



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Případová studie využití UAS pro rozvoz jídla v zastavěném území
Case study of the Use of UAS for Food Delivery in Populated
Environment

Diplomová práce

Studijní program: Navazující magisterské

Studijní obor: PL – Provoz a řízení letecké dopravy

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

Ing. Šárka Hulínská

Bc. Mikuláš Keller

Praha 2022



K621.....Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Mikuláš Keller

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Případová studie využití UAS pro rozvoz jídla
v zastavěném území**

Název tématu (anglicky): Case Study of the Use of UAS for Food Delivery in
Populated Environment

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit případovou studii pro rozvoz jídla pomocí UAS v zastavěném území, která bude obsahovat koncept provozu, limity regulačního rámce, definici potřebného HW a SW a zhodnocení provozní bezpečnosti a použitelnosti.
- Současné možnosti provozu UAS při rozvozu jídla v zastavěných oblastech.
- Procesní zajištění a získání schválení pro provoz.
- Definice nezbytného technického vybavení a SW podpora rozvozu jídla drony.
- Zhodnocení provozní bezpečnosti a spolehlivosti.
- Zhodnocení použitelnosti za současného stavu.

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Shahzaad et al: Resilient composition of drone services for delivery. 2021
Hwang et al: Perceived innovativeness of drone food delivery services and its impacts on attitude and behavioral intentions: The moderating role of gender and age. 2019
Nařízení (EU) 2019/947 a 2019/945

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

Datum zadání diplomové práce: **16. července 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2023**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Mikuláš Keller
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 1. prosince 2022



Abstrakt

Technologie využití bezpilotních letadel v přepravě zboží nabízí nové možnosti pro tvoření misí využívajících výhody těchto zařízení. Implementace takových technologií však vyžaduje individuální řešení kvůli nedostatku ustálených postupů. Cílem této diplomové práce je analyzovat technologii rozvozu jídel pomocí UAS a identifikovat její silné stránky, slabiny a limity. Práce se zaměřuje na pokrok jednotlivých společností v oblasti UAS a jejich komerční využití. Dále je zkoumán regulační rámec pro provoz UAS v ČR a v Evropě. V rámci práce je představena případová studie projektu BISTRON, která slouží k detailní analýze a stanovení metodiky pro zjištění limitů technologie převážení jídla pomocí bezpilotních letadel. Cílem je vytvořit koncepci provozu a získat potřebná povolení pro provoz. Práce také analyzuje technické vybavení a softwarovou podporu projektu s důrazem na ergonomickou přívětivost a bezpečnost. Zkoumání bezpečnosti umožňuje identifikaci slabých míst a implementaci opatření pro zajištění bezpečného provozu. Další součástí práce je hodnocení použitelnosti projektu v rámci stanovených podmínek provozu v ČR a v lokalitách, kde je provoz plánován. Výsledky studie mají usnadnit budoucí projekty v této oblasti a pomoci zapojeným stranám vylepšit procesy, které brání rozvoji technologie. Práce také poskytuje zpětnou vazbu a podklady vývoj dalších aplikací v oblasti doručování zboží pomocí bezpilotních letadel.

Klíčová slova: doručování zboží bezpilotními letadly, případová studie, implementace UAS, BISTRON



Abstract

The technology of utilizing unmanned aircraft systems (UAS) in transportation of goods is offering new possibilities for mission creation and leveraging the advantages of these devices. However, the implementation of such technologies requires individual solutions due to the lack of established procedures. The aim of this thesis is to analyze the technology of food delivery using UAS and identify its strengths, weaknesses, and limitations. The study focuses on the progress of various companies in the UAS field and their commercial applications. Furthermore, it examines the regulatory framework for UAS operations in the Czech Republic and Europe. Within the thesis, a case study of the BISTRON project is presented, serving for a detailed analysis and the development of a methodology to identify the limits of food delivery technology using unmanned aircraft. The objective is to create a concept of operations and obtain the necessary permits for the implementation. The thesis also analyzes the technical equipment and software support of the project, with an emphasis on ergonomic usability and safety. Safety examination allows for the identification of vulnerabilities and the implementation of measures to ensure safe operations. Another component of the thesis is the evaluation of the project's feasibility within the established operational conditions in the Czech Republic and in the planned locations of operation. The study's results aim to facilitate future projects in this field and assist stakeholders in improving the processes that hinder the technology's development. Additionally, the thesis provides feedback and serves as a reference for the development of future applications in the field of delivery of goods using unmanned aircraft.

Keywords: food delivery by unmanned aircraft, case study, implementation of UAS, BISTRON



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli při psaní této diplomové práce. Zvláště děkuji mému vedoucímu panu doc. Ing. Jakubu Krausovi Ph.D. za odborné vedení, rady, konzultace, motivaci a za jeho nekončící trpělivost. Děkuji Štěpánovi Kubištovi za velmi příjemnou spolupráci během realizace projektu a Ing. Karlovi Hylmarovi za pomoc s provedením zkušebního letu. Veliké poděkování patří také mé přítelkyni, mým rodičům (zvláště pak mé matce Tereze) a dalším blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia. Velice se veškeré podpory vážím.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Případová studie využití UAS pro rozvoz jídla v zastavěném území* vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

Praze dne 15. května 2023



.....
Podpis



Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam symbolů a zkratek	11
Úvod	11
1 Současné možnosti provozu UAS při rozvozu jídla v zastavěných oblastech ...	13
1.1 Vývoj nových technologií využívajících UAS	13
1.2 Legislativní rámec pro provoz UAS v ČR a Evropě	14
1.2.1 Opatření obecné povahy	15
1.2.2 U-Space	16
1.3 Technologie rozvozu zboží pomocí UAS	17
1.3.1 Amazon Prime Air	17
1.3.2 EHang Logistics	18
1.3.3 Flytrex	19
1.3.4 Zing drone delivery	20
1.3.5 MANNA	21
1.3.6 Doručování zdravotnického materiálu	21
1.4 Limity technologie rozvozu	23
1.4.1 Technické limity	24
1.4.2 Legislativní limity	25
1.4.3 Záměr ověření schvalitelnosti a proveditelnosti	26
2 Případová studie BISTRON	28
2.1 Metodika řešení	30
2.2 Prostředí provozu a situace okolí	33
2.2.1 Prozkoumání terénu	33
2.2.2 Analýza vzdušného prostoru	34
2.3 Hodnocení bezpečnosti	35
2.3.1 Definice projektu a popis z pohledu bezpečnosti	35
2.3.2 Dosavadní řešení bezpečnosti	36
2.3.3 Rizika spojená s provozem před hodnocením případové studie	37



2.3.4	SORA	38
2.3.5	FRAM	46
2.4	Oprávnění k provozu	57
2.4.1	Postup při tvorbě žádosti o OkP	58
2.4.2	Komunikace s ÚCL	61
2.5	Ergonomická přívětivost	63
2.5.1	Umístění <i>dronportů</i>	63
2.5.2	Vkládání a vyjímání zásilek	66
2.5.3	Předletová příprava	70
2.5.4	Manuální pilotáž UA	71
2.5.5	HMI aplikace	74
2.6	Technické vybavení	75
2.6.1	Výběr vhodného UAS	76
2.6.2	Výběr dalšího technického vybavení	78
2.7	Zkušební let a optimalizace trajektorie	78
3	Výsledky	80
3.1	Hodnocení bezpečnosti	80
3.1.1	Vyhodnocení metody SORA	80
3.1.2	Vyhodnocení FRAM	81
3.1.3	Bezpečnost v rámci případové studie	82
3.2	Hodnocení použitelnosti	83
3.2.1	Technická použitelnost	83
3.2.2	Organizační použitelnost	84
3.2.3	Ekonomická použitelnost a udržitelnost	85
4	Diskuse výsledků	88
5	Závěr	90
	Seznam použité literatury	92
	Přílohy	elektronické přílohy
	Příloha A Žádost o vydání Oprávnění k provozu	
	Příloha B Příloha žádosti o vydání Oprávnění k provozu dle bodu 3.5	



Příloha C Příloha žádosti o vydání Oprávnění k provozu dle bodu 3.6.....	
Příloha D Deklarace provozovatele o ochraně osobních údajů.....	
Příloha E Koncepce provozu.....	
Příloha F Základní informace o skutečném průběhu letu.....	

Seznam obrázků

Obrázek 1: Úrovně konceptu U-space [14].....	16
Obrázek 2: UA Amazon Prime Air [foto: Amazon / Jordan Stead].....	17
Obrázek 3: Ehang Falcon B UAV, DHL Use Case [19].....	19
Obrázek 4: Flytrex UA [20].....	19
Obrázek 5: Zing drone delivery [24].....	20
Obrázek 6: MANNA UA [27].....	21
Obrázek 7: Azyl78.....	28
Obrázek 8: Situace na Výstavišti.....	29
Obrázek 9: 3D zobrazení prostředí provozu [mapy.cz].....	33
Obrázek 10: Složení vzdušného prostoru [39].....	35
Obrázek 11: Proces SORA [44].....	39
Obrázek 12: Definice dopadové plochy.....	40
Obrázek 13: Určení třídy rizika ve vzduchu podle formuláře 48 (ÚCL).....	43
Obrázek 14: FRAM model podsystému "Plánování mise a schválení".....	49
Obrázek 15: FRAM model podsystému "Provedení mise".....	50
Obrázek 16: FRAM model celého systému.....	51
Obrázek 17: Funkční rezonance v popisovaném systému.....	55
Obrázek 18: Varianty umístění dronportu č. 1.....	65
Obrázek 19: Varianty umístění dronportu č. 2.....	66
Obrázek 20: Přepravní box Loricatus [52].....	67
Obrázek 21: Dálkové ovládání - příklad [55].....	72
Obrázek 22: Pozice pilota a trajektorie letu.....	73
Obrázek 23: Ilustrační obrázek aplikace.....	74
Obrázek 24: Situace okolí Azylu78 v květnu roku 2022.....	79
Obrázek 25: Snímek bistra a prostředí letu z pozice Azylu78.....	79



Seznam tabulek

Tabulka 1: Určení míry rizika na zemi [44].....	41
Tabulka 2: Zmírňující opatření pro riziko na zemi [44]	42
Tabulka 3: Určení SAIL	44
Tabulka 4: Hierarchické rozdělení funkcí "Plánování mise a schválení"	47
Tabulka 5: Hierarchické rozdělení funkcí podsystému "Provedení mise"	48
Tabulka 6: Funkční vazby.....	52
Tabulka 7: Parametry různých variant UA [56], [57], [58], [59], [60], [61]	77

Seznam symbolů a zkratk

2D	Dvojměrný	2-Dimension
3D	Trojrozměrný	3-Dimension
AGL	Nad úroveň země	Above Ground Level
AMC	Přijatelné způsoby průkazu	Acceptable Means of Compliance
AMSL	Nad střední hladinou moře	Above Mean Sea Level
ARC	Třída rizika ve vzduchu	Air Risk Class
BVLOS	Mimo vizuální dohled	Beyond Visual Line of Sight
ConOps	Koncept provozu	Concept of Operations
COVID-19	Koronavirové onemocnění 2019	Coronavirus Disease 2019
CTR	Řízený okresek	Control Zone
ČR	Česká republika	Czech Republic
ČVUT	České vysoké učení technické	Czech Technical University
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví	European Aviation Safety Agency
ERP	Pohotovostní plán	Emergency Response Plan
EU	Evropská unie	European Union
EVLOS	Rozšířený vizuální dohled	Extended Visual Line of Sight
FRAM	Metoda funkční rezonanční analýzy	Functional Resonance Analysis Method



GM	Poradenský materiál	Guidance Material
GRC	Třída rizika na zemi	Ground Risk Class
HMI	Rozhraní člověka a stroje	Human Machine Interface
HW	Hardware	Hardware
JARUS	Sdružení úřadů pro předpisovou činnost v oblasti bezpilotních systémů	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems
Kč	Korun českých	Czech Crowns
OkP	Oprávnění k provozu	Authorization to Operate
OOP	Opatření obecné povahy	Measures of General Scope
OSO	Cíle provozní bezpečnosti	Operational Safety Objectives
PDRA	Předdefinované hodnocení rizik	Predefined Risk Assessment
RC	Dálkové ovládání	Remote Control
SAIL	Specifická úroveň jistoty a integrity	Specific Assurance and Integrity Level
SORA	Posouzení rizika specifické kategorie provozu	Specific Operations Risk Assessment
SW	Software	Software
TMA	Koncová řízená oblast	Terminal Manouvering Area
TMPR	Požadavky na výkonnost taktických zmírnění	Tactical Mitigation Performance Requirement
UA	Bezpilotní letadlo	Unmanned Aircraft
UAS	Bezpilotní systém	Unmanned Aircraft System
ÚCL	Úřad pro civilní letectví	Civil Aviation Authority
UTM	Řízení provozu bezpilotních letadel	Unmanned Traffic Management
VLOS	Ve vizuálním dohledu	Visual Line of Sight
VTOL	Svislý vzlet a přistání	Vertical Take-off and Landing



Úvod

Technologie využití UAS v přepravě různého zboží se v posledních letech dramaticky vyvíjí. Stejně tak se vyvíjí a zlepšují podmínky pro tvoření takových misí, které využívají výhodné charakteristiky bezpilotních letadel. Samotný technologický posun je možné vnímat v rámci vyvíjených a nabízených prototypů a produktů. Procesní zajištění provozu využívajícího UAS pro přepravu zboží je však stále zapotřebí řešit velmi individuálně. Absence schválených a ustálených postupů řešení implementace takových technologií způsobuje nutnost řešit dovážení zboží pomocí UAS velmi komplexně a využívat dostupných zdrojů a možností pro tvoření prototypů takové služby.

Jedním ze způsobů, jak je možné posouvat hranice implementace dovožkových služeb, je tvorba případových studií. Komplexní řešení a systematický přístup k projektu, který ve své době a místě nemá obdoby, může poukázat na různé limity takové technologie. V rámci stanovené metodiky přístupu k projektu a následného naplňování stanoveného postupu je nutné kreativně řešit přicházející překážky, které poukazují na limitující faktory. Ty je poté možné definovat a analyzovat a případně navrhnout řešení, jež by danou překážku odstranilo, a umožnilo tak technologii jednodušší implementaci.

Součástí této práce je analýza samotné technologie rozvozu jídel pomocí UAS, definování silných a slabých stránek a popsání limitů omezujících její provoz. V rámci této části je analyzován pokrok jednotlivých společností, které se touto technologií zabývají, a jsou popsány možnosti využití v komerční sféře. Pro hlubší pochopení a zasazení do kontextu je zapotřebí také definovat regulační rámec a jeho pojetí této technologie v rámci pravidel stanovených v ČR a v Evropě.

Pro konkrétní analýzu současných možností technologie převážení jídla pomocí UAS a zároveň odhalení limitů takových služeb byla vytvořena případová studie projektu BISTRON, která je řešena v rámci této práce. Samotný projekt je detailně popsán a jsou definovány cíle projektu a jeho zadavatele. Cílem zkoumání je určit funkční metodiku práce na komplexním řešení a stanovit vhodné procesy pro zjišťování limitů technologie.

Cílem práce je tedy vytvořit případovou studii, jejíž součástí je podrobná definice koncepce provozu, která bude sloužit pro prezentaci celého záměru zapojeným stranám a pro získání potřebných povolení. Tato koncepce je zároveň součástí celého dílčího cíle získání potřebných povolení a schválení pro provoz v rámci platných nařízení. Cílem je tedy provést veškeré úkony, které umožní získání Oprávnění k Provozu (=OkP) od ÚCL v podobě vhodné



komunikace s autoritami a zapojenými stranami, vytvořením veškeré potřebné dokumentace a zajištění splnění potřebných kroků pro bezpečný provoz.

K naplnění cíle práce je také definováno potřebné technické vybavení a SW podpora pro splnění požadovaných parametrů plánovaného projektu. Pro podporu této části práce je analyzována ergonomická přívětivost celého projektu, která se mimo jiné zaměřuje právě i na technické vybavení a SW. Zkoumání ergonomie má za cíl podpořit řešení bezpečnosti a uživatelské přívětivosti v rámci celého projektu tak, aby byly co nejvíce eliminovány negativní vlivy a jejich dopady na funkčnost celého systému.

Zmíněná bezpečnost a její zkoumání v obsahu této práce jasně definuje slabá místa v rámci tak komplexního projektu a vyvíjí maximální snahu pro včasné odhalení nebezpečí. Zároveň je díky zhodnocení provozní bezpečnosti dvěma způsoby možné porovnat metodiku vyžadovanou pro úspěšné získání schválení pro provoz ze strany ÚCL a vlastní bezpečnostní analýzu a implementovat výsledky obou částí do tvorby bezpečného a robustního systému.

Součástí práce je v neposlední řadě zhodnocení použitelnosti celého projektu za současného stavu stanoveného podmínkami provozu v ČR v rámci limitů daných lokalitou provozu. Hodnocení se soustředí především na ekonomickou použitelnost na základě přímo získaných dat a zároveň práce analyzuje použitelnost celé technologie ve vztahu ke zjištěným limitům a překážkám, které jsou v průběhu práce definovány.

Výsledky této studie mají za cíl usnadnit procesní zajištění pro budoucí projekty, které se zabývají stejnou problematikou a také napomoci zapojeným stranám funkčně upravit procesy, jež jsou pro vývoj technologie překážkou. Celá práce tak může sloužit jako zpětná vazba zapojeným stranám a jako podklad pro všechny, kdo se budou v budoucnu podílet na implementaci uvažované technologie do vzdušných prostorů, a pro ty, kdo budou pokračovat ve vývoji různých budoucích aplikací, které se zabývají doručováním zboží pomocí UAS.



1 Současné možnosti provozu UAS při rozvozu jídla v zastavěných oblastech

V této kapitole je rozebrán současný stav technologií využívajících UAS se zaměřením především na využití UAS pro rozvoz jídla. Pro širší pochopení záměru celé práce je důležité definovat současné možnosti a odhalit legislativní i technické limity, které zatím brání integraci dovožkových služeb do vzdušného prostoru na území ČR a EU.

Konkrétně je analyzován současný stav technologií, které UAS využívají, aby bylo možné porovnat technickou připravenost s provozními limity. Z toho důvodu je také stručně definován legislativní rámec, jenž velmi ovlivňuje možnosti zapojení do provozu. V další části kapitoly je popsána samotná technologie rozvozu jídla pomocí UAS. Na základě těchto analýz a popisů je poté možné stanovit určité limity, technické i legislativní, které zatím brání spuštění uvažovaného provozu. Z toho důvodu je v následujících částech práce popsán samotný záměr ověření schvalitelnosti a proveditelnosti.

1.1 Vývoj nových technologií využívajících UAS

Využívání bezpilotních letadel a jejich přínosných charakteristik je na vzestupu už několik posledních let. Nejenže se stále objevují nové možnosti využití, ale také dochází ke zdokonalování již existujících technologií, které začínají mít na trhu své místo. Dají se popisovat jednotlivé parametry, které je třeba zdokonalovat úměrně se zvyšujícím se zapojením UAS do běžného života. Těmito parametry jsou myšleny nejen technické, ale také provozní. Jedním ze způsobů, jak analyzovat a následně vylepšit, případně alespoň upozornit na určitý faktor, který je limitující pro vývoj bezpilotních technologií, jsou případové studie. Takovou studií se zabývá i velká část této práce.

Samotné technické zdokonalování má tedy bezpochyby veliký přínos pro vývoj technologií a věnuje se jim velké množství studií. K tomu dochází nejen na Ústavu letecké dopravy ČVUT, kde jsou vedeny výzkumy například na výkonnost motorů, jejich vztah ke klimatickým podmínkám a další. Důležitou součástí posouvání hranic pro využití UAS jsou ale také výzkumy a analýzy, které se věnují provozním a legislativním překážkám. Takových prací je taktéž mnoho a je důležité znát postupy a výsledky podobných studií, aby bylo možné získat dostatečný přehled o aktuálním vývoji a využít tyto znalosti pro potřeby prováděné studie. Z toho důvodu je v následujícím odstavci rozebrán článek, který se zabývá různými studiemi souvisejícími s UAS a dopady, které mají na samotný vývoj.



Článek s názvem „*Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control*“ [1] z roku 2020 řeší rozdělení oblastí zájmu a důležitost a vliv studií na vývoj technologie. Upozorňuje na změny v oblasti zájmu v posledních letech, kdy ubývá strachu z neznáma, ztráty soukromí a dalších a přibývá naopak potřeby řešit provozní aspekty. Závěrem článku je zmíněno, že další bádání a práce zabývající se začleněním UAS do dnešních technologií jsou zapotřebí, aby bylo možné porozumět potenciálním pozitivním a negativním dopadům. Dále také upozorňuje na to, že kompromis mezi bezpečností a náklady na provoz bude důležitým prvkem, který přispěje k nastavení vhodných bezpečnostních pravidel. Ta by měla usnadnit průmysl UAS tak, aniž by jej zbytečně omezovala.

1.2 Legislativní rámec pro provoz UAS v ČR a Evropě

Pro řádné porozumění řešení projektů využívajících bezpilotní systémy je třeba komplexně řešit veškeré důležité faktory, které přímo ovlivňují možnosti provozu. Tím jsou mimo technické vybavení, dostupnost a další také pravidla stanovená autoritami na daném území. Z toho důvodu je v této kapitole stručně popsán legislativní rámec, který se týká provozu UAS na území ČR. Téma by se dalo rozebrat velmi obsáhle, ale pro potřeby této práce a pochopení jsou popsány pouze stěžejní body této problematiky.

Od 31.12.2020 platí ve všech členských zemích EU harmonizovaná pravidla pro provoz bezpilotních systémů. Tato pravidla jsou stanovena na základě nařízení Evropské komise. K výše zmíněnému datu se staly účinnými dvě různá nařízení – 2019/947 [2] a 2019/945 [3]. Ta se věnují provozu UAS ve členských státech a stanovují pravidla pro autority, provozovatele, piloty. Hlavní témata těchto nařízení jsou vypsána níže:

- 2019/947
 - Kategorizace provozu a jejich definice
 - Otevřená
 - Specifická
 - Certifikovaná
 - způsobilost dálkově řídicích pilotů;
 - provádění posouzení rizik;
 - registrace provozovatelů.
- 2019/945
 - Požadavky na výrobky a povinnosti výrobců;



- povinnosti dovozců a distributorů;
- pravidla označení identifikačního štítku CE;
- dozor nad trhem a kontrola výrobků;
- provozovatelé z třetích zemí.

Výše popsaná nařízení zároveň již prošla několika revizemi a byla vydána změna v prováděcím nařízení Evropské komise. Pro nařízení 2019/947 se jedná o 4 změny – 2020/639 [4], 2020/746 [5], 2021/1166 [6], 2022/425 [7]. Každá z těchto změn se týká nějaké konkrétní části původního znění. Například standardních scénářů nebo opatření v souvislosti s pandemií COVID-19. U nařízení 2019/945 se jedná pouze o jednu změnu – 2020/1058 [8].

Kvůli možné časové náročnosti implementace některých částí těchto nařízení bylo rozhodnuto zavést přechodné období, které má za cíl poskytnout všem zúčastněným stranám dostatek času na veškeré změny, jež jsou třeba podle nových nařízení provést. Konec přechodného období se liší u různých procesů, které mají být implementovány. Týkají se například využití standardních scénářů, označování letadel příslušnými třídami a další.

Celý projekt je tedy řešen v rámci přechodného období, kdy některé části nařízení jsou již plně použitelné a jiné stále procházejí vývojem a implementací ze strany autorit. Z toho důvodu je třeba v rámci projektu stále sledovat aktuální opatření a nařízení, která mohou ovlivnit možnosti provozu a částečně tak změnit vývoj celého projektu.

1.2.1 Opatření obecné povahy

Úřad pro civilní letectví se na základě nařízení Evropské komise 2019/947 uchýlil k vytvoření nového omezeného vzdušného prostoru LKR10 – UAS pomocí Opatření obecné povahy (= OP) [9]. Tento krok kopíruje myšlenku zmíněnou výše, kdy tuzemská autorita potřebuje implementovat daná nařízení postupně a být schopna kontrolovat provoz v průběhu přechodného období. OOP platí tedy pouze na území ČR a určuje možnosti provozu v tomto omezeném prostoru, který kopíruje hranice státu.

OOP mimo jiné určuje, v jakých případech je třeba žádat ÚCL o oprávnění k provozu. V rámci případové studie řešené v této práci je nezbytné stanovit, v jakých podmínkách je provoz plánován, a podle OOP určit, zda a jakým způsobem je třeba žádat o oprávnění.

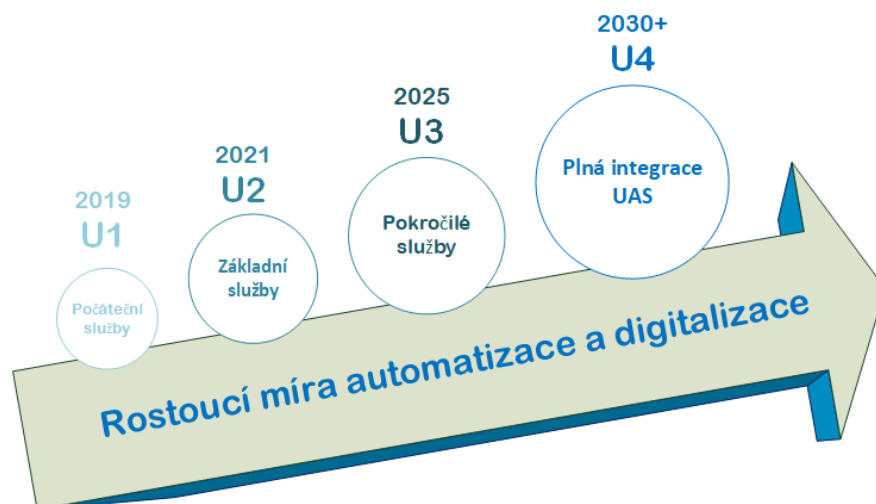
1.2.2 U-Space

Kromě nařízení zmíněných výše vyšla také tři prováděcí nařízení týkající se konceptu U-space. Jedná se o nařízení – 2021/664 [10], 2021/665 [11], 2021/666 [12]. Tato nařízení popisují a definují celou myšlenku konceptu a definují jeho přesné parametry. Jedná se především o definici jednotlivých služeb, které mají být v rámci U-space spuštěny. Zároveň se věnují povinnostem poskytovatelů těchto služeb, jejich osvědčení a způsobilosti.

