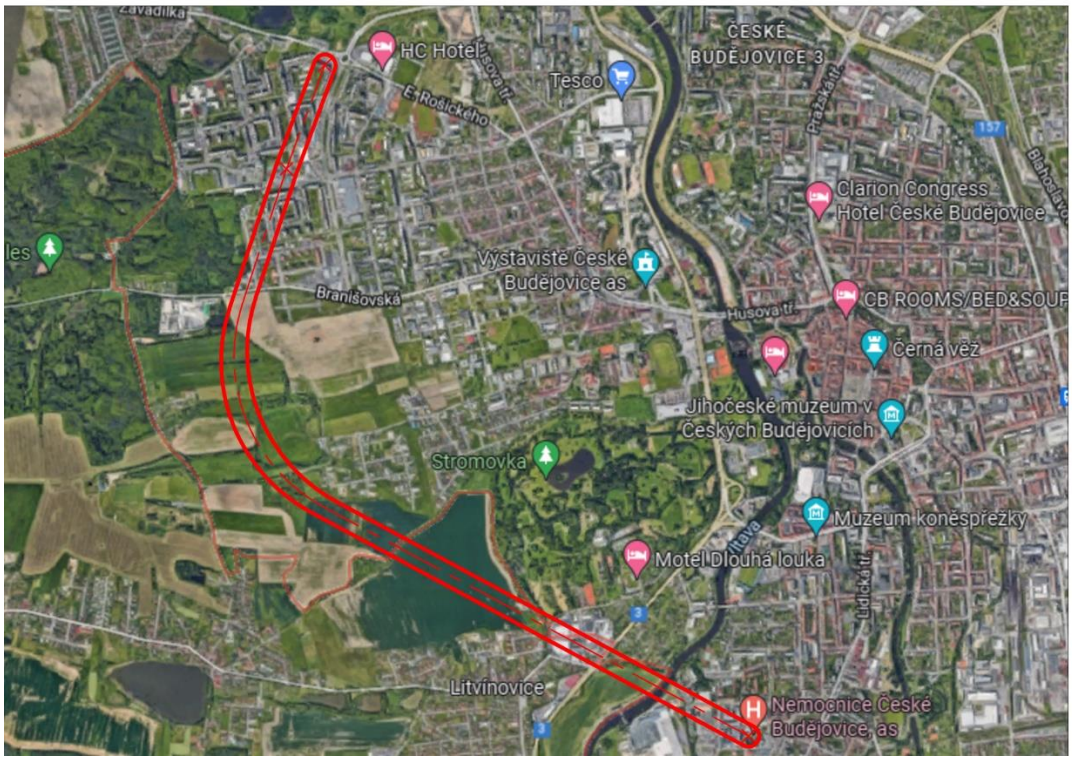
Tabulka 5: Srovnání kladných a záporných faktorů zavedení U-space v centru hlavního města Prahy

Kladné faktory		**Záporné faktory**	
Ekonomický přínos	3 650 000 (Kč)	Pozemní riziko	3 273 000 (Kč)
Obecný prospěch	-	Hluk	-
Výzkum	-	Zatížení ATC	1 500 000 (Kč)
Současné investice do CNS	200 000 (Kč)	Omezení současných uživatelů	-
		Vizuální smog	-
		Dopad na životní prostředí	-
Celkem kladné	3 850 000 (Kč)	Celkem záporné	4 773 000 (Kč)

Porovnáním kladných a záporných faktorů vychází, že zavedení tohoto prostoru U-space v kombinaci s předloženým konceptem provozu, není vhodné, a tedy by k tomu nemělo být přistoupeno. Celková hodnota negativních dopadů prostoru U-space spočívá především ve vysokém pozemním riziku a v citelném nárůstu zatížení ATC blízkého letiště. Míru pozemního rizika lze snížit především nasazením spolehlivějšího typu UAS.

3.4. Přeprava krve v Českých Budějovicích

Čtvrtým modelovým scénářem je vytvoření koridoru v Českých Budějovicích za účelem přepravy krve a jiných lékařských vzorků z nemocnice do dvou laboratoří na levém břehu Vltavy. Trasa koridoru, viz Obrázek 9, byla vytvořena tak, aby co nejvíce odpovídala zásadám definovaných v předchozí části této práce. Hlavním cílem bylo minimalizovat dobu letu UAS nad hustě obydleným územím. Zároveň byla trasa navržena tak, aby nebyl hlukem a vizuálním smogem zasažen park Stromovka.



