



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Ověření přínosnosti U-space k zajištění provozní bezpečnosti provozu UAS
Demonstration of U-space Benefits for Safety by Using MEDUSA**

Bakalářská práce

Studijní program: bakalářský

Studijní obor: TUL - Technologie údržby letadel

Vedoucí práce: Ing. Michal Černý

Richard Volf

Praha 2023



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Richard Volf

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel

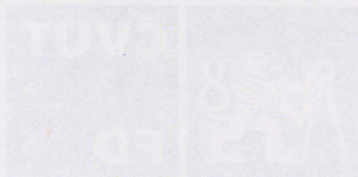
Název tématu (česky): **Ověření přínosnosti U-space k zajištění provozní bezpečnosti provozu UAS**

Název tématu (anglicky): **Demonstration of U-space Benefits for Safety by Using MEDUSA**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je ověřit, zdali vzdušný prostor U-space umožňuje širší možnosti provozu UAS díky zajištění vyšší úrovně provozní bezpečnosti na základě využití metody hodnocení provozní bezpečnosti MEDUSA.
- Analyzujte vzdušný prostor U-space, poskytované služby a současné přístupy hodnocení provozní bezpečnosti.
- Definujte modelový provozní scénář.
- Aplikujte metodu MEDUSA na definovaný provozní scénář.
- Porovnejte výsledky s metodou SORA.
- Diskutujte výsledky a stanovte závěry práce.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Prováděcí nařízení komise (EU) 2021/664 a 2019/947
SESAR JU: CORUS – Concept of Operations for European UTM Systems
SESAR JU: BUBBLES - Defining the building basic blocks for a U-space separation management service

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Černý**

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2022**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Richard Volf
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 7. října 2022



Abstrakt

Současný rozvoj provozu bezpilotních prostředků ve vzdušném prostoru přináší řadu výzev. Jednou z nich je pak snaha zajistit přijatelnou úroveň bezpečnosti pro všechny účastníky i za stálého navyšování kapacity provozu. Řešením je systém U-space, který přináší nové možnosti koordinace bezpilotního a tradičního letectví v jednotném vzdušném prostoru, efektivní způsob řízení provozu a pokročilou úroveň automatizace a digitalizace svých služeb. Aby však bylo možné U-space implementovat, je třeba provést analýzu bezpečnosti takového provozu. Cílem této práce je ověřit, zdali vzdušný prostor U-space umožňuje širší možnosti provozu UAS kvůli zajištění vyšší úrovně bezpečnosti. Pro tento účel byla využita metoda MEDUSA, která je navržena pro analýzu bezpečnosti v prostoru U-space. Aplikována byla na modelový provozní scénář, který již byl dříve využit k aplikaci starší analýzy SORA, jejíž aplikace nepočítá s vyšší hustotou vzdušného provozu a tedy i širším využitím U-space. To umožnilo přímé porovnání výsledků obou metod, na základě kterého byly popsány přínosy a také rizika spojená s implementací U-space. Při zpracování bylo zjištěno, že čistě kvalitativní povaha metody MEDUSA v kombinaci s omezenou dokumentací silně omezuje výsledné závěry. Výsledky nicméně ukazují, že U-space jednoznačně umožňuje navýšení vzdušného provozu při zachování požadované míry bezpečnosti.

Klíčová slova: MEDUSA, Posouzení bezpečnosti, SORA, UAS, U-space



Abstract

The current development of unmanned operations in the airspace poses a number of challenges. One of them is the need to ensure an acceptable level of safety for all participants, even with the increasing capacity of the operations. The solution is the system of U-space, which brings new possibilities for coordination of UAV and traditional aviation in a single airspace, an efficient way of operations management, and advanced level of automation and digitalization of its services. However, in order to implement U-space, it is necessary to conduct a safety analysis of such operations. The aim of this work is to verify whether the U-space airspace allows wider possibilities for UAV operations by ensuring a higher level of safety. For this purpose, the MEDUSA method was used, which is designed for safety analysis in U-space airspace. The method was applied to a model operational scenario, which was previously used for application of the older SORA analysis, which is not designed for a higher density of air traffic and therefore wider usage of U-space. This enabled a direct comparison of the results of both methods, on the basis of which the benefits and risks associated with the implementation of U-space were described. During the processing, it was found that the purely qualitative nature of the MEDUSA method in combination with the limited documentation strongly limits the final conclusions. However, the results show that U-space clearly allows an increase in air traffic while maintaining the required level of safety.

Keywords: MEDUSA, Safety Assessment, SORA, UAS, U-space



Poděkování

Rád bych zde poděkoval všem těm, kteří umožnili vznik této práce, ač přímým zapojením, nebo i pouhou podporou. Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Michalu Černému za jeho odborné vedení, pomoc s vytvořením námětu celé práce a poskytnutí řady obtížně dohledatelných podkladů. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Jakubovi Krausovi Ph.D. za jeho věcné rady a připomínky, které pomohly k rozvoji práce v průběhu celého jejího vypracování. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Stádníkovi, jehož práce poskytla podklady umožňující porovnání metod SORA a MEDUSA. Závěrem bych rád poděkoval rodině, která mě v průběhu celé tvorby této práce a i studia jako takového ve všech ohledech podporovala.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Ověření přínosnosti U-space k zajištění provozní bezpečnosti provozu UAS vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Praze dne 7. srpna 2023

.....
Podpis



Obsah

Úvod	11
1 Pohled na provoz v prostředí U-space	12
1.1 Členění vzdušného prostoru ČR	12
1.2 Pravidla provozu UAS	15
1.3 U-space	19
1.3.1 Společná informační služba	21
1.3.2 Poskytovatel služeb U-space	21
1.3.3 Služby U-space	22
1.4 Posuzování bezpečnosti provozu UAS	24
1.4.1 SORA	24
1.4.2 MEDUSA	25
1.5 Výzkum provozní bezpečnosti UAS v dané oblasti	26
1.6 Limitace současného stavu	28
2 Analýza metodou MEDUSA	30
2.1 Definiční fáze	33
2.1.1 Předpokládané služby U-space	33
2.2 Rizika spojená s provozem UAS v daném prostředí	34
2.2.1 Zmírnění stanovených rizik pomocí služeb U-space	35
2.2.2 Bezpečnostní kritéria U-space	39
2.3 Cíle bezpečnosti	40
2.3.1 Normální provoz	41
2.3.2 Abnormální provoz	44
2.3.3 Chybný provoz	47
3 Prezentace výsledků	52
3.1 Bezpečnostní požadavky	52
3.2 Naplnění Bezpečnostních kritérií	67
3.3 Ověření přínosnosti U-space	69



4	Diskuze výsledků	71
5	Závěr	74
	Seznam použité literatury	76



Seznam obrázků

2.1 Znáznornění trasy letu	32
--------------------------------------	----



Seznam tabulek

2.1	Seznam specifických oblastí vzdušného prostoru	33
2.2	Rizika provozu UAS	35
2.3	Bezpečnostní kritéria	40
2.4	Cíle bezpečnosti - Normální provoz - U-space	42
2.5	Cíle bezpečnosti - Normální provoz - CIS	43
2.6	Cíle bezpečnosti - Normální provoz - UAS	44
2.7	Abnormální podmínky	45
2.8	Cíle bezpečnosti - Abnormální provoz 1/2	46
2.9	Cíle bezpečnosti - Abnormální provoz 2/2	47
2.10	Třídy a pravděpodobnost nebezpečí	48
2.11	Operační nebezpečí	49
2.12	Cíle bezpečnosti - Chybný provoz 1/2	50
2.13	Cíle bezpečnosti - Chybný provoz 2/2	51
3.1	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - U-space 1/4	53
3.2	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - U-space 2/4	54
3.3	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - U-space 3/4	55
3.4	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - U-space 4/4	56
3.5	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - CIS	57
3.6	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - UAS 1/2	58
3.7	Bezpečnostní požadavky - Normální provoz - UAS 2/2	59
3.8	Bezpečnostní požadavky - Abnormální provoz 1/3	60
3.9	Bezpečnostní požadavky - Abnormální provoz 2/3	61
3.10	Bezpečnostní požadavky - Abnormální provoz 3/3	62
3.11	Bezpečnostní požadavky - Chybný provoz 1/5	63
3.12	Bezpečnostní požadavky - Chybný provoz 2/5	64
3.13	Bezpečnostní požadavky - Chybný provoz 3/5	65
3.14	Bezpečnostní požadavky - Chybný provoz 4/5	66
3.15	Bezpečnostní požadavky - Chybný provoz 5/5	67



Seznam symbolů a zkratk

AFIS	Aerodrome Flight Information Service		Letištní letová informační služba
AIP	Aeronautical Information Publication		Letecká informační příručka
ARC	Air Risk Class		Třída vzdušného rizika
ATC	Air Traffic Control		Služby řízení letového provozu
ATS	Air Traffic Service		Letová provozní služba
ATZ	Aerodrome traffic zone		Letištní provozní zóna
AUP	Airspace Use Plan		Plán využití vzdušného prostoru
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight		Let mimo vizuální dohled
CIS	Common Information Service		Společná informační služba
CISp	Common Information Service Provider		Poskytovatel společných informačních služeb
CONOPS	Concept of Operations		Koncepce provozu
CTA	Control Area		Řízená oblast
CTR	Control Zone		Řízený okrsek
ČR	Czech Republic		Česká republika
EASA	European Union Aviation Safety Agency		Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
FL	Flight Level		Letová hladina
GNSS	Global Navigation Satellite System		Globální družicový polohový systém
GRC	Ground Risk Class		Třída pozemního rizika
HOP			Hustě osídlený prostor
CHKO			Chráněná krajinná oblast
ICAO	International Civil Aviation Organization		Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IZS	Emergency Service		Integrovaný záchranný systém



MCTR	Military Control Zone	Vojenský řízený okresek
MEDUSA	Methodology for the U-space Safety Assessment	Metodologie posouzení bezpečnosti pro U-space
MTOM	Maximum Take-Off Mass	Maximální vzletová hmotnost
OH	Operational Hazard	Provozní nebezpečí
OkP		Oprávnění k provozu
OOP		Opatření obecné povahy
OSO	Operation Safety Objectives	Cíle provozní bezpečnosti
RMZ	Radio Mandatory Zone	Oblast s povinným rádiovým spojením
ŘLP	Air Navigation Services of the Czech Republic	Řízení letového provozu
SAC	Safety Criteria	Bezpečnostní kritérium
SAIL	Specific Assurance and Integrity Levels	Specifická úroveň zabezpečení a integrity
SLZ		Sportovní létající zařízení
SO	Safety Objectives	Cíle bezpečnosti
SORA	Specific Operations Risk Assessment	Bezpečnostní posouzení specifického provozu
SR	Safety Requirements	Bezpečnostní požadavky
SSR	Secondary Surveillance Radar	Sekundární přehledový radar
STS	Standard Scenario	Standardní provozní scénář
TMA	Terminal Maneuvering Area	Koncová řízená oblast
TMZ	Transponder Mandatory Zone	Oblast s povinným odpovídačem
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotní vzdušný systém
U-space ARA	U-space Airspace Risk Assessment	Posouzení rizik vzdušného prostoru U-space
USSP	U-space Service Provider	Poskytovatel služeb U-space
ÚCL	Civil Aviation Authority (Czech Republic) A	Úřad pro civilní letectví ČR
VLOS	Visual Line of Sight	Let na vizuální dohled



Úvod

Během posledních let dochází k velkému rozvoji v oblasti bezpilotních letadel. Drony a další podobné systémy nabízí široké možnosti uplatnění ve všech současných odvětvích, ovšem jejich stále narůstající počet ve vzdušném prostoru přináší potřebu zavést systém řízení a regulace umožňující jejich efektivnější sdílení vzdušného prostoru s letadly s pilotem na palubě. Autority Evropské unie a jejich členských států v průběhu let zdokonalovaly legislativu provozu vzdušných bezpilotních systémů (UAS - Unmanned Aerial System). Jednou z hlavních otázek je možnost koordinace provozu nejen UAS jako takových, ale také mezi nimi a letadly s pilotem na palubě. Tento problém má vyřešit systém U-space, který pro velmi nízký vzdušný prostor nabízí propojení sfér bezpilotního a tradičního letectví do jednotného koordinovaného provozu umožňujícího navýšení hustoty provozu a zvýšení bezpečnosti. Abychom dokázali přesně stanovit úroveň bezpečnosti tohoto provozu, je potřeba mít funkční metody analýzy bezpečnosti provozu. Jednou z takových metod, která přímo vychází z předpokladu fungujícího systému U-space, je MEDUSA (MEthoDology for the U-space Safety Assessment). Cílem této práce je určit, zda-li systém U-space umožňuje širší možnosti provozu UAS skrze zajištění vyšší úrovně provozní bezpečnosti a to využitím právě metody MEDUSA. V současné době nemá tato analýza, kvůli absenci funkčního U-space, praktické využití. Aby bylo možné ji aplikovat, budeme v navrhovaném provozu uvažovat jeho plné fungování v budoucí nejpravděpodobnější podobě. Metoda bude aplikována na již hotový scénář, vytvořený Ing. Janem Stádníkem v jeho diplomové práci [1], ve které porovnával metodu bezpečnostní provozní analýzy SORA (Specific Operations Risk Assessment) se staršími metodami. Kvůli tomu bude možné provést porovnání výsledků získaných oběma analýzami SORA a MEDUSA a zjistit tak, zda provoz v prostředí U-space, se kterým MEDUSA počítá, nabízí vyšší provozní bezpečnost, než současný stav bez něj. Vstupní předpoklad, je takový, že by U-space měl přinášet vyšší úroveň bezpečnosti. Tato práce se pokusí tento názor potvrdit, případně zjistit do jaké míry se tak děje.



1 Pohled na provoz v prostředí U-space

Teoretická část této práce se zabývá pohledem na provoz UAS na území České republiky (dále ČR) a podstatu systému U-space. První část je zaměřena na obecné členění vzdušného prostoru ČR, které nám definuje jeho rozdělení do tříd a představí specifické oblasti vzdušného prostoru ovlivňující provoz UAS. Dále se zaměřuje na současnou legislativu ovlivňující provoz UAS na našem území. Představuje nařízení Evropské komise rozdělující provoz do provozních kategorií, Evropský systém certifikace UAS a dále rozebere Opatření obecné povahy (OOP), dokument který souhrnně popisuje národní legislativu pro provoz UAS na území ČR. Následuje představení systému U-space, obsahující jeho popis, jakým způsobem byl navržen a současný stav vývoje této problematiky. Také představuje metody analýzy provozní bezpečnosti UAS. Nejprve v současné době využívanou analýzu SORA, následně metodu MEDUSA a porovnání obou pro lepší představu o jejich odlišnostech. V posledních dvou kapitolách teoretické části se zaměřím na současný stav analyzování provozní bezpečnosti pro U-space a na limity, které omezují využití těchto analýz.

1.1 Členění vzdušného prostoru ČR

Vzdušný prostor České republiky je, jak je stanoveno v [2], rozčleněn do čtyř klasifikačních tříd dle Mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO (International Civil Aviation Organization): C, D, E a G. Prostory C, D a E jsou řízenými vzdušnými prostory spravované Letovou provozní službou (ATS), G je pak neřízený vzdušný prostor, kde je poskytována pouze letová informační a pohotovostní služba. Třídu C najdeme v České republice v blízkosti Letiště Praha Ruzyně v zónách TMA PRAHA (koncová řízená oblast), CTA 2 PRAHA (řízená oblast) a v letových hladinách FL95-FL600 na celém území státu. Vzdušný prostor třídy D najdeme u zbývajících větších letištních ploch v zemi, konkrétně v oblastech CTR/MCTR (řízený okresek letiště/vojenského letiště) a TMA/MTMA (koncová řízená oblast letiště/vojenského letiště) do hladiny FL95. Třída E se pak nachází ve veškerém zbylém prostoru mimo CTR/MCTR a TMA/MTMA v rozmezí od výšky 1000 ft nad úrovní země až FL95. Třída G obsahuje veškerý zbývající vzdušný prostor od úrovně země do výšky 1000 ft nad zemí, mimo oblasti CTR/MCTR.

Dále jsou vytyčené oblasti vzdušného prostoru s různými stupni omezení provozu. Jedná se prostory zakázané, omezené, nebezpečné, dočasně rezervované a dočasně vyhrazené. Tyto



oblasti dále upravují rozčlenění vzdušného prostoru dle klasifikačních tříd a mohou od země sahát do různých letových hladin.

Zakázaný prostor (LKP) je vzdušný prostor, kde je letecký provoz zakázán. Tyto vzdušné prostory jsou zřizovány především k ochraně pozemních objektů důležitých pro bezpečnost daného státu a kritické infrastruktury (například Pražský hrad, areály petrochemického průmyslu či jaderné elektrárny). Za běžné situace do nich není povoleno vstupovat a žádost o povolení vstupu do těchto zakázaných prostor prostřednictvím ATS je bezpředmětná. Výjimku tvoří provoz složek integrovaného záchranného systému (IZS) a Armády ČR a to pouze v odůvodněných a naléhavých případech. V případě žádosti podané uživatelem vzdušného prostoru obsahující oprávněný důvod k provozu v zakázaném prostoru, vyřizuje tyto požadavky v předstihu stanoveným postupem Úřadu pro civilní letectví ČR (ÚCL).