Jednotlivé služby U-space mají za cíl zlepšit společné fungování všech uživatelů vzdušného prostoru a zvýšit bezpečnost provozu. Nařízení popisují tyto služby:

- Síťová identifikační služba;
- služba „geo-awareness“;
- služba oprávnění k letu bezpilotního systému;
- služba informací o provozu;
- služba informací o počasí;
- služba monitorování souladu;
- dynamická rekonfigurace vzdušného prostoru;
- společné informační služby;

U-space je zároveň rozdělen do 4 úrovní podle implementace jednotlivých služeb na U1 až U4 jak je možné vidět na obrázku číslo 1. Celý koncept vychází z dokumentu „SESAR U-space blueprint“ [13], který ho detailně popisuje a analyzuje.



Obrázek 1: Úrovně konceptu U-space [14]

1.3 Technologie rozvozu zboží pomocí UAS

Jednou z technologií, o které se v posledních letech často mluví v souvislosti se zdokonalováním systémů bezpilotních letadel, je rozvoz zásilek pomocí UAS. Existuje řada společností, které se touto problematikou podrobně zabývají a vidí v ní veliký potenciál. Jak ekonomicky, tak logisticky by technologie mohla být těmto firmám přínosná. V následujících odstavcích je analyzován současný stav zmiňovaných společností, jejich hlavní záměr a technologická vyspělost. Počet popisovaných společností a rozsah popisu je určen tak, aby bylo možné analyzovat určité hlavní parametry a charakteristiky dané technologie. Samozřejmě existuje více společností, které se danou oblastí zabývají, ale výběr níže popsaných je pro pochopení problematiky dostatečný.

1.3.1 Amazon Prime Air

Amazon je firma, která patří k největším zasilatelským obchodním řetězcům světa. Dováží zásilky všeho druhu již nejenom v Americe, ale téměř všude ve světě. Je to jedna z prvních firem, která přišla s myšlenkou využívat k doručování bezpilotní letadla.



Obrázek 2: UA Amazon Prime Air [foto: Amazon / Jordan Stead]

Vedení projektu Prime Air plánuje dovážet zásilky s hmotností do 2,3 kg s různým způsobem finálního doručení. Slibují zároveň dolet až 24 km a čas doručení 30 minut. To umožní doručovat balíčky i do poměrně velkých vzdáleností. Prime Air je stále ve stavu vývoje



a testování, kdy především probíhá testování různých druhů a konfigurací letadel a doručovacích mechanismů.

Poslední design, který je možné vidět na obrázku číslo 2, je navržen jako VTOL. Tedy využívá hybridní konstrukce, a tím zvyšuje efektivitu a stabilitu. Bezpečnost je taktéž řešena velmi důkladně, a proto byla vyvinuta konstrukce, ve které jsou zakryté všechny pohyblivé části letadla. Zároveň je vyvíjen velmi sofistikovaný software, který má za úkol zautomatizovat veškeré funkce a pomocí umělé inteligence zabraňovat nepředvídatelným událostem. Mimo to je vyvíjena schopnost rozpoznat objekty, zvířata a lidi pohledem z vrchu tak, aby se letadlo bylo schopno samo rozhodnout, zda je v daném místě bezpečné přistát. [15], [16]

1.3.2 EHang Logistics

EHang je čínská společnost specializující se přímo na bezpilotní letadla. Jejím hlavním cílem je přinést revoluci do vzdušného prostoru, tedy chytře nakládat s časem, prostorem a metodami užívání UAS, aby kdokoliv a kdekoliv mohl využívat bezpilotní letadla a zjednodušit si tím život. [17]

Co se týče UA určených pro doručování zásilek, EHang vyvíjí tři hlavní prototypy s rozdílnými charakteristikami. Je to **EHang Falcon B** s nosností 5 kg a doletem 19 km, **EHang 216 (Logistics)** s nosností až 250 kg a doletem 35 km a **EHang GD2.0X** s nosností 0.45 kg a doletem 10 km. Jak je tedy vidět, tři různé konfigurace budou pravděpodobně sloužit k velmi rozdílným misím a letadla této společnosti mohou být využita v různorodých prostředích a projektech.

Spolu se samotnými letadly vyvíjí společnost také takzvaný „EHang’s Smart Logistics Ecosystem“, což je systém, který má vybudovat leteckou logistickou síť zajišťující automatizované plánování tras a provádění leteckých misí. [18]

Se společností Ehang začala spolupracovat také velmi známá firma DHL Express, která má v plánu implementovat Ehang letadla do jejich doručovacího konceptu. Obě společnosti mají v plánu vytvořit funkční doručovací služby, které budou dostatečně pružné a funkční tak, aby byly využitelné pro různé mise. Ehang se stará především o technické zabezpečení letadel a DHL řeší spíše logistiku a koncept finální části doručování. Jeden z prototypů lze vidět na obrázku číslo 3. [19]



Obrázek 3: Ehang Falcon B UAV, DHL Use Case [19]

1.3.3 Flytrex

Izraelská společnost Flytrex Aviation Ltd se zabývá doručováním zásilek pomocí UAS již od roku 2013 a od roku 2017 provozuje doručovací službu na Islandu, kde získala povolení pro BVLOS lety nad zalidněnými oblastmi. Věnuje se především doručování jídla a jejich UA je schopno unést až 3 kg a uletět s tímto zatížením 9.5 km.



Obrázek 4: Flytrex UA [20]

Způsob jejich finálního doručení je trochu odlišný než u předešlých popsaných společností. Flytrex totiž využívá lano, kterým zásilku spustí na zem bez mezipřistání. Místa doručení musí být registrována uživatelem jako místa bezpečná pro vyložení nákladu. Uživatel si tedy pomocí aplikace definuje místo doručení a ve stejné aplikaci objedná vybrané jídlo. [21]

1.3.4 Zing drone delivery

Zing Drone Deliver Inc. je společnost, která se od roku 2018 zabývá „doručováním poslední míle“. Strategicky vytváří doručovací službu ve Spojených státech a postupně navazuje partnerské vztahy s různými dalšími firmami. V posledních letech například tvoří nové projekty s firmou Skyway [22] nebo například s Budweiser. [23]



Obrázek 5: Zing drone delivery [24]

Pro řešení dané společnosti jsou využívány UA od značky DJI, protože Zing je přesvědčena, že využívání těchto letadel je nejjednodušší a nejlepší cesta k úspěšné implementaci takových produktů. Nevyrábí tedy vlastní letadla, ale pouze částečně modifikují ty již existující. [25]

1.3.5 MANNA

Manna je Irská společnost založená v roce 2018, která se taktéž zaměřuje na doručování jídel pomocí UAS. Slouží jim k tomu jimi vytvořená kvadroptéra, kterou je možné vidět na obrázku číslo 6. Společnost již aktivně doručuje jídla v části Dublinu Balbriggan do vzdálenosti 2 km od základny, kde je nyní schopna doručit zboží do 2 kg. Doručení trvá většinou 2-3 minuty. Z bezpilotního letadla je pro doručení pomalu spuštěn balíček z výšky zhruba 15 m nad zemí na tenkém provazu, který je třeba po doručení vyhodit. [26]



Obrázek 6: MANNA UA [27]

MANNA přímo spolupracuje s místními dodavateli, restauracemi a dalšími společnostmi, které mají zájem doručovat své zboží. Z těch známějších se jedná například o Tesco, Coca Cola, Samsung a další. Zákazník si může od těchto společností pomocí jedné aplikace objednat doručení určitého produktu, který splňuje parametry pro přepravu, a po zabalení do přepravní krabice mu bude produkt doručen. [28]

1.3.6 Doručování zdravotnického materiálu

Zásadním odvětvím doručovacích UAS jsou projekty, které mají za cíl převážet zdravotnický materiál. Takové projekty mají často velmi podobný koncept a je třeba řešit a překonávat velmi



podobné překážky jako u projektů, které cílí na doručování jídla. Existuje mnoho takových společností, které se tím zabývají a pro získání širšího ponětí jsou v této kapitole stručně popsány.

- **Matternet** – Poskytuje rychlou a spolehlivou přepravu diagnostických vzorků a zdravotnických předmětů mezi zdravotnickými zařízeními a také přepravu zdravotnických potřeb do hůře dostupných míst. Jejich cílem je pomocí bezpilotních letadel spojit veškerá nemocniční zařízení v městech a dosáhnout tím rychlejších výsledků testů a jednoduššího propojení laboratoří v nemocnicích. [29]
- **Gavi** – Gavi poskytuje očkování dětí v mnoha zemích. Stará se o zvýšení imunity proti určitým nemocem. V některých oblastech, které jsou velmi těžko dostupné, dopravuje vakcíny pomocí bezpilotních letadel. Díky nim se mohou vakcíny k dětem dostat rychleji a mít díky tomu větší účinek. Letadla mohou nejen dopravit nové vakcíny, ale také přivést zpátky nepoužité nebo prošlé. [30]
- **Zipline** – Doručuje důležité a život zachraňující zdravotnické produkty. Na základě objednávky společnost připraví potřebné zboží (léky, zdravotnický materiál, vzorky krve atd.), zabalí a doručí na potřebné místo. Uvolněná zásilka pomocí padáku doplachtí na určené místo. Zipline je již určitou dobu v provozu a zajišťuje objednávky zdravotnického materiálu v mnoha zemích. [31]
- **Seattle's VilliageReach** – Využití bezpilotních letadel v projektu Villiage Reach má za cíl přiblížit těžko dostupná místa a zajistit doručení potřebných zdravotnických pomůcek. Jedním z hlavních cílů je přeprava vzorků krve ze vzdálených komunitních nemocnic do větších nemocnic ve větších městech. Tím se docílí zrychlení procesů při testování na různé nemoci. [32]
- **Flirtey** – Tato společnost se zabývá doručováním zásilek bezpilotními letadly obecně. Jedním z odvětví jsou také dodávky lékárníček, léků, defibrilátorů a dalších zdravotnických pomůcek. [33]
- **TU Delft** – Bepilotní letadlo je navrženo pro první pomoc při srdečních selháních, tonutí nebo dýchacích problémech. Letadlo je schopné dovézt speciálně upravený externí srdeční defibrilátor, léky nebo pomůcky pro kardiopulmonální resuscitaci. Začlenění obousměrného komunikačního kanálu podporovaného videem umožní instruktáž od operátorů linky 112, a výrazně tím zlepší kvalitu první pomoci. [34]



- **Project Wing** – Společnost X Company se mimo jiné zabývá i doručovacími bezpilotními letadly. Plánuje je využívat pro pomoc při katastrofách, pro dodávky potravin, čisté vody a dalších zdravotnických potřeb. [35]
- **HiRO** – Projekt je cílený na poskytnutí rychlého přístupu k zachranným zdravotnickým potřebám a specializovaným odborným znalostem zraněným osobám ve vzdáleném, nebezpečném nebo nepřátelském prostředí. Bepilotní letadla mohou doručit nejen kompletní výbavu pro první pomoc, ale zároveň mohou zprostředkovat audiovizuální přenos mezi zasahující osobou a lékařským odborníkem. Pomocí speciálních brýlí může lékař vidět zraněného z pohledu zasahujícího. Tato letadla jsou větších rozměrů, a proto mohou převážet i větší zásilky s bohatším vybavením pomůcek potřebných k první pomoci. [36]
- **Vayu Drones** – Bepilotní letadla Vayu mají čtyři hlavní využití: doručování zdravotních potřeb jako jsou léky, vzorky krve a stolice, protilátky, vakcíny a další; doručování důležitých potřeb při ekologických katastrofách na těžko dostupná místa; doručování jiných (ne zdravotnických) zásilek a doručování potřeb na ropné plošiny. Letadla s maximální vzletovou hmotností 23 kg a maximální rychlostí 23 m/s jsou schopna vertikálního vzletu a autonomního letu. Ve vestavěném a lehce vyjmutelném kontejneru lze převážet veškeré potřebné zásilky na potřebná místa. [37]

Důležitým faktorem u doručování zdravotnického materiálu je problematika převážení nebezpečného zboží. Nebezpečné zboží ve smyslu leteckého předpisu L18 [38] podléhá přísným pravidlům doručování. Při přepravování jídla nebo zboží, které nespadá do žádné z kategorií nebezpečného zboží, tedy ubývá potřeba řešit vznikající rizika s tímto spojená.

1.4 Limity technologie rozvozu

V této kapitole jsou popsány jednotlivé limity, které je možné identifikovat na základě analýzy problémů na území ČR v zastavěném území. Limity budou rozděleny do dvou částí: technické a legislativní. Důvod identifikace těchto limitů je především možnost lepší orientace při plánování případové studie, vyhnutí se případným problémům a upozornění na nejdůležitější faktory, které zpomalují vývoj technologií UAS. Závěry zároveň poslouží pro porovnání s limity zjištěnými na základě výsledků z případové studie.



1.4.1 Technické limity

První částí identifikace limitujících faktorů jsou limity technického zaměření. Ty se týkají především dostupnosti HW, který je pro úspěšnou implementaci technologie doručování nezbytný. Pro doručování zásilek pomocí UAS je zapotřebí určitého technického vybavení, které tento provoz umožní. Jedná se především přímo o samotné bezpilotní letadlo, ale také o jeho příslušenství. Při pořizování bezpilotního letadla existuje několik klíčových parametrů, které by takové letadlo mělo mít, aby bylo možné jej bezpečně a efektivně využít. Parametry jsou například:

- **Dolet** – maximální vzdálenost nebo čas provozu. Velmi důležitý parametr, který hraje velkou roli při plánování doručování. Odvíjí se od něj potřeba dobíjecích stanic a jejich rozmístění, počet takových letadel pro uspokojení poptávky a zároveň má tento parametr i obrovský dopad na ekonomickou udržitelnost celého projektu/systému.
- **Maximální zatížení** – vyjádřené v jednotkách hmotnosti nebo/a objemu. Další parametr, který nejen přímo ovlivňuje množství zásilek doručených za jednotku času, ale také ovlivňuje výkonnost letadla. Poměr mezi doletem a maximálním zatížením může tvořit různé provozní strategie, a tím umožnit flexibilitu použití takového UAS.
- **Rychlost nabíjení** – čím rychleji je možné nabíjet baterie bezpilotních letadel, tím méně času musí být mimo provoz. Tak je umožněna vyšší efektivita provozu.
- **Obslužnost** – další parametr, který je pro funkčnost systému důležitý. Jedná se především o obslužnost systému jako celku. Tím se myslí jak samotná manipulace se zásilkou při vkládání i vykládání, tak i snadnost předletové kontroly, výměny odnímatelných částí letadla a další. Tento parametr se měří a porovnává hůře než předešlé, protože se často může jednat o subjektivní názor provozovatele nebo klienta. To může dávat výrobcům UA i provozovatelům těchto technologií konkurenční výhodu.

Při plánování provozu zaměřeného na doručování pomocí UAS je nutné výše zmíněné parametry brát v potaz a vyvíjet snahu o získání co nejvhodnějšího letadla, které splní požadavky na systém a zároveň umožní ekonomickou i technickou udržitelnost systému. To je bohužel výrazně omezeno kvůli dostupnosti takových letadel na trhu.

Stejně tak tomu je i v případě dostupnosti příslušenství k letadlu samotnému, které je nezbytné pro plánovaný provoz, jako je například přepravní box. Firmy, které se doručováním zabývají, například ty zmíněné v kapitole 1.3, mají povětšinou přepravní box implementován přímo



v konstrukci letadla. Tato letadla ovšem nejsou dostupná pro veřejnost, a proto je zapotřebí pořídit zvlášť UA a zvlášť přepravní box. Ten je ale na trhu zatím ve velmi omezené míře a zároveň není možné ho kombinovat se všemi letadly. Tento fakt je tedy velmi limitující pro možnost vývoje technologie doručování.

1.4.2 Legislativní limity

Legislativní rámec je již popsán v kapitole 1.2. Nevyplývají však z ní přímé limity vztažené na konkrétní provozní záměr, který je řešen v rámci této práce. Z toho důvodu jsou v následující kapitole popsány jednotlivé body vyplývající z legislativních předpisů, jež mohou být částečně nebo plně překážkou při plánování případové studie.

Hlavní překážkou, která souvisí s legislativními procesy, je především samotná připravenost úřadů a autorit aplikovat evropská nařízení. Přestože zmiňovaná nařízení jsou utvořena tak, aby bylo možné provádět velmi složité operace s bezpilotními systémy, je třeba postupná implementace. To platí v České republice především pro Úřad pro civilní letectví. Ten průběžně implementuje procesy, které mohou pomoci přiblížit se kýženému cíli provozovatelů bezpilotních systémů. V určitou chvíli poté, co vyšla zmíněná nařízení v platnost, již tedy určité úkony nejsou nijak problematické. V rámci přechodného období však některé pokročilejší služby Úřadu stále nejsou plně v provozu.

Z toho důvodu je potřeba stanovit konkrétní překážky, které je třeba řešit částečně individuálně, neboť pro jejich řešení zatím není ustálený způsob schvalování. Překážky, které je třeba ve vztahu s aktuálně nastavenými tuzemskými předpisy řešit, jsou následující:

- Převážení nebezpečného zboží
 - Nebezpečné zboží ve smyslu předpisu L18 [38] nesmí být podle OOP převáženo na palubě bezpilotního letadla. U velkého množství doručovacích služeb by to mohlo být limitující. Pokud chce některá společnost převážet zásilky všeho druhu, bude se muset potýkat i se zásilkami, které podle předpisu spadají do určité kategorie nebezpečného zboží. V tom případě bude zapotřebí žádat o povolení ÚCL, které bude muset provést individuální schválení takového provozu.



- Jídlo jako takové není bráno jako nebezpečné zboží, a proto by v rámci případové studie neměl nastat v této oblasti problém. Rozdíl by ovšem byl v případě úmyslu určitého rozšíření provozu na rozvážení více druhů zásilek.
- Létání v noci (BVLOS)
 - Pro plné využití potenciálu doručování zásilek je nezbytné uvažovat o letech v noci a celkově o letech BVLOS. To se zdá zatím ze strany ÚCL také problematické. V nařízeních sice existují jasná pravidla, jak je možné provádět provoz BVLOS, ale v rámci rozsáhlých komunikací s úředníky z ÚCL se ukázalo, že schvalování letů mimo vizuální dohled jde zatím s velkým omezením.
- Procesy schvalování
 - Další výraznou překážkou, kterou je třeba zmínit, jsou lhůty procesů schvalování. Samotný systém podávání žádostí o OkP lze hodnotit různě a každému provozovateli může připadat jinak přehledný. Nicméně 30denní lhůta pro vyřízení žádosti o OkP může být velice limitující, pokud je třeba v určitém druhu provozu jednat rychle. Jakmile se ukáže, že je třeba co nejdříve uskutečnit určitý provoz, je nejprve třeba řádně vyplnit žádost, odeslat a poté vyčkat celý měsíc před získáním verdiktu. V případě případové studie se s tímto faktem dá počítat dopředu a je možné této překážce částečně předcházet díky připravenosti a pohotovosti, ale přesto je to velmi zpomalující faktor při přípravách mise a při vývoji celého systému.

1.4.3 Záměr ověření schvalitelnosti a proveditelnosti

Na základě doposud popsaných informací a analýzy existujícího stavu je dalším cílem zhodnotit proveditelnost a schvalitelnost celého projektu. Úvodní část má za cíl především popsat aktuální stav technologií zabývajících se doručováním pomocí UAS, popsat jednotlivé limity, rizika, legislativní rámec a další. To vše je třeba pro vytvoření základu pro případovou studii, která je řešena v rámci praktické části této práce. Zároveň je tato úvodní část nezbytnou součástí pro finální zhodnocení, diskusi a závěr, zda a jakým způsobem bylo dosaženo cíle práce.



Jak je z textu výše zřejmé, problematika doručování zásilek pomocí UAS je velmi obsáhlá a komplexní. Celá technologie prochází velikým vývojem. Jak už z technického hlediska, kdy jsou vyvíjena nová a lepší zařízení, která umožňují bezpečnější a efektivnější provoz, tak i z legislativního hlediska. Zde se jedná především o zmiňované přechodné období a implementaci nových nařízení do tuzemských pravidel. V rámci vývoje jakékoliv nové technologie je třeba zkoumat aktuální možnosti a snažit se posouvat hranice použitelnosti takové technologie. Tím se zabývá velké množství výzkumů, společností, autorit a dalších.

Díky informacím získaným na základě popsání aktuálního stavu, limitů a rizik v úvodu bude možné provést případovou studii, která bude zkoumat proveditelnost a schvalitelnost určité úrovně zapojení doručovací služby v ČR. Aby bylo schvalitelnost a proveditelnost možné ověřit, je třeba nastavit projekt, který bude v některých ohledech překračovat aktuální limity a rizika. Záměrem studie je zjistit, zda i takto komplexnější projekt je možné schválit ze strany ÚCL a provést.

2 Případová studie BISTRON

Na konci května roku 2021 bylo otevřeno na pomezí Stromovky a Výstaviště Praha nové místo pro kulturu a volný čas. Jmenuje se Azyl78 a je to divadlo pro 500—800 diváků. Od stanu jak divadelního, tak barového je to ale poměrně daleko k nejbližšímu bistro, které v areálu Výstaviště prodává občerstvení. Proto vedení divadla napadl projekt BISTRON, který by k doručení jídla z okolních bister využíval bezpilotních letadel. Pro začátek bude celý proces zaměřen pouze na jedno bistro (Bistro NO.2) a půjde tedy o doručení objednaného jídla zákazníkovi pomocí UA, které bude létat na stanovené trase mezi Azylem 78 a bistro.



Obrázek 7: Azyl78

Hlavním a stěžejním bodem celého projektu je tedy samotný let z předem určeného bodu A (Azyl 78) do bodu B (bistro) po předem určené trajektorii. K tomu bude využito určitých technických zařízení a lidského přičinění. Cílem je tedy opakovaně provádět stejný let se stejným vybavením s případně střídající se posádkou tak, aby bylo možné převézt boxy s jídlem, a přitom neohrozit osoby v okolí.

Jídlo bude přepravováno ve speciálním boxu na letadle, který bude připevněn a zabezpečen tak, aby nedošlo k uvolnění. Do boxu bude přístup pouze po přistání na předem určených oplocených „dronportech“. Je důležité zdůraznit, že k samotnému letadlu nebude mít přístup zákazník, ale pouze prověřená osoba, která bude poučena a bude součástí provozu.



Obrázek 8: Situace na Výstavišti

Celá myšlenka ze strany vedení divadla je velmi komplexní a komplikovaná, z toho důvodu je třeba k ní přistupovat systematicky. Záměrem divadla je vytvořit provoz, který se bude co nejvíce podobat prvotní myšlence a bude zajímavou atrakcí a obohacením celého prostranství v okolí scény. Zároveň je cílem vytvořit celý projekt co nejefektivněji tak, aby byl i ekonomicky udržitelný.

Tento záměr je cílem i autora této diplomové práce, která se tímto projektem zabývá, ale je koncipována jako případová studie. Má tedy za cíl odhalit i mnoho dalších aspektů, které souvisí s vývojem technologie využití UAS pro tyto účely.

V následujících podkapitolách je přímo popsáno praktické řešení celého projektu od vstupních analýz přes celý postup bádání až po dosažené výsledky.



2.1 Metodika řešení

Při řešení komplexního projektu, který v této práci slouží jako případová studie, je zapotřebí stanovit postup práce a metodiku řešení. Systematický přístup je tedy nezbytný pro zvýšení šance na úspěšnou implementaci. Z toho důvodu byl od začátku prací na projektu jasně definován postup a metodika, která se v danou chvíli zdála jako nejvhodnější.

Prvním krokem na začátku projektu bylo pochopení a ujasnění celého záměru. V rámci více schůzek s vedením divadla byla nastíněna jejich představa autorovy práce a byla podána okamžitá zpětná vazba a usměrňování záměru projektu. Při schůzkách byl zároveň navržen postup a druh spolupráce mezi subjekty tak, aby bylo možné jasně rozdělovat úkoly a práci na projektu. Ze setkání vzešel návrh, že autor této práce zajistí management celého projektu v jeho počáteční fázi, zorganizuje veškeré potřebné analýzy a průzkum pro realizaci projektu, bude zařizovat komunikaci s ÚCL a pokusí se o získání všech povolení. Divadlo bude v případě potřeby nápomocno s financováním a komunikací.

Druhým krokem bylo prozkoumání situace a okolí. Bylo zapotřebí seznámit se s přesným umístěním divadla a bistra, zanalyzovat terén a vyhodnotit také okolní stavby a prostory. Pro větší přehled v dalších krocích projektu, pro ujasnění a seznámení se situací i další zapojené subjekty byla celá situace nafocena.

Třetím krokem se stala bezpečnostní analýza celého projektu. Pro následující postup v rámci projektu – vytvoření žádosti o OkP – bylo zapotřebí vytvořit bezpečnostní analýzu SORA. Ta byla vytvořena, ale pro podrobnější zhodnocení bezpečnosti byla zpracována také bezpečnostní analýza pomocí metodologie FRAM. Důvod tvoření této analýzy bylo především uvědomění si komplexnosti celého projektu a zásadní absence řešení lidského činitele v rámci SORA. Již v prvním kroku celého projektu byla zdůrazněna důležitost řešení bezpečnosti a bylo tedy rozhodnuto tvořit bezpečnostní analýzy již od počátku celého projektu. Na vývoj v jednotlivých krocích projektu v průběhu by tedy mělo být reagováno aktualizací a opětovnou kontrolou těchto analýz. Celé řešení bezpečnosti je velmi podrobně popsáno v následujících kapitolách.

Dalším krokem bylo tvoření analýzy ergonomické přívětivosti. Aby bylo na bezpečnost navázáno a bylo možné eliminovat co největší počet rizik, bylo zapotřebí dostatečně popsat jednotlivé aspekty ergonomie celého projektu. Tato část byla opět velmi důkladně zpracována a byly z ní vyvozeny výsledky, na jejichž základě bylo postupováno v dalších částech projektu. Implementace těchto poznatků je nesmírně důležitá pro vývoj a použitelnost všech připravených postupů.