Obrázek 9: Koridor pro provoz UAS ve městě České Budějovice [19]

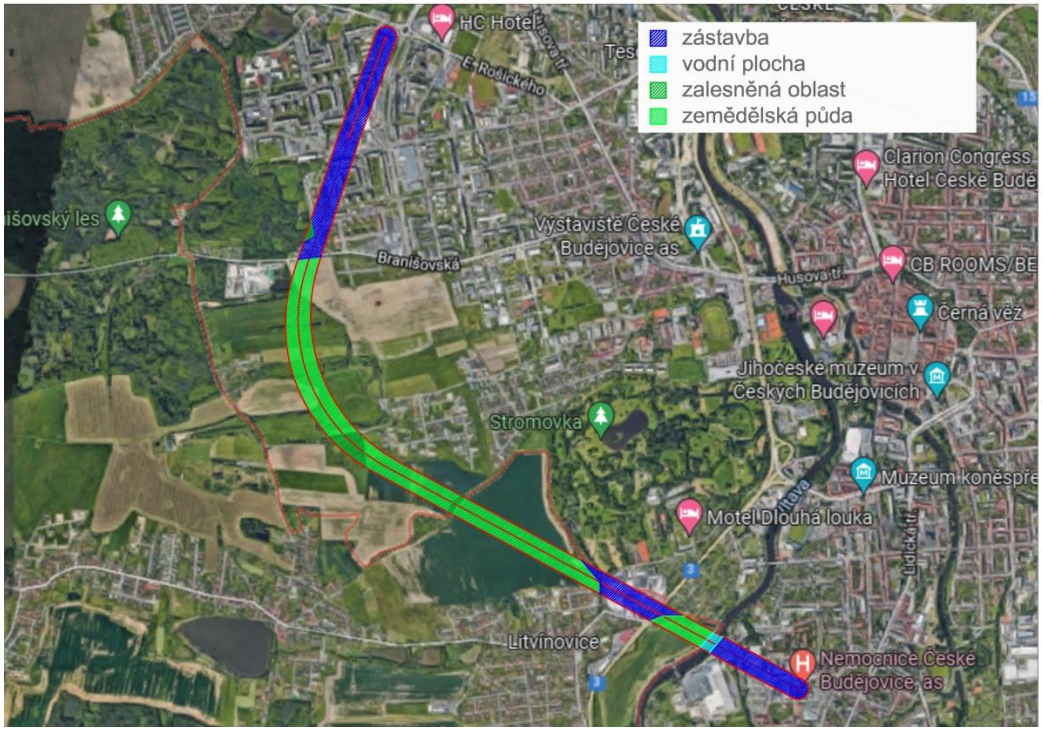
Pro umožnění tohoto druhu provozu je nutné zavést prostor U-space. V dané oblasti se nachází dvě neřízená letiště. Vedle zmíněné nemocnice se navíc nachází heliport, který je určený primárně pro operace související s přepravou pacientů. Z těchto důvodů je nutné zajistit elektronickou viditelnost všech účastníků letového provozu v této oblasti.

Koncept provozu zahrnuje využití UAS pro přepravu krve a jiných vzorků. Prováděcí nařízení komise (EU) 2019/947 [21] označuje krev za nebezpečné zboží. Pokud se jedná o zatím neotestovanou či kontaminovanou krev, lze jí přepravovat v rámci specifické kategorie, ale pouze pokud bude během převozu uzavřena v obalu, který zamezí jejímu úniku v případě nehody UAS.

Majoritním kladným faktorem navrhovaného prostoru U-space je obecný prospěch, který by plynul z plánovaného provozu. Obecně prospěšná činnost využívající UAS také přispěje ke zlepšení pohledu veřejnosti na tuto novou technologii. Snížení nákladů skrze nahrazení provozu automobilu s řidičem pomocí bezpilotního letadla bylo odhadnuto na 500 000 Kč ročně. Dále bylo odhadnuto, že rychlejším převozem vzorků dojde ke zkvalitnění léčby pacientů. Celková hodnota obecného prospěchu byla tedy stanovena na 600 000 Kč za rok.