Omezený prostor (LKR) je vzdušný prostor, ve kterém je provoz omezen v souladu se stanovenými podmínkami. V rámci ČR se omezené prostory nachází zejména nad oblastmi přírodních rezervací a vstup do nich je limitován. Existují však výjimky a to pro několik typů provozu: zásahy složek IZS, vojenské operace, ale také lety bezmotorových letadel, jejich vzlet a přistání a provoz bezpilotních letadel (po povolení správce prostoru). Pro vstup do těchto omezených prostorů musí ostatní uživatelé vzdušného prostoru podat žádost Úřadu pro civilní letectví, který o jejich schválení rozhoduje dle předem stanovených postupů. Specifickým omezeným prostorem je oblast centra hlavního města Prahy, kam je na základě letového povolení umožněno vstupovat několika specifickým kategoriím letů, jako jsou lety státních letadel, ověřovací lety ÚCL a Řízení letového provozu (ŘLP), lety volných obsazených balónů, vícemotorových letadel pro zvláštní účely (pátrací a záchranné, letecká záchranná služba, řízení dopravy, letecké stavební práce, letecké snímkování, kontrola energetické infrastruktury) a letům provádějícím vzlety, přiblížení, přílety a odlety na/z letišť LKPR, LKKB, LKVO a LKLT.

Nebezpečný prostor (LKD) je vzdušný prostor, ve kterém může být letecký provoz v určitý čas nebezpečný. V určitých časech zde může probíhat činnost, která může ohrožovat provoz letadel v oblasti, například vypouštění plynu nebo manipulace a likvidace výbušnin. Provoz v těchto oblastech není omezen, ale veškerá zodpovědnost je poté na řídicím pilotovi, který může rozhodnout, zda do oblasti vstoupí. Obecně je však doporučeno se provozu v těchto oblastech vyhnout.



Dočasně vyhrazený prostor (LKTSA) je definovaná část vzdušného prostoru, která je za normálních okolností v pravomoci jedné složky letectví a dočasně vyhrazena pro výhradní použití jinou složkou letectví. V tomto prostoru není povolen průlet jiného provozu. LKTSA je vytvářen pro různé činnosti, nejčastěji vojenského charakteru nebo pro jiné speciální účely, které vyžadují oddělení od běžného vzdušného prostoru. Plánované využití tohoto prostoru je zveřejněno prostřednictvím publikace AIP (Aeronautical Information Publication), a aktuální stav aktivace lze získat od příslušného stanoviště ATS. Tato informace o aktivaci prostoru je ovšem platná pouze po dobu 15 minut a poté je nezbytné se na aktivaci prostoru dotazovat znovu, nebo jej považovat za aktivovaný. V případě aktivace prostoru je vstup do něj a provoz v něm zakázán.

Dočasně rezervovaný prostor (LKTRA) je definovaná část vzdušného prostoru, která je za normálních okolností v pravomoci jedné složky letectví a dočasně vyhrazena pro výhradní použití jinou složkou letectví, ale přes kterou může být na základě povolení ATC umožněn průlet jiného provozu. Podobně jako u vyhrazeného prostoru jsou rezervované prostory také primárně určené pro oddělení vojenské činnosti od ostatního provozu. Pokud je prostor aktivován, je vlet do takovéto oblasti zakázán, ovšem na rozdíl od vyhrazeného prostoru je ve výjimečných případech možné jím na základě povolení vydaného stanovištěm ATS a po koordinaci se správcem daného prostoru proletět. Podobně jako u vyhrazeného prostoru je plánované využití tohoto prostoru zveřejněno prostřednictvím publikace Plánu využití vzdušného prostoru AUP (Airspace Use Plan), a aktuální stav aktivace lze získat od příslušného stanoviště ATS. Stejně tak, je informace o aktivaci prostoru platná pouze po dobu 15 minut a poté je nezbytné se na aktivaci prostoru dotazovat znovu, nebo jej považovat za aktivovaný. V případě aktivace prostoru je vstup do něj a provoz v něm zakázán.

Jsou rozlišovány dvě oblasti s požadavky na spojení a činnost odpovídačů SSR (Secondary Surveillance Radar - Sekundární přehledový radar). První je Oblast s povinným rádiovým spojením (RMZ - Radio Mandatory Zone), ve které platí pro letadla povinnost být vybavená radiostanicí a provozovat ji. Ve stanovených oblastech RMZ (lety VFR ve vzdušných prostorech tříd E a G, lety IFR v prostorech třídy G) musí letadla nepřetržitě sledovat hlasovou komunikaci letadlo-země a v případě potřeby navázat oboustranné spojení, pokud není poskytovatelem letových navigačních služeb stanoveno jinak. Před vstupem do oblasti RMZ musí na příslušném komunikačním kmitočtu pilot provést ohlášení, uvést nezbytné informace o letu (označení volané stanice, volací znak, druh letadla, poloha, letová hladina, záměr letu). Oblast s povinným odpovídačem (TMZ - Transponder Mandatory Zone) je vzdušný prostor, ve kterém platí pro letadla povinnost mít na palubě odpovídač



SSR, odesílající na vyžádání letové údaje, s provozními módy A, C nebo S a využívat jej. Oblasti RMZ a TMZ jsou řádně vyznačeny v AIP ČR.

1.2 Pravidla provozu UAS

V současné době platí na území ČR legislativa vycházející z národních pravidel vytvořených na základě §44 odstavce 4 zákona č. 49/1997 Sb. o civilním letectví, zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání a §172 zákona č. 500/2004 Sb. Správní řád ve formě Opatření obecné povahy (OOP), a legislativa Evropská, na kterou se Česká částečně odvolává.

Evropská legislativa, vychází z Nařízení komise (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 [3] a Prováděcího nařízení komise (EU) 2019/947 [4] ze dne 24. května 2019. Tato dvojice nařízení vytvořila první soubor podrobných ustanovení pro harmonizovaný provoz bezpilotních systémů a minimální technické požadavky na tato zařízení. Mimo jiné tak definovala pravidla pro výrobu a distribuci UAS, kategorizovala zařízení UAS spolu se systémem certifikace a stanovila způsob jejich značení, určila pravidla pro provozovatele, personál a organizace zapojené do provozu bezpilotních systémů na území Evropské unie. Jedním z hlavních prvků Evropských nařízení je potom právě rozdělení provozu bezpilotních systémů do tří základních kategorií: OPEN (Otevřená), SPECIFIC (Specifická) a CERTIFIED (Certifikovaná). Tyto kategorie rozdělují provoz UAS z hlediska míry rizika.

Otevřená kategorie (OPEN) je kategorií provozu s nejnižším stupněm pozemního rizika. Pro provoz v této kategorii není vyžadováno Oprávnění k provozu (OkP) nebo prohlášení o provozu od provozovatele vydané před provedením letu. V této kategorii může volně provozovat UAS každá fyzická i právnická osoba, pokud během provozu budou splněna stanovená pravidla provozu a ve většině případů bez nutnosti koordinace s ATS nebo jinou autoritou.

Pro let v kategorii OPEN je nutná registrace provozovatele, který UAS vlastní, a dálkově řídicího pilota, neboli operátora, který stroj ovládá během provozu, a to podle postupů stanovených Agenturou Evropské unie pro bezpečnost letectví (EASA) a příslušnými úřady členských států. Výjimkou z tohoto pravidla je provoz UAS, které mají maximální vzletovou hmotnost (MTOM) nižší než 250 gramů a nejsou vybaveny kamerovým systémem ani žádným dalším senzorem, nebo jsou zařízením označených jako "hračka". Takovéto stroje je možné provozovat bez nutnosti registrace provozovatele i dálkově řídicího pilota. Podobně je z veškerých pravidel vyjmut provoz v interiéru,



který tak nepodléhá pravidlům vzdušného provozu a je plně pod kontrolou majitele daného objektu, který sám stanoví podmínky pro provoz.

Provoz v otevřené kategorii je pak rozdělen do tří podkategorií: A1, A2 a A3. Podkategorie OPEN A1 je nejnižší úroveň a zajišťuje provoz UAS s nejmenší mírou rizika, neboli malých strojů o nízkém MTOM, zařízení označenými jako hračka a nejnižších dvou certifikačních tříd C0 a C1. Podkategorii OPEN A1 lze dále rozdělit podle velikosti a složitosti UAS na provoz strojů o MTOM nižší než 250 g nebo třídy C0 a dále na provoz strojů o MTOM nižší než 500 g nebo třídy C1. Pro první skupinu, MTOM nižší než 250 g a třídu strojů C0 platí nejmírnější pravidla, především kvůli velmi nízké hmotnosti těchto strojů a s tím spojeného menšího rizika následků v případě pádu tohoto stroje na zem. Tato UAS mohou operovat v libovolné horizontální vzdálenosti od budov a osob a lze s nimi provést průlet nad nezapojenými osobami, za podmínky, že bude minimalizován čas strávený nad těmito osobami. Pro druhou skupinu, MTOM nižší než 500 g a třídu strojů C1 jsou pravidla jen mírně zpřísněna. Stále není omezena horizontální vzdálenost k budovám a osobám, ovšem už není umožněn jejich přelet. Pro celou podkategorii OPEN A1 pak platí, že nelze s UAS provést let nad budovy, je nutné let provádět v režimu VLOS (let na vizuální dohled), maximální výška letu nesmí překročit 120 metrů nad povrchem země a platí zákaz provozu UAS nad shromážděním osob nebo zásahem složek IZS.

Podkategorie A2 vyžaduje pro provoz rozšířenou úroveň registrace operátora UAS, zajišťovanou příslušným úřadem civilního letectví daného státu. Stroje zde mohou mít hmotnost v rozsahu od 0,5 kg do 2 kg nebo musí být označeny štítkem C2. UAS v této podkategorii je umožněn let nad budovami. Dále jsou stanoveny minimální vzdálenosti, ve kterých se mohou UAS pohybovat od nezapojených osob, kdy stroj nesmí být výše nad povrchem země, než je jeho horizontální vzdálenost od osoby (pravidlo "1:1") a zároveň se nesmí pohybovat v menší vzdálenosti než 30 m od osoby, pokud je označeno štítkem třídy, nebo 50 m, pokud jím označeno není. UAS vybavené štítkem třídy se pak při zapnutém nízko rychlostním režimu (maximální rychlost nesmí být vyšší než 3 m/s) může k osobě přiblížit na minimální vzdálenost 5 m. Dále platí, že není povolen let nad shromážděním osob a zásahem složek IZS a maximální výška letu je stanovena na 120 m nad povrchem země.

Podkategorie A3 zajišťuje provoz UAS s nejvyšší mírou rizika na zemi a jedná se tak o stroje o hmotnostech od 0,5 kg až do 25 kg, nebo označené štítky C2, C3 a C4. Provoz v této podkategorii je umožněn při dodržení vzdálenosti 150 m od obytných, obchodních, průmyslových



nebo rekreačních prostor a mimo urbanistické prostředí. UAS se také musí pohybovat v prostoru, kde se nepředpokládá výskyt nezapojených osob. V případě, že se v oblasti provozu takovéto osoby objeví, je nutné od nich udržovat minimální vzdálenost, kterou dané UAS je schopné urazit svou maximální rychlostí za dobu 2 sekund, minimálně však 30 m. Dále platí stejný zákaz provozu UAS nad shromážděním osob a zásahem složek IZS. Maximální výška letu je stanovena na 120 m nad povrchem země.

Štítky jsou novým způsobem značení třídy UAS v Evropské unii. Jsou odstupňovány od C0 až C4 (případně C5, C6 pro budoucí využití pro provoz dle Standardního scénáře) a určují stupeň certifikace zařízení od výrobce. V době zpracování této práce je množství strojů opatřených těmito štítky na trhu minimální, ale jejich počet se zvyšuje. Po konci tzv. Přechodného období, jehož konec je v momentu psaní této práce stanoven na datum 31.12.2023, budou muset být veškeré nově vyrobené UAS prodávané na území EU těmito štítky certifikace vybaveny. V opačném případě budou všem těmto UAS bez štítku s MTOM vyšší než 250 g umožněn provoz pouze v podkategorii OPEN A3. Specifická kategorie (SPECIFIC) umožňuje provoz v případě, že je z povahy daného provozu UAS nutno překročit pravidla Otevřené kategorie. V takovém případě je provozovatel UAS povinen získat od příslušného úřadu daného státu OkP. Spolu s žádostí musí provozovatel vypracovat a předložit posouzení rizik spolu s přiměřenými zmírňujícími opatřeními. Příslušný úřad pak žádost posoudí a rozhodne o vydání OkP. Provozovatel může také pro schválení svého provozu využít tzv. standardní scénáře, u kterých není nutné získat OkP, ale postačí pouze prohlášení o provozu v souladu s daným provozním scénářem.

Standardní scénáře (STS) jsou předdefinované operace stanovené Přílohou 1 nařízení komise (EU) 2019/947, jejichž očekávané vstoupení v platnost je naplánováno na 1.1.2024. Při používání těchto scénářů nebude nutné, aby operátor UAS získal oprávnění k zahájení provozu, navrženém podle STS. Postačující pak bude, aby plánovaný provoz odpovídal danému STS a pro jeho schválení bude nutné pouhé zaslání deklaráce o provozu národní letecké autoritě daného státu.[5]

Dále také není vyžadováno OkP v případě, že provozovatel UAS je držitelem osvědčení provozovatele lehkých bezpilotních systémů s odpovídajícími právy v souladu s legislativní vyhláškou nebo je provoz prováděn v rámci klubů a sdružení leteckých modelářů, které obdržely oprávnění dle legislativní vyhlášky. Certifikovaná kategorie (CERTIFIED) se zabývá provozem, kdy bude let UAS probíhat nad shromážděním osob, bude zahrnovat přepravu osob nebo



nebezpečného zboží. Příslušný úřad také může na základě nedostatečné možnosti zmírnění rizika provozu v kategorii SPECIFIC rozhodnout o přesunu provozu do Certifikované kategorie.

První částí OOP [6] je definování omezeného prostoru LKR10 - UAS. Ten je vytyčen na celém území ČR - horizontálně omezen hraniční linií a vertikálně výškou FL660. Prostor slouží pro uplatnění dodatečných podmínek pro provoz UAS spadajících do působnosti dle nařízení Komise (EU) 2019/947 a je pomocí něj stanovena také obecná maximální výška provozu UAS na území ČR 120 m nad zemí. Dále jsou v tomto nařízení určeny podmínky provozu v jednotlivých letových zónách.

Pro Řízený okresek (CTR/MCTR) je stanovena maximální možná výška letu 100 m nad zemí a vzdálenost 5500 m od vztažného bodu řízeného letiště, kde není bez koordinace s příslušným stanovištěm ŘLP a provozovatelem letiště provoz povolen pro stroje s MTOM vyšší než 0,91 kg. Stroje s MTOM do 0,91 kg mohou být v této oblasti provozovány bez nutnosti koordinace, ale pouze mimo ochranná pásma s výškovým omezením staveb a nikdy výše než 100 m nad zemí. Pro snazší určení maximální možné výšky provozu je definován tzv. grid. Jedná se o myšlenou síť rozdělující oblasti CTR/MCTR, která pro každý obdélník mřížky určuje maximální možnou výšku letu UAS bez koordinace v daném místě.

Provoz v letištních provozních zónách (ATZ) neřízených letišť je možný pouze při splnění podmínek stanovených provozovatelem letiště a na základě koordinace s Letištní letovou informační službou (AFIS) nebo stanovištěm poskytování informací známému provozu. Let UAS s MTOM nižší než 0,91 kg může být v ATZ proveden i bez koordinace, ovšem jen do maximální výšky 100 m nad zemí a mimo ochranná pásma.

Pro registrované plochy sportovních létajících zařízení (SLZ) je provoz omezen podmínkami stanovenými provozovatelem příslušné registrované plochy. Dále se operátoři musí striktně držet ustanovení o pravidlech přednosti (UAS dává přednost všem letadlům s pilotem na palubě) a provoz musí být veden tak, aby nedošlo k ohrožení letů pilotovaných letadel.

Provoz v zakázaných prostorech, omezených prostorech, nebezpečných prostorech, jiným uživatelem aktivovaných dočasně vyhrazených prostorech a dočasně rezervovaných prostorech nesmí být proveden s výjimkou, kdy pro takovýto provoz v dané oblasti příslušný úřad vydá OkP. Provoz v prostoru LKR9 pak je možný i bez povolení ÚCL za podmínky respektování pravidel provozu v CTR, v hustě osídleném prostoru a případných dalších podmínek jiných prostorů v daném místě.