Pátý krok zahrnuje řešení technického vybavení. Pro naplánovaný projekt bylo třeba vybrat vhodná technická řešení, která by odpovídala záměru, ekonomickým možnostem vedení divadla a zároveň odrážela výsledky bezpečnostních a ergonomických analýz. Bylo tedy nezbytné vybrat bezpilotní letadlo, které svými vlastnostmi bude odpovídat stanoveným požadavkům, dále vybrat a sehnat přepravní box a vyrobit a zařídit „dronporty“, zázemí pro personál a dobíjecí stanici.

Další krok obsahoval komunikace s majitelem pozemku a vyjednávání o povolení vlastníka k zamýšlenému provozu. Tento krok bylo zapotřebí uskutečnit až po rozsáhlých analýzách, tak aby bylo možné vlastníka přesvědčit o promyšlenosti celého projektu, náklonnosti jednotlivých firem a citlivosti vůči okolnímu prostředí.

Sedmým krokem bylo zvolení posloupnosti letů a následné vytvoření žádosti o OkP. Tato část tedy nejprve zahrnovala rozhodnutí, jakým způsobem bude žádáno o povolení od ÚCL. Bylo rozhodnuto zvolit nejprve let s nižší třídou rizika a získat OkP pro tento provoz a následně z nabytých poznatků žádat o provoz „složitější“. Na základě výše popsaného byla vytvořena veškerá dokumentace potřebná pro úspěšnou žádost o OkP. K tomu bylo zapotřebí velmi rozsáhlé komunikace přímo s úředníky ÚCL, aby bylo dosaženo co nejlepšího výsledku. Přesný postup a odkazy na jednotlivé části dokumentace jsou popsány dále v této kapitole.

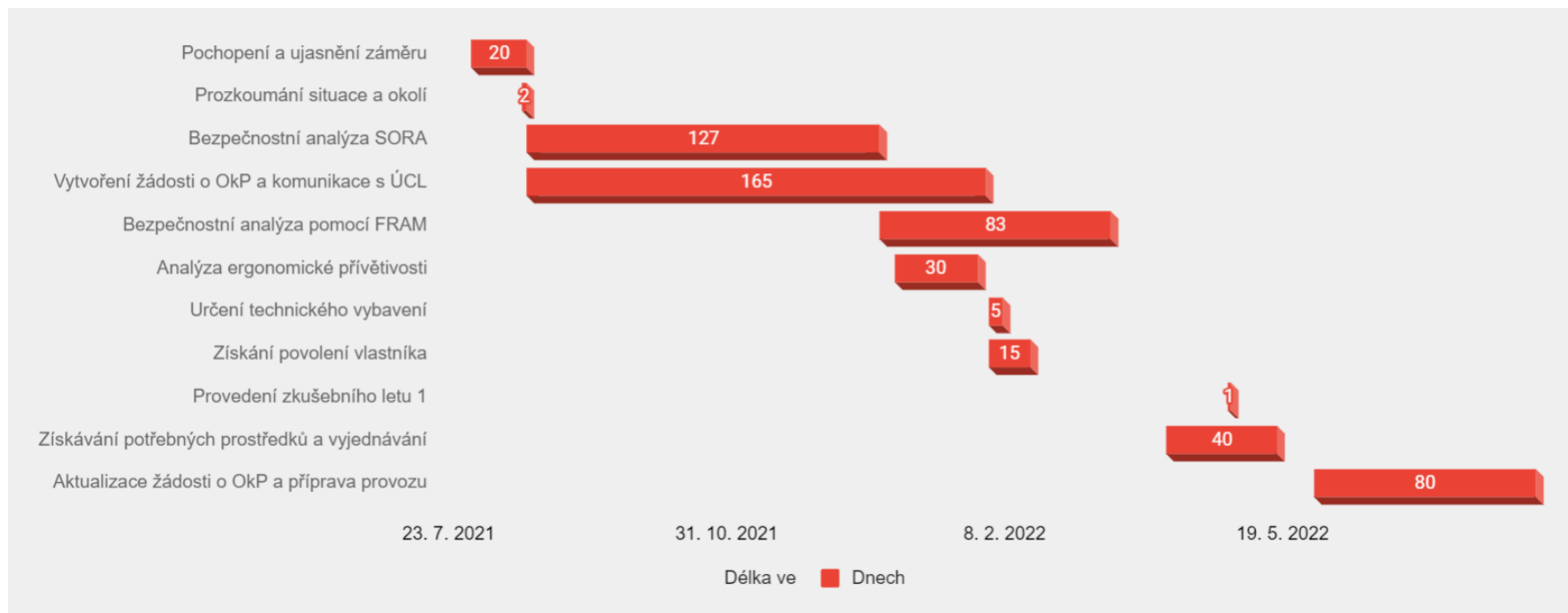
Po získání prvního OkP bylo zapotřebí provést zkušební let a na jeho základě aktualizovat trajektorii pro let a získat kvalitnější fotografie a podklady pro následující postup a získávání dalšího OkP.

Devátým krokem bylo získání potřebných prostředků pro následující lety. Bylo nutné komunikovat se zapojenými subjekty a získat podporu z jejich strany k tomu, aby bylo možné uskutečnit plánované lety. Jednalo se především o komunikaci s firmami, které poskytují technické vybavení – jak už bezpilotní letadla samotná, tak i například přepravní boxy.

Desátý krok zahrnoval aktualizaci žádosti, doplnění potřebných informací, přepracování analýzy SORA a opětovné odeslání žádosti.



Pro přehlednost byl vytvořen na základě popsané metodiky práce Ganttův diagram, který bere v potaz všechny jednotlivé kroky procesu a který zároveň zobrazuje jejich posloupnost, návaznost a délku trvání. Jeho grafické zobrazení lze vidět na grafu číslo 1.



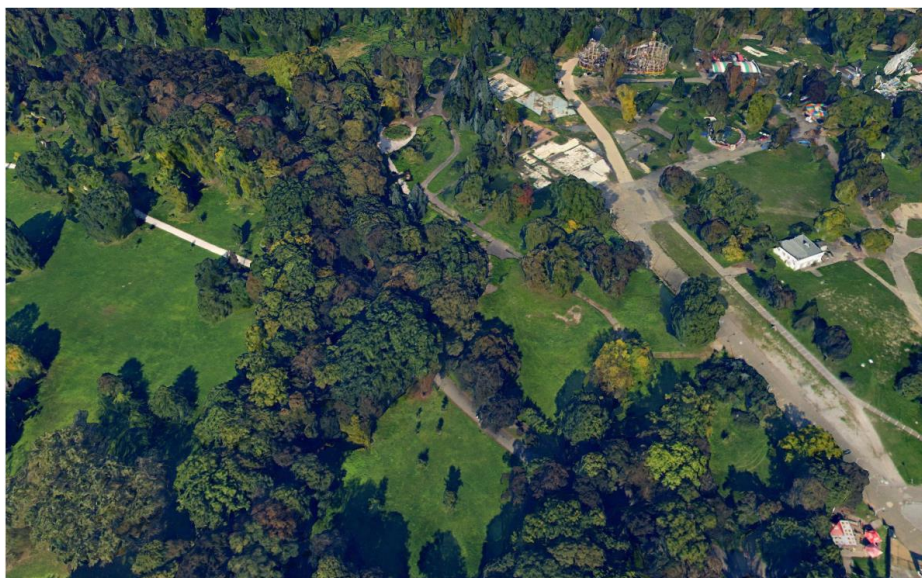
Graf 1: Ganttův diagram procesu řešení

2.2 Prostředí provozu a situace okolí

Aby bylo možné zodpovědně vytvářet a pracovat na vývoji celého systému, bylo nezbytné řádně zhodnotit prostředí zamýšleného provozu a seznámit se s okolní situací. Důvodem je především analýza a odhalení veškerých parametrů prostředí a rizik, které mohou plynout ze situace a okolí zapojeného do provozu. Tato část práce na projektu se dá rozdělit do dvou částí – prozkoumání terénu a situace na zemi v okolí provozu a v dopadové oblasti a analýza vzdušného prostoru v oblasti zamýšlených letů.

2.2.1 Prozkoumání terénu

Pro získání přehledu o situaci v okolí provozu bylo provedeno prozkoumání terénu. Nejprve proběhla návštěva místa, seznámení se s prostředím divadla a prostředím bistra. Poté byla pozorně prozkoumána oblast mezi těmito dvěma objekty, aby bylo možné získat představu o dalších objektech, které se nachází v potenciální dopadové oblasti. Došlo také k odhadu výšky nejvyššího porostu v celém území, aby bylo možné určit potřebnou minimální výšku letu. Tato výška byla stanovena na 20 metrů. Z toho byla odvozena potřeba létat ve výšce alespoň 30 m AGL. Vzhledem k pravidlu stanovení dopadové oblasti podle poměru 1:1 byl prozkoumán prostor v minimální vzdálenosti 30 m od potenciální osy spojující oba objekty. Celé prostranství v zájmové oblasti bylo řádně nafoceno pro možnost opětovného prozkoumání a seznámení zapojených subjektů se situací v okolí provozu.



Obrázek 9: 3D zobrazení prostředí provozu [mapy.cz]



Stejně tak byla provedena analýza prostředí pomocí aplikace Mapy.cz, kde bylo možné přesně změřit potřebné vzdálenosti například mezi divadlem a bistroem a zároveň předběžně navrhnout 2D trajektorii letu podle objektů v zájmové oblasti tak, aby se kvůli snížení rizika srážky s volně pohybujícími se osobami omezil přímý let nad příchozími cestami a hřištěm, které se v zájmové oblasti nachází. V aplikaci bylo také možné zobrazit přibližný 3D model prostranství, který umožnil získat větší představu o prostoru. Snímek z aplikace je na vidět obrázku č. 9.

2.2.2 Analýza vzdušného prostoru

Složení vzdušného prostoru v oblasti zamýšleného letu je vidět na obrázku č. 10. Oblast zamýšleného provozu se nachází ve třech typech vzdušného prostoru, kde je možné létat za určitých podmínek, které jsou stanoveny mimo jiné ve výše zmíněném OOP LKR10 UAS vydaným ÚCL.

1. CTR Ruzyně – řízený okresek letiště

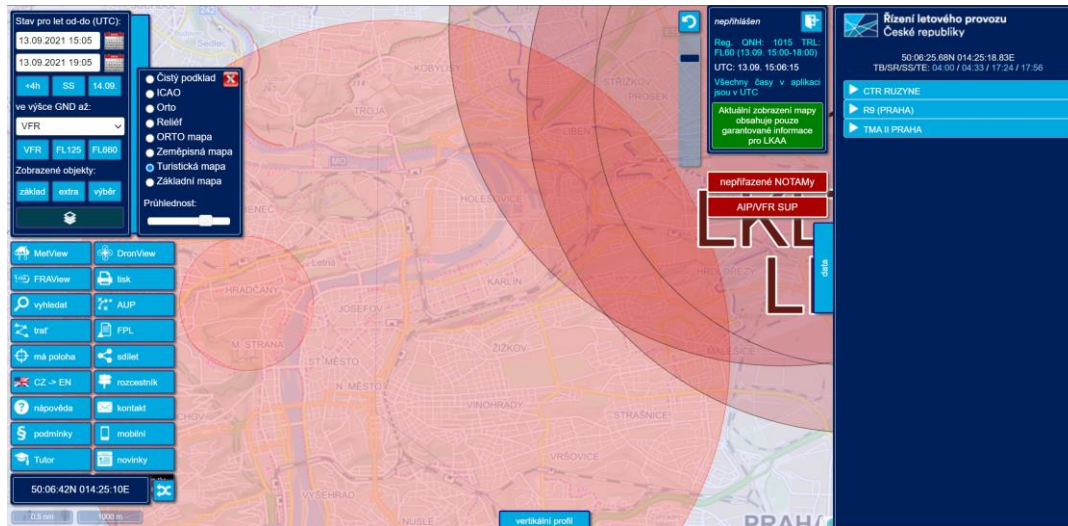
- Pro provoz UA těžšího než 0.91 kg je možné létat v prostoru CTR pouze ve vzdálenosti větší než 5500 m od vztažného bodu letiště a do výšky maximálně 100 m AGL. V jiném případě je zapotřebí speciálního povolení nebo koordinace s příslušným stanovištěm řízení letového provozu. Oblast zamýšleného provozu se nachází dále než 5,5 km od vztažného bodu letiště, a proto je možné ve výšce 30 m AGL létat bez omezení.

2. R9 (Praha) - Omezený prostor

- Vzdušným prostorem LKR9 se OOP zabývá přímo a podmínky jsou stanoveny následovně: „*Provoz bezpilotního letadla v omezeném prostoru LKR9 je možný bez povolení Úřadu za podmínky respektování podmínek provozu v CTR, v hustě osídleném prostoru, případně podmínek jiných prostorů v daném místě. Provoz bezpilotního letadla v omezeném prostoru LKR9 je dále možný na základě oprávnění k provozu vydaného Úřadem.*“ Jak je popsáno výše, podmínky pro let v CTR jsou splněny a zároveň se nejedná o hustě osídlený prostor. Proto je možné v tomto prostoru také létat. Přesto je prostor zahrnut v žádosti o OkP.

3. TMA II Praha – koncová řízená oblast

- Tento vzdušný prostor začíná až ve výšce 3500 stop AMSL, a proto ho není třeba uvažovat, neboť zamýšlený let v rámci projektu BISTRON je plánován pouze ve 30 m AGL.



Obrázek 10: Složení vzdušného prostoru [39]

2.3 Hodnocení bezpečnosti

Kvůli veliké komplexnosti celého projektu a zároveň kvůli požadavkům ze strany autorit pro splnění bezpečnostních limitů je třeba důkladně analyzovat bezpečnost v celém průběhu práce na projektu. Z toho důvodu se celý projekt nespolehá pouze na bezpečnostní analýzu SORA, která je povinností pro úspěšné získání oprávnění k provozu, ale byla vytvořena další bezpečnostní analýza, jež má za cíl odhalit slabé stránky projektu v rané fázi tak, aby mohla být funkčně eliminována vznikající nebezpečí.

V následujících podkapitolách je komplexně řešena bezpečnost projektu a je vytvořena analýza bezpečnosti na základě metodologie FRAM. Podle výsledků této analýzy a poznatků z celé kapitoly jsou implementována navržená opatření pro zvýšení robustnosti a bezpečnosti celého systému.

2.3.1 Definice projektu a popis z pohledu bezpečnosti

Prvním krokem pro komplexní řešení bezpečnosti je přesná definice projektu BISTRON, který bude analyzován, a následně popis problematiky z pohledu bezpečnosti. Definice projektu je již popsána v úvodu kapitoly č. 2.



Rizik, které mohou nastat při přepravě zboží pomocí dronů, je mnoho. Jedná se o rizika spojená se střetem samotného bezpilotního letadla s jiným letadlem (ať už bezpilotním nebo civilním), se střetem UAS s člověkem nebo se skupinou lidí, se střetem UAS s jakoukoliv infrastrukturou, obydlím a další. Mohou nastat také nebezpečné situace spojené s přepravovaným zbožím. Některé přepravované zboží může spadat pod nebezpečné zboží ve smyslu předpisu L18 [38]. Například se může jednat o biologický materiál, který spadá do 6. třídy „Toxické a infekční látky“. Jejich přeprava tedy podléhá přísným bezpečnostním opatřením.

Na řešení bezpečnosti v rámci této práce bude nahlíženo především z pohledu provozu bezpilotních letadel samotných a z pohledu bezpečného plánování mise přepravování zboží.

2.3.2 Dosavadní řešení bezpečnosti

Existuje již několik principů, které se snaží zvýšit bezpečnost provozu UAS. Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o samotný let jednotlivého letadla anebo o provoz celkový. Co se týče samotného letadla, existuje řada opatření, která zvyšují jeho bezpečnost. Jedním z nich může být například instalace padákového systému [40]. Padák je v případě jakékoliv poruchy vystřelen a celé letadlo doplachtí pomalu na zem. To může předejít střetu s objekty nebo s lidmi, nad kterými je UAS provozováno. Dalšími bezpečnostními prvky mohou být například záložní zdroje, systém automatického přistání [41] a další.

Druhou částí je samotný provoz bezpilotních letadel. Je snaha vyvinout funkční systém, ve kterém budou moci bezpečně létat veškerá letadla a kdy nebude docházet ke vzájemným střetům. Takový koncept se obecně nazývá UTM (Unmanned traffic management) a v Evropě je vyvíjen UTM s názvem U-space [42]. Koncept se má za cíl systematicky umožnit provoz UAS, stanovit funkční a bezpečnou architekturu systému, poskytnout provozovatelům bezpečné a zároveň jednoduché prostředí a umožnit různým technologiím využívajícím UAS bezpečný a kvalitní provoz. U-space má mnoho dílčích aspektů, které úzce souvisí s bezpečností provozu. Způsob a kvalita řešení bezpečnosti podléhá obsáhlému rozboru, který je důkladně řešen v rámci jiných diplomových prací na Ústavu letecké dopravy. Proto se tato práce zaměřuje spíše přímo na konkrétní misi a projekt, který je v práci řešen, a neanalyzuje bezpečnost takto robustního systému.



2.3.3 Rizika spojená s provozem před hodnocením případové studie

Definice rizik, jejich analýza a následné zmírňování jsou jednou z nejdůležitějších součástí celé případové studie, která je v této práci zpracována. Rizika lze dělit do různých kategorií. Nabízí se dělení podle podkapitol výše – tedy technická a legislativní rizika. Do technických spadají rizika související s vyspělostí jednotlivých zařízení, UA, příslušenství jako jsou přepravní boxy, jejich uchycení, padákové systémy, ovladače i například aplikace využívané pro automatizaci provozu. Za legislativní rizika se pak dají považovat například komunikace mezi provozovatelem a Úřadem, systémy schvalování, využívání bezpečnostní analýzy SORA bez nutnosti ověření redundantní analýzou, nedostatečné nebo matoucí informace a další. V této části práce je však cílem identifikovat rizika na samém počátku celého projektu, tím je myšleno bez potvrzení další funkční analýzou. V průběhu práce budou rizika odhalována sofistikovanějšími postupy a bude jim věnována větší pozornost. Jako hlavní aspekty, které mají vliv na míru rizik v plánované studii, jsou uvažovány následující:

Aspekty zvyšující riziko:

- Vzdušné prostory umožňující pohyb jiným druhům vzdušného provozu:
 - CTR (řízený okrsek);
 - R9 (omezený prostor Praha);
 - TMA Praha;
- Osoby pohybující se v dopadové oblasti;
- BVLOS let případně VLOS s vizuálním pozorovatelem;
- Přidané zatížení (krabice s jídlem);
- Meteorologické podmínky;
- Absence povinnosti tvorby redundantní bezpečnostní analýzy;
- Neustálené schvalovací postupy ze strany ÚCL.

Aspekty snižující riziko:

- Přídavný padák;
- Důkladné testování provozu;
- Vyškolení personálu;



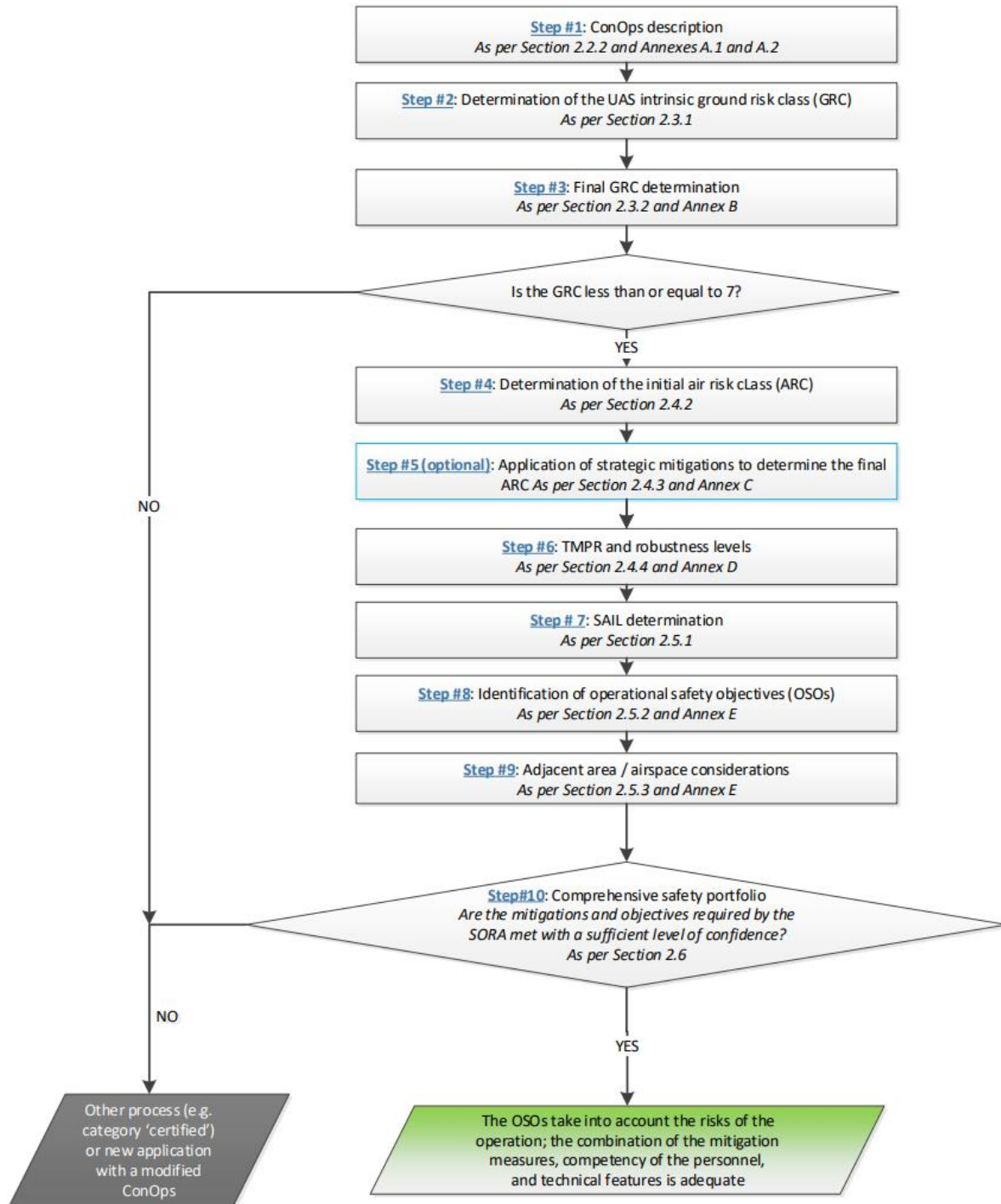
- Zapojení osob do provozu – v rámci návštěvního řádu celého areálu případně v rámci vstupu k divadlu;
- Zkoumání bezpečnosti v rámci diplomové práce;
- Zapojení zkušených subjektů do plánování mise;
- Rané konzultace s ÚCL a dalšími autoritami.

2.3.4 SORA

„Specific Operations Risk Assessment“ neboli hodnocení provozních rizik ve specifické kategorii provozu je způsob, jakým musí provozovatel hodnotit provozní rizika, pokud chce létat ve specifické kategorii. Tento způsob hodnocení byl vyvinut pracovní skupinou 6 (WG6) sdružených autorit JARUS a byl schválen Evropskou agenturou pro bezpečnost letectví (EASA) jako přijatelný způsob shody pro splnění požadavků evropských nařízení o UAS (základní nařízení, prováděcí akt, delegovaný akt a přílohy). Tento dokument od EASA, který se jmenuje „Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947“ [43] rozebírá témata: přepravy nebezpečného zboží, autonomní provoz, nezapojené osoby, maximální vzletová hmotnost a další. Zároveň ale také přejímá popis pokynů pro tvorbu SORA přímo od tvůrců, kteří ji popisují v dokumentu „JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)“ [44].

ÚCL, jakožto správní úřad, v rámci procesů vytváření prostředí pro integraci UAS do vzdušného prostoru ČR postupuje podle výše zmíněných dokumentů a v rámci schvalovacích procesů musí dodržovat pravidla stanovená autoritami. V případě žádosti o OkP ve specifické kategorii je podle požadavků ÚCL SORA v rámci prováděcího nařízení 2019/947 nedostatečně rozpracovaná [45], a proto ÚCL vydalo směrnici [46], která stanovuje postup Úřadu v části posouzení rizika. Tato směrnice má povahu výkladu a slouží jako podpůrný nástroj ÚCL.

Pro získání OkP pro provoz ve specifické kategorii pro lety v rámci případové studie bylo tedy zapotřebí vytvořit hodnocení rizik podle výše zmíněných dokumentů tak, aby bylo možné Úřadu dokázat známost míry rizika a deklarovat implementaci opatření, která rizika snižují. Proto byla SORA vytvořena pro finální záměr celého projektu, jež je nejkompexnější a v rámci přípravných a testovacích letů bylo z této analýzy čerpáno pro žádosti o OkP s menší třídou rizika. Celé zpracování SORA je popsáno v kapitole níže a při vypracování bylo postupováno podle oficiálního dokumentu JARUS [44]



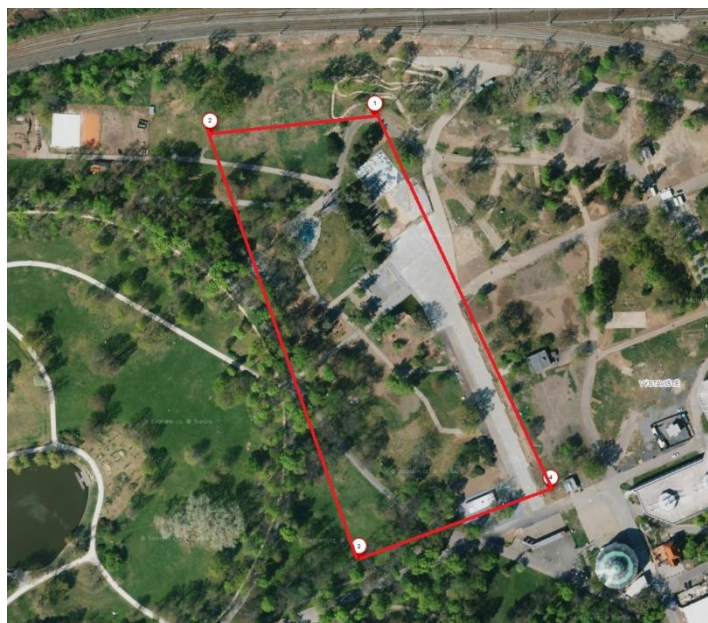
Obrázek 11: Proces SORA [44]

Krok #1 - Popis provozní koncepce

Pro popis provozní koncepce byla Úřadem vydána šablona pro vytvoření takového dokumentu, který napomáhá tvorbě a popisu koncepce. Jedná se o popis jak samotného záměru provozu, tak i o poskytnutí náhledu do kultury provozní bezpečnosti provozovatele. Celý dokument ConOps je přiložen v rámci přílohy E.