Ekonomický přínos je v tomto případě zanedbatelný. Laboratoře zpracovávající vzorky jsou sice soukromé a výdělečné, nicméně nasazení UAS pro přepravu nijak nezmění jejich činnost ani předpokládaný výnos. Počet a povaha vzorků budou stejné, jenom dojde ke změně způsobu jejich doručení do laboratoře.

Celý projekt zahrnující vytvoření tohoto prostoru U-space bude podporován výzkumnou činností, jejíž cílem bude především ověřit dlouhodobou proveditelnost tohoto nového konceptu. Zároveň budou zkoumány možnosti zvýšení provozní bezpečnosti, které by umožnily v blízké budoucnosti rozšířit oblast prostoru U-space na celé město. Tím by bylo možné přepravovat lékařské vzorky i do všech ostatních laboratoří ve městě. Tím by dále stoupl obecný prospěch tohoto prostoru U-space. Plánované investice do výzkumné činnosti byly vyčísleny na 2 000 000 Kč za rok.



Obrázek 10: Rozdělení území na 4 charakteristické části [19]

Jak již bylo zmíněno trasa koridoru U-space byla zakřivena s cílem minimalizovat dobu letu nad hustě obydleným prostorem. Tímto řešením se snížila plocha hustě obydlené oblasti na přibližně 41 %. Zbylých 59 % území je tvořeno zemědělskou půdou, lesy a vodním tělesem viz Obrázek 10. V těchto charakteristických územích je potenciální výše škody způsobená pádem UAS zanedbatelná.

Tabulka 6: Vyhodnocení celkového pozemního rizika pro U-space ve městě České Budějovice

Charakteristické území	Procentuální část oblasti	Výše vzniklých škod
Zástavba	41 %	6 700 000 (Kč)
Zemědělská půda	54 %	-
Zalesněná oblast	4 %	-
Vodní plocha	1 %	-
Celkové pozemní riziko		2 740 000 (Kč)

V tabulce výše došlo k vyhodnocení celkového pozemního rizika pro jeden případ pádu UAS z důvodu nespolehlivosti jeho konstrukce. Plánovaný provoz UAS ovšem nebude dosahovat takové intenzity jako v předchozích modelových scénářích. Mezi jednotlivými lety tedy bude možné věnovat čas údržbě a kontrole hlavních konstrukčních prvků UAS. Z tohoto důvodu provozovatel deklaruje, že k nehodě dojde maximálně každé dva roky. Celkové pozemní riziko z Tabulky 6 je nutné vydělit dvěma.

V okolí zamýšlené polohy prostoru U-space se nachází dva aerokluby. Provozovatel prostoru U-space by měl každému dosavadnímu uživateli této části vzdušného prostoru financovat vybavení, které mu umožní tento prostor i nadále využívat. Vybavením jsou myšlena zařízení, která jsou schopna vysílat 4D polohu letadla do USSP v reálném čase. Pro každý aeroklub bude pořízeno 50 kusů zařízení Dronetag Mini s pořizovací cenou 8 000 Kč. Pro každé jedno zařízení je dále nutné platit předplatné ve výši 250 Kč měsíčně. Celková nutná roční investice byla tedy stanovena na 185 000 Kč za rok.

Vzhledem k umístění koridoru do prostředí většího města lze zanedbat faktory spojené s dopady na životní prostředí a vizuálního smogu. Celková hluková zátěž v této oblasti, která v současné době pochází především z provozu automobilů se spalovacím motorem, se nezvýší v důsledku letů zvoleného typu UAS. Z tohoto důvodu není v současné chvíli nutné navrhovat a provádět zmírňující opatření.