Hustě osídlený prostor (HOP) je specifickým prostředím provozu UAS. Tento pojem je definován jako prostor, který je ve městě nebo jiné obci používán převážně k bydlení, obchodním činnostem nebo rekreaci. Za HOP není považováno území obce bez staveb (park, veřejná zeleň, louka, pole), bez infrastruktury (silnice, místní komunikace, chodník, kolejiště tramvaje nebo vlaku) a bez osob, které by mohly být provozem UAS ohroženy nebo by takovýto provoz mohl být vnímán jako zásah do jejich práv. Pro provoz v aglomeraci mimo HOP musí být definována dostatečně velká oblast počítající s rezervou pro pokrytí rizika na zemi pomocí pravidla "1:1", aby se předešlo zásahu do oblasti, kterou lze za HOP považovat. V samotném HOP je pak provoz UAS zakázán s výjimkou strojů, které nepodléhají registraci (hračky, MTOM nižší než 250 g a bez kamery nebo jiného senzoru) a provozu UAS ve specifické nebo certifikované kategorii na základě OkP vydaného ÚCL a dodržujícího stanovené podmínky.

Provoz narušující ochranná pásma vytyčená podél nadzemních dopravních staveb, nadzemních inženýrských a telekomunikačních sítí, v okolí zvláště chráněných území, vodních zdrojů a objektů důležitých pro ochranu státu je možný jen na základě vydaného OkP vydaného ÚCL s předchozím souhlasem příslušného správního orgánu či oprávněné osoby. Jedinou výjimkou je provoz ve IV. zóně chráněné krajinné oblasti (CHKO), kde je provoz možný i bez povolení ÚCL, ale pouze za podmínky, že provozem nebudou rušeny chráněné druhy živočichů.

Dále se OOP zabývá pravidly přednosti během provozu UAS, vlivy dalších relevantních zákonů a dalšími konkrétními nařízeními, která blíže stanovují pravidla provozu. Protože se většina těchto nařízení blíže netýká problematiky řešené v této práci, nejsou zde podrobně uvedena.

1.3 U-space

S rostoucím objemem provozu bezpilotních systémů ve vzdušném prostoru členských států Evropské unie vznikl tlak na navržení nástroje, který by vytvořil prostředí zajišťující bezpečnost, ochranu soukromí, životního prostředí a před protiprávními činy. Prvním milníkem v této oblasti se stalo již výše zmíněné Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 o bezpilotních systémech a o provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí [3] a následné Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947 ze dne 24. května 2019 o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel [4]. Samotná podoba vzdušného prostoru U-space



byla následně definována v Prováděcím nařízení komise (EU) 2021/664 ze dne 22. dubna 2021 o regulačním rámci pro vzdušný prostor U-space. [7]

U-space byl vytvořen, aby přinesl výrazné přínosy v oblasti bezpilotního letectví. Z hlediska bezpečnosti nabízí zlepšení možností sdílení vzdušného prostoru mezi letadly s pilotem na palubě a bezpilotními systémy. Přináší výrazně lepší viditelnost bezpilotních letadel ve vzdušném prostoru, čímž umožňuje lépe zobrazit celkovou dopravní situaci. Dále snižuje riziko na zemi za pomoci snížení pravděpodobnosti pádu stroje zapříčiněném vlivy počasí, střetem s jiným letadlem nebo nárazem do pozemní překážky, a pro snížení rizika vzdušné kolize nabízí možnost organizace dopravy využitím geozón.

Ekonomickým přínosem je vyrovnané a efektivní využití vzdušného prostoru mezi UAS a letadly s pilotem na palubě, navýšení kapacity provozu UAS ve vzdušném prostoru a umožnění komplexnějšího provozu. Ve větším měřítku by pak měl vést k rozvoji oblasti vývoje bezpilotních systémů a poskytování s nimi souvisejících služeb veřejnosti.

Dále je důležitá otázka zabezpečení. U-space nabídne větší transparentnost skrze elektronickou identifikaci jeho uživatelů. Podpoří prosazování místních pravidel, především kvůli snížení počtu neoprávněných narušení regulovaných vzdušných prostorů, a obecně napomůže zabránit zneužití bezpilotních systémů k protizákonným bezpečnostním, ekonomickým nebo činnostem narušujícím soukromí osob v členských státech.

Pro lepší ochranu soukromí nabídne možnost lepší kontroly a stanovení podmínek pro provoz UAS, ve smyslu omezení oblastí pro určité uživatele podobně jako v omezených částech vzdušného prostoru.

V poslední řadě také U-space nabízí lepší regulaci z hlediska prostředí zavedením požadavků na technické parametry (například maximální hluk vyvolaný UAS při provozu) nebo provozu (omezení výšky), omezením provozu nad oblastmi s citlivým prostředím (z hlediska sociálního, enviromentálního nebo kulturně historického), ale zároveň jeho umožněním díky stanovení konkrétních podmínek. Vysoká míra elektrifikace odvětví UAS dále může pomoci se snížením emisí ve velkých aglomeracích.



1.3.1 Společná informační služba

Společná informační služba (CIS, Common Information Service), jak je stanovena v [8] na základě nařízení [7], je páteří celého U-space umožňující propojení provozu UAS s provozem letadel s pilotem na palubě a dalšími zúčastněnými stranami podílejícími se na správě vzdušného prostoru. Základem pro CIS je pak pojem "společná informace". Tu lze definovat jako nezbytnou informaci, kterou je zapotřebí sdílet mezi zúčastněnými stranami, aby byl umožněn bezpečný provoz v U-space. Může se jednat o komunikaci mezi ATS a poskytovatelem služeb U-space ohledně společného provozu UAS a letadel s posádkou na palubě, nebo požadavek státní autority na uzavření vzdušného prostoru. Společná informační služba může fungovat jako komunikační síť nebo platforma, pomocí které dochází ke sdílení společné informace mezi zúčastněnými stranami.

Stát může určit jediného Poskytovatele společných informačních služeb (CISp - Common Information Service provider) a vytvořit tak centralizované prostředí. Poskytovatel pak bude certifikován pro sdílení informací mezi zúčastněnými stranami a bude pro daný prostor U-space stanoven pouze jeden. Tato entita se sama nepodílí na autorizaci provozu, ovšem má vysokou zodpovědnost za předání informací a zajištění jejich správnosti a integrity během přesunu mezi jednotlivými subjekty.

V případě, že tato entita nebude státem vytvořena, bude systém CIS založen na distribuční komunikační architektuře, kdy jednotlivé zúčastněné strany dávají společné informace volně k dispozici dalším zúčastněným stranám. Tento formát lze nazvat "distribuční model".

CIS pak působí jakožto prostředník mezi třemi hlavními aktéry působícími v U-space, které lze definovat jako subjekty generující společné informace: autoritu členského státu, Letovou provozní službu (ATS) a Poskytovatele služeb U-space (USSP).

1.3.2 Poskytovatel služeb U-space

Druhým klíčovým prvkem v U-space je Poskytovatel služeb U-space (USSP - U-space Service Provider), který je certifikovanou právnickou osobou. Jeho hlavním úkolem je poskytování služeb U-space účastníkům provozu, které jsou nezbytné pro správné fungování systému U-space. [8] Dále zajišťuje spolupráci a sdílení informací s jediným CISp, pokud je státem určen, dalšími USSP působícími ve stejném prostoru U-space a dotčenými poskytovateli letových provozních služeb. Subjekty využívající sdílení společných informačních služeb uzavírají dohody s poskytovateli



letových provozních služeb (ostatními subjekty nebo CISP) pro přímou koordinaci činností a výměnu provozních údajů.

USSP nemusí veškeré služby poskytovat samostatně, ale vždy musí nad všemi službami dohlížet a mít je pod kontrolou. V takovém případě bude subdodavatelská organizace, která mu napomáhá službu zajišťovat, pod jeho správou a bude během certifikace služeb U-space poskytovat přístup kontrolující autoritě.

USSP bude uživatelům U-space poskytovat služby v optimálním rozhraní, která zajistí požadovanou funkčnost a efektivitu. Primárním účelem je, aby byly služby U-space využívány správným způsobem, uživatelé měli k dispozici dostatečné instrukce a bylo zajištěno včasné a přesné předání informací mající přímý vliv na bezpečnost provozu, pokud možno s minimální latencí.

1.3.3 Služby U-space

Služby U-space jsou velice důležitým prvkem celého systému. Zajišťují uživatelům a autoritám informace a mechanismy, které zajišťují bezpečnost a efektivitu provozu UAS ve vzdušném prostoru a jejich interoperabilitu s letadly s posádkou na palubě. Služby jsou navrženy tak, aby nabízely co možná největší míru automatizace a digitalizace pro zajištění co nejvyšší míry autonomie a snížení nutnosti lidského zásahu. Tato skutečnost by měla zajistit dostatečnou výkonnost systému, aby bylo možné maximalizovat využití vzdušného provozu v U-space. Podoba služeb se v průběhu vývoje U-space měnila, až se postupně ustálila na dnešní konfiguraci "4+2" stanovené v [7]. Jedná se o šestici služeb, čtyři hlavní, které jsou pro provozu U-space vyžadovány a dvě doprovodné, které však významně napomáhají.

První je Síťová identifikační služba, která zajišťuje nepřetržitou dálkovou identifikaci bezpilotního systému během letu. Shromažďuje a sdílí s dalšími subjekty (USSP nebo ATC) informace zahrnující registrační číslo provozovatele, sériové číslo stroje, polohu, výšku nad mořem a terénem, letovou dráhu (kurz) a pozemní rychlost, polohu dálkově řídicího pilota nebo místo vzletu, nouzový stav a čas generování zprávy. Tato služba je k dispozici široké veřejnosti, poskytovatelům služeb U-space, poskytovatelům letových provozních služeb a příslušným úřadům. Zajištění souboru informací o provozovaném UAS sjednocující podrobnosti o jeho aktuální trajektorii letu, podrobnosti o provozovateli a operátorovi a to vše v reálném čase, je zcela



nezbytné pro získání co možná nejucelenějšího přehledu o provozu, bez kterého by fungování systému U-space nebylo možné. Druhou službou U-space je Geo-awareness. Ta poskytuje pilotovi informace o příslušných provozních podmínkách a omezeních vzdušného prostoru v prostoru U-space, určuje zeměpisné zóny pro bezpilotní systémy významné pro vzdušný prostor U-space a informuje o dočasných omezeních vztahujících se na využití vzdušného prostoru v U-space. Je nezbytné, aby databáze geo-awareness byly vždy pravidelně aktualizovány. Třetí je Služba oprávnění k letu bezpilotního systému sloužící ke schválení požadovaného letu USSP a případné definici podmínek požadovaného provozu. Součástí je kontrola splnění podmínek pro provoz, strategická detekce možného konfliktu s již schváleným letovým plánem, informování žadatele (operátora/provozovatele) o přijetí či zamítnutí žádosti o oprávnění k letu a vytyčení prahových hodnot pro odchylku od oprávnění k letu bezpilotního systému. Poskytovatel může v případě zamítnutí žádosti navrhnout alternativní oprávnění k letu. Poskytovatel dále průběžně kontroluje stávající oprávnění k letu vzhledem k novým dynamickým omezením vzdušného prostoru a informacím o provozu letadel s posádkou. Čtvrtou, poslední z hlavních čtyř, je Služba informací o provozu. Ta informuje uživatele o okolním provozu, tedy jiných bezpilotních systémech v daném prostoru U-space a letadlech s posádkou na palubě. Tyto sdílené informace zahrnují polohu, čas hlášení, rychlost, kurz a nouzový stav letadla. Uživatel U-space má tak přehled o okolních strojích, může včas odhalit kolizní situaci a sám na ní reagovat, pokud nejsou v provozu doprovodné služby U-space, které by tuto funkcionalitu mohli automatizovat. Pátou službou, první ze dvou doprovodných, je Služba informací o počasí. Poskytovatel služeb U-space pomocí ní shromažďuje z důvěryhodných zdrojů informace o počasí a předává je provozovateli spolu se službou geo-awareness. Informace o počasí zahrnují směr a rychlost větru, informace o oblačnosti (výška, charakter), dohled, teplotu a rosný bod, srážky, konvektivní proudění (termika), atmosférický tlak a místo a čas předpovědi. Cílem je poskytnout aktuální a spolehlivé informace o počasí, aby byla zajištěna bezpečnost a úspěšný provoz bezpilotních systémů. Šestou a poslední je pak Služba monitorování souladu. V reálném čase kontroluje, zda probíhající provoz splňuje požadavky platného oprávnění k letu a v případě překročení prahových hodnot provozovatele informuje. Stejně tak zašle informaci poskytovateli služeb U-space, který zašle výstrahu dalším provozovatelům v dané oblasti, jiným poskytovatelům služeb U-space a příslušným stanovištím letových provozních služeb, kteří tuto výstrahu potvrdí. Správné fungování této služby zaručuje automatizaci celého



systému U-space, která umožňuje snížení bezpečných rozestupů mezi letadly a navýšení kapacity vzdušného prostoru.

1.4 Posuzování bezpečnosti provozu UAS

Podobně jako u letectví s pilotem na palubě, i provoz UAS je zdrojem rizik. Nikdy není možné zaručit nulovou chybovost a absolutní spolehlivost, ale je možné, ať už konstrukčními řešeními nebo provozními postupy, zaručit minimalizaci rizika. Naddimenzování ochranných opatření však může mít za následek nízkou efektivitu a ekonomičnost provozu a vést tím k omezenému rozvoji tohoto odvětví. Je proto zapotřebí stanovit metodiku, pomocí které je možné posoudit bezpečnost provozu a pomocí toho navrhnout provoz tak, aby při zachování co nejvyšší efektivity byla provozní rizika minimalizovaná na přijatelnou úroveň.

Samotný pojem provozní bezpečnost pak podle Mezinárodní organizace pro civilní letectví [9] lze definovat následovně: "Stav, ve kterém jsou rizika spojená v leteckými činnostmi, souvisejícími nebo přímo podporujícími provoz letadla, snížena a kontrolována na přijatelnou úroveň."

1.4.1 SORA

Tato metoda je založena na principu kvalitativního bezpečnostního posouzení rizik, které se sestává z identifikace nebezpečí spojeného s provozem UAS, zhodnocení provozních rizik a stanovení zmírňujících opatření pro dosažení požadované úrovně bezpečnosti provozu. Jak je uvedeno v pokynech vydaných uskupením JARUS [10], které je autorem této metody, SORA byla vytvořena za účelem navržení procesu pro určení provozních rizik spojených s provozem UAS ve specifické kategorii a stanovení, zda je provoz přijatelně bezpečný. Metodu SORA lze také použít jako základ pro vytvoření Standardních scénářů, které umožní zjednodušení návrhu a schválení provozu díky předpřipraveným provozním konceptům (ConOps) s již známými provozními riziky a jejich zmírněními.

Postup vytvoření posouzení SORA, popsáném v dokumentaci JARUS [10], začíná popisem zamýšleného provozu UAS vytvořením popisu provozní koncepce (ConOps). Ten detailně definuje zamýšlený provoz z pohledu oblasti provozu, technické specifikace UAS a letového plánu. Dále je z povahy provozu (VLOS/BVLOS a hustota osídlení) a velikosti a výkonu letadla stanovena třída pozemního rizika (GRC). Tuto hodnotu můžeme v následujícím kroku snížit navržením zmírňujících



opatření, které umožní snížit riziko následků způsobených pádem UAS. Může se jednat o technické řešení stroje (padák) nebo definování provozních postupů (stanovení pohotovostního plánu). Dále dle povahy a oblasti zamýšleného provozu stanovíme třídu vzdušného rizika (ARC), která nám určuje míru pravděpodobnosti, že se UAS během provozu může setkat s letadlem s pilotem na palubě. Tuto třídu pak můžeme dále zmírnit stanovením taktických zmírňujících opatření, kterými může být povaha provozu (provoz formou VLOS, systémy detekce okolního provozu). V následujícím kroku je spojením pozemní a vzdušné třídy rizika stanovena specifická úroveň zabezpečení a integrity (SAIL), která určí úroveň jistoty, že provoz UAS zůstane pod kontrolou. Z hodnoty SAIL pak vyhodnotíme cíle provozní bezpečnosti (OSO), které nám stanoví úroveň robustnosti jednotlivých aspektů celého provozu, na jejichž základě pak určíme za jakých podmínek je provoz bezpečný. Na závěr je provedeno zhodnocení přilehlých oblastí provozu, které nám stanoví riziko narušení oblasti mimo vymezený vzdušný prostor. Vypracovaný dokument SORA pak může být přiložen k žádosti o udělení OkP příslušným úřadem pro představení míry rizika zamýšleného provozu.

1.4.2 MEDUSA

Metodologie posouzení bezpečnosti U-space, neboli MEDUSA (Methodology for the U-space Safety Assessment), je metoda navržená týmem CORUS pro určení a řízení nebezpečí spojeného s provozem UAS v prostředí U-space. Základem této metodologie jsou Bezpečnostní referenční materiály SESAR, kde je navrženo širší pojetí přístupu k bezpečnosti, který zahrnuje jak pohled pozitivní, tedy jaké přínosy k bezpečí ve vzdušném provozu nabízí prostředí U-space, ale také pohled negativní, tedy jaké problémy může U-space přinést. Pozitivní přístup nám zároveň ukazuje, jaké výhody U-space pro provoz ve vzdušném prostoru přináší a zda je ze samotné podstaty za absence jakékoliv chyby bezpečný. Na rozdíl od SORA nabízí MEDUSA širší holistický přístup, který bere v potaz více pohledů, konkrétně od operátora UAS, ale také pohled z pozice samotného vzdušného prostoru U-space a služeb řízení letového provozu letadel s pilotem na palubě a vzájemnou interakci těchto aktérů. [11] Hlavním rozdílem mezi oběma metodami je v oblasti rozsahu předpokládaného provozu. SORA se věnuje pouze jednotlivým letům, zatímco MEDUSA je schopná analyzovat provoz v prostředí, ve kterém je předpokládán širší provoz UAS.