Krok #2 – Stanovení třídy rizika na zemi (GRC = Ground Risk Control)

Při stanovování třídy pozemního rizika je záměrem zvážit riziko střetnutí bezpilotního letadla s osobou pohybující se na zemi. K tomu je zapotřebí zvážit charakteristické rozměry bezpilotního letadla a znalost zamýšleného provozního scénáře. Zároveň je třeba definovat území provozu ve čtyřech rozměrech. S tím souvisí definování dopadové oblasti, kterou je podle JARUS potřeba popsat podle pravidla 1:1. Pro navrženou trajektorii tedy byla určena dopadová plocha, kterou lze vidět na obrázku 12.



Obrázek 12: Definice dopadové plochy

Další částí tohoto kroku je určení výsledné třídy rizika na zemi podle tabulky číslo 1. K tomu je zapotřebí znát specifické rozměry bezpilotního letadla, typickou kinetickou energii předpokládanou při dopadu a provozní scénář.



Pro letadlo DJI Matrice 300 RTK je z manuálu [47] možné vyčíst rozměry složeného letadla – 430 x 420 x 430 mm a rozloženého – 810 x 670 x 430 mm. Z toho vyplývá největší charakteristický rozměr 810 mm.

Typická kinetická energie při dopadu byla vypočítána pro maximální možnou hmotnost letadla i se zatížením 9 kg a pro pád z výšky 30 m, což je maximální zamýšlená výška provozu. Výpočet výsledné kinetické energie je možné vidět v rovnici číslo 1.0

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 * 9.81 * 30} = 24.26 \text{ m} * \text{s}^{-1}$$

$$E_k = \frac{1}{2} * 9 * 24.26^2 = 2648.5 \text{ J}$$

(1.0)

Kde E_k je kinetická energie v joulech, m je hmotnost v kg, v značí rychlost v km/h, g je gravitační zrychlení v ms^{-2} a h je výška v m.

Třetím parametrem pro určení GRC je určení provozního scénáře. Provoz je plánován mimo vizuální dohled pilota s vizuálním pozorovatelem, tedy EVLOS (Extended visual line of sight). Tento druh provozu má být podle dokumentu JARUS evaluován jako BVLOS. Stejně tak je zapotřebí hodnotit řídicí osídlenou oblast jako osídlenou a dokázat sníženou míru zalidnění v kroku 3. Při rozsáhlých konzultacích s ÚCL v rámci žádosti o OkP však bylo pro zkušební let dohodnuto definování oblasti zájmu jako řídicí osídlená oblast. Z výše popsaného tedy vyplývá výsledná míra rizika na zemi na základě tabulky číslo 1 na třídu 4.

Tabulka 1: Určení míry rizika na zemi [44]

Intrinsic UAS Ground Risk Class				
Max UAS characteristics dimension	1 m / approx. 3ft	3 m / approx. 10ft	8 m / approx. 25ft	>8 m / approx. 25ft
Typical kinetic energy expected	< 700 J (approx. 529 Ft Lb)	< 34 KJ (approx. 25000 Ft Lb)	< 1084 KJ (approx. 800000 Ft Lb)	> 1084 KJ (approx. 800000 Ft Lb)
Operational scenarios				
VLOS/BVLOS over controlled ground area	1	2	3	4
VLOS in sparsely populated environment	2	3	4	5
BVLOS in sparsely populated environment	3	4	5	6
VLOS in populated environment	4	5	6	8
BVLOS in populated environment	5	6	8	10
VLOS over gathering of people	7			
BVLOS over gathering of people	8			



Krok #3

Riziko zasažení osoby bezpilotním letadlem (v případě ztráty kontroly nad operací) lze kontrolovat a redukovat pomocí zmírňujících opatření. To je také obsahem tohoto kroku. Ke snížení GRC slouží tabulka č. 2, podle které je možné určit robustnost jednotlivých zmírňujících opatření.

V rámci zmírňující sekvence M1 je možné určit strategické zmírnění. Tím je myšleno snížení počtu potenciálně ohrožených lidí. Pro projekt BISTRON byla předem zvolena trajektorie letu mimo místa hlavních oblastí se zvýšenou intenzitou pohybu lidí. Trajektorie vede mimo místa dětského hřiště a příchozích cest. Je tedy určena především nad porostem, kde je pohyb lidí velmi obtížný, případně nemožný. Z toho důvodu lze definovat strategické zmírnění M1 s nízkou robustností jako **-1**.

Sekvence M2 se zaměřuje na snížení efektu srážky. Konkrétně jde o prostředek ke snížení energie absorbované lidmi na zemi při nárazu. Pro aplikaci M2 bylo tedy rozhodnuto využít padákový systém pro UA, který výrazně sníží efekt srážky. Jedná se o padákový systém Galaxy GBS 10/350, který zbrzdí 15-35 kg letadlo na dopadovou energii 100-680 J [62]. Tím je tedy vyhodnoceno zmírnění M2 se střední robustností na **-1**.

Třetí kategorií zmírnění je přítomnost „havarijního plánu“ ERP (Emergency Response Plan). Tento plán je popsán v rámci provozní koncepce (viz příloha E), a proto střední robustnost M3 nezmění GRC.

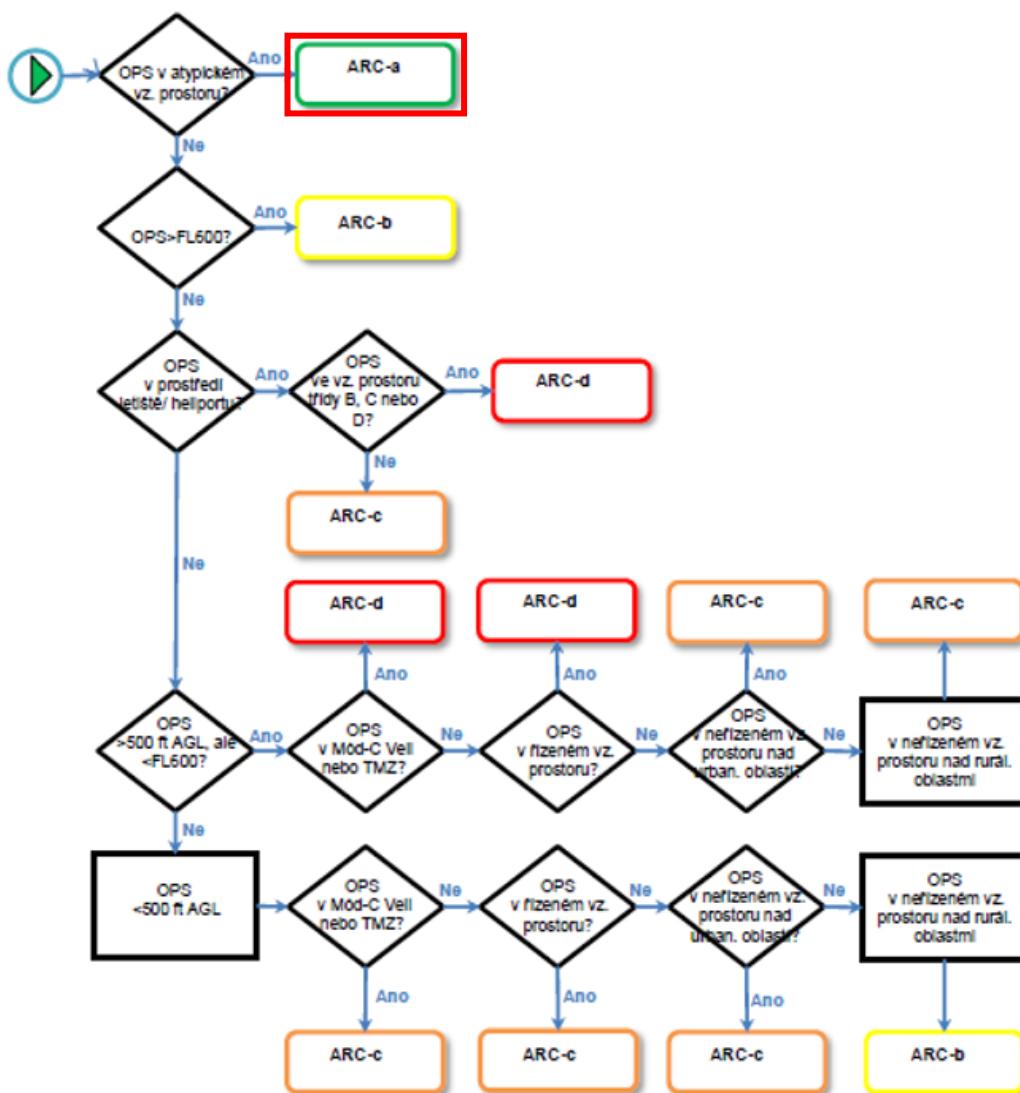
Výsledná třída rizika na zemi je tedy **4+(-1-1+0) = 2**

Tabulka 2: Zmírňující opatření pro riziko na zemi [44]

Mitigation Sequence	Mitigations for ground risk	Robustness		
		Low/None	Medium	High
1	M1 - Strategic mitigations for ground risk ^e	0: None -1: Low	-2	-4
2	M2 - Effects of ground impact are reduced ^f	0	-1	-2
3	M3 - An Emergency Response Plan (ERP) is in place, operator validated and effective	1	0	-1

Krok #4 – Stanovení třídy rizika ve vzduchu (ARC = Air Risk Control)

Pro určení výsledné třídy rizika ve vzduchu je zapotřebí využít postup definovaný na obrázku 13. V rámci formulářů pro vyplňování žádosti o OkP poskytnutých ÚCL bylo ovšem Úřadem určeno, že za provoz v rámci atypického vzdušného prostoru lze považovat jakýkoliv provoz do výšky 120 m AGL. V rámci případové studie se počítá s provozem v maximální výšce 30 m nad zemí. Proto lze automaticky určit výslednou třídu rizika jako třídu „**ARC-a**“.



Obrázek 13: Určení třídy rizika ve vzduchu podle formuláře 48 (ÚCL)



Krok #5

Tento krok se zabývá strategickým zmírňováním ARC a je nepovinný. Vzhledem k tomu, že v rámci kroku 4 vyšla třída vzdušného rizika nejnižší možná, je možné tento krok přeskočit.

Krok #6

Požadavky na taktické zmírňování rizika TMPR (Tactical Mitigation Performance Requirements) jsou aplikovány pro lety BVLOS, kde není možné zmírňovat riziko srážky pomocí vizuální dohlednosti a přehledu pilota. Pro třídy ARC-b, ARC-c a ARC-d je tedy třeba stanovovat TMPR. Pro třídu ARC-a ovšem není požadavek definovat TMPR vyžadován, proto je možné v analýze SORA pokračovat.

Krok #7

V sedmém kroku je zapotřebí určit finální specifickou úroveň jistoty a integrity SAIL (Specific Assurance and Integrity Levels). Určení výsledné hodnoty SAIL podléhá tabulce číslo 3. Vzhledem k výsledné třídě rizika na zemi – **2** a třídě rizika ve vzduchu **ARC-a** je možné určit výsledné SAIL s hodnotou **SAIL I**.

Tabulka 3: Určení SAIL

SAIL Determination				
	Residual ARC			
Final GRC	a	b	c	d
≤2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
>7	Category C operation			



Krok #8

Tento krok má za cíl identifikovat cíle provozní bezpečnosti OSO (Operational Safety Objectives). To je možné opět na základě výsledné hodnoty SAIL a tabulky poskytnuté v rámci dokumentu od JARUS. Tato tabulka definuje povinnou míru robustnosti pro jednotlivé cíle bezpečnosti pro jednotlivé hodnoty SAIL. Míry robustnosti jsou následující: „O“ jako nepovinné, „L“ jako nízká, „M“ jako střední a „H“ jako vysoká. Jednotlivých cílů provozní bezpečnosti je 24 a pro SAIL I se jedná o robustnost nízkou nebo volitelnou. Cíle provozní bezpečnosti, které je nutné plnit v rámci provozu SAIL I s nízkou robustností, jsou následující: OSO#3, #7, #8, #9, #10, #11, #12, #13, #14, #15, #16, #17, #21, #22, #23, jejich význam je popsán v rámci přílohy C, která odkazuje na součást dokumentace žádosti o OkP.

Krok #9

Tento krok se zabývá úvahami o přilehlých oblastech a přilehlém vzdušném prostoru. Tím je myšleno uvažování rizika při náhlé nechtěné ztrátě kontroly nad řízením UA a narušení okolního vzdušného prostoru a oblastí, které již nejsou definovány v rámci dopadové oblasti a definovaného čtyřrozměrného prostoru v rámci kroku 2 analýzy SORA. Způsoby předcházení ztráty kontroly a postupy v případě takové nouzové situace jsou popsány v rámci ConOps v příloze E. Jedná se například o podrobnou kontrolu meteorologických podmínek a řádné zvážení, zda v takových podmínkách let provádět.

Krok #10

V rámci kroku číslo 10 je třeba uvažovat již s kompletním a komplexním bezpečnostním portfoliem, které zahrnuje veškeré předešlé kroky SORA. Jedná se tedy o zmírňující opatření GRC i ARC, úvahu o přilehlých oblastech a zároveň přijetí provozních bezpečnostních cílů. Toto portfolio je určeno pro provozovatele samotného, ale také například pro autority jako je ÚCL.



2.3.5 FRAM

Metoda funkční rezonanční analýzy (Functional Resonance Analysis Method) je metoda, kterou představil v roce 2004 pan Erik Hollnagel a popsal ji v knize The Functional Resonance Analysis Method [48], ze které je v rámci této kapitoly plně čerpáno. Jedná se o metodu, která splňuje parametry Safety-II, jež oproti Safety-I nehledá chybné a špatné prvky a akce v systému, ale soustředí se na správné fungování systému. Safety-II pohlíží na systém jako na celek, ve kterém vše probíhá, jak nejlépe je to možné, a tak lze zabránit nechtěným událostem. [49]

Metoda FRAM je nástroj, který je určený pro modelování složitých sociálně-technických systémů. FRAM umožňuje popsat komplexní systém pomocí funkcí, které v systému probíhají, a zároveň popsat variability mezi jednotlivými funkcemi. Ty pak mohou v určitých případech vést ke vzniku rezonance, která může způsobit vznik nechtěných událostí. Podle knihy pana Hollnagela je třeba v rámci metody postupovat podle 5 kroků, kterými je metoda tvořena a které jsou zde prezentovány.

Krok #0

Nejdříve je třeba stanovit cíl metody. První možnost je retrospektivní hledání příčiny nehody a druhá možnost, která platí v rámci projektu BISTRON, je proaktivní přístup vyhodnocování rizik.

Krok #1

Prvním krokem je identifikace a popis systémových funkcí. V tomto kroku je zapotřebí zvolit správnou rozlišovací úroveň modelování systémových funkcí tak, aby bylo možné se zaměřit na určitou část systému, jež se bude vyhodnocovat. V rámci této práce je stanovena rozlišovací úroveň čtyřmi funkcemi, které do systému pouze vstupují nebo z něj pouze vystupují. Jejich předešlé nebo následující vazby na další funkce již nejsou v zájmu zaměření.

Těmito funkcemi byly:

- Vytvořit projekt – s výstupy „Cíl stanoven“ a „Projekt vytvořen“
- Objednání jídla zákazníkem – s výstupem „Jídlo objednáno“
- Stanovit pravidla pro provoz UAS v ČR – s výstupem „Pravidla pro provoz stanovena“
- Přinesení objednávky – se vstupem „Let z B do A proveden“

V tomto kroku práce bylo využito znalostí nabytých z článku „Defining the functional resonance analysis space: Combining Abstraction Hierarchy and FRAM“ [50], ve kterém je znázorněna možnost hierarchického rozdělení funkcí jednotlivých agentů. Vybraným agentům byly přiřazeny funkce v rámci 4 úrovní, které demonstrují fungování celého systému. Jedná se o úrovně:

- Funkční účel – Konečná funkce, kterou by měl agent plnit.
- Zobecněné funkce – Účelová funkce agenta napomáhající k dosažení funkčního účelu.
- Fyzické funkce – Funkce nezbytné k implementaci funkcí na úrovni zobecněných funkcí, identifikované ze souvisejících technologických komponent.
- Fyzická a technologická norma – Funkce popisující součásti a zařízení systému z hlediska uspořádání, fungování a formy.

Tabulka 4: Hierarchické rozdělení funkcí "Plánování mise a schválení"

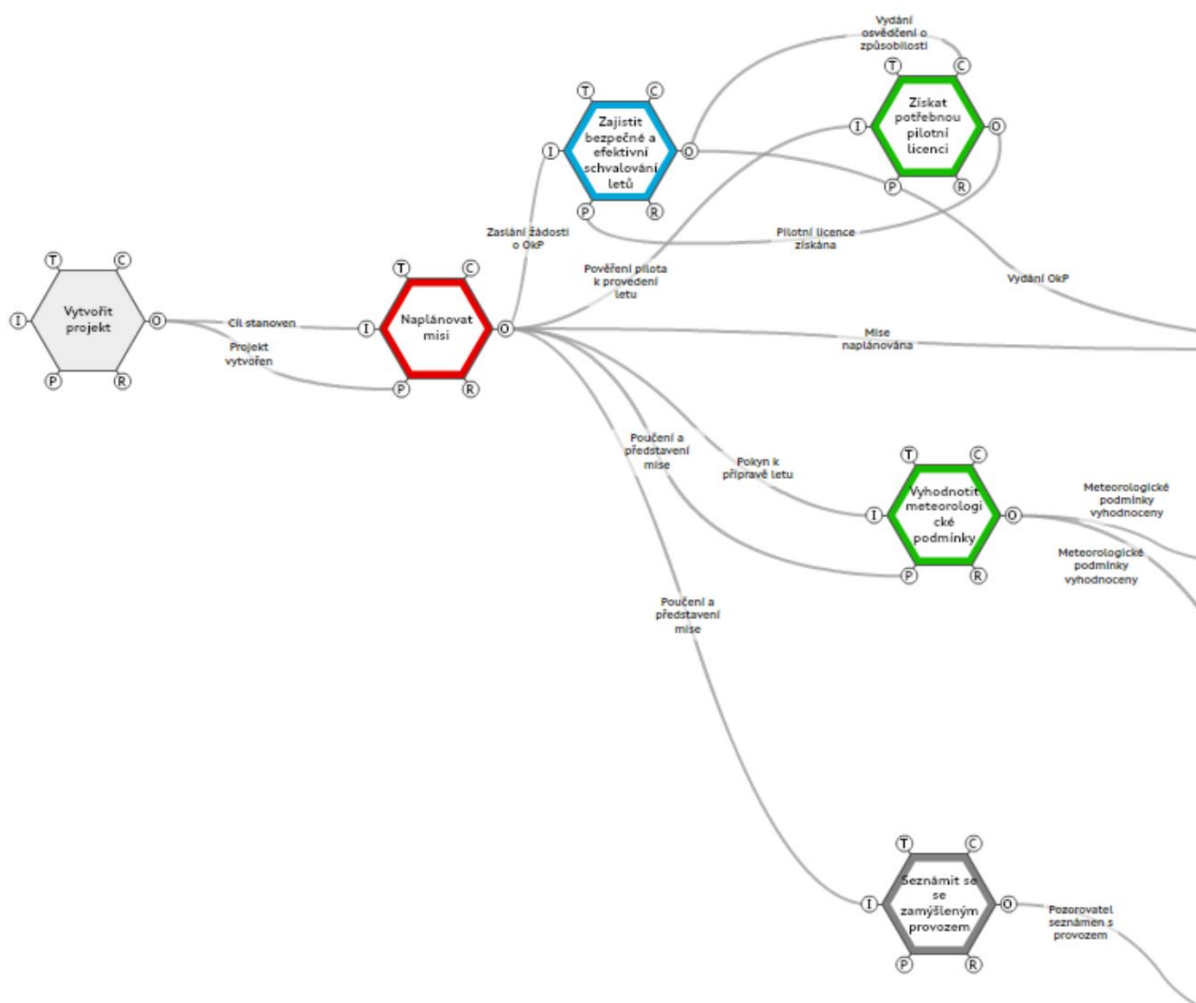
Plánování mise a schválení				
Agenti	Funkční účel	Zobecněné funkce	Fyzické funkce	Fyzická a technologická norma
Provozovatel	Naplánovat misi	Zajistit bezpečnost provozu Vyžádat jednotlivá povolení Zajistit oblast provozu	Zaslat žádost o OkP Vytvořit bezpečnostní analýzu Dodržet bezpečnostní opatření	Vybrat vhodné technické vybavení Zajistit zaškolení posádky a personálu Definovat dopadovou oblast Naplánovat trajektorii letu Určení míst vzletu a přistání
Pilot	Vyhodnotit meteorologické podmínky Získat potřebnou pilotní licenci			
Vizuální pozorovatel	Seznámit se se zamýšleným provozem			
ÚCL	Zajistit bezpečné a efektivní schvalování letů	Posoudit žádost o OkP Vydat OkP		
Bistro				
Bar				

Tyto funkce a jejich hierarchické rozdělení je možné vidět v tabulce číslo 4 a 5. Zároveň byl celý systém rozdělen do podsystémů – *Plánování mise a schválení a provedení mise*. Toto rozdělení bylo zvoleno především kvůli přehlednosti a lepšímu porozumění návaznosti jednotlivých funkcí. Oba podsystémy na sebe navazují, ale vazby mezi podsystémy jsou velmi konkrétní a je jich malé množství. Návaznost funkcí je možné vidět na obrázcích 14, 15, 16.

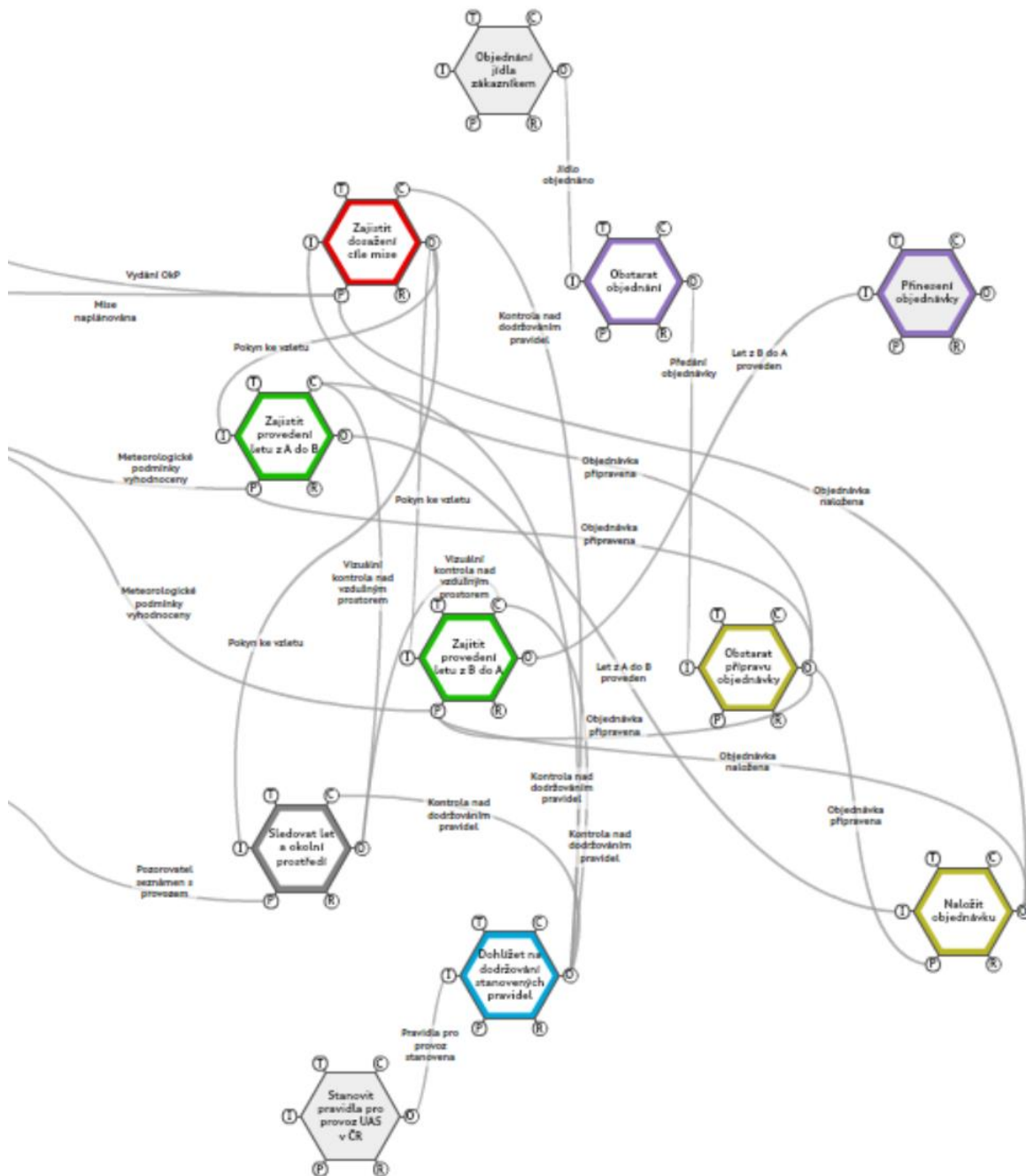
Tabulka 5: Hierarchické rozdělení funkcí podsystému "Provedení mise"

Provedení mise				
Agenti	Funkční účel	Zobecněné funkce	Fyzické funkce	Fyzická a technologická norma
Provozovatel	Zajistit dosažení cíle mise	Rozdat úkoly zapojenému personálu Kontrolovat průběh mise		
Pilot	Zajistit provedení letu z A do B Zajistit provedení letu z B do A	Provést předletovou kontrolu Provést let	Vzlétnout Letět Přistát	
Vizuální pozorovatel	Sledovat let a okolní prostředí provozu	Sledovat okolní vzdušný prostor Komunikovat s pilotem Podávat potřebné informace pilotovi		
ÚCL	Dohlížet na dodržování stanovených pravidel	Provádět kontroly		
Bistro	Obstarat přípravu objednávky Naložit objednávku	Připravit objednávku Přinést objednávku k dronportu	Otevřít přepravní box Vložit objednávku Uzavřít přepravní box Vydat povolení ke vzletu	Otevřít přepravní box Vymout objednávku Uzavřít přepravní box Vydat povolení ke vzletu
Bar	Obstarat objednání Přinesení objednávky	Odeslat objednávku Vyzvednout objednávku Donést objednávku zákazníkovi		