Tabulka 7: Porovnání kladných a negativních dopadů zavedení prostoru U-space ve městě České Budějovice

Kladné faktory		**Záporné faktory**	
Ekonomický přínos	-	Pozemní riziko	1 370 000 (Kč)
Obecný prospěch	600 000 (Kč)	Hluk	-
Výzkum	2 000 000 (Kč)	Zatížení ATC	-
Současné investice do CNS	-	Omezení současných uživatelů	185 000 (Kč)
		Vizuální smog	-
		Dopad na životní prostředí	-
Celkem kladné	2 600 000 (Kč)	Celkem záporné	1 555 000 (Kč)

V tomto modelovém scénáři kladné faktory spojené se zavedením prostoru U-space převažují ty záporné, viz Tabulka 7. To znamená, že by vytvoření tohoto prostoru, ve kterém by docházelo ke kooperaci UAS a letadel s pilotem na palubě, mělo být podpořeno. Snížení negativních dopadů bylo dosaženo skrze následování principů popsaných v metodické části této práce.

4. Diskuse

Vypracováním a aplikováním navržené metody byl splněn cíl práce. Navržená analýza splňuje požadavky stanovené platnou legislativou, tedy především prováděcím nařízením komise (EU) 2021/664. Zároveň jsou dílčí výsledky práce v souladu s výsledky projektů zaměřených na tuto problematiku financovaných SESAR.

Aplikováním navržené analýzy na modelové scénáře vyplynulo, že nejsilnějším negativním faktorem je pozemní riziko. Při plánování oblasti činnosti prostorů U-space se ukázalo výhodné přesunout alespoň jejich část mimo zastavěné území, kde je pozemní riziko nižší. Prodloužením doby letu mezi dvěma body se ovšem sníží výsledný ekonomický přínos. Z tohoto důvodu je nutné najít optimální řešení, které maximalizuje poměr kladných faktorů oproti těm záporným.

Z hlediska pozemního rizika se dále ukázalo, že nejvýhodnějším řešením je zřízení kontrolované pozemní plochy. Tato možnost ovšem platí pouze v případě, kdy je provoz UAS zamýšlen nad ucelenou plochou, která se nachází nad pozemkem vlastněným danou společností. Zavádění prvních zkušebních prostorů nad kontrolovanými pozemními plochami má výhodu z hlediska zanedbatelného pozemního rizika vůči nezúčastněným osobám. Dále jsou sníženy dopady hlukové zátěže a vizuálního smogu.

Z výsledků této diplomové práce vychází, že by se první zkušební prostory U-space neměly zavádět v blízkosti hustě zabydlených oblastí, tedy například v centrech větší měst. To je nicméně v rozporu s obecnou představou odborné veřejnosti týkající se budoucího využití bezpilotních letadel k rozvozu objednávek či zásilek. K této činnosti bude možné přistoupit po zdokonalení a ověření funkčnosti tohoto konceptu.

Faktor omezení vstupu pro stávající uživatele dané části vzdušného prostoru se ukázal být jakožto jeden z méně signifikantních z pohledu ekonomického ohodnocení. Cenově dostupná přenosná zařízení umožňují jejich distribuci mezi všechny stávající uživatele vzdušného prostoru, aniž by to přineslo vysoké negativní faktor při posuzování vhodnosti zavedení prostoru U-space.

Při aplikování metody na modelové scénáře nebylo zjištěno, že by bylo nutné přidat další kladný či záporný faktor, který by vyvstal při zavádění prostoru U-space v dané lokalitě. Z toho vyplývá, že se v navržené metodě nachází všechny podstatné, tedy, že aplikováním metody jsou získána v praxi využitelná data.

Jak již bylo řečeno, koncept prostorů U-space je stále novinkou. Z tohoto důvodu zatím nebyly publikovány výsledky studií, které by se na problematiku zavádění prostorů U-space zaměřily z obdobně komplexního pohledu, a tedy zatím neexistuje srovnání.

Vypracování této diplomové práce bylo zapojeno do projektu FUTURE (Návrh řešení implementace U-space pro Českou republiku) financovaného Technologickou agenturou České republiky. Výsledky vycházející z této diplomové práce budou tedy použity pro budoucí zavádění zkušebních prostorů U-space na území České republiky, popřípadě poslouží jako základ po pokračující projekty zabývající se touto tématikou.