MEDUSA často z analýzy SORA, nebo jejich většího počtu, vychází. Rizika stanovená analýzou SORA jsou často základem pro jejich výčet pro metodu MEDUSA a ta samotná může být použita ke zhodnocení a spojení více analýz SORA a sjednocení těchto výsledků do jednotného zhodnocení bezpečnosti provozu v prostoru U-space. Obě metody pak slouží ke stanovení Bezpečnostních požadavků (SR), ale MEDUSA je dále může využít k vytvoření doporučení pro úpravy nebo rozšíření služeb U-space v daném vzdušném prostoru, potřebných pro zaručení bezpečnosti a proveditelnosti daného provozu. Metodou MEDUSA by tak mělo být možné vytvořit návrh provozu U-space, kdy je aplikací metody na úrovni designu možné stanovit a postupně navrhovat úpravy služeb U-space nutných k dosažení požadované bezpečnosti. Hlavním rozdílem mezi oběma metodami je pak přímé využití služeb U-space u metody MEDUSA. SORA bere U-space pouze jako doprovodné služby nabízející možnost zmírnění rizika, zatímco MEDUSA U-space vyžaduje, ale zároveň může stanovit návrhy na jeho rozšíření pro umožnění provozu.

V době zahájení zpracovávání této práce bylo očekáváno vydání oficiální podrobné dokumentace k metodě MEDUSA, která měla stanovit její finální podobu a podrobný postup pro vypracování takovéto analýzy. Tato dokumentace nakonec nebyla vytvořena a místo ní byly vydány nové oficiální postupy EUROCONTROL nazvané "U-space Airspace Risk Assessment"(U-space ARA). Tyto nové pokyny z původní dokumentace MEDUSA přímo vychází a dále celý postup rozšiřují. Vzhledem k pozdnímu vydání tohoto dokumentu již k němu tato práce nebude přihlížet, ale na závěr bude krátce zhodnoceno, zda tato nová dokumentace nabízí oproti zde zpracované metodě MEDUSA výrazné zlepšení.

1.5 Výzkum provozní bezpečnosti UAS v dané oblasti

Jedním z předních aktérů v oblasti rozvoje UAS v Evropě je sdružení SESAR Joint Undertaking. Jedná se o společné uskupení veřejných i soukromých inovátorů, uživatelů a autorit na poli celého odvětví letectví v Evropě. Primárním cílem SESAR je podpora iniciativy "Single European Sky"(Jednotné evropské nebe), tedy vize moderního, efektivního a bezpečného vzdušného prostoru a leteckého provozu v Evropě. Dílčími cíli pak je vytvoření chytrého, udržitelného, odolného a inkluzivního systému řízení letecké dopravy (ATM), podpora udržitelné a moderní strategie mobility a podpora digitalizace leteckého odvětví v Evropě. Sdružení SESAR stanovilo návrh pro postupné přijetí a implementaci služeb, sestávající se ze čtyř kroků: implementace



základních služeb U-space (e-identifikace, e-registrace, geofencing), implementace počátečních služeb U-space (plánování letových tras, schvalování letu, sledování provozu, dynamické provozní informace), implementace pokročilých služeb U-space (řízení kapacity, detekce konfliktu a jeho automatické řešení) a implementace úplných služeb U-space (integrované rozhraní s provozem letadel s pilotem na palubě, plná provozní kapacita U-space, vysoká úroveň automatizace a konektivity). Tento plán měl být proveden postupným zaváděním a naplňováním těchto kroků a počítal s rozpracováním prvních dvou etap do roku 2019. [12]

Pro studii zabývající se integrací provozu UAS v nízkých hladinách vzdušného prostoru, vytvořilo sdružení SESAR výzkumný projekt CORUS. Vyústěním práce této pracovní skupiny bylo vytvoření dokumentů CONOPS (Concept of Operations) pro U-space, kde byla navržena architektura celého systému U-space a definoval se provoz ve velmi nízkém prostoru, aby byla zajištěna rovnováha mezi rozvojem odvětví UAS a obecnými zájmy společnosti. CONOPS stanovuje pravidla provozu UAS ve velmi nízkém prostoru neřízeného vzdušného provozu a také řízených a omezených oblastí v okolí letišť. Dále tento dokument představuje architekturu definující typy vzdušného provozu, zajišťované služby a technický vývoj potřebný pro plnou implementaci CONOPS do praxe a stanovuje tak požadovanou úroveň výkonosti a bezpečnosti. Také byly tímto dokumentem stanoveny příklady použití standardních provozních scénářích, které mohou posloužit pro zjednodušení schvalování provozu, a také byl vytvořen návrh metody posouzení bezpečnosti poskytovaných služeb (MEDUSA). [13]

Metoda MEDUSA se pak mimo oficiální dokumenty objevuje jen ve velmi malém měřítku. Jednou ze studií pojednávající o využití metod SORA a MEDUSA pro posouzení bezpečnosti je článek [14] Tato práce se dopodrobna věnuje rozboru obou metod, jejich aplikací a především pak jejich nedostatky a způsoby jak je řešit. Autoři poukazují na problém spojený s čistě kvalitativním způsobem posuzování rizik a výrazným rozdílem mezi teoretickými cíli bezpečnosti a bezpečnostními požadavky získaných pomocí metod a jejich reálným uplatněním ve skutečném provozu. Přicházejí proto s řešením, jak tyto nedostatky vyřešit pomocí experimentování a užšího propojení mezi existujícími analytickými metodami a těmi experimentálními. Tento přístup má nabízet realističtější a přesnější pohled na chyby systému a jejich vliv na provoz a zároveň umožnit kvantifikace a parametrizaci stanovených bezpečnostních požadavků. To vše pak může pomoci s lepší možností implementace a validace požadavků a zmírňujících strategií v prostředí U-space. Autoři následně určují limitace metody MEDUSA, jako například generickou povahu stanovených



rizik neuvažující různé provozní scénáře a podmínky, nedostatečné řešení otázky zabezpečení systému, nepřesné měření dopadu nebezpečí a rizik na služby U-space a další problémy. Dále pak představují způsob, jak tyto nedostatky řešit za pomoci experimentování, které umožní stanovit pravděpodobnosti rizikových jevů, přesněji určit jejich vlivy a dopady a provést tak přesnější posouzení a implementaci.

1.6 Limitace současného stavu

V současné době je největším limitujícím faktorem rozvoje provozu UAS, a s tím spojené analýzy bezpečnosti pro U-space, absence samotného systému. Vývoj U-space na úrovni většího provozu zatím není možný z důvodu pomalé implementace jeho dílčích kroků. Pro úspěšné spuštění U-space v provozu schopné formě je nutné projít stanovenými vývojovými kroky, které zajistí dostupnost nezbytné infrastruktury, služeb a procedur.

V oblasti analýzy bezpečnosti provozu je metoda SORA použitelná i v prostředí U-space. Jednotlivé jeho služby mohou nabídnout prostředky pro zmírnění provozních rizik. Problémem je, že tato analýza není uzpůsobena pro aplikaci v prostoru, ve kterém je uvažována větší hustota provozu UAS.

Na tento nedostatek reaguje právě metoda MEDUSA. Je vytvořena pro prostředí s fungujícím systémem U-space a pro zmírnění provozních rizik využívá služby U-space. Jak bylo již řečeno k podkapitole Výzkum provozní bezpečnosti UAS v dané oblasti v části o studii [14], metoda MEDUSA má ve své současné podobě mnoho nedostatků. Bylo očekáváno vydání rozšířené dokumentace, která měla za cíl metodu rozšířit. Jak již bylo zmíněno v podkapitole MEDUSA, namísto rozšíření byla vydána dokumentace pro novou metodu U-space ARA.

U-space Airspace Risk Assessment je nejnovější metodou pro posuzování rizika provozu v prostoru U-space. Tato metoda se stále zakládá na hodnocení a zmírnění vzdušného a pozemního rizika, ale oproti MEDUSA se zabývá i otázkou zabezpečení, ochrany soukromí a životního prostředí. Strukturou je také obsáhlejší než starší metody, neboť se její proces sestává z podrobné analýzy celého provozu studovaného vzdušného prostoru a jeho podrobného popisu. Na tomto základě je pak vytvořeno komplexní posouzení všech výše zmíněných rizik ohrožujících UAS, osoby a infrastrukturu v případě zavedení U-space. [15] Dokumentace k této metodě nabízí lepší podklady pro její provedení, než dokumenty metody MEDUSA. Ovšem kvůli větší komplexnosti a



rozsahu této analýzy vyžaduje širší pracovní skupinu a zapojení co největšího počtu zúčastněných stran, které provoz v prostředí U-space může ovlivnit.



2 Analýza metodou MEDUSA

Následující kapitola se zabývá vypracováním analýzy MEDUSA na stanovený provozní scénář. Jedná se o identický provoz, jaký byl vytvořen pro práci Ing. Jana Stádníka v jeho diplomové práci "Porovnání metod při hodnocení provozní bezpečnosti specifického provozu UAS". [1] Důvodem využití již hotového a zpracovaného scénáře je možnost přímého porovnání výsledků mezi novou analýzou MEDUSA, kterou se zabývá tato práce, a současnou analýzou SORA, na kterou Ing. Stádník zpracoval modelový scénář ve své práci v roce 2022.

Pro zpracování metody MEDUSA pro daný provoz byly využity Přílohy D1, D2 a D3 dokumentace U-space ConOps vydané konsorciem SESAR Joint Undertaking pro projekt CORUS v roce 2019 [11, 16, 17]. Tyto dokumenty představují předběžný návrh postupu pro vypracování bezpečností analýzy provozu využitím metody MEDUSA pro dva různé scénáře: inspekce letištní plochy pomocí UAS a přeprava materiálu na velkou vzdálenost využitím UAS.

Proces zpracování metody MEDUSA se sestává ze 4 hlavních fází. V první z nich, Definiční, je sestaven provozní scénář, který nám definuje požadovaný provoz, určí provozní prostředí (jakými specifickými oblastmi vzdušného prostoru let prochází, jaké jsou v nich pravidla pro provoz, jaké služby U-space jsou v dané oblasti dostupné) a představí tak podrobně podobu zamýšleného provozu. Dále jsou určena rizika spojená s provozem UAS a jakým způsobem jsou zmírněna pomocí služeb U-space. Na závěr jsou pak stanovena Bezpečnostní kritéria (Safety Criteria - SAC), která nám určí cílovou úroveň bezpečnosti provozu. V třetí fázi jsou na základě předchozích částí popsány Cíle bezpečnosti (Safety Objectives - SO). Ty nám určují jakými způsoby by mělo být dosaženo splnění SAC za Normálního (situace za standardního provozu), Abnormálního (vnější vlivy) a Chybného provozu (chyby U-space). V poslední fázi jsou na základě SO sestaveny Bezpečnostní požadavky (Safety Requirements - SR), která nám konkretizují jakým způsobem (vybavením, systémy, procedurami, atp.) je splnění SO dosaženo, tedy jsou-li naplněna SAC a je dosaženo požadované úrovně provozní bezpečnosti. Výsledkem celé metody se tak stávají právě SR a jejich zhodnocení. V případě, že není pomocí daných SR dosaženo požadované úrovně provozní bezpečnosti, je výsledků využito k přehodnocení návrhu (změna provozu, rozšíření služeb U-space nebo přidání doprovodných služeb řešících jejich nedostatky) a postup metody je aplikován znovu, v ideálním případě dokud není žádané úrovně provozní bezpečnosti dosaženo.



Výsledkem metody MEDUSA je stanovení SR, které nám zpětně popíší, jakým způsobem je dosaženo naplnění SAC. SR budou shrnuty v tabulkách rozdělených dle typu provozu. Protože SR vychází z jednotlivých SO, budou v tabulce výchozí cíle poznamenány, stejně tak aktér zodpovědný za naplnění požadavku a typ řešení. V diskuzi výsledků bude následovat hodnocení, jak jsou pomocí SR naplněna jednotlivá SAC. Pokud budou splněna SAC, znamená to, že je dosaženo požadované úrovně bezpečnosti. V takovém případě lze provoz považovat za bezpečný a tedy i U-space, který je pro případ našeho provozního scénáře hlavním zdrojem zmírnění rizik.

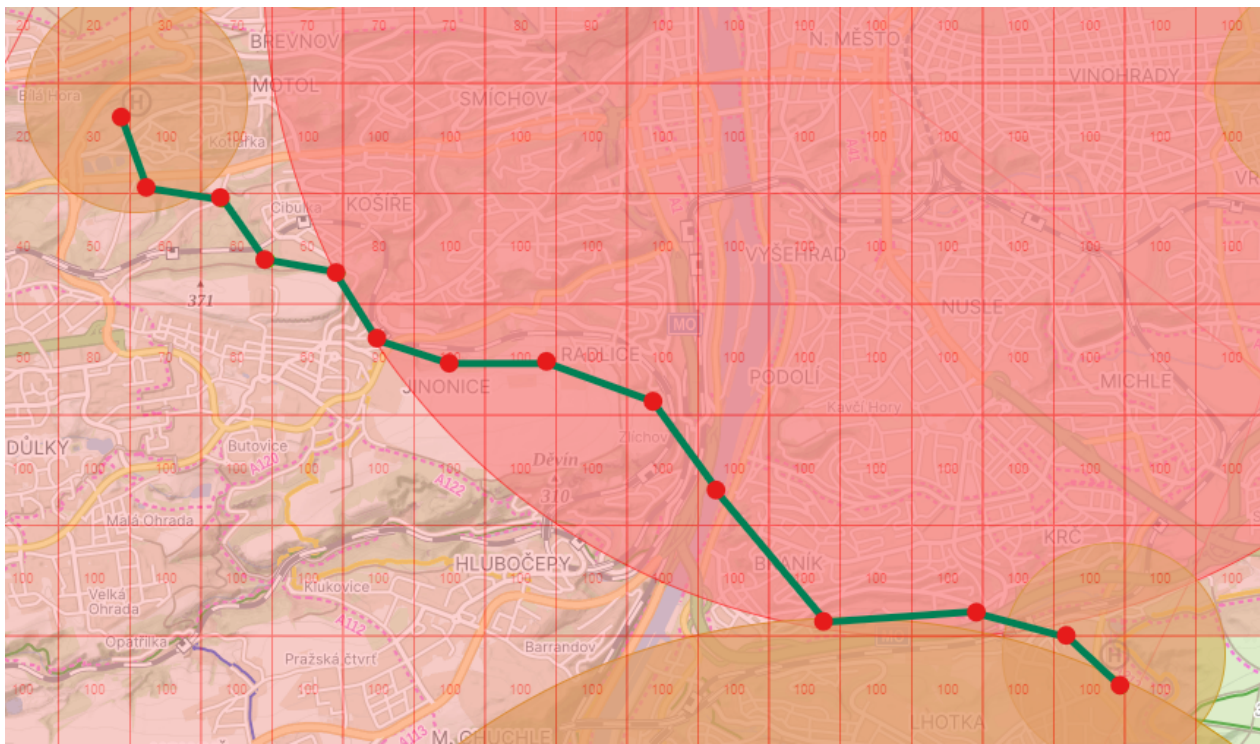
Modelový scénář

Let je zahájen v areálu Thomayerovy nemocnice, kde letadlo vystoupá do výšky 100 m nad zemí a bude pokračovat na severozápad přes ulici Vídeňská, vlakovou stanici Praha-Krč a Jižní spojku. Po překročení silnice zamíří na západ, paralelně s Kunratickým potokem, a u ulice Za Mlýnem nabere kurz na přírodní památku Branické skály. Bude dál pokračovat směrem na severozápad, překročí Vltavu, ulici Strakonickou, až dosáhne městské části Radlice, kde nabere západní kurs až k části Jinonice. Přes ní zamíří opět na severozápad až dosáhne přírodního paku Košíře-Motol. U vozovny Motol na závěr zamíří severním směrem a dorazí do areálu fakultní nemocnice Motol, kde provede přistání. Celková délka trasy letu je 10890 m, bude proveden ve výšce 100 m nad zemí stanovenou rychlostí letu 20 m/s. [1] Grafické znázornění letové trasy je zobrazeno na obrázku číslo 2.1.

Ke vzletu i přistání jsou využity startovní plošiny v obou destinacích. Celý let probíhá formou BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) a je proveden automaticky. Dálkově řídicí posádka je tvořena dvěma členy: dálkově řídicí pilot po celou dobu letu stroj monitoruje, dohlíží na dodržování letového plánu a v případě nepředpokládané situace je schopen zasáhnout do řízení. Dále přijímá a vyhodnocuje služby U-space. Druhý člen posádky obstarává předletovou a poletovou kontrolu stroje, zajišťuje údržbu a naložení přepravovaného materiálu. Obě osoby mají absolvovaný výcvik zajišťující jejich seznámení se všemi úkony a situacemi během provozu.