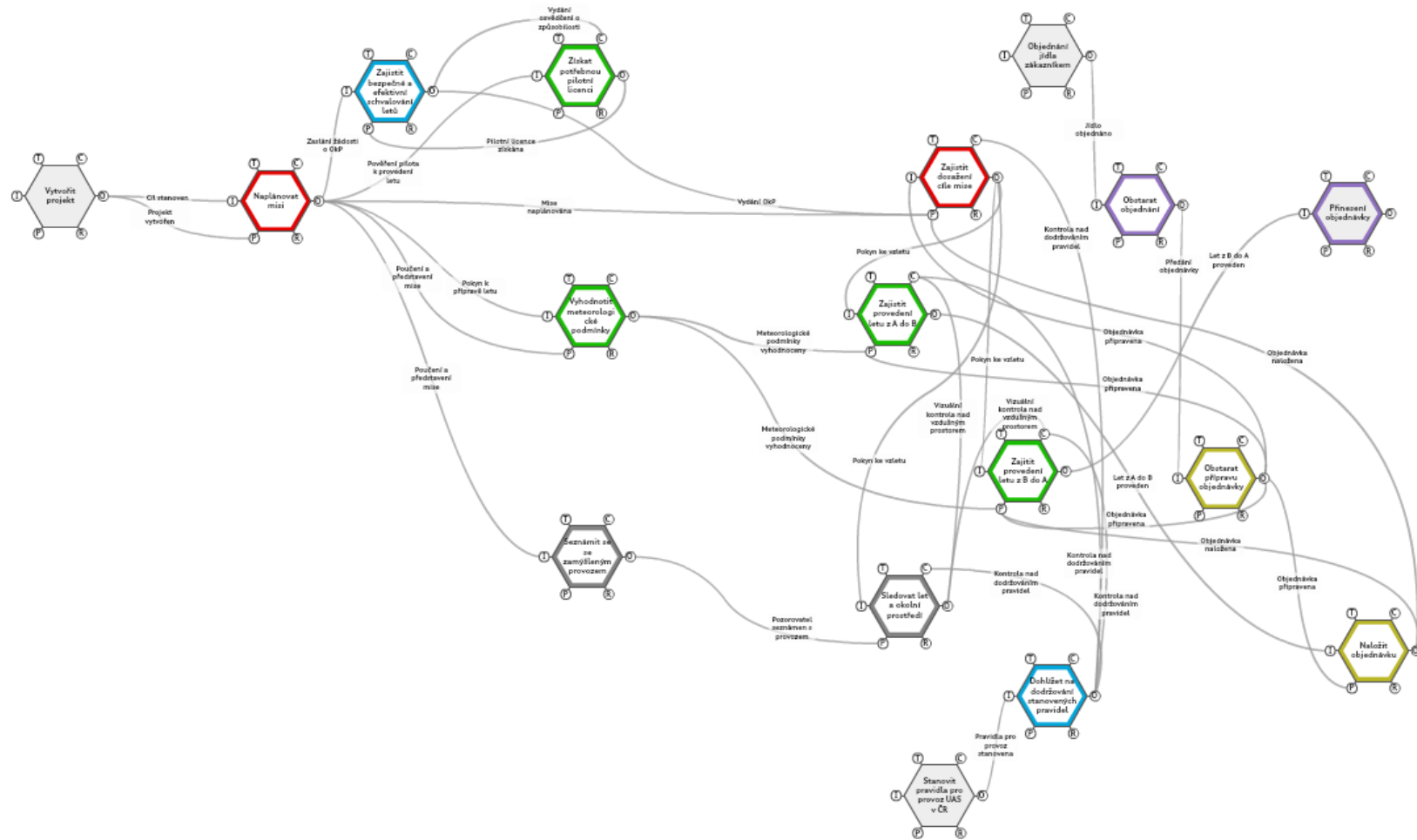
Pro modelování a tvoření metody byla vybrána nejvyšší úroveň z hierarchického rozdělení – funkční účel. Každá z těchto funkcí byla charakterizována pomocí šesti aspektů – Input/Vstup, Precondition/Podmínka, Resources/Zdroje, Control/Řízení, Time/Čas a Output/Výstup. Popis zmíněných aspektů charakterizuje funkční vazby mezi jednotlivými funkcemi. Ty jsou zobrazeny pomocí šestiúhelníků a spojeními mezi Výstupovým vrcholem „upstream“ funkce a jiným vrcholem označující jiný aspekt „downstream“ funkce. Tento model vytvořený v nástroji FRAM Model Visualiser lze vidět na obrázcích číslo 14, 15, 16.



Obrázek 14: FRAM model podsystému "Plánování mise a schválení"



Obrázek 15: FRAM model podsystému "Provedení mise"



Obrázek 16: FRAM model celého systému



Tabulka 6: Funkční vazby

Funkce	Vstup	Výstup	Řízení	Podmínka	Čas	Zdroje
Naplánovat misi	Cíl stanoven	Zaslání žádosti o OkP		Projekt vytvořen		
		Pověření pilota k provedení letu				
		Mise naplánována				
		Pokyn k přípravě letu				
	Poučení a představení mise					
Vyhodnotit meteorologické podmínky	Pokyn k přípravě letu	Meteorologické podmínky vyhodnoceny		Poučení a představení mise		
Získat potřebnou pilotní licenci	Pověření pilota k provedení letu	Pilotní licence získána	Vydání osvědčení o způsobilosti			
Seznámit se se zamýšleným provozem	Poučení a představení mise	Pozorovatel seznámen s provozem				
Zajistit bezpečné a efektivní schvalování letů	Zaslání žádosti o OkP	Vydání osvědčení o způsobilosti		Pilotní licence získána		
		Vydání OkP				
Zajistit dosažení cíle mise	Objednávka připravena	Pokyn ke vzletu	Kontrola nad dodržováním pravidel	Vydání OkP		
				Mise naplánována		
				Objednávka naložena		
Zajistit provedení letu z A do B	Pokyn ke vzletu	Let z A do B proveden	Vizuální kontrola nad vzdušným prostorem	Meteorologické podmínky vyhodnoceny		
			Kontrola nad dodržováním pravidel	Objednávka připravena		
Zajistit provedení letu z B do A	Pokyn ke vzletu	Let z B do A proveden	Vizuální kontrola nad vzdušným prostorem	Meteorologické podmínky vyhodnoceny		
			Kontrola nad dodržováním pravidel	Objednávka připravena Objednávka naložena		
Sledovat let a okolní prostředí	Pokyn ke vzletu	Vizuální kontrola nad vzdušným prostorem	Kontrola nad dodržováním pravidel	Pozorovatel seznámen s provozem		
Dohlížet na dodržování stanovených pravidel	Pravidla pro provoz stanovena	Kontrola nad dodržováním pravidel				
Obstarat objednávku	Jídlo objednáno	Předání objednávky				
Přinesení objednávky	Let z B do A proveden					
Obstarat přípravu objednávky	Předání objednávky	Objednávka připravena				
Naložit objednávku	Let z A do B proveden	Objednávka naložena		Objednávka připravena		



Krok #2

Model FRAM lze použít k pochopení toho, jak může variabilita a změny v prováděných funkcích ovlivnit další funkce, a tím i aktivitu jako celek. Vztah mezi funkcemi může ovlivňovat i jejich chování, tím je míněno, že se mohou navzájem posilovat a snižovat tím variability, nebo obráceně. Definice variability v modelu FRAM je výchozím bodem pro pochopení toho, jak mohou být funkce propojeny a jak to může vést k neočekávaným výsledkům. Proto je ve druhém kroku charakterizována právě variabilita systému.

Obecně rozeznáváme tři důvody pro popsání výstupu funkce jako variabilního:

1. Interní variabilita
 - Variabilita výstupu může být výsledkem variability samotné funkce, tedy důsledkem jedinečnosti nebo charakteru funkce samé.
2. Externí variabilita
 - Variabilita výstupu může být způsobena variabilitou pracovního prostředí, tedy podmínek, za kterých je funkce vykonávána.
3. Spojení Upstream a Downstream funkcí
 - Variabilita výstupu může být také způsobena variabilitou výstupu z Upstream funkcí, které jsou vstupem, řízením, podmínkou, časem nebo zdrojem funkce navazující (Downstream).

Výsledná variabilita funkce může být samozřejmě způsobena také kombinací tří výše popsaných důvodů. V následujícím odstavci jsou popsány variability jednotlivých funkcí, které vznikají v systému definovaném v předešlých krocích (#0 a #1).

Variabilita funkce „Naplánovat misi“

Funkce „Naplánovat misi“ je zařazena do kategorie funkcí organizačních. Jedná se o funkci, která zahrnuje větší skupinu lidí. V rámci projektu BISTRON byla sice velká část projektu řešena především jednou osobou, ale v pokračování projektu i v jiných podobných systémech se očekává sounáležitost větší skupiny lidí. Tato variabilita bude tedy vyhodnocena částečně jako lidská funkce a částečně jako organizační.

Jak lze vidět v tabulce číslo 6, tato funkce má 5 výstupních funkčních vazeb. Zaslání žádosti o OkP; Pověření pilota k provedení letu; Mise naplánována; Pokyn k přípravě letu; Poučení a představení mise. Tyto vazby jsou dále vstupy a podmínkami pro funkce další. Pokud dojde k nějaké výchylce v rámci této funkce, následné Downstream funkce mohou být ovlivněny



a provedeny špatně, případně vůbec, což může vést v krajním případě až k rozpadu návaznosti celého systému a degradaci možnosti uskutečnit plánovaný projekt. Špatné provedení může případně vést i k zásadnímu bezpečnostnímu riziku.

Například špatné, neúplné nebo pozdní odeslání žádosti o OkP by způsobilo nemožnost provést další nezbytné funkce systému, nebo by byly provedeny bez oprávnění, což by mohlo vést k zásadním problémům souvisejících s legislativou a případnými následky a postihy. V rámci plánování mise a vyplňování žádosti o OkP jsou definována veškerá rizika a faktory ovlivňující bezpečnost. Pokud jsou ovšem některé přehlídny, nemusí být odhaleny Úřadem v rámci schvalovacího procesu a oprávnění může být vydáno bez popsání všech rizik. To může vést k podcenění příprav nebo ochranných opatření v rámci další fáze projektu. Bezpečnost je tedy v rámci OkP řešena, ale není důsledně kontrolována. Pokud bude v OkP popsáno prostředí jinak, než jaké je ve skutečnosti, hodnocená bezpečnost nemusí být relevantní.

Tuto logiku lze uplatnit v rámci popisu variability této funkce i pro další funkční vazby. Pokud bude mise naplánována nedostatečně nebo nesprávně, absence kontrolních prvků mohou zapříčinit vysokou míru variability. V tomto případě lze variabilitu této funkce popsat na základě kategorizace jako variabilitu interní a zároveň spojení Upstream a Downstream funkcí.

Variabilita funkce „Zajistit dosažení cíle mise“

Tato funkce je prováděna provozovatelem a její výstup „Pokyn ke vzletu“ je vstupem pro další tři funkce – Zajistit provedení letu z A do B; Zajistit provedení letu z B do A; Sledovat let a okolní prostředí. Skutečnost, která výrazně zvyšuje variability této funkce, je také to, že podléhá několika podmínkám a řízením. Již na základě tohoto popisu funkce je možné určit, že se jedná o kombinaci všech tří kategorií – interní i externí variabilita a zároveň spojení Upstream a Downstream funkcí. Oproti funkci „Naplánovat misi“ má tato funkce výrazně více podmínkových vazeb, a proto je zvýšena externí variabilita.

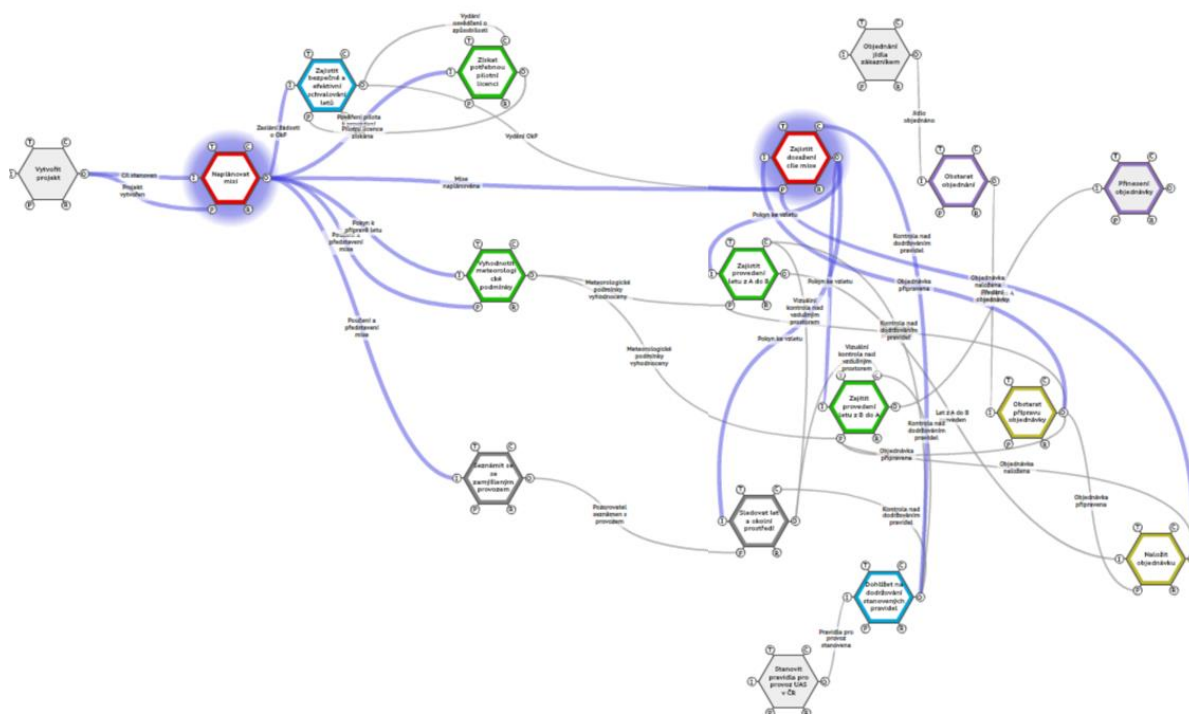
Jedná se především o lidskou funkci, i když stejně jako v předešlém případě by se mohlo do budoucna jednat o funkci organizační. V tomto případě se ovšem počítá spíše s jednou osobou, která bude funkci vykonávat přímo v reálném čase. Pokyn ke vzletu je vydáván pilotovi. Samotná akce nevyvolává variabilitu, pokud je provedena po splnění všech podmínek. Pokud ovšem dojde k nesplnění určitých vstupních podmínek nebo bude podceněna řídicí vazba, může dojít k pokynu ke vzletu moc brzy nebo ve chvíli, kdy není zajištěna celá situace

v rámci prostředí projektu, což by mohlo vést ke vzniku variability, a tedy bezpečnostním rizikům.

Krok #3

Třetím krokem je definování funkční rezonance v systému. Tu je možné popsat na základě závislostí či vazeb mezi funkcemi vzhledem k jejich potenciální nebo skutečné variabilitě. Funkce „Naplánovat misi“ a „Zajistit dosažení cíle mise“ se navzájem ovlivňují a provedení první funkce má vliv na průběh provádění funkce druhé. Stejně tak se ovlivňují i vzniklé variability, kdy zvýšená variabilita u první funkce zvyšuje variabilitu funkce druhé.

Mezi funkcemi existuje vazba s názvem „Mise naplánována“. Tato vazba je výstupem z funkce první a podmínkou pro funkci druhou. Pokud tedy výstup z „Upstream“ funkce je variabilní, tato variabilita vstupuje do „Downstream“ funkce v podobě podmínky. Zvyšuje se tím variabilita funkce druhé, a tím vzniká funkční rezonance. Model FRAM vytvořen v této práci nám tedy umožňuje jasně definovat funkční rezonanci v systému mezi výše popsanými funkcemi.



Obrázek 17: Funkční rezonance v popisovaném systému



Na obrázku č. 17 jsou zvýrazněny funkce, u kterých vzniká variabilita a všechny vazby, které jsou s těmito funkcemi spojeny. Tento obrázek dokazuje tak zvaný „coupling“ (spojení) mezi popisovanými funkcemi a přímé ovlivnění „Downstream“ funkcí a vznik funkční rezonance.

Krok #4

V tomto kroku je zapotřebí vypracovat doporučení, jak monitorovat a řídit variabilitu. Buď snížením variability, která může vést k nežádoucím výsledkům, nebo zvýšením variability, která může vést k požadovaným výsledkům.

Ke snížení variability, která vede k nežádoucím výsledkům, může dojít u obou zmiňovaných funkcí. U první funkce „Naplánovat misi“ by neefektivnějším snížením variability byla opětovná kontrola veškeré podpůrné dokumentace a plánů více lidmi. Jedná se především o to, že odhalení chyb v rámci plánování je jednodušší při větším počtu zapojených osob. Pokud by plánování probíhalo v týmu tak, aby veškeré plány a dokumentace byly řádně prokonzultovány napříč celým týmem i se zapojenými stranami, mohla by se snížit variabilita, která by vedla k přehlédnutí chyb. Více lidí v týmu by zároveň mohlo vést ke zvýšení variability v rámci organizačního chodu týmu. Přesto by více lidí plánujících misi mělo spíše pozitivní dopad na snižování variability, pokud bude dbáno na kvalitní a častou komunikaci mezi jednotlivými členy a důslednou vzájemnou kontrolu jednotlivých plánů a kroků.

Dalším doporučením ve vztahu k první funkci je zřetelná komunikace záměru se všemi zapojenými stranami. Zajištění toho, že veškerí činitelé rozumí přesně zamýšlenému plánu, a mohou tedy zodpovědně vykonat vlastní povinnosti, je považováno za zvýšení variability, která může vést ke kýženým výsledkům. Tím je míněno, že veškeré zapojené strany provedou samy více jasných a konkrétních přípravných kroků k tomu, aby došly ke společnému konsenzu a umožnily bezpečný provoz. Vzhledem k nastaveným podmínkám například v rámci ÚCL, které jsou popsány v této práci, se jedná tedy o snahu předat vlastní záměr, ale zároveň ho formulovat pomocí nástrojů, které ÚCL nabízí tak, aby nedošlo k opomenutí žádných důležitých faktorů.

U druhé funkce „Zajistit dosažení cíle mise“ platí úplně stejná logika jako je popsána v předešlém odstavci u první funkce. Větší tým lidí a důslednější kontrola jednotlivých kroků by zásadně snižoval prostor pro chyby, a tím snižoval variabilitu této funkce. V tomto případě by také pomohlo přesné delegování jednotlivých kroků projektu na určité členy. Ti se potom mohou soustředit na správné provedení jednotlivých úkonů a věnovat plnou pozornost svému



úkolu. Vzhledem k výstupní vazbě „Pokyn ke vzletu“ se v tomto případě jedná především o kontrolu všech podmínečných funkcí a toho, zda byly provedeny správně a zda pokyn ke vzletu může být vydán.

Předešlá doporučení se týkají především toho, jak variability řídit. Je důležité ale také definovat, jak variabilitu monitorovat. K tomu je vhodné doporučit pečlivé rozebrání již provedených letů. Minimálně ze začátku spuštění provozu je zapotřebí po každém letu bedlivě rozebrat, jak celá mise probíhala, k čemu přesně došlo u jednotlivých „agentů“, a pokusit se z provedeného letu řádně poučit. Na základě této zpětné vazby je pak možné upravit nejen samotný průběh celé mise, ale také definovat a následně aplikovat další možná doporučení pro plánování dalších podobných misí nebo odhalit nesprávně zvolené technické zařízení a navrhnout jeho výměnu. Pečlivé monitorování provedených letů a zpětné vazby zapojených osob mohou výrazně snížit variability obou rozebíraných funkcí.

2.4 Oprávnění k provozu

Pro zamýšlený projekt bylo zapotřebí získat oprávnění k provozu od ÚCL, získat tím povolení legálně provádět zamýšlenou misi a přistoupit k dodržování stanovených pravidel. Možnost žádání a schvalování OkP v rámci provozu ve specifické kategorii je v ČR možné od jara roku 2021. Tato možnost vychází z nařízení Evropské komise 2019/947, které definuje povinnosti schvalovacího úřadu, provozovatelů a pilotů. ÚCL tedy implementovalo dané nařízení do svých procesů tak, aby bylo možné začít provozovat lety v rámci specifické kategorie, a použilo k tomu zmíněných pravidel a nově stanovených postupů.

Veškeré potřebné informace pro podání žádosti o OkP jsou k nalezení na oficiálních stránkách Úřadu [63], kde je možné také stáhnout veškeré potřebné dokumenty pro přípravu. Pro usnadnění ze strany ÚCL byly vytvořeny jednotlivé formuláře, které musí provozovatel vyplnit, aby mohl úspěšně podat žádost. Jedná se o 6 formulářů:

1. CAA/F-SP-046-0/2020

- Formulář vyplněný pro žádost o OkP v příloze A.
- V rámci tohoto formuláře je zapotřebí vyplnit především informace o bezpilotním letadle, které má být v rámci mise použito. Zároveň je také zapotřebí určit předdefinované posouzení rizika (PDRA) a popsat, zda bude na začátku provozu sjednáno pojistné krytí a zda je k dispozici provozní příručka.

2. CAA/F-SP-048-n/2020



- Formulář vyplněný pro žádost o OkP v příloze B.
 - Tento formulář kromě úvodních základních informací o provozovateli a pilotovi/tech kopíruje postup stanovený metodikou SORA. Informace z podrobně zpracované SORA v kapitole 3.3.4 tedy lze vepsat do tohoto formuláře. Nejprve je zapotřebí definovat dopadovou oblast, poté určit GRC a ARC a výsledný SAIL.
3. CAA/F-SP-083-0/2021
- Formulář vyplněný pro žádost o OkP v příloze C.
 - Tento formulář slouží k deklaraci provozovatele o ochraně osobních údajů. Jsou v něm řešena opatření k zajištění ochrany osobních údajů a popis rizik s touto problematikou spojených.
4. AA/F-SP-049-0/2020
- Formulář vyplněný pro žádost o OkP v příloze D.
 - Tato příloha slouží k přehledné rekapitulaci důležitých pravidel v rámci provozu v jednotlivých zeměpisných zónách a zároveň k popisu potřebných cílů provozní bezpečnosti pro třídy SAIL I a SAIL II.
5. Koncepce provozu (ConOps)
- ConOps vyplněný pro žádost o OkP v příloze E.
 - Tento nejrozsáhlejší dokument slouží k přesné definici provozního záměru. Zároveň je v něm však popsána celá bezpečnostní politika provozovatele, standardní a nouzové postupy, detailní popis UA, jeho limitů a další. Tímto dokumentem provozovatel deklaruje, že bude dodržovat postupy stanovené v rámci celého ConOps, dokazuje Úřadu dostatečnou znalost problematiky a připravenost provádět určenou misi.
6. Operational Manual (OM)
- Tento dokument je rozšířením předešlého ConOps pro mise, které míří na specifickou úroveň zabezpečení a integrity SAIL II a vyšší. V rámci případové studie BISTRON tedy není vypracován, neboť byl pro tento projekt stanoven SAIL úrovně I.

2.4.1 Postup při tvorbě žádosti o OkP

Na základě průběžných připomínek a komunikace s ÚCL, popsané v předešlé podkapitole, byla průběžně vytvářena žádost o OkP. Prvním krokem byla registrace provozovatele, kterou se stala právnická osoba Divadlo Jitka78. Následovala tvorba ConOps, v rámci kterého bylo



zapotřebí mimo jiné správně definovat zamýšlený provoz. Provoz byl rozdělen do více oddělených prototypů letů se zvyšující se mírou rizika. Šlo o následující lety:

1. Zkušební manuální VLOS let s „malým dronem“

- Hlavní charakteristiky letu:
 - VLOS let
 - Manuální pilotáž
 - Využití „malého letadla“ – DJI Mini 2
- V rámci tohoto zkušebního letu jde o první zkoušky pro následující kroky projektu. Cílem je především nafocení dané situace a ověření správnosti všech údajů v zaslaných dokumentech Úřadem pro civilní letectví. Jedná se o nejjednodušší formu letu v daném území.

2. Zkušební manuální VLOS let s „větším dronem“ se zatížením

- Hlavní charakteristiky letu:
 - VLOS let
 - Manuální pilotáž
 - Využití „většího letadla“ – DJI MATRICE 300 RTK
 - Přidané zatížení
- V rámci tohoto zkušebního letu jde o další zkoušky pro následující kroky projektu. Cílem je především ověření správnosti všech údajů v zaslaných dokumentech Úřadem pro civilní letectví a demonstraci letu s letadlem se zatížením. S tímto letem se pojí zvýšení třídy rizika na zemi, které bude muset být řádně řešeno a pro které budou muset být použita určitá nová nápravná opatření.