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout použitelná pravidla definování vzdušných prostorů U-space. Nejprve byl popsán současný stav rozdělení vzdušného prostoru, který je založený na provozu letadel s pilotem na palubě. Dále byly nastíněny principy, na kterých je založen koncept prostorů U-space spolu s plánovanou podobou uvnitř poskytovaných služeb. Následně byly popsány současně používané analýzy provozní bezpečnosti spolu s důvody, které je činí nedostatečnými pro využití v tomto konkrétním případě. Zároveň byly zmíněny platné legislativní dokumenty, které definují vztahy mezi jednotlivými subjekty zúčastňující se provozu v tomto druhu vzdušného prostoru.

V hlavní části práce byl popsán princip navržené metody, s jejíž pomocí je možné určit, zda je zavedení prostoru U-space v dané oblasti možné a vhodné. Nejprve byly popsány očekávané kladné a negativní dopady zavedení prostorů U-space na jejich blízké okolí. Mezi ně patří například hluková zátěž, vizuální smog, dopad na životní prostředí či vzniklé pozemní riziko. Zároveň byl nastíněn způsob, jakým je možné jednotlivé faktory ohodnotit z finančního hlediska a následně mezi sebou porovnat.

Hlavní limitací navržené metody je potřeba dosazení velmi přesných a ucelených dat, které ve většině vychází z provozu daného typu UAS. V současné době tento druh dat nemusí být výrobci UAS zveřejňován. Tato data je tedy nutné získat jiným způsobem, například vyhodnocením jiných zveřejněných dat či nahrazení alternativou vycházející z podobného druhu provozu.

Zároveň při vyhodnocování pozemního rizika bylo uvažováno, že dojde k nehodě UAS jednou či vícekrát za rok. V současné době je frekvenci výskytu nehod z důvodu nespolehlivosti konstrukce velmi obtížné vyhodnotit. Přesná data bude možné získat až s postupným rozšiřováním objemu provozu UAS.

Rozdělení území na charakteristické části je další limitací práce. Tento koncept uvažuje s tím, že UAS při nehodě dopadne pouze do jedné z vytyčených oblastí. Nicméně pokud se například v zástavbě nachází budovy se sedlovou střechou, existuje pravděpodobnost, že bude nejdříve pádem UAS poškozena střešní krytina a následně dojde k dalšímu pádu na chodník pod ní, kde může dojít ke zranění nezúčastněných osob.

Při tvorbě analýzy pro zjištění vhodnosti zavedení prostorů U-space bylo uvažováno především s provozem bezpilotních letadel využívajících elektrickou energii. Segment bezpilotních letadel se spalovacím motorem není v současné době podporován, především z důvodu dopadů na životní prostředí. Pokud by nicméně došlo k jeho většímu rozšíření, mohlo by to s sebou přinést další negativní faktory, které by bylo nutné také zohlednit.

I přes výše zmíněné limitace je navržená metoda funkční a v praxi použitelná. Při jejím použití lze skrze dosazení kvalitních a ucelených dat jednoznačně určit, zda je zavedení prostoru U-space v dané oblasti vhodné a proveditelné. Se vstoupením prováděcího nařízení komise (EU) 2021/664 v platnost dne 26. ledna 2023 budou moci zájemci požádat o zřízení prostoru U-space na území České republiky. Tato metoda je v současné době jediným nástrojem, s jehož pomocí bude možné vhodnost těchto žádostí posoudit.

Téma týkající se zavádění prostorů U-space s cílem harmonizace a organizace provozu bezpilotních letadel nabízí stále velké množství příležitostí k pokračujícímu výzkumu. Ve vztahu k této práci se jedná především o další zkoumání důležitosti a způsobů ohodnocení jednotlivých zmíněných faktorů, které mohou ovlivnit dopady při zavádění prostorů U-space.