Smyslem modelového scénáře je simulace převozu zdravotnického materiálu mezi Thomayerovou fakultní nemocnicí a fakultní nemocnicí Motol. Tento scénář nabízí jeden z prvních očekávaných typů provozu, které se při využívání UAS pro přepravu materiálu, nabízí. Při provádění podobných transportů po pozemních komunikacích je standardní délka takovéto cesty

zhruba 20 minut. Tento čas je však především v době dopravní špičky silně zavádějící a celkový čas pak může být delší až o polovinu (čas orientačně určen dle mapových a navigačních aplikací Mapy.cz a Waze). Doprava pomocí UAS nabízí nejen celkově kratší vzdálenost, díky přímějšímu letu, ale také není ovlivněn dopravní situací ve městě. Pokud by pak byla dodržena definovaná délka letové trasy a rychlost letu, urazí stroj celou vzdálenost za 9 minut. Délka dopravy se tak zkrátí na méně než polovinu a to bez případných emisí automobilu.



Obrázek 2.1: Znázornění trasy letu UAS modelového provozního scénáře v prostředí aplikace DroneView. Barevné zóny znázorňují specifické oblasti vzdušného prostoru.

Použitým strojem je DJI Matrice 300 (RTK), kvadrokoptéra o délce 810 mm, šířce 670 a výšce 429 mm v rozloženém stavu. Stroj je poháněn čtyřmi elektromotory, napájených dvojicí Li-Pol baterií o 12 článcích o kapacitě 5935 mAh. Přibližná hmotnost stroje je 6,3 kg, MTOM 9 kg a přepravovaný náklad má hmotnost 1500 g. Maximální rychlost stroje činí 23 m/s (v režimu Sport), deklarovaná odolnost proti větru je 12 m/s a výdrž stroje ve vzduchu je 55 minut. [18]



2.1 Definiční fáze

Definiční fáze je prvním krokem procesu MEDUSA, ve kterém jsou definovány podrobnosti o provozu, na který postup aplikujeme, určíme v jakém prostředí bude provoz proveden, je stanovena úroveň poskytovaných služeb U-space. Dále jsou definována rizika související s provozem UAS a pomocí nich jsou pak stanovena bezpečnostní kritéria, která nám určí cílovou míru bezpečnosti, ke které se chceme přiblížit.

Provoz je navržen pro specifickou kategorii, která vyžaduje platné OkP schválené ÚCL. Trasa provozu modelového scénáře je vedena několika specifickými oblastmi vzdušného provozu, které budou ovlivňovat nutnost koordinace s příslušnými autoritami a středisky letových informačních služeb, a také zasahuje do ochranných pásem nadzemních dopravních staveb a inženýrských a telekomunikačních staveb. Seznam specifických oblastí vzdušného provozu, kterými let prochází je v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1: Seznam specifických oblastí vzdušného prostoru, do kterých zasahuje trasa letu

Prostor	Název	Popis
CTR	Ruzyně	řízený okresek letiště
LKTC	Točná	prostor s koordinací provozu
LKR9	Praha	ochranný prostor centra hl.m. Praha
HEL LKPK	Praha 4 - Krč	ochranný prostor nemocničního heliportu
HEL LKPK	Praha 5 - Motol	ochranný prostor nemocničního heliportu

2.1.1 Předpokládané služby U-space

Jak již bylo řečeno výše, v současné době není systém U-space na našem území v provozu. Pro potřeby této práce budeme uvažovat jeho aktivní fungování, aby bylo možné zaprvé metodu MEDUSA aplikovat a zadruhé zhodnotit, zda současná navrhovaná vize "4+2" plně postačí pro provoz UAS, nebo jestli je potřeba doplnit je o další nezbytné služby.

Budeme tedy předpokládat, že všechny výše popsané služby "4+2" (Síťová identifikační služba, Služba geo-awareness, Služba oprávnění k letu bezpilotního systému, Služba informací o provozu, Služba informací o počasí, Služba monitorování souladu) fungují v jejich plném navrhovaném rozsahu a stejně tak infrastruktura a systém pro jejich distribuci a příjem.



- Služby U-space:
 - Síťová identifikační služba
 - Služba geo-awareness
 - Služba oprávnění k letu bezpilotního systému
 - Služba informací o provozu
 - Služba informací o počasí
 - Služba monitorování souladu

2.2 Rizika spojená s provozem UAS v daném prostředí

Dále je nutné stanovit rizika, plynoucí z provozu UAS v daném prostředí a vycházející ze tří kategorií: vzdušné riziko (AR - Air Risk), pozemní riziko (GR - Ground Risk) a riziko narušení oblasti vzdušného prostoru (zakázaná, omezená, nebezpečná). Jejich výčet nám bude dále sloužit k tomu, aby bylo možné určit, jakým způsobem služby U-space zmírňují daná rizika a přispívají tak ke zvýšení bezpečnosti

Rizika stanovená v této práci byla přejata z oficiální dokumentace MEDUSA a následně upravena podle provozního scénáře. Trojice jejich kategorií je logický výčet obecných rizik, se kterými je možné se během provozu UAS setkat. Konkretizovaná rizika následně blíže určují konkrétní problémy, ke kterým by mohlo dojít. Seznam stanovených rizik pro jednotlivé kategorie je v tabulce 2.2. V kategorii Vzdušného rizika je řešena možnost střetu mezi provozovaným UAS s dalším účastníkem vzdušného provozu, letadlem s pilotem na palubě nebo jiným UAS. Toto riziko má největší vliv v otázce kapacity vzdušného prostoru a úroveň jeho zmírnění ovlivňuje možnosti navýšení hustoty vzdušného provozu v prostoru U-space a bezpečné provozní rozestupy mezi operujícími stroji. Pozemní riziko se věnuje otázce bezpečnosti pro osoby na zemi, budov, pozemní infrastruktury a jiného majetku. Jsou odlišeny případy nekontrolovatelného pádu stroje a jeho kolize během letu s pozemní překážkou. Poslední kategorií je pak riziko narušení vzdušných prostorů, do kterých je vstup UAS zakázaný nebo omezený. Toto riziko může kombinovat vlivy pozemního i vzdušného rizika.



Tabulka 2.2: Rizika spojená s provozem UAS v daném prostředí

Kategorie rizik	Provozní riziko
Vzdušné riziko	Střet UAS s letadlem s pilotem na palubě Střet UAS s jiným UAS
Pozemní riziko	Střet stroje s pozemní překážkou/terénem Střet stroje s lidmi Střet stroje s kritickou infrastrukturou Nekontrolovatelný pád stroje nad obydlenou oblastí
Riziko narušení vzdušného prostoru	Stroj naruší zakázanou/omezenou/nebezpečnou oblast

2.2.1 Zmírnění stanovených rizik pomocí služeb U-space

V prostoru U-space jsou hlavními zmírňujícími prostředky služby U-space. Cílem je minimalizovat provozní rizika na přijatelnou úroveň. Služby U-space tak mohou činit jako jediné, ale obecně se předpokládá využití i dalších již funkčních služeb ve spolupráci s nimi (např. letové provozní služby). V této části metody je dle návrhové podoby služeb U-space "4+2" představené v Prováděcím nařízení Komise (EU) 2021/664 [7] popsáno, jakým způsobem služby U-space umožňují zmírnit všechna definovaná provozní rizika.

Vzdušné riziko - Riziko střetu UAS s letadlem s pilotem na palubě

- Síťová identifikační služba - Bezpilotní stroj během letu odesílá data o své poloze, výšce a směru letu, která přijímá USSP a poskytuje je řízení letového provozu v oblasti, které tak má o pohybu UAS v oblasti přehled.
- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel bezpilotního systému má přehled o provozních podmínkách okolního vzdušného prostoru a jeho aktuálních omezeních, aby předešel případnému konfliktu se stroji s posádkou na palubě.
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Při schvalování letového plánu bezpilotního systému USSP bude letový plán, který narušuje kritické oblasti (letecké koridory, areál letiště,



dočasně zakázaný/omezený prostor) zamítnut a případně bude navržnuta alternativa, která se konfliktní situaci předem vyhne.

- Služba informací o provozu - USSP díky komunikaci s vícero uživateli svých služeb, dalšími poskytovateli a řídicími letového provozu má k dispozici informace a veškerém provozu zapojeném v systému U-space a je schopen nenadálé konfliktní situace včas detekovat a instruovat zúčastněné subjekty k zabránění nebezpečné situace.
- Služba monitorování souladu - V případě překonání prahových hodnot schváleného letového plánu bezpilotního systému, je jeho provozovatel informován o problému. Zároveň je informován USSP, který vydá výstrahu okolním pilotům letadel s posádkou a řídicím letového provozu v dané oblasti.

Vzdušné riziko - Riziko střetu UAS s jiným UAS

- Síťová identifikační služba - Bezpilotní stroj během letu odesílá data o své poloze, výšce a směru letu, která přijímá USSP a má tak přehled o všech strojích zapojených do systému U-space.
- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel bezpilotního systému má přehled o provozních podmínkách okolního vzdušného prostoru a jeho aktuálních omezeních, aby předešel případnému konfliktu s bezpilotními stroji, které operují s vyšší prioritou nebo v pro ně vymezené oblasti.
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Při schvalování letového plánu bezpilotního systému USSP bude letový plán, který narušuje již schválené letové plány jiných provozovatelů (časové a trajektorii) zamítnut a případně bude navržnuta alternativa, která se konfliktní situaci předem vyhne.
- Služba informací o provozu - USSP díky komunikaci s vícero uživateli svých služeb, dalšími poskytovateli a řídicími letového provozu má k dispozici informace a veškerém provozu zapojeném v systému U-space a je schopen nenadálé konfliktní situace včas detekovat a instruovat zúčastněné subjekty k zabránění nebezpečné situace.



- Služba monitorování souladu - V případě překonání prahových hodnot schváleného letového plánu bezpilotního systému, je jeho provozovatel informován o problému. Zároveň je informován USSP, který vydá výstrahu okolním provozovatelům bezpilotních systémů.

Pozemní riziko - Riziko střetu stroje s pozemní překážkou/terénem

- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel je informován o pozici významných zeměpisných zón, ve kterých hrozí riziko kolize (výškové budovy, vysílače).
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Trajektorie letu, která protíná významné zeměpisné zóny s rizikem kolize nemusí být bez dodatečných zabezpečení (vyšší výška letu, vyhnutí se dané oblasti, stroj vybaven senzory pro detekci překážky) schválen a může být navržen alternativní letový plán, který riziko eliminuje.
- Služba informací o počasí - USSP informuje provozovatele v případě náhlé změny povětrnostních podmínek, které by mohly zapříčinit krizovou situaci (stroj naveden poryvem větru do překážky), případně zamítne oprávnění k letu ještě před jeho začátkem.

Pozemní riziko - Riziko střetu stroje s lidmi

- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel je informován o pozici významných zeměpisných zón, ve kterých hrozí zvýšené riziko pádu stroje na cizí osobu.
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Žádost oprávnění k letu, který svými parametry nesplňuje bezpečnostní požadavky (nezabezpečené místo vzletu a přistání, blízkost vyšší koncentrace osob) bude zamítnut a poskytovatel služeb U-space může navrhnout úpravu oprávnění letu, aby bylo možné let provést.
- Služba informací o počasí - USSP informuje provozovatele v případě náhlé změny povětrnostních podmínek, které by mohly zapříčinit krizovou situaci (stroj naveden poryvem větru do člověka), případně zamítne oprávnění k letu ještě před jeho začátkem.



Pozemní riziko - Riziko střetu stroje s kritickou infrastrukturou

- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel je informován o pozici významných zeměpisných zón, ve kterých hrozí v případě kolize sekundární forma rizika (vedení vysokého napětí, vysílače, ochranné pásmo letiště, silniční síť, ochranná přírodní pásma).
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Trajektorie letu, která protíná významné zeměpisné zóny s rizikem, že případná kolize může způsobit sekundární nebezpečnou situaci (pád stroje na frekventovanou vozovku, střet stroje s energetickou sítí, pád stroje do vodního zdroje) nemusí být schválen a může být navržen alternativní letový plán, který riziko eliminuje.
- Služba informací o počasí - USSP informuje provozovatele v případě náhlé změny povětrnostních podmínek, které by mohly zapříčinit krizovou situaci (stroj naveden poryvem větru do překážky), případně zamítne oprávnění k letu ještě před jeho začátkem.

Pozemní riziko - Riziko nekontrolovaného pádu stroje nad obydlenou oblastí

- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel je informován o pozici významných zeměpisných zón, ve kterých hrozí vyšší riziko pádu stroje do husté zástavby (ohrožení cizího majetku, obytné budovy).
- Služba oprávnění k letu bezpilotního systému - Žádost oprávnění k letu, jehož trajektorie není vedena tak, aby se v co největší možné přijatelné míře vyhýbala hustě obydleným oblastem (hustá zástavba, v případě pádu riziko škod na cizím majetku), může být zamítnuta a USSP může navrhnout úpravu trajektorie, která povede nad méně osídlenými oblastmi a riziko pádu nad obydlenou oblastí tak bude pro co možná největší část letu sníženo.
- Služba informací o počasí - USSP informuje provozovatele v případě náhlé změny povětrnostních podmínek, které by mohly zapříčinit krizovou situaci (stroj naveden poryvem větru nad hustou zástavbu, pád stroje vlivem povětrnostních podmínek do hustě obydlené oblasti), případně zamítne oprávnění k letu ještě před jeho začátkem.



Riziko narušení vzdušného prosotru - Riziko narušení zakázané/omezené/nebezpečné oblasti strojem

- Služba „geo-awareness“ - Provozovatel je informován o pozici významných zeměpisných zón, ve kterých je provoz bezpilotního systému omezen nebo zakázán (kritická infrastruktura, vojenský prostor, ochranné pásmo letišť, zakázané, omezené a nebezpečné prostory).
- Služba monitorování souladu - Provozovatel bezpilotního systému je poskytovatelem služeb U-space upozorněn při překročení prahových hodnot schváleného provozu, který by tak mohl nedodržením trajektorie kritickou oblast narušit.
- Služba informací o počasí - USSP informuje provozovatele v případě náhlé změny povětrnostních podmínek, které by mohly zapříčinit krizovou situaci (stroj naveden poryvem větru do kritické oblasti), případně zamítne oprávnění k letu ještě před jeho začátkem.
- Služba oprávnění k letu UAS - USSP neschválí letový plán vedený omezenou/zakázanou oblastí bez získání příslušného povolení od autority spravující dotčený vzdušný prostor a zodpovědného úřadu.

2.2.2 Bezpečnostní kritéria U-space

Bezpečnostní kritéria definují přijatelnou míru bezpečnosti. Jejich forma je ovlivněna skutečností, že neexistuje dostatečný objem dat z provozu, který by mohl posloužit pro kvantitativní popis bezpečnosti a nelze tak kritéria definovat absolutně. Není také možné definovat skutečná relevantní kritéria pro změnu nově zavedené služby. Navrhovaná bezpečnostní kritéria, sepsaná v tabulce 2.3 jsou vytvořená na základě definování míry tzv. přijatelní míry bezpečnosti, která je stanovena podle definovaných provozních rizik. Před stanovením konkrétních bezpečnostních kritérií je výhodné definovat pro daný provoz stav, který lze považovat za přijatelně bezpečný. Tím bude předběžně stanoven ideál, ke kterému se budeme při následném návrhu cílů bezpečnosti a bezpečnostních požadavků snažit přiblížit. Za přijatelně bezpečné považujeme:

- Provoz letadel s posádkou ve vzdušném prostoru U-space nebude omezen souběžným provozem UAS.



- Provoz UAS v prostoru U-space nebude mít zásadní dopad na úroveň bezpečnosti osob na zemi, cizího majetku a kritické infrastruktury.
- Provoz UAS v prostoru U-space minimalizuje riziko neoprávněného narušení zakázaných, omezených a nebezpečných vzdušných prostorů.

Tabulka 2.3: Bezpečnostní kritéria provozu UAS.

Bezpečnostní kritéria	
SAC#1	Riziko střetu mezi UAS a letadlem s posádkou po zavedení provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nebude vyšší než riziko střetu mezi dvěma letadly s posádkou.
SAC#2	Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení rizika střetu dvojice UAS.
SAC#3	Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení rizika střetu UAS se zemí a jinými pozemními překážkami.
SAC#4	Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení pravděpodobnosti nepovoleného narušení zakázaných, omezených a nebezpečných vzdušných prostor.
SAC#5	Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke snížení bezpečnosti osob, cizího majetku a kritické infrastruktury na zemi.

2.3 Cíle bezpečnosti

Cíle bezpečnosti určují stav, kterého je nutné dosáhnout, aby byla splněna bezpečnostní kritéria a tedy provoz bylo možné charakterizovat jako přijatelně bezpečný. Jejich obsah vychází ze služeb a systémů přispívajících k bezpečnosti provozu (služby U-space, CIS, UAS a personál), externích podmínek, které mohou provoz ovlivnit nebo nebezpečí, která mohou za letu nastat.