3. Zkušební manuální BVLOS let s „malým dronem“

- Hlavní charakteristiky letu:
 - BVLOS let
 - Manuální pilotáž



- Využití „malého letadla“ – DJI Mini 2
 - V rámci tohoto zkušebního letu jde o další zkoušky pro následující kroky projektu – cílem je především ověření správnosti všech údajů v zaslaných dokumentech Úřadem pro civilní letectví. Pro tento let bude specifická forma letu BVLOS. Jedná se tedy o let v noci, který přináší nová rizika a potřebná opatření. Ta budou řádně vypočtena pomocí analýzy SORA a bude na ně přiměřeně reagováno.
4. Zkušební manuální BVLOS let s „větším dronem“
- Hlavní charakteristiky letu:
 - BVLOS let
 - Manuální pilotáž
 - Využití „většího letadla“ – DJI MATRICE 300 RTK
 - V rámci tohoto zkušebního letu jde o další zkoušky pro následující kroky projektu. Cílem je především ověření správnosti všech údajů v zaslaných dokumentech Úřadem pro civilní letectví. Pro tento let bude specifická forma letu BVLOS. Jedná se tedy o let v noci, který přináší nová rizika a potřebná opatření. Ta budou řádně vypočtena pomocí analýzy SORA a bude na ně přiměřeně reagováno.
5. Zkušební manuální BVLOS let s „větším dronem“ se zatížením
- Hlavní charakteristiky letu:
 - BVLOS let
 - Manuální pilotáž
 - Využití „většího letadla“ – DJI MATRICE 300 RTK
 - Přidané zatížení
 - V rámci tohoto zkušebního letu jde o další zkoušky pro následující kroky projektu. Cílem je především ověření správnosti všech údajů v zaslaných dokumentech Úřadem pro civilní letectví. Pro tento let bude specifická forma letu BVLOS demonstrace letu s letadlem se zatížením v noci. S tímto letem se pojí zvýšení třídy rizika na zemi, které bude muset být řádně řešeno a pro který



budou muset být použita určitá nová nápravná opatření. K nim bude řádně provedena nová SORA analýza.

6. Zkušební automatický VLOS let s „větším dronem“ se zatížením

- Hlavní charakteristiky letu:
 - VLOS let
 - Automatická pilotáž
 - Využití „většího letadla“ – DJI MATRICE 300 RTK
 - Přidané zatížení

7. Zkušební automatický BVLOS let s „větším dronem“ se zatížením

- Hlavní charakteristiky letu:
 - BVLOS let
 - Automatická pilotáž
 - Využití „většího letadla“ – DJI MATRICE 300 RTK
 - Přidané zatížení

Všechny zmíněné prototypy letů byly v ConOps popsány a ostatní formuláře byly vyplněny podle prvního z letů, ke kterému byla žádost o OkP podávána. Další formuláře byly vyplněny podle předloh poskytnutých Úřadem a byly do nich doplňovány pouze faktické informace a předem vytvořená metodika SORA.

Pro další postup v rámci projektu tedy bylo zapotřebí vždy aktualizovat žádost o OkP o další prototyp letu v jedné části dokumentu ConOps a upravit dva ze 4 formulářů tak, aby obsahoval správné informace. Schválení první a druhé žádosti tedy umožnilo ujistění se o správnosti většiny dokumentace, která je opakovaně používána pro celý projekt.

2.4.2 Komunikace s ÚCL

Při ujasňování záměru celého projektu BISTRON bylo rozhodnuto vyvinout maximální snahu o srozumitelnou a přehlednou komunikaci s ÚCL ze strany autora této práce. Při první telefonické komunikaci s ředitelem Odboru vnějších vztahů a speciálních činností Ing. Viktorem Nathem byl představen celý záměr a ředitel byl vyzván, aby naznačil, jaký postup



schvalovacích procesů by byl pro ÚCL nejpříjemnější, tak aby došlo ke vzájemnému pochopení. Celý záměr byl přijat velmi pozitivně a byl navržen postup, který by mohl umožnit zjednodušení celého procesu. Pan ředitel zmínil důležitost řádného popisu koncepce provozu a návrhu realizace. Také připustil myšlenku zkušebnímu letu v jiném místě, které by umožnilo snížení GRC a následný přesun do místa záměru. Závěrem celé komunikace byl návrh zaslání předběžné koncepce provozu na podatelnu ÚCL tak, aby se k ní mohl Úřad vyjádřit dříve než ve správním řízení. Vznikl by tím prostor pro předběžné konzultace a možnost případných úprav.

Na základě této telefonické komunikace byl podrobně vytvořen ConOps, který lze vidět v příloze E, byl zaslán na ÚCL s žádostí o konzultaci a s nabídkou případného doplnění jakýchkoliv informací a případné prezentace záměru.

Po vyplnění a odeslání první verze žádosti začalo správní řízení, ve kterém má Úřad 30 dní na vyřízení žádosti. V rámci usnesení o přerušení bylo Úřadem napadnuto několik částí celé žádosti, a tím bylo správní řízení přerušeno, tak aby bylo možné doplnit, případně upravit napadené části. Připomínky se týkaly samotného konceptu záměru. Došlo tedy k úpravě žádosti, která ale byla zamítnuta. Při žádosti o slovní vysvětlení bylo autorovi naznačeno, že finální záměr nemá být součástí ConOps, neboť ÚCL není zřejmé, co je zamýšlený let, a tedy hodnocení rizika není dostatečné.

Až po upravení celé žádosti tak, aby vůbec neobsahovala pokročilé záměry, ale pouze samotný zkušební let, bylo získáno OkP, které umožnilo provést první zkušební let.

Popis komunikace s ÚCL umožňuje analyzovat schvalovací procesy a způsob řešení komunikace z pohledu provozovatele žádajícího o OkP. Způsob komunikace a podané informace se lehce liší u každého úředníka, se kterým probíhala nějaká interakce. Stejná žádost se stejným záměrem byla vnímána a hodnocena velice rozdílně, a proto nelze s jistotou říci, zda se jedná o chybu ze strany žadatele, nebo některého úředníka. Na základě těchto faktů je zřejmé, že schvalovací postupy zatím nejsou pevně ukotveny, a proto je složité spravedlivě přistupovat ke všem žádostem o OkP a vyhodnocovat je přesně podle aktuálních pravidel.

Důležitou součástí komunikace s ÚCL byl také report ze zkušebnímu letu, pro který bylo získáno OkP. Tento report slouží Úřadu pro zpětnou vazbu na provedený let. Byl podrobně sepsán a poskytnut tak, aby byly splněny veškeré požadavky, a tím byla zvýšena pravděpodobnost úspěchu v rámci dalších vyjednávání s Úřadem o pokročilých fázích projektu. Celý report je možné vidět v příloze F.



Schvalování dalšího OkP s provozem v pokročilejší části projektu již bylo o mnoho jednodušší, neboť většina dokumentace zůstala nezměněna, a proto už ÚCL nemuselo podrobně hodnotit veškeré informace. Bylo tedy pouze telefonicky ujasněno, o které konkrétní změny v koncepci provozu se jedná (větší UA, přepravní box), a žádost byla schválena.

2.5 Ergonomická přívětivost

V běžném životě je komfort vyhledáván na mnoha rovinách každodenně. Ať už se jedná o procesy, úkony či aktivity pracovní, volnočasové nebo jiné. Komfort totiž značně zvyšuje spokojenost jedince, a tím i spokojenost jeho okolí. Komfortu jako takového je možné dosáhnout různými cestami. I ve sledovaném projektu je třeba se potřebou komfortu vážně zabývat. Tato část práce se zabývá především komfortem ergonomickým. Získáním ergonomické přívětivosti a komfortu se zabývá téměř každý systematicky řešený projekt, který zahrnuje interakci lidského organismu a prostředí, a jinak tomu nebude ani v případě této práce.

U bezpilotního letectví, přestože se jedná o letectví bez pilota na palubě, je ergonomie důležitou součástí řešení problematik v tomto odvětví a nesmí být opomíjeno.

Tato část práce má tedy za cíl analyzovat jednotlivé úkony, procesy a činnosti, ve kterých figuruje určitá osoba nebo tým lidí, a pro zavedení maximální pohody všech účastníků řeší ergonomickou přívětivost systému v daných procesech. K tomu jsou vybrány nejdůležitější subsystemy projektu a jsou analyzovány pro možnost budoucí implementace. Konkrétně se jedná o procesy umístění *dronportů*, ukládání a vyjímání zásilek, předletové přípravy, manuální pilotáže UA a HMI aplikace.

Závěrem kapitoly je zhodnocení popsaných analýz ergonomického přístupu k jednotlivým úkonům a celkové zhodnocení přínosu této práce pro celý projekt. Zároveň by mělo být uvedeno, zda jsou popsané myšlenky aplikovatelné.

2.5.1 Umístění *dronportů*

Pro realizaci projektu bude zapotřebí stanovit a vytvořit oplocené *dronporty*. Ty budou sloužit k naložení zásilky do přepravního boxu a následnému vyložení. K oplocení dojde z důvodu, aby nepovolané osoby neměly přístup k bezpilotnímu letadlu a dalším technologiím u kterých by mohlo dojít k poškození nebo které by mohly zapříčinit újmu na zdraví.



Prostředí *dronportu* bude jedno z hlavních prostředí, kde dojde k silné interakci provozující osoby s technickým rozhraním. V tu chvíli vzniká příležitost pohlížet na procesy vznikající na tomto místě z ergonomického pohledu. V této podkapitole bude rozebrána především samotná lokace a dostupnost daného místa pro obslužný personál. V následujících podkapitolách pak dochází k analýze dalších procesů, které budou probíhat na tomto místě z pohledu ergonomické přívětivosti.

Na pracovištích dochází často ke zvýšené míře stresu. Zvyšování stresu je zapříčiněno řadou různých efektů, které působí na pracujícího. Jinak tomu není ani u pracovních pozic jako je například číšnice či číšník [51]. V případě projektu BISTRON zatím není jednoznačně rozhodnuto, zda vyzvedávání jídla bude mít na starosti přímo číšník, který bude také obsluhovat, nebo zda bude určen speciální pracovník pouze pro tuto aktivitu. Pro účely této práce je ale možné se od tohoto faktu oprostit, neboť z ergonomického pohledu může u obou těchto osob docházet k podobné zátěži, zvláště v případě silného vytížení celého baru. Pokud bude vysoká návštěvnost, dá se očekávat, že dojde k navýšení objednávek a k většímu vytížení pracovníků. Bude tomu tak právě i u osoby, která bude mít za úkol vyzvednout nebo naložit zásilku.

V návaznosti na fakta zmíněná v předešlém odstavci je možné vydedukovat, že umístění *dronportů* může značně ovlivnit pohodu na pracovišti pro pracovníky. V případě, že cesta k *dronportu* bude zdlouhavá a náročná, bude narůstat tlak na pracovníka, aby objednávku odbavil co nejdříve. Další negativní faktory, které by mohly zhoršovat pohodu pracovníka, jsou následující:

- velká vzdálenost od výdejny/příjmu jídel k *dronportu*;
- nutnost procházení skrze dav nebo mezi přicházejícími lidmi;
- špatný terén na cestě k/od *dronportu*;
- vliv meteorologických podmínek (zima, déšť);
- špatná přístupnost k dronu (nutnost shýbání, natahování, případně špatná viditelnost na všechny prvky systému pro vizuální i fyzickou kontrolu)

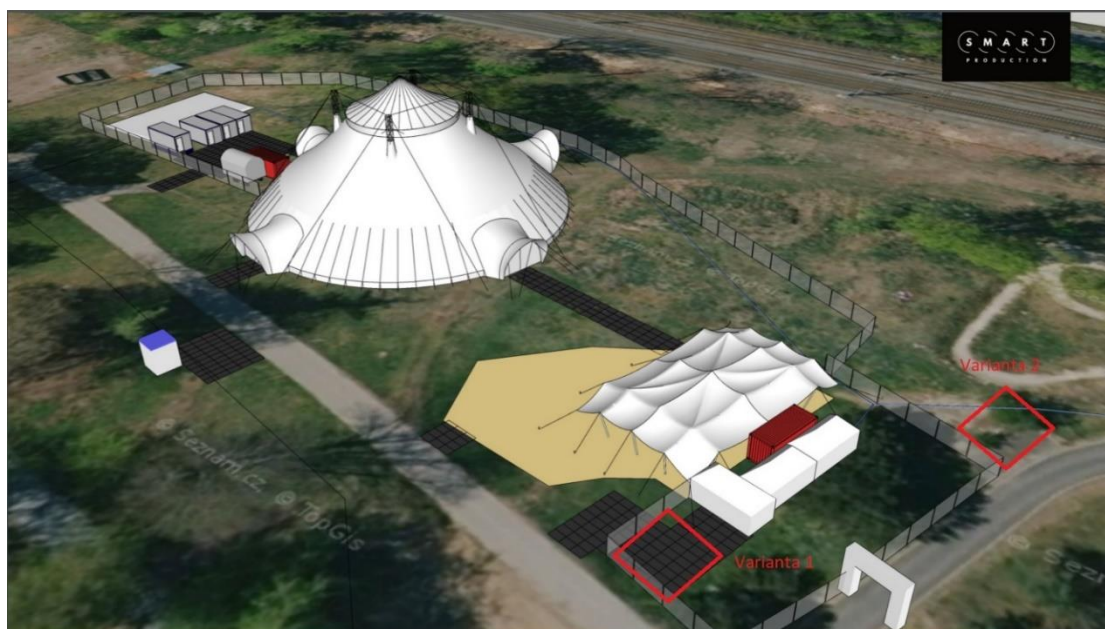
Z druhé strany pozitivní faktory, které by správné umístění mohlo přinášet, a tím zvyšovat pohodu pracovníka jsou tyto:

- krátká vzdálenost od výdejny/příjmu jídel k *dronportu*;
- jednoduchý přístup bez překážek a bez nutnosti křížování se s nezapojenými osobami;

- zastřešený přístup;
- ideální výška dronportu pro jednoduchý přístup, přehlednost a viditelnost všech komponentů celého systému.

Na základě analýzy v předešlých odstavcích bude nyní navržena ideální pozice *dronportu* č. 1 u baru Azylu78 a pozice *dronportu* č. 2 u bistra. Pro výběr pozice budou zváženy výše zmíněné parametry tak, aby pracovník měl co nejkratší a nejpohodlnější cestu k *dronportu*. Pokud by se toto povedlo, bude tím sníženo riziko výskytu selhání při donášce, vyzvedávání a případně dalších úkonech, které bude mít pracovník na starosti. U *dronportu* č. 1 je zároveň třeba uvažovat také pozici technického zázemí, které bude sloužit k výměně baterií, dobíjecí stanici a případně skladování potřebného technického vybavení. K tomuto zázemí, jež bude muset být zastřešeno, bude nutné odepřít možnost vstupu nepovolaným osobám. Zároveň místo samotné bude zabírat určitý prostor v celém rozpoložení objektu, a proto je třeba ho mít na paměti. U plánovaného zázemí platí stejné podklady pro výběr pozice jako pro *dronport* samotný. Přestože není nutné tato dvě místa považovat za identická, je třeba brát v potaz jejich vzájemnou pozici, aby pracovník opět nebyl nucen chodit daleko nebo nepříjemným terénem k tomuto místu.

Z toho důvodu bude pro výběr pozic uvažována velikost *dronportu* č. 1 cca 5x5 metrů a pro *dronport* č. 2 cca 3x3 metrů. Toto rozložení je možné lehce pozměnit, ale zároveň by mělo být klíčové pro rozhodování ohledně umístění.



Obrázek 18: Varianty umístění dronportu č. 1



Obrázek 19: Varianty umístění dronportu č. 2

Jak je vidět na obrázcích č. 18 a 19, byly navrženy dvě různé varianty umístění dronportů. Varianta č. 1 má velkou výhodu, že je umístěna velmi blízko baru a je v oplocené části zázemí pracovníků. Nevýhodou ale je, že je blíže cestě, po které proudí davy přicházejících lidí. Varianta č. 2 je sice o něco vzdálenější a mírně do kopce, je ovšem dále od lidí, a proto by pro operátory mohlo být místo klidnější pro vykonávání činností.

Obrázek č. 19 ukazuje možnosti umístění *dronportu* č. 2. U Bistra je terén o něco homogennější, a proto vzniklé varianty nejsou zásadně rozdílné. V tomto případě tedy rozhodne spíše preference tamějších barmanů.

Po zvážení všech faktorů se zdá být vhodnější varianta 2 pro port č. 1 a varianta 2 pro port č. 2 a to z výše popsaných důvodů.

2.5.2 Vkládání a vyjímání zásilek

Součástí doručovacího procesu bude nakládka a vykládka jídel přímo do/z přepravního boxu. Přepravní box samotný bude nezbytný pro bezpečné uložení a následnou přepravu jídel. Box bude upevněn na samotném letadle a bude k němu mít přístup pouze ověřený personál. S největší pravděpodobností se bude jednat o stejné pracovníky, kteří jídlo k *dronportu* přinesou. Případně k tomu bude vyčleněna konkrétní speciální osoba.

Podoba samotného boxu a veškerých jeho vlastností je velmi ovlivněna přítomností takového zboží na trhu. Vzhledem k tomu, že zatím neexistuje žádný takový produkt, který by byl certifikovaný agenturou EASA, není zároveň kladeno žádné výrazné omezení.



Obrázek 20: Převravní box Loricatus [52]

Z popsaných důvodů byl pro potřeby projektu vybrán přepravní box, který je jako jeden z mála dostupný. Ten je vidět na obrázku č. 20. Přestože výběr na trhu je velmi malý, je na místě řešit ergonomickou přívětivost takového boxu. Především z důvodu, aby byl pro obslužný personál přívětivě obslužitelný a aby nedošlo k nebezpečné situaci, například k uvolnění celého boxu nebo k otevření dveří boxu za letu. K tomu by mohlo dojít špatným mechanickým dovřením nebo nesprávným uzamčením.

Modifikace již zakoupeného boxu může být poměrně náročná a také může mít negativní dopady. Z toho důvodu se zdá nejvhodnější variantou nijak neměnit konfiguraci přepravního boxu a smířit se s ergonomickým řešením, který tak navrhl někdo jiný. Zvláště při již zmíněném nedostatku konkurenčního zboží je obtížné zlepšit ergonomickou přívětivost pro obsluhu boxu. Přesto existují faktory, na které lze při řešení problému myslet:

- Před pořízením boxu je třeba zvážit všechna alternativní řešení. I když je ke srovnání malý počet zboží a do hry při rozhodování vstupuje řada parametrů (cena, velikost, váha, dostupnost atd.), zdá se být klíčové uvažovat ergonomickou přívětivost jako jeden z hlavních rozhodujících faktorů.



- Je důležité řádné nastudování všech funkčních prvků zakoupeného boxu a velmi podrobné zaškolení obslužného personálu. Pracovník musí být řádně seznámen s ideálními postupy při zacházení s boxem a je třeba mu zdůraznit důležitost všech úkonů – odemčení, otevření, vyložení, naložení, zavření, zamknutí, kontrola. Pokud bude pracovník znát celý proces a bude sám přesvědčen, že úkony plní správně podle pravidel používání, snižuje tím riziko výskytu ztrátové události.

Jak již bylo zmíněno výše, s přepravním boxem se váže 7 hlavních úkonů. U každého z nich budou popsány hlavní úvahy o ergonomické přívětivosti.

1. Odemčení boxu

- Odemčení boxu bude probíhat povolením aretace dvířek. Tento úkon by neměl být nijak náročný a špatné provedení by nemělo mít za následek žádné nebezpečí.

2. Otevření boxu

- Otevření boxu by opět neměl být náročný úkon. Po jednoduchém uvolnění dvířek pootočením může být box otevřen. Pracovník bude muset být při otevírání opatrný, aby z boxu nevypadlo přepravované jídlo. To totiž mohlo být špatně naloženo nebo se mohlo v boxu v průběhu letu posunout. Pokud by pracovník na tento fakt zapomněl a box otevřel rychle, mohlo by dojít ke znehodnocení zásilky, a tím k peněžní ztrátě a zvýšení stresu pracovníka.

3. Vyložení jídla

- Při vykládání jídla je třeba dbát na snahu neznehodnotit přepravovanou zásilku. Tím je myšleno ji nijak nenaklánět, neprotrhnout obal nebo ji neupustit na zem. Zároveň musí být pracovník opatrný, aby neznehodnotil box nebo celé letadlo. To by se mohlo stát v případě, že by byla zásilka vyložena zbrkle, pracovník by mohl zavadit o částí dronu nebo například ohnout dvířka boxu. Je tedy zapotřebí seznámit pracovníka s křehkostí jednotlivých součástí celého systému a upozornit na možná rizika.

4. Naložení jídla

- Naložení jídla je v mnoha ohledech podobné předešlému bodu – vyložení, především co se týče poškození zásilky, boxu nebo letadla. Přidaný stres by mohl vzniknout z lehce vyšší náročnosti úkonu. Při nakládání musí totiž



pracovník dbát na správné uložení zásilky. Tím je myšlena snaha o rovnoměrné rozmístění. Nejen tak, aby nebyla zásilka příliš blízko dvířkám, a mohla tak po otevření boxu vypadnout, ale také aby došlo k rovnoměrnému zatížení letadla. Mohlo by pak totiž dojít ke zhoršení letových vlastností a v krajním případě k havárii. Zároveň je třeba dbát na fakt, že celý bezpilotní systém má nějakou maximální nosnost, která nesmí být překročena. Bude tedy odpovědností pracovníka, aby při tomto úkonu zkontroloval, zda hmotnost jídla nepřekračuje daný limit.

- Veškerým rizikům spojeným s tímto úkonem lze předcházet řádným vyškolením pracovníka, občasnou kontrolou a nepřetěžováním. Zároveň je důležité pracovníkovi zdůraznit, že při velmi vytiženém stavu může nastat situace, kdy by bylo vhodné převést najednou více zásilek. Mnohem důležitější je ale v tomto případě bezpečnost než čekací čas zákazníka. Tato myšlenka by měla být pracovníkovi opakovaně zdůrazňována, aby nenaložil více jídla, než může systém bezpečně unést.

5. Zavření boxu

- Tento úkon spočívá pouze v pootočení dvířek do správné polohy. Při nesprávném provedení úkonu by mělo být znemožněno provést úkon následující. Nejedná se tedy o nijak náročný proces. Pokud by však byl proveden nesprávně a při následujících úkonech by nebyla závada zjištěna, mohlo by to mít fatální následky. Mohlo by totiž při letu dojít k otevření boxu a vypadnutí zásilky. Z toho důvodu je opět třeba řádně obeznámit pracovníka s důležitostmi správného provedení.

6. Zamčení boxu

- Pro zamčení bude třeba užít plastovou aretaci. Špatné provedení úkonu má velký vliv na bezpečnost provozu. I zde je zapotřebí pracovníka řádně poučit.

7. Kontrola

- Úkon spočívá v kontrole provedení předešlých kroků, tedy zda je vše správně naloženo a dvířka jsou správně zavřena a zamčena. Zároveň bude nutné zkontrolovat připevnění boxu k dronu. Tato kontrola musí být provedena před každým vzletem a je nesmírně důležitá. Dotykem a pohledem bude zkontrolováno dotažení všech šroubků a správné zajištění.



Může se zdát, že výše zmíněné úkony se zdají být velmi jednoduché a samozřejmé. Jejich poslušnost a velmi časté opakování ovšem může vést ke zvyšování nepozornosti pracovníka a pak i takto jednoduché úkony mohou být provedeny špatně. I z toho důvodu jim byla v této práci věnována pozornost.

2.5.3 Předletová příprava

Předletová příprava a kontrola je zásadním úkonem pro bezpečné provedení letu. Podléhá mnohým předpisům (například Nařízení Evropské komise 2019/945 [3]) a její provedení je poměrně rozsáhlé. Celý postup musí být řádně a přesně stanoven a zodpovědná osoba (pilot) musí postupy velmi dobře znát a správně je provádět.

Vzhledem k tomu, že znalostmi těchto postupů je podmíněno samotné získání pilotní licence, je tato povinnost přenesena na samotného pilota a ne přímo na organizátora celého projektu. I z toho důvodu v této práci nebude podrobně popsán každý úkon, neboť je proces popsán v jiných dokumentech, které slouží k získání Oprávnění k Provozu od ÚCL. Bude zde však stručně nastíněno provedení hlavních bodů této kontroly a zdůrazněna ergonomická přívětivost. Tři hlavní body předletové přípravy a kontroly jsou následující:

1. Kontrola otáčivých prvků, vrtule, motorů, gimbalu
 - Pilot vizuálně a pohmatem zkontroluje všechny otáčivé prvky, zkontroluje upevnění akumulátorů i snímacího zařízení.
2. Kontrola RC vysílače
 - Kontrola prováděna po zapnutí.
3. Stav pohonných akumulátorů
 - Stav akumulátorů se kontroluje na nabíječce, případně jednoduchým testerem. Rovněž může být akumulátor vybaven vlastním testerem.
 - Na UAS se připojují POUZE plně nabitě akumulátory.
 - Plně nabitý akumulátor má napětí 3,85 V/článek (dle nastavení nabíječe).

Veškeré zmíněné i nezmíněné kroky v rámci předletové přípravy a jejich ergonomická přívětivost velmi záleží na typu použitého letadla. Každé letadlo vyžaduje lehce odlišný přístup. I z toho důvodu je v rámci dokumentu ConOps v příloze E podrobně popsáno každé UA, se kterým je zamýšlený provoz, tak aby se příslušný pilot mohl seznámit se všemi prvky a správně

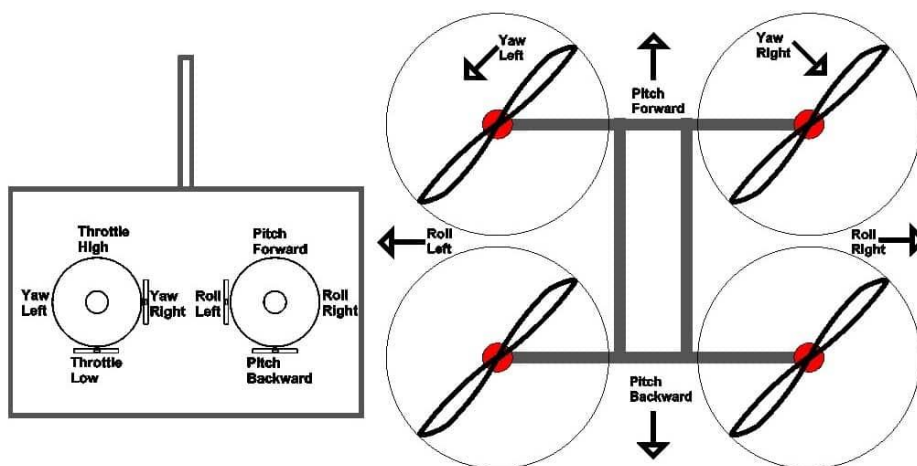


provést celou přípravu a kontrolu. V rámci projektu BISTRON bude pouze důležité zařídit, aby měl pilot na tento úkon vždy dostatek času a necítil tlak ze strany organizátorů. To by mohlo vést k odbytí kontroly a k následnému nebezpečí.