Použité zdroje

[1] *Letecký předpis L2: Pravidla létání*. In: . Dostupné také z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/index.htm

[2] ŘLP. *Letecká informační služba* [online]. In: . [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://aisview.rlp.cz/

[3] U-space Concept of Operations. In: *CORUS* [online]. 2019, 25. 10. 2019 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol2.pdf

[4] *DOPLNĚK X: BEZPILOTNÍ SYSTÉMY*. In: . 2022. Dostupné také z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf

[5] *NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI (EU) 2019/945: o bezpilotních systémech a o provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí*. In: . 2019. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=CS

[6] ICAO. *Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM): A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization* [online]. In: . 2. edice. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/UA/Documents/UTM-Framework.en.alltext.pdf?msclkid=87b7f171d09511ecb5d43c4f8da5cc40

[7] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947* [online]. In: . 9. 10. 2019 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/downloads/104072/en

[8] *CORUS: D3.1 Initial Contingencies & Constraints* [online]. In: . 17. 9. 2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: https://cordis.europa.eu/project/id/763551/results

[9] AMU-LED: UAM Use Cases and Scenarios. In: *AMU-LED Project* [online]. 29. 5. 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://amuledproject.eu/deliverables/

[10] AURA: ATM U-space Interface. In: *CORDIS* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://cordis.europa.eu/project/id/101017521

[11] *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2016/679: o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (obecné nařízení o ochraně osobních údajů)*. In: . 2016. Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=CS

[12] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR. Strategie regionálního rozvoje ČR 2021+. In: *Databáze strategií: portál strategických dokumentů v ČR* [online]. 2019 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.databaze-strategie.cz/cz/mmr/strategie/strategie-regionalniho-rozvoje-cr-2021?typ=download

[13] *GAUSS: Galileo-EGNOS as an Asset for UTM Safety and Security* [online]. In: . 2019, 14. 6. 2019 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://projectgauss.eu/wp-content/uploads/2020/02/GAUSS-D4_1.pdf

[14] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 258/2000 Sb.: Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*. In: . ročník 2000, 74/2000. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258

[15] OECD/ITF. Ready for Take-off? Integrating Drones into the Transport System. In: *International Transport Forum* [online]. 24. 2. 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/take-off-integrating-drones-transport-system.pdf

[16] *Dronetag Mini* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://shop.dronetag.cz/cs/produkty/20-dronetag-mini.html

[17] EASA. *Feasibility Study about the possibility of using mobile telecommunication technologies for making manned aircraft electronically conspicuous in U-space* [online]. In: . 2021 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/feasibility_study.pdf?msclkid=125ff31fd09c11ec8efe37df9c1358a7

[18] *ARIADNA: ACTIVITIES ON RPAS INTEGRATION ASSISTANCE AND DEMONSTRATION FOR OPERATIONS IN NON-SEGREGATED AIRSPACE* [online]. In: . [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.sesarju.eu/node/1509

[19] *Google Maps* [online]. 2022 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: https://www.google.cz/maps

[20] Ochranná pásma letiště Mladá Boleslav. 1:10000. B1. Geodézie Topos, 2020.

[21] *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to Regulation (EU) 2019/947*. In: . 2022, číslo 1. Dostupné také z: https://www.easa.europa.eu/downloads/135910/en

Seznam obrázků

Obrázek 1: Řízený okrsek Letiště Leoše Janáčka Ostrava [2] 11
Obrázek 2: Kladné a záporné faktory zavedení prostoru U-space 28
Obrázek 3: Dronetag Mini od společnosti Dronetag 41
Obrázek 4: Navrhovaná podoba U-space v CTR Ruzyně [19] 48
Obrázek 5: Vizualizace charakteristických územních částí [19] 51
Obrázek 6: Oblast pokrytí U-space ve městě Mladá Boleslav [19] 53
Obrázek 7: Prostor U-space v podobě koridoru ve městě Praha [19] 56
Obrázek 8: Rozdělení území na 3 charakteristické části [19] 58

Seznam tabulek

Tabulka 1:Posouzení pozemního rizika pro U-space v CTR Ruzyně 51
Tabulka 2:Srovnání kladných a záporných faktorů pro U-space v CTR Ruzyně.....52
Tabulka 3:Srovnání kladných a záporných faktorů pro U-space ve městě Mladá Boleslav 55
Tabulka 4: Vyhodnocení pozemního rizika pro modelový scénář č. 3 58
Tabulka 5: Srovnání kladných a záporných faktorů zavedení U-space v centru hlavního města Prahy 59
Tabulka 6: Vyhodnocení celkového pozemního rizika pro U-space ve městě České Budějovice 62
Tabulka 7: Porovnání kladných a negativních dopadů zavedení prostoru U-space ve městě České Budějovice 63