2.3.1 Normální provoz

Normální provoz určuje ideální stav fungování U-space, kdy veškeré služby plně fungují, komunikace není narušená, UAS dodržují schválené letové plány a koordinace mezi provozem UAS a letadel s pilotem na palubě je plně funkční. Normální stav nám definuje přínosy U-space, protože nám ukazuje, jakými službami a procesy je dosaženo vyšší bezpečnosti a efektivity provozu. Pro Normální provoz, konkrétně v případě že se pomocí něj snažíme navrhnout požadovanou podobu služeb U-space, můžeme využít metodu Fault Tree Analysis, která nám pomůže určit bariéry nutné k včasnému zastavení chyby a z nich stanovit požadavky na služby U-space. Cíle bezpečnosti pro normální provoz jsou rozděleny do tří kategorií podle druhu služeb: pro služby U-space (tabulka 2.4), pro CIS (tabulka 2.5) a pro UAS (tabulka 2.6) z pohledu stroje i obsluhy. Je tak obecně stanovena požadovaná úroveň jejich výkonu, nezbytná pro dosažení požadované míry bezpečnosti. U každého cíle jsou poznamenána konkrétní SAC, které pomáhá naplnit.



Tabulka 2.4: Cíle bezpečnosti normálního provozu pro služby U-space

Služba/ činnost	Cíle bezpečnosti		SAC
Síťová identifikační služba	SO#01	Riziko střetu mezi UAS a letadlem s posádkou po zavedení provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nebude vyšší než riziko střetu mezi dvěma letadly s posádkou.	#1, #2
Služba geo- awareness	SO#02	Poskytovatel služeb U-space shromažďuje aktuální informace o oblastních omezeních vzdušného prostoru U-space a poskytuje je účastníkům provozu.	#1, #2, #3, #4, #5
Služba oprávnění k letu UAS	SO#03	Poskytovatel služeb U-space přijímá žádosti o schválení letových plánů účastníků U-space, analyzuje je a v případě konfliktu s jiným letovým plánem je zamítá nebo vyzve žadatele k úpravě.	#1, #2, #3, #4, #5
Služba informací o provozu	SO#04	Poskytovatel služeb U-space shromažďuje letové údaje účastníků U-space a poskytuje je dalším poskytovatelům a účastníkům.	#1, #2
Služba informací o počasí	SO#05	Poskytovatel služeb U-space shromažďuje informace o počasí a poskytuje je účastníkům U-space.	#3, #5
Služba mo- nitorování souladu	SO#06	Poskytovatel služeb U-space aktivně analyzuje letové údaje účastníků U-space a monitoruje soulad se schváleným letovým plánem. V případě překročení limitní odchylky vydává výstrahu konkrétnímu provozovateli, dalším účastníkům U-space a poskytovatelům služeb U-space v oblasti.	#1, #2, #3, #4, #5



Tabulka 2.5: Cíle bezpečnosti normálního provozu pro poskytovatele CIS.

Služba/ činnost	Cíle bezpečnosti		SAC
CIS	SO#07	Poskytovatel společné informační služby je povinen zajistit předání informací mezi subjekty, zajistit jejich správnost, integritu a dostupnost.	#1, #2, #3, #4, #5
CIS	SO#08	Subjekty poskytující společné informace (USSP/ATS/authority) musí umožnit CIS přístup ke sdíleným datům a v případě, že není státem definován jediný poskytovatel společné informační služby, si musí přístup umožnit vzájemně mezi sebou.	#1, #2, #3, #4, #5



Tabulka 2.6: Cíle bezpečnosti normálního provozu pro UAS

Služba/ činnost	Cíle bezpečnosti		SAC
Předletová příprava	SO#09	Provozovatel UAS je zodpovědný za údržbu stroje, plnění požadavků příslušného úřadu ohledně letové způsobilosti stroje a provedení předletové přípravy před každým letem.	#1, #2, #3, #4, #5
Předletová příprava	SO#10	Provozovatel UAS v prostoru U-space je povinen komunikovat s poskytovatelem služeb U-space, využívat služeb U-space a plnit s nimi spojené požadavky.	#1, #2, #3, #4, #5
Dodržování letového plánu	SO#11	Provozovatel UAS je povinen dodržovat schválený letový plán a zajistit, že stroj nepřekročí akceptovatelné poziční a časové odchylky vůči platnému letovému plánu. V případě upozornění poskytovatelem služeb U-space o skutečnosti, že došlo k překročení schváleného rozsahu letového plánu, je provozovatel povinen sjednat nápravu nebo přerušit provoz.	#1, #2, #3, #4, #5
Konstrukce UAS	SO#12	UAS je vybaveno systémy umožňujícími jeho bezpečný provoz.	#1, #2, #3, #4, #5

2.3.2 Abnormální provoz

Abnormálním provozem nazýváme situaci, kdy je provoz ovlivněn externími podmínkami, které nelze považovat za normální situaci, ale nejedná se o systémovou chybu spojenou s fungováním U-space. Nejčastěji se jedná o vlivy počasí, které mohou negativně ovlivnit let UAS, problémy se



signálem, selhání systémů nebo konstrukce UAS nebo střet s cizím objektem (nejčastěji zvířetem). Výčet všech uvažovaných podmínek je v tabulce 2.7. Za poslední abnormální podmínku bylo označeno omezení vzdušného prostoru. Tato situace může souviset s rekonfigurací vzdušného prostoru U-space a v takovém případě by se nejednalo o abnormální situaci, ale spíše o normální provoz (neboť takovéto situace jsou předpokládány). V případě, že ale dojde k nenadálému a okamžitému uzavření vzdušného provozu na základě rozhodnutí vyšší autority spravující vzdušný prostor (Stát, ATS), pravděpodobně z důvodu nouzové situace, může být provoz v prostoru U-space silně ovlivněn.

Tabulka 2.7: Abnormální provozní podmínky

Abnormální provozní podmínky	
1	Rušení GNSS
2	Rušení řídicího signálu
3	Silný vítr
4	Srážky
5	Nízké teploty
6	Turbulence
7	Zásah bleskem
8	Selhání palubních systémů
9	Selhání konstrukce stroje
10	Selhání pozemní řídicí stanice
11	Střet s ptákem
12	Omezení vzdušného prostoru

Cíle bezpečnosti abnormálního provozu, uvedené v tabulkách 2.8 a 2.9, pak vychází z těchto podmínek a definují do jaké míry je nezbytné zajistit provoz tak, aby vnějšími vlivy nedošlo ke snížení bezpečnosti. Jednotlivé cíle svou povahou mohou přispívat ke zmírnění vlivu většího počtu abnormálních podmínek naráz a podobně jako u normálního provozu mohou přispívat pro naplnění vícero SAC najednou.



Tabulka 2.8: Cíle bezpečnosti abnormálního provozu [1/2]

Abn. pod.	Cíle bezpečnosti		SAC
1, 2	SO#20	Vliv ztráty signálu GNSS a rádiového rušení na provoz UAS musí být ověřen.	#1, #2, #3, #4, #5
1, 2, 8	SO#21	Provoz UAS musí být monitorován systémem schopným vyhodnotit navigační údaje stroje, detekovat možnou chybu a předejít s ní spojeným následkům.	#1, #2, #3, #4, #5
3, 4, 5, 6, 7	SO#22	Výrobce stanoví přijatelné povětrnostní podmínky pro provoz UAS, za kterých je stroj schopen provozu.	#1, #2, #3, #4, #5
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	SO#23	V případě překročení limitních abnormálních podmínek, bude provoz UAS automaticky přerušen a stroj bezpečně přistane.	#1, #2, #3, #4, #5
8	SO#24	Zařízení UAS je vybaveno robustními a spolehlivými palubními systémy zajišťující bezpečný provoz bez rizika fatální systémové chyby vedoucí ke kompletní ztrátě kontroly nad strojem.	#1, #2, #3, #4, #5
9	SO#25	Konstrukce UAS je robustní a spolehlivá a zajistí, že při provádění pravidelné kontroly a údržby nehrozí po dobu životnosti stroje výskyt náhlého únavové poškození, které by mohlo ovlivnit letové vlastnosti.	#3, #5



Tabulka 2.9: Cíle bezpečnosti abnormálního provozu [2/2]

Abn. pod.	Cíle bezpečnosti		SAC
10	SO#26	Při selhání pozemní řídicí stanice bude automaticky přerušen provoz všech UAS, které jsou ze stanice ovládány a stroje bezpečně přistanou.	#1, #2, #3, #4, #5
10	SO#27	V případě střetu UAS s cizím předmětem/zvířetem, oznámí systém stroje okamžitě nastalou situaci operátorovi/pilotovi a poskytovateli služeb U-space. V závislosti na poškození a ovlivnění letových vlastností bude provoz přerušen, případně proveden krizový postup.	#3, #4, #5
11	SO#28	V případě náhlého uzavření vzdušného prostoru nebo omezení v rozsahu, který zamezuje pokračování provozu, musí operátor přerušit provoz a bezpečně přistát.	#1, #2, #4

2.3.3 Chybný provoz

Chybný provoz (Faulted Operation) je takový, kdy dojde k chybě systému U-space. Může se jednat o špatné fungování služeb U-space, omezení komunikace mezi zúčastněnými stranami (CIS, USSP, UAS) případně situace, kdy spojením více chyb (nepřesné údaje, výpadky služeb, latence dat) dojde k nebezpečnému přiblížení dvojice strojů účastnících se provozu v prostoru U-space.

Základem pro stanovení cílů bezpečnosti pro chybný provoz je určení typů Provozního nebezpečí (OH - Operational Hazard), sepsaných v tabulce 2.11. Ty nám určí konkrétní rizikové situace zapříčiněné selháním systému U-space, které mohou během provozu nastat. Protože ne každé takovéto provozní nebezpečí má stejný vliv na bezpečnost U-space, určujeme také kvalitativní třídu provozního nebezpečí (tabulka 2.10) určující závažnost takovéto situace a spolu s tím i přijatelnou míru četnosti nebezpečí, která nám stanoví, jak často se dané chyba může během provozu vyskytnout a provoz bylo možné stále pokládat za bezpečný.



Tabulka 2.10: Klasifikace úrovně nebezpečí a akceptovatelné pravděpodobnosti

Třída závažnosti nebezpečí	Nejvyšší akceptovatelná míra četnosti nebezpečí
I	Nepravděpodobné
II	Výjimečné
III	Občasné
IV	Časté

Cíle bezpečnosti vycházející z chybného nebezpečí sepsaných v tabulkách 2.12 a 2.13 následně ze stanovených OH vycházejí. Podobně jako SO u abnormálního provozu řeší jakým způsobem zajistit požadovanou míru bezpečnosti, jen v tomto případě z pohledu vnitřních neboli systémových chyb. Mimo řešení samotná určují i jaká je přijatelná pravděpodobnost, že k dané chybě dojde a stanovují tak požadovanou úroveň robustnosti.



Tabulka 2.11: Operační nebezpečí chybného provozu a jeho vliv

	Nebezpečí	Efekt	Závažnost
1	UAS se během letu odchýlí od stanovené trajektorie letovým plánem	UAS naruší letovou trasu letadla s pilotem na palubě.	I
		UAS naruší letovou trasu jiného UAS.	III
		UAS naruší omezenou oblast.	II
		UAS naruší zakázanou oblast.	I
2	UAS během letu přestane poskytovat informace USSP	USSP zcela ztratí informace o UAS.	I
		USSP nemá k dispozici veškeré údaje o UAS.	III
3	Během provozu UAS dojde k výpadku služeb U-space	Dojde k omezení možnosti schválení letového plánu provozovatele UAS.	IV
		Provozovatel UAS ztratí přehled o okolním provozu.	II
		Provozovatel UAS nebude informován v případě nastalé konfliktní situace s dalším UAS nebo letadlem s posádkou.	I
		Bude omezená možnost poskytovatele služeb U-space spojit se s provozovatelem UAS.	II
4	Během provozu dojde k výpadku systému CIS	Ztráta možnosti předat informace o konfliktu letových trajektorií UAS a letadel s posádkou.	I
		Ztráta možnosti vzájemné komunikace mezi poskytovateli USSP.	II



Tabulka 2.12: Cíle bezpečnosti chybného provozu [1/2]

SO	Cíle bezpečnosti	OH	SAC
#40	Situace, kdy dojde k odchýlení UAS z původní trajektorie a jeho přiblížení k letové trati letadla s posádkou, musí být nanejvýš nepravděpodobná.	#1	#1
#41	Situace, kdy dojde k odchýlení UAS z původní trajektorie a jeho přiblížení k letové trati jiného UAS, musí být nanejvýš občasná.	#1	#2
#42	Zařízení UAS musí schopné nezávisle na službách U-space a činnosti operátora informovat o své pozici okolní provoz.	#1	#1, #2
#43	Situace, kdy dojde k odchýlení UAS z původní trajektorie a narušení omezenou/zakázanou oblast vzdušného prostoru musí být nanejvýš výjimečná.	#1	#4
#44	Situace, kdy poskytovatel služeb U-space zcela ztratí informace o konkrétním UAS musí být nanejvýš nepravděpodobná.	#2	#1, #2, #4
#45	Situace, kdy poskytovatel služeb U-space částečně ztratí informace o konkrétním UAS musí být nanejvýš občasná.	#2	#1, #2, #4
#46	V případě, že UAS neposkytuje úplné informace poskytovateli služeb U-space, není možné zahájit provoz.	#2	#1, #2, #4
#47	USSP musí mít od UAS vždy dostupné úplné údaje pro síťovou identifikační službu. V opačném případě není možné zahájit provoz nebo pokračovat v již zahájeném provozu.	#2	#1, #2, #4
#48	Situace, kdy vlivem výpadku služby U-space nebude možné provést schválení letového plánu UAS musí být nanejvýš občasná.	#3	#1, #2
#49	UAS nemůže bez schválení letového plánu za žádné situace zahájit provoz.	#3	#1, #2, #3, #4, #5
#50	Situace, kdy vlivem výpadku služeb U-space ztratí operátor UAS přehled o okolním provozu může být nanejvýš výjimečná.	#3	#1, #2



Tabulka 2.13: Cíle bezpečnosti chybného provozu [2/2]

SO	Cíle bezpečnosti	OH	SAC
#51	Situace, kdy vlivem výpadku služeb U-space dojde k zamezení možností varování operátora před hrozící konfliktní situací s dalším UAS nebo letadlem s posádkou musí být nanejvýš nepravděpodobná.	#3	#1, #2
#52	Situace, kdy vlivem výpadku služeb U-space dojde k omezení možností komunikace mezi USSP a operátorem UAS musí být nanejvýš výjimečná.	#3	#1, #2, #4
#53	Situace, kdy vlivem výpadku společných informačních služeb dojde k omezení možnosti předání informací o konfliktní situaci mezi UAS a letadlem s posádkou musí být nanejvýš nepravděpodobná.	#4	#1
#54	Situace, kdy vlivem výpadku společných informačních služeb dojde k omezení předávání informací mezi vícero USSP musí být nanejvýš výjimečná.	#4	#1, #2, #4
#55	Veškeré incidenty a mimořádné situace, ke kterým dojde během provozu, budou zaznamenány a zanalyzovány.	#1, #2, #3, #4	#1, #2, #3, #4, #5



3 Prezence výsledků

Výsledkem metody MEDUSA je stanovení Bezpečnostních požadavků určujících požadavky, které je nutné splnit pro splnění Cílů bezpečnosti, naplnění Bezpečnostních kritérií a tedy dosažení požadované úrovně bezpečnosti. Následuje zhodnocení, zda dané Bezpečnostní požadavky umožňují jejího dosažení. Druhou částí výsledků je jejich porovnání s výsledky metody SORA vycházejícím z práce Ing. Jana Stádníka a zhodnoceno, zda systém U-space přispívá k navýšení bezpečnosti provozu UAS.

3.1 Bezpečnostní požadavky

Na základě Cílů bezpečnosti jsou na závěr stanoveny Bezpečnostní požadavky. Ty nám přesně popisují, jakým způsobem je nutné Cílů dosáhnout, aby v konečném důsledku byla splněna požadovaná úroveň bezpečnosti. Podobně jako Cíle jsou i Požadavky rozdělené podle provozu na normální, abnormální a chybné. V následujících tabulkách (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15) jsou sestaveny Bezpečnostní požadavky pro dané typy provozu. Dále je u požadavku zmíněno, z jakého cíle vychází (nebo také, který mají naplnit), typ požadavku a zodpovědný aktér. Typ požadavku nám určuje, jaká je povaha daného řešení. Může se jednat o vybavení (E - Equipment; zařízení, součást, systém, software), proceduru (P - Procedure; provozní nebo krizový postup) nebo lidský faktor (H - Human Factor; zodpovědnost osob, rozhodnutí). Zodpovědný aktér určuje, kdo ze zúčastněných stran je za naplnění požadavku odpovědný.