2.5.4 Manuální pilotáž UA

Celý popisovaný projekt má různé úrovně automatizace. Tyto úrovně záleží především na časovém rozložení implementace projektu do reálného prostředí. Vzhledem k náročnosti legislativních povolení byl zvolen postup postupného zvyšování automatizace v jednotlivých procesech. Prakticky to znamená, že první zkušební lety budou probíhat plně manuálně. V dalších etapách projektu se bude přistupovat k vyšším stupňům automatizace a v ideální finální podobě budou jednotlivé procesy plně nebo částečně automatizované. Kromě objednávání, přeposílání objednávek a celkové komunikace se jedná především o provedení letu. Ten by měl být ve finální verzi prováděn pouze za pomoci softwarového zařízení, které umožní uskutečnit let na předem naprogramované trajektorii pouhým povolením vzletu. V této kapitole bude ovšem rozebrána ergonomická přívětivost manuální pilotáže.

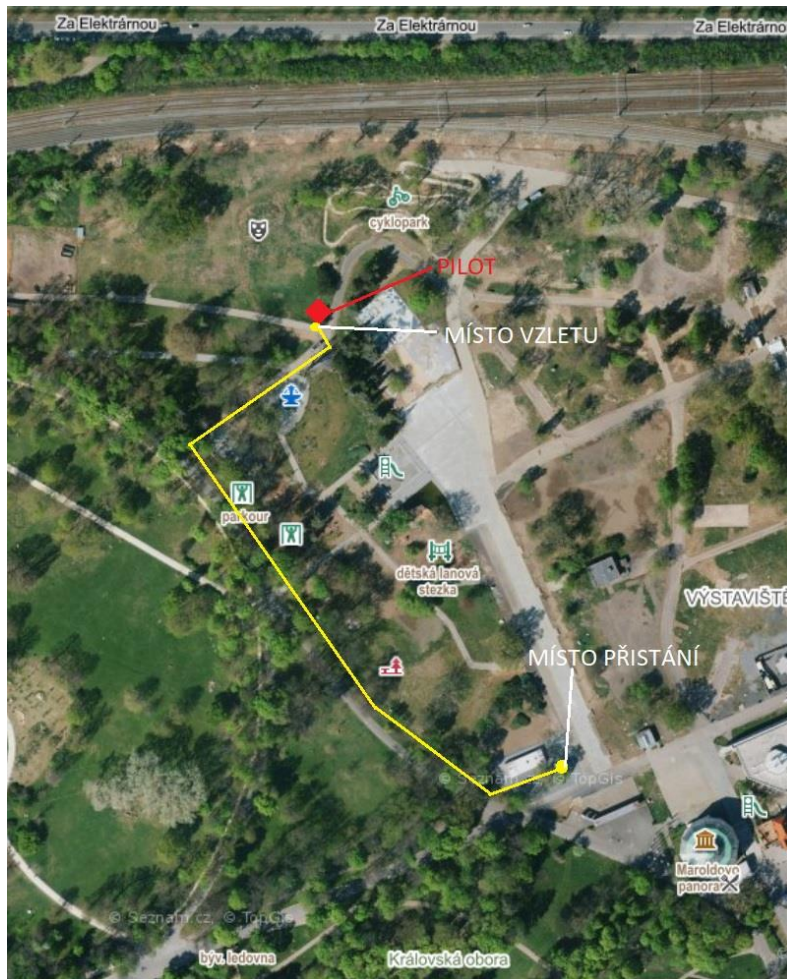
Jak je výše zmíněno, bude brán v potaz let, který je pilotován manuálně přímo na místě provozu vyškoleným pilotem vlastním potřebné osvědčení. Na takového pilota působí nemálo vlivů a samotné pilotování by mohlo být z ergonomického hlediska rozebráno velmi podrobně a mohla by se mu věnovat celá práce. Této problematice se také věnuje velké množství kvalitních studií. Například článek od profesora Alan Hobbs rozebírá ergonomii z pohledu pilotů bezpilotních letadel, která létají ve vyšších hladinách. Jedná se tedy spíše o vojenská letadla, ale jak sám autor zmiňuje, velké množství poznatků je aplikovatelných i na piloty menších zařízení [53]. Jiný výzkum od autora Spravka se zase věnuje identifikaci některých kritických složek nových přístupů lidského faktoru pro hodnocení UA HMI a porovnává je s přístupy tradičně používanými k hodnocení pilotovaných leteckých prostředků [54]. I z důvodu kvalitních existujících výzkumů bude tedy tato problematika nastíněna poměrně stručně.



Obrázek 21: Dálkové ovládání - příklad [55]

Na obrázku č. 21 je možné vidět příklad dálkového ovládání. Fyzická ergonomická pohodlnost takového přístroje je bezpochyby velmi důležitá a celkově velmi ovlivňuje kvalitu odvedené práce pilotem a jeho psychickou i fyzickou pohodu. V této práci bude ale spíše provedena analýza dalších vlivů, které jsou neobvyklé v prostředí pražského Výstaviště. Je zřejmé, že existuje mnoho faktorů, jež budou ovlivňovat piloty vždy nehledě na prostředí, ve kterém létají. I s těmi je třeba v rámci celého projektu pracovat. Pro potřeby této práce nebudou však rozebrány detailně.

Pro představu o širší situaci v okolí pilota bude uvažováno, že se v průběhu pilotování pilot nachází na místě vyznačeném na obrázku č. 22 a trajektorie letu bude odpovídat žluté čáře vyznačené na stejném obrázku.



Obrázek 22: Pozice pilota a trajektorie letu

Podle vyznačené předpovídané pozice pilota a trajektorie letu je možné usoudit několik faktorů, které budou hrát roli v psychické pohodě pilota a celého týmu zapojených lidí.

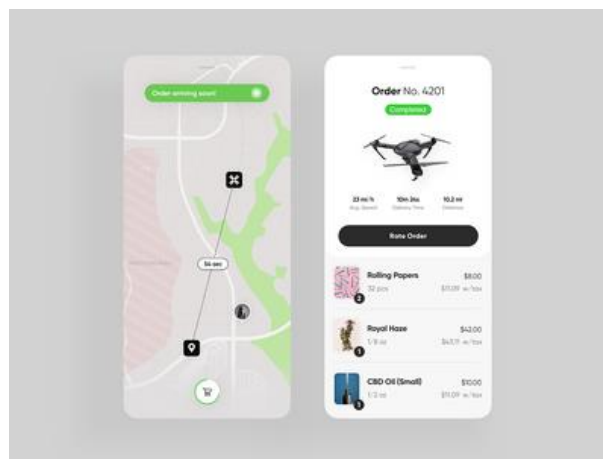
Prvním takovým faktorem bude obecně fakt, že se let uskutečňuje na místě, kde mohou volně procházet lidé. V případě havárie je tedy větší pravděpodobnost, že by padající letadlo mohlo někomu způsobit újmu na zdraví. To už je obecně tlak na pilota, který tedy ví, že jeho případná chyba by mohla být fatální.

Druhý faktor částečně souvisí s tím předešlým. Trajektorie letu se nachází v oblasti hřišť, kde je větší výskyt dětí či mladistvých. Děti mohou být obecně méně pozorné a v případě, že by došlo k pádu letadla, by takovou situaci nemusely, oproti dospělým, zaregistrovat. Zároveň může hrát tento faktor roli i na psychiku pilota z pohledu pocitu, že ublížení dítěti může být bráno eticky hůře.

Třetí a neméně důležitý faktor je ten, že vzhledem k porostu není z pozice pilota vidět na letadlo při finální části letu, tedy při přistání u bistra. Stejně tak potom při vzletu při cestě zpět. Je velmi pravděpodobné, že z důvodu snížení rizika bude let prováděn za přítomnosti tzv. *vizuálního pozorovatele*, který bude společně s pilotem pozorovat letadlo z jiného místa tak, aby bylo letadlo vždy na očích alespoň jednomu z nich. Vizualní pozorovatel s pilotem mají v takovém případě možnost komunikace skrze vysílačku nebo mobilní telefon. Taková komunikace může být často dalším rozptýlením pro již tak vytíženého pilota. V každém případě je tedy důležité uvažovat, zda je pro pilota ergonomicky přijatelnější vykonávat let tzv. mimo vizuální dohled nebo zda je lepší rozšířený provoz na vizuální dohled s využitím vizuálního pozorovatele. Tato skutečnost pravděpodobně bude určena především podmínkami stanovenými v legislativních předpisech komunikovaných ÚCL.

2.5.5 HMI aplikace

Oproti předešlé podkapitole, kde byl řešen manuální let, ke kterému se bude v rámci projektu uchýlovat především v prvotních etapách projektu, v této podkapitole bude řešena již pokročilejší fáze. Ve finální části projektu je v plánu vyvinout aplikaci, která bude napomáhat několika úkonům celého procesu. Některé by měla dokonce nahradit.



Obrázek 23: Ilustrační obrázek aplikace

Tato aplikace by měla sloužit pro personál, a to především pro číšníky a všechny operátory bezpilotního doručování. Na jedné straně aplikace by byl bar u divadla a skrze ni by komunikoval s bistroem. V případě, že by si někdo objednal pokrm, který by měl být doručován bezpilotním letadlem, zadá barman objednávku do systému aplikace. V bistru se



objednávka zobrazí a pokrm může být připraven. Jakmile je připraven, bistro pomocí aplikace ohlásí, že je připraven k odeslání (případně více pokrmů najednou). V tu chvíli se operátorovi UA zobrazí, že dron může vzletět. Provede se potřebná předletová kontrola a kliknutím na tlačítko v aplikaci se provede pokyn ke vzletu. Letadlo přeletí po naprogramované trajektorii k bistru a systém sám ohlásí pomocí aplikace, že dron přistál. Může dojít k naložení a po předletové kontrole se dron pomocí aplikace opět pošle zpět.

Cílem aplikace je především maximální jednoduchost a uživatelská přívětivost, která umožní všem zapojeným osobám velmi přehledný jednoduchý systém na kontrolu a řízení. Vlastnosti, které by aplikace měla mít, jsou například následující:

- snadný přístup a snadné přihlašování;
- jednoduché rozhraní a jednoduché přepínání mezi jednotlivými bloky aplikace (obsluha baru / obsluha bistra / operátor dronu);
- zabezpečení tlačítka pro vzlet – umožnění pokynu vzletu pouze pilotovi – opakované ověření;
- možnost zobrazení kontaktů pro jednoduchou komunikaci v případě krizových situací;
- přehledné zobrazení stavu zásilky – pro bezpečnost bude nutné, aby bylo z aplikace na první pohled zřejmé, zda obsluha v bistru potvrdila naložení zásilky a je možné vzlétnout. Bez tohoto potvrzení musí být vzlet zamítnut. V jiném případě by mohlo dojít k ohrožení obsluhy při brzkém startu. Komunikace pomocí aplikace zde bude klíčová.

Jak je tedy zřejmé z výše popsaného, návrh HMI aplikace bude v projektu BISTRON absolutně klíčový pro bezpečnost a funkčnost celého provozu. Pokud se podaří vytvořit aplikaci uživatelsky přívětivě, může mít velmi pozitivní dopad na celé fungování. Ovlivní pohodu, chování a efektivitu všech zapojených osob. Obráceně může přinést negativní vlivy na pracovníky a zvýšit stres a nepohodu v rámci fungování projektu. Při návrhu aplikace bude tedy určitě třeba věnovat se otázkám, které jsou v této kapitole nastíněny, a vyvinout maximální snahu o vytvoření kvalitní aplikace.

2.6 Technické vybavení

Pro úspěšné provedení mise a vytvoření potřebných analýz bylo zapotřebí vybrat vhodné technické vybavení pro zamýšlený provoz. Vybavení bylo vybíráno na základě požadavků na celý systém a podmínek vycházejících z místa a času realizace. Pro výběr vhodného vybavení



bylo tedy zapotřebí správně určit parametry, které jsou klíčové pro daný provoz, a zhodnotit dostupné produkty na trhu a následně vybrat ty nejvhodnější. Během výběru bylo potřeba operovat i s limitujícími faktory v rámci dostupnosti jednotlivých produktů, které jsou popsány v kapitole 1.4.1.

2.6.1 Výběr vhodného UAS

Hlavní rozhodující faktory při výběru vhodného vybavení UAS byly:

- cena,
- maximální užitečné zatížením,
- čas provozu na jedno nabití,
- čas nabíjení,
- možnost připevnění přepravního boxu,
- celková hmotnost,
 - Tento faktor byl zahrnut především kvůli zvýšenému provoznímu riziku pro letadla s vyšší hmotností. Vztah mezi hmotností a zvýšením rizika je možné pochopit z metodiky SORA, která je vypracována v kapitole číslo 3.3.4.
- uživatelská přívětivost a podpora,
- dostupnost příslušenství a náhradních dílů,
- aplikace pro plánování mise.

Zároveň bylo zapotřebí zhodnotit požadavky na UAS plynoucí jak ze samotného záměru mise, tak z lokality a času provozu. Vzdálenost mezi místem vyzvednutí a místem doručení je zhruba 300 m, proto dolet UA a síla signálu není kritická. Zázemí pro dobíjecí stanici a sklad příslušenství není v rámci prostranství provozu problematické, a proto faktor rychlosti dobíjení také není příliš kritický.

Pro zamýšlenou misi v rámci projektu BISTRON bude dováženo jídlo z bistra, které prodává hamburgery, quesadillas, hranolky a další jídla obdobné velikosti. Pro přepravu je tedy počítáno s jednou porcí s hmotností 250 g a velikostí s obalem zhruba 15x15x10 cm. Pro smysluplné využití by tedy mělo být možné převést jídlo o hmotnosti alespoň 2 kg plus hmotnost samotného přepravního boxu. To podle hmotnosti vybraného boxu stanovuje minimální nosnost UA pro užitečné zatížení alespoň 4-5 kg. Hlavními rozhodovacími faktory jsou tedy cena, užitečné zatížení a aplikace pro plánování. V potaz byla brána pouze letadla,



ke kterým je možné připevnit přepravní box. Vybrané varianty a jejich hlavní parametry je možné vidět v tabulce č. 7.

Tabulka 7: Parametry různých variant UA [56], [57], [58], [59], [60], [61]

UA	Maximální užitečné zatížení [kg]	Čas provozu [min]	Čas nabíjení [min]	Celková hmotnost [kg]	Aplikace pro plánování mise	Cena [Kč]
DJI Matrice 600 PRO	6	32	92	15,5	DJI GO, UgCS	160000
DJI Matrice 300 RTK	2,7	55	60	9	DJI GO, UgCS	290000
FreeFly Alta X	15,3	30-35	-	26	QGround Control (QGC)	428000
Aurelia X6 Standard	5	30	-	12	PixHawk, QGC	115000
Aurelia X6 Pro	5	55-70	-	15	PixHawk, QGC	233000
Aurelia X8	8	25	-	16	PixHawk, QGC	140000

Dalším velmi důležitým parametrem při rozhodování byla dostupnost samotných letadel, náhradních dílů, možnosti oprav a záruk. Značka DJI je v České Republice velmi populární, jejich výrobky jsou dostupné skrze mnoho prodejců a zároveň je velmi snadné získat záruku, domluvit opravy a sehnání náhradních dílů. To ovšem neplatí u značek FreeFly a Aurelia. Letadla od výrobce Aurelia ale mají obecně lepší parametry než výrobky DJI. Nejedná se pouze o technické vlastnosti, ale také o možnosti připevnění přepravního boxu (k některým verzím lze box přikoupit přímo od stejné firmy), o kvalitu použitých materiálů a v neposlední řadě o aplikaci určenou k plánování misí. Aurelia ke svým letadlům přímo dodává *PixHawk Flight Controller* a oddělený software pro plánování letů. Tento fakt velmi usnadňuje zautomatizování provozu v pokročilých stádiích projektu.

V počátečních fázích projektu bylo rozhodnuto vybrat letadlo DJI Matrice 300 RTK, a to především z důvodu možnosti levného vypůjčení pro zkušební lety a možnosti připevnění přepravního boxu, který byl nabídnut firmou Loricatus. Pro dlouhodobější provoz by ale podle technických parametrů pro danou misi vycházelo lépe UA Aurelia X6 Standard vzhledem k příznivé pořizovací ceně, obstojnému maximálnímu užitečnému zatížení, času provozu a hmotnosti. V rámci budoucích částí projektu bude tedy cíleno na pořízení tohoto letadla.



2.6.2 Výběr dalšího technického vybavení

Další technická vybavení, která bylo zapotřebí vhodně zvolit, byla především:

- přepravní box,
 - Množství dostupných přepravních boxů je na trhu v ČR velmi malé a na výběr byly pouze tři možnosti. Vzhledem ke kompatibilitě s letadlem, které bylo pro misi zvoleno, byl vybrán box od společnosti Loricatus.
- padákový systém,
- dronporty,
- aplikace pro plánování mise.

Tyto položky byly vybírány především podle dostupnosti a ceny a při výběru neprobíhala žádná větší rešerše. Proto samotný proces výběru nemusí být detailněji popsán.

2.7 Zkušební let a optimalizace trajektorie

2. května 2022 byl proveden první zkušební let v rámci popisovaného projektu. Uskutečnil se na základě OkP získaného od ÚCL. Jednalo se o let s bezpilotním letadlem DJI Mini 2, se kterým byl proveden VLOS manuální let. Tento let měl za cíl především ujasnit schvalovací procesy v rámci žádostí o povolení. Druhotným záměrem bylo hlubší seznámení se s okolním prostředím, možných pozic pro pilotování s obstojným dohledem na UA a zjištění vhodných pozic vizuálního pozorovatele. V rámci toho bylo také vyzkoušeno několik různých variant trajektorií a bylo potvrzeno, že původně navrhnutá trajektorie popsaná výše v práci je dostatečně vhodná a není třeba ji měnit.

V neposlední řadě bylo prostředí nafoceno a natočeno. Snímky posloužily v rámci pokračování projektu pro možnosti marketingu a získávání podpory a také pro seznámení autorit s daným prostředím a záměrem.



Obrázek 24: Situace okolí Azylu78 v květnu roku 2022



Obrázek 25: Snímek bistra a prostředí letu z pozice Azylu78



3 Výsledky

Na základě případové studie je možné zhodnotit bezpečnost, použitelnost a proveditelnost doručování jídel pomocí UAS. Tato hodnocení jsou popsána v následujících podkapitolách.

3.1 Hodnocení bezpečnosti

V rámci této práce byly provedeny dvě bezpečnostní analýzy. Analýza pomocí metody SORA, která pomáhá hodnotit bezpečnostní rizika, a pomocí metody funkční rezonanční analýzy. Vypracování SORA bylo povinností pro úspěšné získání OkP, přesto pomohlo odhalit mnoho rizik spojených se samotným projektem. Metoda FRAM byla vypracována za cílem odhalit variability v systému, které mohou způsobit rezonanci. Tím tak mohla být doplněna předešlá bezpečnostní analýza tak, aby bylo dosaženo pokud možno co nejvyšší bezpečnosti pro zamýšlený projekt. Vedlejším účinkem potom také bylo srovnání analýz a vyhodnocení, zda SORA, vyžadovaná ÚCL, je dostatečným nástrojem pro hodnocení bezpečnosti na úrovni řešení takto komplexních projektů nebo zda FRAM odhalí další bezpečnostní rizika a bude možné doporučit věnovat se bezpečnosti hlouběji. V této podkapitole jsou tedy nejprve popsány výsledky metody SORA, následně výsledky FRAM a poté zhodnocení bezpečnosti celého projektu za použití všech poznatků nabytých z případové studie.

3.1.1 Vyhodnocení metody SORA

Hodnocení provozních rizik ve specifické kategorii bylo vytvořeno na základě požadavku ÚCL pro daný provoz. Pomocí stanovení třídy rizika na zemi a ve vzduchu a zároveň stanovení strategických zmírňování těchto rizik byla určena finální úroveň jistoty a integrity. Díky tomu bylo možné definovat cíle provozní bezpečnosti na základě různé míry robustnosti.

Výsledkem této analýzy je tedy určení provozních cílů bezpečnosti na základě přesně popsaného záměru provozu. SORA pracuje s jednotlivými parametry projektu, které vyhodnocuje v celkovém propojení, a na základě nich definuje doporučení, která mohou zvýšit bezpečnost systému. Parametry, kterým se věnuje, jsou především:

- místo provozu,
- technické vybavení,
- druh letu (VLOS/BVLOS).



Parametry, které nezohledňuje přímo:

- zkušenosti pilota,
- meteorologické podmínky,
- využívání podpůrných technologií (aplikace, automatizované lety),
- organizační rizika v rámci skupinové práce.

Parametry, které nezohledňuje vůbec:

- nastavení schvalovacích procesů,
- kontrola plánování mise.

Některé z popsaných parametrů jsou částečně zahrnuty ve výsledných cílech provozní bezpečnosti. V rámci tvorby SORA s nimi však není počítáno a nepřispívají tedy do celkové analýzy. Takovým parametrem jsou například organizační rizika nebo meteorologické podmínky. SORA je metoda, kterou je možné vyhodnotit velmi různorodé druhy provozu, což se pro hodnocení bezpečnosti při různých schvalovacích procesech velmi hodí. V rámci různých rozdílných záměrů je však možné, že důležité parametry provozu mohou být opomenuty, což by mohlo vést k bezpečnostním rizikům.

Výsledkem hodnocení metodou SORA bylo tedy stanovení třídy rizika na zemi – **třída 4**. Následně byly stanoveny mitigace rizika, které snížily třídu rizika na zemi na **hodnotu 2**. Třída rizika ve vzduchu byla stanovena na **ARC-a** a kombinací těchto tříd vyšla výsledná specifická úroveň jistoty a integrity na **SAIL I**. Pro SAIL I byly stanoveny cíle provozní bezpečnosti **OSO#3, #7, #8, #9, #10, #11, #12, #13, #14, #15, #16, #17, #21, #22, #23**, podle kterých bylo dále v projektu postupováno.

3.1.2 Vyhodnocení FRAM

Metoda FRAM je použita v rámci bezpečnosti analýzy v kapitole 2.3.5., kde je také detailně popsán její záměr a způsob vytvoření. Jsou popsány také variability systému a vznikající rezonance. Vzhledem k podrobnému popisu funkcí, které v systému probíhají, bylo možné jasně určit zapojené „agenty“, a tím jasně definovat veškeré subjekty a aktéry, které se na chodu projektu podílí. Zkoumání jejich funkcí poté dokáže vyhodnotit vznikající variability a rezonanci.

V rámci FRAM bylo zapotřebí definovat určitou míru rozlišení, tedy část systému, která bude zkoumána. Toto rozhodnutí může výrazně ovlivnit výsledky analýzy, neboť může nastat



neodhalení určitých variabilit ve vzdálenějších funkcích systému. Přesto však byly popsány všechny hlavní funkce a vazby mezi nimi, u kterých vzniká taková variabilita, že nepopsané okrajové funkce by na ni neměly mít zásadní vliv.

Výsledkem této metody je navrhnutí doporučení, jak monitorovat a řídit vzniklou variabilitu. Byly stanoveny dvě hlavní funkce, u kterých byla detailněji zkoumána variabilita. Funkce „Naplánovat misi“ a funkce „Zajistit dosažení cíle mise“. Na základě popisu zmíněných variabilit byla popsána funkční rezonance v systému. Pro snížení variability u funkce „Naplánovat misi“ byla navržena opětovná kontrola podpůrné dokumentace více lidmi a také doporučení ke zřetelné komunikaci záměru mezi všemi zapojenými stranami. U druhé funkce bylo také navrženo pracovat ve větším týmu lidí a v závěru bylo doporučeno monitorovat variabilitu pomocí pečlivého rozebírání provedených letů a podrobné řešení zpětných vazeb. Dílčí výsledky analýzy pomocí FRAM jsou popsány v průběhu celé kapitoly 2.3.5.

3.1.3 Bezpečnost v rámci případové studie

Kombinace SORA a FRAM umožnila odhalit bezpečnostní rizika komplexněji a z různých úhlů pohledů. Na základě výsledků tak mohla být stanovena doporučení a určité aspekty projektu byly pozměněny tak, aby bylo docíleno větší bezpečnosti. SORA definuje určité cíle provozní bezpečnosti, které jsou poměrně konkrétní. Jedná se například o:

- „V případě provozu ve vícečlenné posádce jsou k dispozici postupy k zajištění koordinace mezi členy posádky a odolné a efektivní komunikační kanály.“
- „Instrukce pro údržbu jsou zdokumentované.“
- „Postupy pro vyhodnocení podmínek prostředí před a během letu jsou dostupné a zahrnují posouzení meteorologických podmínek.“

Výsledky z FRAM, které jsou popsány v kapitole výše, jsou stručnější a obecnější. Například snaha o efektivní a zřejmou komunikaci mezi zapojenými osobami tedy vychází z obou metod. Instrukce pro údržbu vychází pouze ze SORA a zapojení více osob vychází pouze z FRAM. Výsledky obou metod se tedy vzájemně doplňují a v projektu byly zapracovány výsledky jak z metody SORA, tak z metody FRAM.

Dalším aspektem při hodnocení bezpečnosti bylo provedení zkušebního letu. Ten umožnil ujištění stanovených postupů a dokázal, že bezpečnostní postupy v dané fázi projektu byly nastaveny správně. Dalším prvkem, který přispívá ke zvýšení bezpečnosti, je řešení ergonomické přívětivosti. Ta s bezpečností velmi úzce souvisí a nastavení přívětivého



ergonomického prostředí má pozitivní vliv na provádění úkonů v rámci projektu. Sice ergonomie nebyla přímo zahrnuta v bezpečnostních analýzách, ale přesto je zřejmé, že její řešení v rámci takto komplexního systému přispívá k snižování bezpečnostních rizik.

Obecně lze tedy říci, že počáteční nastavení filozofie, že řešení bezpečnosti je pro tento projekt velmi důležité, umožnilo průběžně pracovat na projektu v souladu nejen s nastavenými standardy bezpečnosti v rámci schvalovacích procesů, ale navíc průběžně zdokonalovat systém tak, aby byla minimalizována bezpečnostní rizika. Tím může projekt pokračovat ve svém vývoji i nadále a být také příkladem pro projekty budoucí.

3.2 Hodnocení použitelnosti

Na základě případové studie je možné zhodnotit použitelnost navrhovaného systému. Toto hodnocení se odvíjí především od poznatků nabytých v rámci studie a je shrnutím problematických faktorů, které omezují nebo znemožňují implementaci. Hodnocení popsané v této kapitole je rozděleno do tří částí. Jedná se o použitelnost technickou, organizační a ekonomickou.