Tabulka 3.1: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro služby U-space [1/4]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#000	SO#01	E	UAS	UAS musí být vybaven automatickým systémem zajišťujícím spolehlivé odesílání letových údajů USSP.
SR#001	SO#01	E	USSP	USSP musí mít dostatečně výkonné a spolehlivé vybavení umožňující příjem, uchování a analýzu přijímaných identifikačních dat od UAS.
SR#003	SO#01	E	USSP	USSP musí mít automatický systém umožňující sdílení získaných letových údajů s dalšími UAS v obsluhovaném prostoru U-space.
SR#010	SO#02	E	USSP	USSP musí mít systém pro shromažďování přesných informací o geozónách a oblastních omezeních obsluhovaného prostoru U-space.
SR#011	SO#02	P	USSP	USSP musí mít funkční systém pravidelné kontroly a aktualizace uchovávaných dat popisujících geozóny a oblastní omezení.
SR#012	SO#02	E	USSP	USSP musí mít systém umožňující automatické sdílení údajů týkajících se geozón a oblastních omezení s UAS v obsluhovaném prostoru U-space.



Tabulka 3.2: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro služby U-space [2/4]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#020	SO#03	E	USSP	USSP musí stanovit podobu procesu pro žádost o schválení letového plánu UAS.
SR#021	SO#03	P	UAS	Provozovatel UAS musí pro žádost o schválení letového plánu postupovat dle procesu vytvořeného USSP.
SR#022	SO#03	E/P	UAS	Součástí letového plánu je určení volných ploch, které budou v případě aktivování postupu nouzového přistání sloužit jako prostory pro bezpečné přistání UAV. Bude stanovena četnost těchto míst podél trasy letu, vyplývající z maximálního přípustného času stráveném ve vzduchu od okamžiku zahájení postupu nouzového přistání.
SR#023	SO#03	E	USSP	USSP musí mít systém umožňující automatickou analýzu žádostí o schválení letových plánů, který zhodnotí, zda je možné provoz schválit bez omezení již platných letových plánů a bez narušení omezených oblastí.
SR#024	SO#03	P	USSP	V případě, že navrhovaný letový plán není možné schválit, je USSP schopen analyzovat možnosti, jak letový plán upravit pro umožnění jeho schválení a předloží tyto návrhy žadateli.



Tabulka 3.3: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro služby U-space [3/4]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#025	SO#03	H	UAS	Žadatel o schválení letového plánu zhodnotí navrhované možnosti úpravy letového plánu a rozhodne, zda je přijme nebo žádost stáhne.
SR#030	SO#04	E	USSP	USSP má systém, který z letových údajů všech zúčastněných UAS vytváří celistvé pojetí o provozu UAS v daném prostoru U-space.
SR#031	SO#04	E	USSP	USSP má systém pro sdílení údajů o provozu UAS v daném prostoru U-space se všemi jeho účastníky.
SR#032	SO#04	P	USSP/CIS	USSP sdílí skrze CIS informace o provozu s dalšími USSP působícími ve stejných nebo přilehlých prostorech U-space.
SR#040	SO#05	E	USSP	USSP má systém, který z hodnověrných zdrojů shromažďuje přesné informace o aktuálním počasí a jeho předpovědi a tyto informace sdílí se všemi UAS účastnících se daného provozu.
SR#041	SO#05	E	UAS	UAS musí být vybaveno systémem, který vyhodnotí, zda je stroj schopný provozu za očekávaných povětrnostních podmínek získaných od USSP, které ho během již probíhajícího nebo nadcházejícího provozu čekají.



Tabulka 3.4: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro služby U-space. [4/4]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#050	SO#06	E	USSP	USSP má systém, který v reálném čase analyzuje údaje o provozu a vyhledává možné odchylky skutečného provozu od schválených letových plánů.
SR#051	SO#06	P	USSP	V případě, že USSP detekuje časovou nebo poziční odchylku od schváleného letového plánu, informuje o této skutečnosti operátora daného UAS a vyzve ho k nápravě.
SR#052	SO#06	H	UAS	Pokud je operátor UAS vyzván k nápravě odchýlení od schváleného letového plánu, je povinen neprodleně reagovat a provést korekci.
SR#053	SO#06	P	USSP	V případě, že USSP detekuje odchylku od schváleného letového plánu, která překračuje akceptovatelné meze, je povinen nařídit přerušování provozu daného UAS.
SR#054	SO#06	E	UAS	Zařízení UAS je vybaveno systémem, který v případě přijetí výzvy USSP k ukončení provozu, na kterou operátor nezareaguje, automaticky přerušuje autonomní let a přejde do režimu automatického bezpečného přistání.



Tabulka 3.5: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro CIS

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#060	SO#07	E	CIS/USSP/ATS	CIS spravuje systém sloužící jako informační kanál mezi USSP and ATS umožňující koordinaci mezi provozem UAS a strojů s posádkou na palubě.
SR#061	SO#07	E	CIS/USSP	CIS spravuje systém sloužící jako informační kanál mezi více USSP a umožňuje tak sdílení dat mezi vícero samostatnými prostory U-space.
SR#062	SO#07	E	CIS/USSP	CIS spravuje systém sloužící jako informační kanál mezi USSP a dalšími aktéry zapojených do provozu ve vzdušeném prostoru U-space.
SR#065	SO#08	E	USSP/ATS	Subjekty generující společné informace musí být schopni sdílet mezi sebou informace navzájem v případě, že není stanoven jediný poskytovatel CIS.



Tabulka 3.6: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro UAS [1/2]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#070	SO#09	P	UAS	Provozovatel UAS je zodpovědný za vypracování provozních postupů, údržbu stroje, školení operátora a obsluhy.
SR#071	SO#09	P/H	UAS	Operátorem UAS je osoba s absolvovaným výcvikem, zná provozu a konkrétního stroje a zodpovědná za řízení stroje během provozu.
SR#072	SO#09	P/H	UAS	Pozemní obsluha UAS je odpovědná za předletovou přípravu a zajištění přepravovaného materiálu.
SR#080	SO#10	E	UAS	Operátor UAS je v neustálém kontaktu s USSP, přijímá a data spojená se službami U-space a reaguje na požadavky a výzvy poskytovatele.
SR#090	SO#11	E	UAS	Operátor UAS přijímá od stroje během provozu letové údaje, kontroluje dodržení letového plánu a v případě potřeby sám zareaguje a zasáhne do řízení stroje.
SR#091	SO#11	P	UAS	V případě že je operátor UAS upozorněn USSP na překročení povolených odchylek od schváleného letového plánu, neprodleně zareaguje a chybu napraví.



Tabulka 3.7: Bezpečnostní požadavky Normálního provozu pro UAS [2/2]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#092	SO#11	P	UAS	V případě že operátor UAS z jakéhokoliv důvodu uzná pokračování provozu za nebezpečné, provoz přeruší, zahájí proces bezpečného přistání a informuje USSP o přerušení provozu.
SR#100	SO#12	E	UAS	UAS je vybaveno systémy umožňujícími komunikaci s operátorem a USSP, autonomní let, detekci překážek, určení přesné zeměpisné polohy a výšky nad povrchem a konstrukcí zajišťující dostatečnou spolehlivost a odolnost vůči vlivům, se kterými se stroj během provozu může setkat.



Tabulka 3.8: Bezpečnostní požadavky Abnormálního provozu [1/3]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#200	SO#20	P	UAS/USSP	Před zahájením provozu je ověřeno, zda v oblasti není rušen signál GNSS, který by mohl ovlivnit bezpečnost provozu.
SR#210	SO#21	E	UAS	UAS musí být vybaveno systémem, který dokáže určit kvalitu GNSS signálu a tuto informaci předat operátorovi.
SR#211	SO#21	E	UAS	UAS musí být vybaveno systémem, který dokáže určit kvalitu rádiového spojení mezi pozemní řídicí stanicí a UAV
SR#212	SO#21	P	UAS	V případě zeslabení GNSS signálu pod přijatelnou úroveň vedoucí k nedostatečně přesné informaci o poloze stroje, musí být provoz UAS přerušen.
SR#213	SO#21	P	UAS	V případě zeslabení rádiového spojení mezi pozemní stanicí a UAV pod přijatelnou úroveň, musí být provoz UAS přerušen.
SR#220	SO#22	P	UAS	Výrobce UAS stanoví limitní povětrnostní podmínky, za kterých je možné stroj provozovat.
SR#221	SO#22	P	UAS	Operátor UAS se před zahájením provozu ujistí podle platné předpovědi počasí, že během letu nelze předpokládat situaci, kdy by byly překročeny provozní limity stanovené výrobcem.



Tabulka 3.9: Bezpečnostní požadavky Abnormálního provozu [2/3]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#230	SO#23	P	UAS	V případě, že během provozu dojde v oblasti letu ke zhoršení povětrnostních podmínek, které překračují povolené limity stanovené výrobcem, bude provoz přerušen.
SR#231	SO#23	P	UAS	Pro případ nutnosti přerušení provozu existuje nouzový plán definující postup pro bezpečné automatické přistání stroje na předem definovaném místě a jeho zajištění zodpovědnou osobou.
SR#240	SO#24	E	UAS	Konstrukce vnitřních systémů UAS zajistí, že vlivem selhání vnitřních systémů řízení stroje nehrozí kompletní ztráta kontroly.
SR#250	SO#25	P	UAS	Výrobce zajistí důkladné testy konstrukce stroje, které definují jeho životnost, provozní limity a postupy pravidelné údržby.
SR#251	SO#25	P	UAS	Provozovatel UAS zajistí plnění plánu údržby stroje a sleduje jeho technický stav.
SR#260	SO#26	P	UAS	V případě omezení funkce pozemní řídicí stanice je zaslána informace řízeným UAV, které přeruší provoz a provedou stanovený nouzový postup.
SR#261	SO#26	P	UAS	V případě omezení funkce pozemní řídicí stanice je zaslána informace USSP o přerušení provozu a podrobnosti o UAV, které jsou ovlivněny.



Tabulka 3.10: Bezpečnostní požadavky Abnormálního provozu [3/3]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#270	SO#27	P	UAS	V případě střetu UAV s cizím objektem systém okamžitě informuje operátora, přeruší provoz a zahájí postup nouzového přistání.
SR#271	SO#27	P	UAS	V případě střetu UAV s cizím objektem je USSP zaslána informace o přerušení provozu.
SR#272	SO#27	P	UAS/USSP/CIS	V případě střetu UAV s cizím objektem, které vede k poškození výrazně omezující ovladatelnost stroje, je prostřednictvím CIS informována služba ATS.
SR#280	SO#28	P	USSP	V případě náhlého omezení vzdušného prostoru, USSP informuje o situaci operátory UAS a nařídí přerušení provozu.
SR#281	SO#28	P	UAS	V případě obdržení informace o omezení vzdušného prostoru, UAS přeruší provoz a zahájí postup nouzového přistání.



Tabulka 3.11: Bezpečnostní požadavky Chybného provozu [1/5]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#300	SO#40/41/43	P	USSP	Během provozu bude stanoveno maximální přípustné časové a geografické odchýlení stroje od letového plánu, ve kterém je pohyb stroje možný.
SR#301	SO#40/41/43	P	USSP	V případě, že se během provozu UAS přiblíží k hranici maximálního přípustného odchýlení od schváleného letového plánu, bude operátor upozorněn a vyzván k nápravě.
SR#302	SO#40/41/43	P	USSP	V případě, že během provozu UAS dojde k překročení hranice maximálního přípustného odchýlení od schváleného letového plánu, bude nařízeno zastavení provozu.
SR#303	SO#40/41	P	USSP	V případě, že dojde během provozu k odchýlení UAS od schváleného letového plánu, vydá USSP varování, kterým informuje okolní provozované UAS a letadla s posádkou o situaci a možném nebezpečí.
SR#310	SO#42	E	UAS	UAS musí být vybaveno systémem, které nezávisle na USSP dokáže informovat o své přítomnosti okolní UAS a letadla s posádkou vybavené příslušnou technologií.



Tabulka 3.12: Bezpečnostní požadavky Chybného provozu [2/5]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#320	SO#43	P	USSP	V případě, že dojde během provozu k odchýlení UAS od schváleného letového plánu do omezené/zakázané oblasti, vydá USSP varování, kterým informuje autoritu, která daný prostor spravuje.
SR#330	SO#44/45	E	UAS/USSP	Systémy zajišťující sdílení informací mezi UAS a USSP musí automaticky detekovat ztrátu datového toku a informovat obě strany o problému.
SR#330	SO#44/45	P	UAS/USSP	Pro případ, že USSP ztratí za provozu údaje o daném UAS, musí být USSP schopný kontaktovat operátora UAS, aby ho informoval o situaci a vyzval ho k nápravě.
SR#331	SO#46	P	USSP	V případě, že UAS nebude před zahájením provozu poskytovat USSP úplné síťové identifikační údaje, nebude vydáno povolení k zahájení provozu.
SR#340	SO#47	P	USSP	V případě, že během letu dojde k výpadku příjmu identifikačních dat od UAS a nebude sjednána okamžitá náprava, bude provoz ukončen.



Tabulka 3.13: Bezpečnostní požadavky Chybného provozu [3/5]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#350	SO#48	P	UAS	Operátor nebo obsluha odpovědná za předletovou přípravu musí zajistit, že UAV nebude před zahájením provozu vystaven rušení nebo umístěn mimo signál, což by mohlo vést k omezení navázání komunikace s USSP.
SR#351	SO#48	E	USSP	Ve stanoveném prostoru U-space musí být co nejlepší dostupnost a stabilita služeb U-space. Musí být zajištěná infrastruktura, která zajistí stabilní pokrytí celého prostoru.
SR#360	SO#49	P	UAS	Pro zahání provozu musí být vydáno a obdrženo přímé povolení od USSP, bez kterého není možné zahájit provoz UAS.
SR#370	SO#50	E	UAS	UAS a stroje s pilotem na palubě v prostoru U-space musí být vybaveny záložním systémem, který v případě výpadku služby informací o provozu zajistí základní přehled o okolním provozu.
SR#371	SO#50	E	USSP	USSP musí zajistit záložní distribuci služby informací o provozu, která zajistí v případě výpadku hlavního systému základní dostupnost této služby.



Tabulka 3.14: Bezpečnostní požadavky Chybného provozu [4/5]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#380	SO#51	E	UAS	Palubní systémy UAS a strojů s pilotem na palubě musí v případě výpadku služeb informací o provozu a monitorování souladu poskytnout záložní systém varování před možnou kolizní situací.
SR#381	SO#51	E	USSP	USSP musí zajistit záložní distribuci služby monitorování souladu, která zajistí v případě výpadku hlavního systému základní dostupnost této služby.
SR#390	SO#52	E	UAS/USSP	Pro případ výpadku standardních komunikačních cest skrze služby U-space mezi operátorem UAS a USSP musí být stanoven záložní způsob přímé komunikace.
SR#400	SO#53/54	E	CIS	Systém CIS musí zaručit maximální možnou stabilitu a dostupnost informačních kanálů mezi USSP, ATS a dalšími autoritami vzdušného prostoru.
SR#401	SO#53/54	E	USSP/CIS	Pro případ výpadku CIS musí být stanoven záložní způsob přímé komunikace mezi USSP, ATS a dalšími autoritami vzdušného prostoru.



Tabulka 3.15: Bezpečnostní požadavky Chybného provozu [5/5]

Bezpečnostní požadavek	Výchozí cíl bezpečnosti	Typ	Zodpovědný aktér	Popis bezpečnostního požadavku
SR#402	SO#53/54	E	ATS	Stroje s posádkou na palubě, u kterých lze očekávat, že podstatnou část svého letu stráví ve vzdušném prostoru U-space, musí být vybaveny systémy zajišťující komunikaci s USSP.
SR#403	SO#53/54	P	CIS/ATS/USSP	V případě krizové situace může ATS nebo jiná autorita vzdušného prostoru přímo přerušit provoz v určené části prostoru U-space.
SR#410	SO#55	E	USSP/UAS	Součástí provozu U-space bude vytvoření systému ukládání a analýzy nehod, incidentů a mimořádných situací, pro možnost zpětného vyhodnocení nebezpečných situací, vyšetřování nehod a zavedení změn vedoucích k zabránění opakování stejných rizikových scénářů.
SR#411	SO#55	P	UAS	Systém UAS během provozu zaznamenává incidenty a mimořádné situace a okamžitě je odesílá USSP k uložení a analýze.

3.2 Naplnění Bezpečnostních kritérií

Jak již bylo řečeno, SR nám přináší požadavky, jejichž splněním dosahujeme v konečném důsledku naplnění SAC a skrze ně i požadované úrovně provozní bezpečnosti. Pro lepší přehlednost, jak jsou SAC naplněna, následuje bodové shrnutí SR rozdělených dle jednotlivých Kritérií. Protože



různé SR mohou ovlivňovat naplnění několika SAC naráz a kompletní souhrn by velikostí odpovídal tabulkám SR, jsou u každého Kritéria vyzdvíženy především ty největší přínosy.

- SAC#1 - Riziko střetu mezi UAS a letadlem s posádkou po zavedení provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nebude vyšší než riziko střetu mezi dvěma letadly s posádkou.
 - UAS a letadla s pilotem na palubě provozovaná v U-space využívají služeb U-space a CIS pro vzájemnou koordinaci a řízení vzdušného prostoru zajišťující bezpečnost provozu.
 - USSP shromažďuje letové údaje o účastnících provozu v U-space, vytváří souhrnné informace o dopravní situaci a ty pak poskytuje zpět účastníkům.
 - Jsou stanovené postupy v případě odklonu UAS od zamýšlené trasy letu, minimalizující riziko střetu s letadlem s pilotem na palubě.
 - CIS zajišťuje rychlé sdílení informací mezi všemi zúčastněnými stranami ve vzdušném prostoru.
 - Systémy U-space a CIS musí být dostatečně spolehlivé a robustní, aby minimalizovali riziko výpadku služeb.
 - V případě kolizní situace mezi UAS a letadlem s pilotem na palubě je UAS povinno upravit trasu letu pro zabránění střetu.
- SAC#2 - Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení rizika střetu dvojice UAS.
 - U-space zajišťuje bezpečné a efektivní strategické i taktické řízení provozu UAS.
 - USSP shromažďuje letové údaje o účastnících provozu v U-space, vytváří souhrnné informace o dopravní situaci a ty pak poskytuje zpět účastníkům.
 - Schvalování letových plánů UAS zajišťuje včasné řešení kolizních situací ještě před zahájením samotného provozu.
 - Jsou stanovené postupy v případě odklonu UAS od zamýšlené trasy letu, minimalizující riziko střetu s jiným UAS.



- Systémy U-space a CIS musí být dostatečně spolehlivé a robustní, aby minimalizovali riziko výpadku služeb.
- SAC#3 - Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení rizika střetu UAS se zemí a jinými pozemními překážkami.
 - Jsou stanovené nouzové postupy pro případ nouzové situace zajišťující bezpečné přerušování provozu a zajištění stroje.
 - Provozovatel UAS stanoví provozní postupy, které zajistí bezpečný provoz ve fázích letu, kdy by mohlo dojít ke kolizi s pozemní překážkou (vzlet, přistání, pohyb nízko nad zemí).
 - UAS je vybavené systémy zajišťující detekci blízkých překážek a zabránění střetu v kritických fázích letu.
- SAC#4 - Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke zvýšení pravděpodobnosti nepovoleného narušení zakázaných, omezených a nebezpečných vzdušných prostor.
 - Je stanoven systém geozón jasně vymežujících vzdušné prostory, který zajistí požadovanou kontrolu nad provozem UAS specifickými omezenými oblastmi.
 - Jsou stanovené postupy v případě odklonu UAS od zamýšlené trasy letu, minimalizující riziko nepovoleného narušení specifické omezené oblasti.
- SAC#5 - Zavedením provozu automatických doručovacích dronů do vzdušného prostoru U-space nedojde ke snížení bezpečnosti osob, cizího majetku a kritické infrastruktury na zemi.
 - UAS nabízí dostatečnou míru robustnosti z pohledu konstrukce, řídicích systémů a obsluhy minimalizující riziko selhání během provozu.
 - Je vytvořen spolehlivý a centralizovaný systém předpovědi počasí, který zajistí bezpečný provoz a minimalizuje šanci na ohrožení provozu vlivem nepříznivých podmínek.

3.3 Ověření přínosnosti U-space

Na základě splněných SAC lze stanovit, že daný provoz dosahuje požadované úrovně provozní bezpečnosti a tudíž lze provoz považovat za bezpečný. Lze tak potvrdit, že vzdušný prostor U-



space umožňuje širší možnosti provozu UAS, protože při jeho použití v analyzovaném provozním scénáři bylo dosaženo požadované úrovně provozní bezpečnosti. Podrobnější analýza výsledků, včetně jejich omezení a interpretace, následuje v diskuzi.



4 Diskuze výsledků

Jak bylo stanoveno v cílech metody MEDUSA a následně ve výsledcích, vyústěním celého postupu je zhodnocení, zda je skrze SR dosaženo požadované úrovně bezpečnosti. Ta nám definuje stav, kdy lze provoz považovat za bezpečný. V případě výsledků této práce je možné říci, že této úrovně bylo dosaženo. Představená SR přináší řešení k naplnění SAC, ovšem nutno dodat, že na dosti obecné úrovni. MEDUSA nepřináší způsoby, které by úže konkretizovaly požadavky, a pro které by bylo nezbytné získat větší objem ze skutečného provozu, které by nám umožnily výsledky kvantifikovat a tedy i požadavky rozšířit a upřesnit. V tomto směru tedy musím souhlasit s autory studie [14], kteří přináší dle mého názoru velice funkční řešení. V případě využití experimentálních dat, umožňující lépe definovat rizika a spolehlivost jednotlivých elementů služeb (spolehlivost GPS, dostupnost signálu pro odhad dostupnosti služeb U-space, atd.), by bylo možné do jisté míry eliminovat nedostatky metody MEDUSA a zlepšit její možnosti využití. Metoda MEDUSA dle těchto výsledků rozhodně přináší nový náhled na problematiku bezpečnostní analýzy provozu UAS v U-space. V případě této práce, kdy byly uvažovány plně rozvinuté a funkční služby U-space, nebyl zjištěn závěznější nedostatek, který by musel být řešen dodatečnými podpůrnými službami. Služby U-space "4+2" rozhodně poskytují dostatečnou úroveň zabezpečení a automatizace provozu UAS a v kombinaci se službami CIS vytváří provozní prostředí, které umožňuje pokročilou možnost koordinace s letadly s pilotem na palubě a sdílení vzdušného prostoru. V tomto směru by tak mohlo být provedení metody MEDUSA zajímavější v situaci, kdy by tyto služby nebyly úplné a byly by tak pomocí této analýzy stanoveny požadavky na nutné rozšíření takových služeb nebo vytvoření podpůrných. Dále je nutné zmínit, že i když metoda MEDUSA nabízí velice dobrý pohled na řešení problematiky analýzy rizik ve vzduchu a na zemi, silně opomíjí další oblasti, které mají na výslednou bezpečnost v dnešní době velice výrazný vliv. Především se jedná o zabezpečení (security) celého systému, kdy MEDUSA nijak neřeší nutnost zajistit ochranu svých služeb, aby bylo zabráněno jejich zneužití nebo negativnímu ovlivnění. Také environmentální pohled a zajištění soukromí není v MEDUSE příliš adresováno. V tomto směru tak lze říci, že by bylo efektivnější využít k analýze bezpečnosti provozu UAS navazující metodu U-space ARA, která tyto problémy podrobně řeší. Na druhou stranu tato novější metoda již není dle mého názoru aplikovatelná na jednotlivý provoz, ale zaobírá se aplikací U-space ve větším rozsahu. To rozhodně nabízí výhody pro řešení většího rozsahu, ale výsledku už pak nelze porovnávat se staršími metodami



bezpečnostní analýzy. Tím se dostávám k porovnání metody MEDUSA s metodou SORA. Na úvod nutno říci, že ač se na první pohled obě analýzy věnují podobné problematice, stav metody MEDUSA v době vypracování této práce neposkytoval stejnou úroveň rozpracování a znemožňoval tak její aplikace takovým způsobem, aby bylo možné oba postupy detailně srovnat. Protože ale výsledky obou analýz vytváří soubor bezpečnostních cílů a požadavků (OSO pro SORA, SO+SR pro MEDUSA), je možné zhodnotit rozdíly mezi oběma těmito soubory, zvláště za situace, kdy obě dvě metody byly aplikovány na totožný provozní scénář. Výsledky analýzy SORA zpracované panem Ing. Janem Stádníkem [1] nabízí detailnější soubor požadavků z pohledu provozu jediného UAS. Věnují se konkrétně provozním postupům během operace jako takové, ale již neřeší a z povahy analýzy SORA ani řešit nemohou, širší pojetí provozu UAS a koordinace s dalšími účastníky U-space. V tomto směru MEDUSA rozhodně nabízí lepší pohled na problematiku, protože přináší lepší náhled na koordinovaný provoz v prostředí U-space, určuje nutnou úroveň služeb U-space a dalších doprovodných systémů a procesů nezbytných k zajištění požadované úrovně provozní bezpečnosti při implementaci U-space do současného vzdušného prostoru, které jsou zcela nezbytné pro rozvoj oboru bezpilotních systémů, moderních technologií a i tradičního letectví. V otázce přínosu U-space k vyšší provozní bezpečnosti můžeme tuto problematiku rozdělit do tří bodů, které odpovídají podobně jako SR a SO typům provozu. Zprvce to je pohled za běžné situace, tedy odpovídající Normálnímu provozu. V tomto případě je přínostnost U-space zcela zřejmá. Služby U-space jednoznačně silně přispívají, v poměru k hustotě provozu, k vyšší bezpečnosti. Zároveň efektivnější možnost koordinace, které zajišťuje CIS, nabízí vyšší bezpečnost i pro provoz letadel s pilotem na palubě. Samotná analýza MEDUSA pak sama nabízí postup k odhalení nedostatků systému U-space a může přijít s návrhy, jak služby rozšířit pro zvýšení provozní bezpečnosti. V případě situace, kdy je provoz ovlivněn externími podmínkami, tedy za Abnormálního provozu, metoda MEDUSA oproti analýze SORA již tolik výhod nepřináší. Především zde nabízí centralizovaný přehled o povětrnostních podmínkách a možnost lepší výměny informací mezi stroji v případě nenadálé nouzové situace, která by mohla provoz ohrozit. V posledním případě, kdy vlivem selhání systému U-space nastane situace Chybného provozu, je již možné v některých ohledech považovat bezpečnost ojedinelého letu za nižší než mimo U-space. Výpadky služeb mohou výrazně zvýšit riziko konfliktu a ohrozit tak účastníky provozu. V tomto případě je ovšem opět zapotřebí dívat se na problém ve větším měřítku, protože provoz UAS ve stejném vzdušném prostoru jako letadel s pilotem na palubě bez využití U-space nikdy nemůže



dosáhnout takové hustoty, aniž by nedošlo k drastickému nárůstu rizika zcela znemožňujícího takovýto provoz. Lze tak jednoznačně říci, že vzhledem k hustotě provozu UAS nabízí U-space jednoznačně vyšší bezpečnost provozu.



5 Závěr

Tato práce odpovídá na otázku, zdali vzdušný prostor U-space umožňuje širší možnosti provozu UAS skrze zajištění vyšší úrovně provozní bezpečnosti. Pro tento účel byla využita bezpečnostní analýza MEDUSA, která je pro řešení provozu v prostoru U-space přímo vytvořena. Nejprve byla na základě vybraného modelového scénáře provozu určena provozní rizika a pomocí nich definována provozní kritéria, která nám stanovila požadovanou úroveň provozní bezpečnosti umožňující bezpečný provoz UAS. Dalším krokem bylo zpracování cílů bezpečnosti, které nám určily jakým způsobem naplnění provozních rizik dosáhneme. V posledním kroku metody MEDUSA byly určeny bezpečnostní požadavky konkretizující, jakým způsobem je cílů dosaženo a přeneseně tedy i jak jsou splněna bezpečnostní kritéria. Získané výsledky byly porovnány se starší metodou SORA, aplikovanou na totožný modelový provozní scénář převzatý z práce Ing. Jana Stádníka. Starší metoda nabízí jednodušší a přímočařejší řešení, především kvůli kompletnější dokumentaci, ovšem protože ve svém postupu neuvažuje vyšší hustotu provozu UAS, její využitelnost pro případy analýzy v prostoru U-space je velmi omezená. Během zpracovávání bylo zjištěno, že metoda MEDUSA kvůli své čistě kvalitativní povaze nedokáže přinést zcela průkazné závěry a pro její zpřesnění by bylo zapotřebí jí rozšířit, například pomocí experimentálních dat. Vzhledem ke skutečnosti, že v průběhu vypracovávání této práce došlo k vydání nové metody U-space ARA (Airspace Risk Assessment), která je na základě analýzy MEDUSA postavená, ale výrazně jí rozšiřuje, pravděpodobně již k praktickému využití metody MEDUSA nikdy nedojde. Výsledky do jisté míry potvrdily původní předpoklad, že je U-space skutečně přínosný. Tento systém nabízí služby umožňující rozvoj bezpilotní letecké dopravy, její navýšení a výrazně lepší systém řízení a kontroly díky pokročilé úrovni digitalizace a automatizace celého systému. Zároveň je umožněna efektivní koordinace s provozem letadel s pilotem na palubě vedoucí vyšší bezpečnosti všech zúčastněných stran. Vše je nicméně podmíněno dostatečnou úrovní spolehlivosti a robustnosti systémů a služeb U-space, jejichž případné selhání může vést v lepším případě k hromadnému omezení provozu. Lze říci, že výsledky jsou silně ovlivněny limity a nedostatky metody MEDUSA. Tato analýza neumožňuje zcela přesnou interpretaci a především vytvoření Bezpečnostních požadavků může být dosti subjektivní, zvláště bez přesné informace o tom, jak konkrétní by měly pro splnění kritérií být. V jádru je však celý postup metody jasně dán, obsah jednotlivých kroků vychází z těch předchozích a získané výsledky lze využít



jako pevný základ pro teoretickou podobu U-space. Ke zlepšení metody MEDUSA by rozhodně přispělo získání experimentálních dat, které by umožnily blíže definovat pravděpodobnost rizik a tedy i přispět ke konkrétnějším výsledkům. Také je nutné zmínit, že metoda MEDUSA neřeší některé podstatné prvky, které mají velice významný vliv na provozní bezpečnost, především v otázce zabezpečení systému proti jeho zneužití. Tato práce zcela jasně potvrdila, že U-space je jednoznačně značným přínosem pro letecký provoz. Nabízí rozsáhlé inovace a nové možnosti rozvoje bezpilotního i tradičního letectví, které mohou v blízké budoucnosti přispět k rozvoji většiny průmyslových odvětví. Služby systému U-space jsou zcela nezbytné pro rozšíření provozu UAS ve vzdušném prostoru a to jak z hlediska kapacity tak i druhů provozu. Dalším krokem navazujícím na tuto práci by mohlo být využití experimentálních dat při aplikaci metody MEDUSA a pokusit se tak získat konkrétnější výsledky. Protože však tato metoda zaostává i v jiných ohledech, je pravděpodobně vhodnější již pozornost směřovat k nové analýze provozní bezpečnosti U-space ARA, která mnoho nedostatků řeší. Poslední otázkou je, zda by lepším řešením pro analýzu bezpečnosti na úrovni konkrétního provozu nebylo rozšíření metody SORA o širší využití U-space a uvažování vyšší hustoty okolního provozu.



Seznam použité literatury

1. STÁDNIK, Jan; HULINSKÁ, Šárka; KRAUS, Jakub. Comparison of Methods for the Safety Evaluation of UAS Operation. *Transportation Research Procedia*. 2022.
2. ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR. *VFR příručka - Česká republika*. [B.r.].
https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html.
3. COUNCIL OF EUROPEAN UNION. *Council regulation (EU) no 2021/945*. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021D0945&qid=1691248341321>.
4. COUNCIL OF EUROPEAN UNION. *Council regulation (EU) no 2021/947*. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021R0664>.
5. EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *Standard Scenario (STS)*. [B.r.].
<https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/standard-scenario-sts>.
6. ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ ČR. *Opatření obecné povahy*. 2020.
<https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/20201230162623731.pdf>.
7. COUNCIL OF EUROPEAN UNION. *Council regulation (EU) no 2021/664*. 2021.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021R0664>.
8. EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to Regulation (EU) 2021/664 on a regulatory framework for the U-space*. 2022.
<https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/amc-and-gm-implementing>.
9. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANISATION. *Safety Management Manual*. 4. vyd. 2018.
<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/5863.pdf>.
10. JOINT AUTHORITIES FOR RULEMAKING OF UNMANNED SYSTEMS. *JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)*. 2019.
<http://jarus-rpas.org/publications/>.



11. SESAR JOINT UNDERTAKING. *U-space ConOps Annex D1: MEthoDology for the USpace Safety Assessment (MEDUSA)*. 2019.
12. HATELY, Andrew; SWALM, A Van; VOLKERT, A; RUSHTON, A; GARCIA, A; RONFLE-NADAUD, C; BARRADO, C; BAJIOU, D; MARTIN, D; VECCHIO, DD et al. U-space Concept of Operations. In: *CORUS D6. 3, Ed. 03.00. 02. SESAR Joint Undertaking*, 2019.
13. SESAR JOINT UNDERTAKING. *U-space Concept of Operations*. 2019.
14. ASGHARI, Omid; IVAKI, Naghmeh; MADEIRA, Henrique. Integration of U-space Safety Assessment Methodologies With Experimentation. [B.r.].
15. EUROCONTROL. *U-space Airspace Risk Assessment*. 2023.
<https://www.eurocontrol.int/publication/u-space-airspace-risk-assessment>.
16. SESAR JOINT UNDERTAKING. *U-space ConOps Annex D2: MEDUSA example Part1 – Use Case Definition*. 2019.
17. SESAR JOINT UNDERTAKING. *U-space ConOps Annex D3: MEDUSA example, Part2 – Safety Case*. 2019.
18. DJI. *Matrice 300 RTK Specs*. Tech. zpr.
<https://enterprise.dji.com/matrice-300/specs>.