3.2.1 Technická použitelnost

Hodnocení technické použitelnosti se zabývá především aspekty, které omezují projekt samotný nebo následující vývoj z pohledu technické vyspělosti použitých nástrojů. Konkrétně jde hlavně o omezené množství technických zařízení na trhu, jejich limity nebo přímo o jejich neexistenci.

V průběhu řešení projektu BISTRON bylo nalezeno několik technických nedostatků. Jako první a téměř nejdůležitější byl definován výběr samotného UAS. Samotný postup výběru a následný popis je definován v kapitole 2.6.1. Jak je možné pochopit, bylo nutné vybírat z velmi omezených možností. Parametrů, které by bylo vhodné porovnávat, bylo pro tento projekt mnoho. Stále ovšem bylo potřeba pracovat s velmi omezenými výkony, které všechna řešená bezpilotní letadla limitují. Pro projekt BISTRON tedy ani nebylo možné vybrat komerčně dostupné UA, které by bylo ideální, neboť takové zatím neexistuje. Pro potřebný druh provozu by bylo výrazně vhodnější letadlo s lepším poměrem výdrže baterie a nosnosti. Přesto je nutné říci, že lze v rámci nabízených strojů vybrat určité UA, které je použitelné pro mise podobné té, která je popsána v této práci. Proto stav dostupných letadel nebyl extrémně limitující pro



projekt BISTRON a neměl by být ani pro budoucí podobné projekty. Jako nejvhodnější letadlo pro daný projekt bylo tedy zvoleno DJI Matrice 300 RTK.

Jinak tomu ovšem je u přepravního boxu. Zde je velmi limitující dostupnost. Aktuální stav vývoje přepravních boxů a jejich kompatibilita s vyráběnými a používanými bezpilotními letadly je nedostačující pro mise využívající doručování pomocí UA. Na trhu jsou reálně v tuto chvíli 3 produkty, které alespoň trochu splňují požadavky na misi. Jejich dostupnost je ale velmi špatná a je s tím potřeba počítat při plánování projektu. Řešením by mohla být výroba vlastního přepravního boxu, která ovšem může zapříčinit složitější průběh schvalovacích postupů, a tím zhoršit organizační použitelnost popsanou v další podkapitole. Zároveň vlastní výroba přepravního boxu může zvýšit variabilitu v rámci hodnocení bezpečnosti.

Dostupné aplikace pro plánování misí, přídatné padáky a možnost výroby vlastních dronportů jsou další technické aspekty, které ovšem nebyly v rámci projektu BISTRON shledány problematickými. Na trhu je buď dostatek různých produktů, které splňují potřebné parametry pro misi, anebo by jejich zdokonalování nepřineslo zásadní změnu či vylepšení pro budoucí projekty.

Obecně lze zhodnotit, že z technického pohledu je projekt BISTRON dobrou ukázkou toho, že již nyní má smysl se podobnými projekty zabývat, že existují dostatečná technická zařízení a v budoucnu bude možné pouze zdokonalovat a zjednodušovat využívané technologie, které umožní implementaci podobných projektů.

3.2.2 Organizační použitelnost

Organizační použitelnost v sobě zahrnuje hodnocení aspektů, které souvisí s plánováním, komunikací, schvalováním a dalšími aktivitami, ve kterých figurují další společnosti, místní či evropské autority, ale i samotná interní skupina lidí řešících daný projekt. Hodnocení těchto aspektů může být často velmi subjektivní, ale i tak je možné na jeho základě získat přehled o mnoha problémech, nedostatcích nebo naopak pozitivních faktorech pro budoucí zkoumání.

Organizace řešení v rámci interní skupiny je klíčovou složkou pro takový projekt. Jedná se především o potřebu časté a intenzivní komunikace. Výhody týmové práce a rozsáhlého a schopného týmu lidí je již popsáno ve vyhodnocení bezpečnostní analýzy FRAM a je zřejmé, že složení více lidí výrazně usnadňuje práci v podobném projektu.

Spolupráce s externími firmami a dalšími subjekty se v rámci projektu BISTRON ukázala jako klíčová. Bez porozumění a podpory dalších subjektů je velmi náročné podobný projekt



realizovat. Jedná se především o firmy, které mají zájem o marketingovou spolupráci. S těmi je třeba komunikovat takovým způsobem, aby byly schopné řádně porozumět celému záměru a pochopily potenciál v případě investice. Jak je možné vidět v následující podkapitole, je náklonnost takových firem velmi klíčová pro ekonomickou udržitelnost. Další jsou subjekty, které jsou schopny poskytnout buď technické vybavení nebo know-how v oboru bezpilotních letadel. Náklonnost těchto subjektů je také velmi důležitá a zásadně usnadňuje práci na projektu.

Komunikace s autoritami a související schvalovací procesy jsou na základě případové studie nejzávažnější problematikou v rámci hodnocení organizační použitelnosti. Samotné schvalovací procesy jsou popsány v kapitole 2.4 a na základě tohoto popisu je možné pochopit, že nastavené schvalovací procesy jsou v současnosti poměrně složité a limitující, ale na druhou stranu proveditelné. To dokazuje i fakt, že nakonec vždy došlo k dohodě mezi subjekty a bylo vydáno oprávnění k provozu pro daný let. Co se týče žádosti o OkP a s tím spojenou komunikaci s ÚCL, je zapotřebí konstatovat, že tyto postupy přímo vychází z evropských nařízeních. Možnost pro implementaci vlastních postupů je tedy pro ÚCL velmi omezená. Přesto je však možné zhodnotit, že postupy pro žádosti jsou v ČR stanoveny velmi komplexně a jejich řádné uplatnění vyžaduje mnoho času a energie. Alespoň částečná automatizace těchto postupů, která by v blízké budoucnosti mohla nastat, by výrazně proces schvalování usnadnila pro obě strany. Samotná komunikace s úředníky byla v rámci projektu BISTRON povětšinou adekvátní a nebylo by vhodné ji hodnotit negativně. Přesto je možné očekávat vývoj v rámci přístupu ze strany ÚCL, který povede ke zrychlování procesu. Záměr se v rámci procesu zdokonalovat je v současnosti viditelný a je hodnocen kladně.

Obecně lze tedy říci, že uplatnění evropských nařízeních na území ČR je na velmi dobré cestě a že přes nutné množství úsilí umožňuje realizovat projekty podobné tomu popsanému v této práci.

3.2.3 Ekonomická použitelnost a udržitelnost

Pro řádné využití technologie, která je v této práci popisována, je zapotřebí uvažovat ekonomickou použitelnost a udržitelnost. Jde především o kalkulaci, zda je pro společnost, jež plánuje využívat služby doručování pomocí UAS, ekonomicky únosné takovou službu spustit a provozovat. Jedná se o počáteční náklady a zároveň o provozní poplatky a ekonomickou náročnost. Pro využití potenciálu případové studie, a tedy poukázání na problémy a trendy s technologií spojenými, je v této kapitole popsána ekonomická část projektu BISTRON.



Při vývoji a řešení jakéhokoliv komplexního projektu je nutné řešit přítomnost finančních prostředků a nakládání s nimi. I v počátečních stádiích tohoto projektu byla ekonomická stránka věci řešena a bude třeba se jí zaobírat i nadále v průběhu projektu.

Je zřejmé, že pro jakýkoliv jiný projekt, který bude mít rozdílné parametry jako jsou vzdálenost míst doručování, frekvence doručování, lokalita a další, bude zapotřebí rozdílného technického vybavení. Zároveň může složitější prostředí výrazně zvýšit množství odpracovaných hodin personálem při přípravách projektu, může být zdraženo pojištění a další položky. Přesto je možné na této případové studii rámcově ukázat ekonomický rozpočet tak, aby bylo možné získat představu pro budoucí podobné projekty a zdůraznit rozsah cen jednotlivých položek.

Samotné náklady jsou rozděleny do dvou hlavních částí. Náklady počáteční a náklady provozní. Počáteční výdaje jsou finální a lze je sečíst jako absolutní hodnotu. Provozní náklady jsou počítány jako cena jedné hodiny provozu a odvíjí se tedy podle počtu aktivních hodin provozu. Počáteční náklady jsou ještě rozděleny do dvou částí na položky technické a jiné.

Do technických položek patří:

- UA DJI Matrice 300 RTK,
- náhradní baterie pro UA,
- přepravní box Loricatus,
- padákový systém Galaxy GBS 10/350,
- 2 dronporty.

Celková cena těchto položek je stanovena na **369406,-**.

Ostatní položky zahrnují:

- návrh a vývoj jednoduché aplikace pro komunikaci,
- 2 správní poplatky za vydání OkP,
- DJI Care Refresh,
- pojištění odpovědnosti,
- práce na zpracování a projití legislativním procesem až k finálnímu povolení,
- práce na přípravách a testování provozu,
- půldenní testování s malým bezpilotním letadlem,
- denní testování s velkým bezpilotním letadlem a profesionálním personálem.

Tyto položky dosahují ceny **116200,-**.

Dohromady byly tedy počáteční náklady stanoveny na **485606,-**.



Provozní náklady v sobě zahrnují především mzdu zapojeného personálu. Odhad hodinové sazby pro zapojený personál je dohromady 250 Kč/hod. Do provozních nákladů dále spadají nenadálé výdaje jako jsou opravy technického vybavení a nákup náhradních dílů, údržba, optimalizace stanovených procesů a další. Celkové provozní náklady jsou tedy stanoveny na 300 Kč/hod.

Po odborné konzultaci s marketingovým oddělením Divadla Jatka78 bylo rozhodnuto, že výdělek na projektu BISTRON může být získán pouze z poplatků konečného zákazníka, který si na baru objedná jídlo. Maximální poplatek, který může být zákazníkovi účtován za doručení zásilky bezpilotním letadlem, byl stanoven na 50 Kč na objednávku.

Pro pokrytí provozních nákladů je zapotřebí, aby bylo za hodinu provozu doručeno alespoň 6 jídel. Vzhledem k plánovanému doručování 3 porcí na jeden let se tedy jedná o minimálně dva lety za hodinu. Při přihlédnutí k běžnému vytížení bistra, návštěvnosti divadla v průběhu letních měsíců a kapacity zaměstnanců bylo stanoveno cílit na 4-6 letů za hodinu. To by znamenalo pokrytí provozních nákladů a výdělek 300-600 Kč za hodinu. S průměrným výdělkem 450 Kč za hodinu je zapotřebí zhruba 1000 hodin provozu na pokrytí počátečních výdajů. Pokud by byla doručovací služba v provozu přibližně 5 hodin denně v průběhu sezóny, vrátila by se počáteční investice za 200 dní provozu.

Jak je vidět z hrubého propočtu v předešlém odstavci, jedná se o poměrně veliké náklady vzhledem k plánované návratnosti. Pokud by měl být projekt tvořen komerčně a hlavním cílem by bylo na daném projektu vydělat, bylo by nutné výrazně změnit poměr mezi náklady a příjmy. Zavedení vyššího poplatku pro doručení by již v tomto případě mohlo vést k neochotě zákazníků objednat si jídlo přes doručovací službu. Řešením pro tento projekt by tedy bylo spíše snížení počátečních nákladů, pořízení levnějšího bezpilotního letadla a příslušenství anebo získání podpory externí firmy v rámci marketingové spolupráce.

Ekonomická použitelnost popisovaného projektu je v této kapitole nastíněna pouze stručně, neboť v čase psaní práce nedošlo k plnému nasazení provozu a získávání finančních prostředků bylo stále v procesu. I přesto je možné získat dobrý přehled o finanční náročnosti podobných projektů a tato analýza může posloužit pro další podobné projekty a práce.



4 Diskuse výsledků

Případová studie je metoda výzkumu, která se zaměřuje na detailní analýzu konkrétního případu nebo situace tak, aby bylo možné získat hlubší pochopení a znalosti o dané problematice. Tyto poznatky následně mohou být aplikovány na podobné situace a pomáhat při řešení podobných problémů v budoucnosti. V rámci této diplomové práce bylo cílem poukázat na problematiku dovážení jídla pomocí UAS a pomocí případové studie analyzovat postup řešení takového projektu. Výsledkem práce je projednání schvalovacích procesů, legislativních a technických překážek, bezpečnostních analýz, ergonomie a v závěru zhodnocení použitelnosti a schvalitelnosti celého projektu. Informace nabyté v této práci mohou být užitečné pro budoucí projekty v oboru dovážení jídla pomocí UAS a mohou napomoci při rozhodování o jejich realizaci.

V čase psaní práce není autorovi znám žádný projekt, který by se komplexně věnoval doručování jídla drony na území ČR. Jedná se o problematiku, která je poměrně nová a je třeba k podobným projektům přistupovat velmi individuálně a systematicky. I z toho důvodu je důležité vytvářet podobné studie, které umožní lepší pochopení problematiky a které navrhnou jednotlivá řešení pro různé překážky, jež se v rámci řešení takového projektu vyskytují. V práci jsou zmíněny existující společnosti a jejich technologie a je u nich i nastíněn aktuální pokrok v řešení této problematiky.

Aspekty, které ovlivnily výsledky případové studie, je třeba definovat tak, aby bylo možné se z případných chyb poučit pro další budoucí výzkum. Mezi slabé stránky výzkumu patří nepochybně to, že takto komplexní projekt byl řešen především pouze jednou osobou. I když se autorovi dostávalo podpory ze všech zapojených stran, u takto komplexního projektu by bylo daleko vhodnější, kdyby byl sestaven tým lidí, který by se problematikou projektu zabýval společně. Jedna osoba může těžko odhalit nedostatky v rámci zpracovávaných témat. Nejcitlivější se zdá být především posloupnost metodiky řešení a délka jednotlivých úkonů. Pokud by projekt řešil tým lidí, bylo by možné provádět jednotlivé kroky daleko rychleji a jejich posloupnost a návaznost by vedla nejen k daleko dřívějším výsledkům, ale i k výsledkům kvalitnějším, neboť by bylo možné stihnout nedostatky včas odhalovat a opravovat. Dalším faktorem, který měl negativní dopad na řešení projektu, byla finanční závislost. V průběhu bádání se nepodařilo sehnat dostatečnou finanční podporu, která by umožnila okamžitou implementaci jednotlivých pokroků. Tento fakt byl zapříčiněn především autorovou nezkušeností v oblasti získávání marketingových partnerů a také dobou, ve které byl projekt tvořen. Tím je myšlen čas světové pandemie COVID-19, která měla negativní vliv na možnosti



rychlých rozhodnutí v rámci projektu, která zapříčinila částečná i dlouhodobá omezení v rámci osobního setkávání.

Mezi silné stránky výzkumu naopak patří například intenzivní spolupráce a konzultace s několika veřejnými subjekty. Jedny z nejdůležitějších byly konzultace v rámci Ústavu letecké dopravy ČVUT, které přinesly pozitivní dopad nejen na samotné vypracovávání studie, ale umožnily také materiální podporu pro pokročilejší stadia projektu. Dalším takovým subjektem byla společnost DronPro, s.r.o., která přispěla svým „know-how“ při řešení OkP, a v neposlední řadě také ochota ÚCL do jisté míry individuálně projekt konzultovat. Všechny tyto subjekty výrazně zkrátily čas, který byl vynaložen na řešení jednotlivých kroků.

Rozhodnutí vytvořit FRAM i bez nutnosti další analýzy pro úspěšné schválení projektu výrazně přispělo ke zvýšení bezpečnosti celého projektu. Na základě výsledků metody FRAM bylo aplikováno několik doporučení pro projekt BISTRON. Toto rozhodnutí má zároveň pozitivní dopad na poukázání potřeby řešit komplexní projekty v této oblasti nejen podle parametrů žádaných veřejnou správou, ale přistupovat k nim jako k plnohodnotným výzkumům a projektům, u kterých je třeba zvolit podrobný systematický přístup.

Další silnou stránkou studie je fakt, že byla při řešení věnována pozornost všem jednotlivým aspektům, které se mohou v rámci podobných projektů vyskytnout. Tedy nejen analýza problematických částí, ale také rozbor technologických i organizačních faktorů, které jsou v dnešní době již dobře implementovatelné a je možné s nimi do dalších projektů počítat. Pro projekt samotný by bylo možné pouze vyřešit technické vybavení a Oprávnění k provozu, ale studie poukazuje na další stránky, jako je ergonomie, ekonomika provozu, dostupnost jednotlivého vybavení, komunikace s jednotlivými subjekty, bezpečnostní analýzy a další. To výrazně přispívá k rozsáhlejším a kvalitnějším výsledkům.

Problematika doručování pomocí UAS je poměrně nová a řešení jsou implementována ve velmi dynamickém prostředí. Na začátku práce jsou popsány limity, které by mohly ztížit nebo znemožnit spuštění provozu, ale na základě výsledků studie je jednoznačné, že velká část těchto limitů je po vynaložení určitého úsilí vyřešena. Je tedy zřejmé, že překážky, které jsou popsány v této práci, již nemusí být v následujících letech limitující. Neznamená to ale, že nenastanou jiné překážky nebo limity, které budou takové aplikace znesnadňovat. Z toho důvodu je zapotřebí se nadále dané problematice věnovat a pokračovat v podobném výzkumu. I budoucí práce na konkrétním projektu BISTRON má obrovský potenciál pro zdokonalování řešení. Nové technologie a změny a vývoj v legislativním rámci v ČR je třeba pozorovat a reagovat na ně novými řešeními v tomto dynamickém odvětví.



5 Závěr

Tato diplomová práce se věnuje problematice dovážení jídla pomocí UAS. Zahrnuje aktuální legislativu, technické a logistické možnosti a hodnotí možnost implementovat technologii dovážení jídla s využitím bezpilotních letadel. Hlavním cílem práce bylo vytvořit případovou studii, která umožní rozsáhlou analýzu a definici jednotlivých prvků projektu, který se touto technologií zabývá. Tento cíl byl zcela splněn, stejně jako i dílčí cíle, které mířily především na definici a popis jednotlivých témat, jež s takovým projektem souvisí, a zároveň měly zpřístupnit kvalitní podklady pro budoucí podobné projekty, a usnadnit tak jejich implementaci.

Důležitou součástí této práce je analýza současného stavu popisované problematiky. Pro hlubší pochopení a možnost publikování výsledků bylo zapotřebí určit a popsat aktuální stav technologií a legislativy a nastavit parametry pro případovou studii. To bylo provedeno v takovém detailu, který umožnil dostatečné porozumění.

Případová studie byla vypracována. Věnuje se komplexnímu projektu BISTRON, který byl navržen ve spolupráci s divadlem Játka 78. Tento projekt se zabývá doručováním balíčků s jídlem v prostranství Výstaviště v Holešovicích a celý záměr je v rámci práce podrobně popsán. Pro uskutečnění záměru tohoto projektu byla vypracována veškerá podpůrná dokumentace, byla provedena SORA, bylo vybráno technické vybavení, propočítána ekonomická udržitelnost a další podstatné kroky pro spuštění provozu. Celý proces, včetně samotného plánování postupu je v práci detailně popsán a je podle něj možné porozumět náročnosti a překážkám podobného projektu. Je zároveň v průběhu práce vyhodnocován pohledem použitelnosti a schvalitelnosti tak, aby byla splněna podstata případové studie.

Kromě povinných kroků pro spuštění projektu byly vypracovány i další podpůrné analýzy, které celou případovou studii rozšiřují tak, aby bylo dosaženo kvalitnějších výsledků. Jedná se především o analýzu ergonomickou a bezpečnostní za pomoci využití metody FRAM. Výsledky těchto podpůrných analýz výrazně přispěly projektu a byly implementovány v rámci plánování i v průběhu zkušebních letů.

Samotný projekt BISTRON s sebou nesl řešení praktických problémů, které byly často nad rámec případové studie. Jedním takovým problémem, jež se zároveň stal výraznou limitací práce, byla finanční stránka projektu. Již v počátcích projektu byly finance delegovány na stranu divadla a sehnání finančních prostředků výrazně práci na projektu zbrzdilo. Zároveň je zapotřebí zmínit, že projekt je v čase dopsání této práce připraven na ostrý provoz ze stránky legislativní i technické a je možné projekt implementovat i v budoucnu s případnými drobnými změnami. Projekt BISTRON je tedy stále v řešení a do budoucna má stále veliký potenciál.



Přes určité prodlevy s projektem BISTRON je práce plnohodnotná a případová studie, která je vypracována, umožňuje přímé a jasné výsledky nejen pro projekt samotný, ale i pro jiné další podobné projekty. To také bylo dílčím cílem celé práce. Poskytnout informace o této technologii dalším stranám, pro které může být výrazným usnadněním implementovat poznatky ze studie. Studie se zabývá aktuálním tématem v rámci současných mantinelů, které stanovují autority v ČR a EU, a vychází z dostupných technologických zařízení. Přesto ale nezapomíná na předpokládaný budoucí vývoj. Je zároveň zřejmé, že je zapotřebí se tomuto tématu nadále věnovat, sledovat aktuální trendy této technologie a vytvářet podobné studie, které budou postupně přibližovat realitu kýženého cíle, a to využívat UAS pro doručování jídla a jiného zboží.

V rámci výsledků celé práce a diskusí nad nimi je možné podrobně pochopit, k čemu studie dochází. Implementace technologie je v dnešní době možná i přes nemalý počet omezujících faktorů. Legislativní schvalitelnost je přímo zřejmá z výsledků a dostupné technické vybavení, přestože je zatím poměrně limitující, je možné využít pro zamýšlený provoz. Zároveň existují metody, jak zkoumat bezpečnost celého provozu, které se snaží zmírnit riziko, a výsledky těchto analýz jsou užitečné a poučné. Ekonomická stránka podobných projektů je velmi variabilní a úzce souvisí s rozdílnými parametry každého projektu. Přesto je možné na základě výsledků v této práci alespoň zhruba pochopit ekonomickou náročnost. Technologie doručování jídla pomocí UAS je aktuální, dostupná, schvalitelná, tato práce je toho důkazem a je zapotřebí dalších podobných studií, které budou implementaci této technologie podporovat a postupně umožňovat.



Seznam použité literatury

- [1] MERKERT, Rico a James BUSHELL. Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control. *Journal of Air Transport Management* [online]. 2020, **89** [cit. 2023-02-07]. ISSN 09696997. Dostupné z: doi:10.1016/j.jairtraman.2020.101929
- [2] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2019/947: o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel. In: . 2019. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=BG>
- [3] NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI (EU) 2019/945: o bezpilotních systémech a o provozovateli bezpilotních systémů ze třetích zemí. In: . 2019. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=IT>
- [4] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2020/639, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2019/947, pokud jde o standardní scénáře pro provoz ve vizuálním dohledu nebo mimo vizuální dohled. In: . Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2020%3A150%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_2020.150.01.0001.01.CES
- [5] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2020/746, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2019/947, pokud jde o odložení termínu použitelnosti některých opatření v souvislosti s pandemií COVID-19. In: . Dostupné také z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?toc=OJ%3AL%3A2020%3A176%3ATOC&uri=uriserv%3AOJ.L_2020.176.01.0013.01.CES
- [6] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/1166, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2019/947, pokud jde o odložení data použitelnosti standardních scénářů provozu ve vizuálním dohledu nebo mimo vizuální dohled. In: . Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021R1166>
- [7] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2022/425, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2019/947, pokud jde o odložení přechodných lhůt pro používání některých bezpilotních



systemů v „otevřené“ kategorii a data použitelnosti standardních scénářů provozu ve vizuálním dohledu nebo mimo vizuální dohled. In.: Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0425>

[8] NAŘÍZENÍ KOMISE V PŘENESENÉ PRAVOMOCI (EU) 2020/1058, kterým se mění nařízení v přenesené pravomoci (EU) 2019/945, pokud jde o zavedení dvou nových tříd bezpilotních systémů. In.: Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX:32020R1058>

[9] OPATŘENÍ OBECNÉ POVAHY: Omezený prostor LKR10 - UAS. In: . 2020, Veřejná vyhláška. Dostupné také z: <https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/20201230162623731.pdf>

[10] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/664: o regulačním rámci pro vzdušný prostor U-space. In.: Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021R0664>

[11] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/665, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2017/373, pokud jde o požadavky na poskytovatele služeb v oblasti uspořádání letového provozu/letových navigačních služeb a jiných funkcí sítě uspořádání letového provozu ve vzdušném prostoru U-space určeném v řízeném vzdušném prostoru. In: . Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32021R0665>

[12] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2021/666, kterým se mění nařízení (EU) č. 923/2012, pokud jde o požadavky na leteckou dopravu s posádkou provozovanou ve vzdušném prostoru U-space. In.: Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0666>

[13] U-space: blueprint [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF>

[14] ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU. Létejte zodpovědně: U-space [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://www.letejtezodpovedne.cz/legislativa/co_nas_ceka?clid=268



- [15] AMAZON PRIME AIR PREPARES FOR DRONE DELIVERIES [online]. 2022 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/amazon-prime-air-prepares-for-drone-deliveries>
- [16] A DRONE PROGRAM TAKING FLIGHT [online]. 2019 [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.aboutamazon.com/news/transportation/a-drone-program-taking-flight>
- [17] EHANG: About [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <http://www.ehang.com/about/>
- [18] EHANG. EHANG´S SMART LOGISTICS ECOSYSTEM [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.ehang.com/logistics/>
- [19] DHL EXPRESS LAUNCHES ITS FIRST REGULAR FULLY-AUTOMATED AND INTELLIGENT URBAN DRONE DELIVERY SERVICE [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.dhl.com/global-en/home/press/press-archive/2019/dhl-express-launches-its-first-regular-fully-automated-and-intelligent-urban-drone-delivery-service.html>
- [20] ROBOTICS 247. Flytrex Raises Series C Funding to Expand Rapid Drone Delivery Across the U.S. [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.robotics247.com/article/flytrex-raises-series-c-funding-to-expand-rapid-drone-delivery-across-the-u.s>
- [21] ROBOTICS 247. FLYTREN [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.flytrex.com/>
- [22] ZINGDRONES: Skyway partnership [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://zingdrones.com/skyway-partnership/>
- [23] ZINGDRONES: Budweiser [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://zingdrones.com/budweiser-x-zing-drone-delivery-irlairdrop/>
- [24] ZINGDRONES: Zing Cargo Winch [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://zingdrones.shop/>
- [25] ZINGDRONES: DJI Drone delivery [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://zingdrones.com/dji-drone-delivery/>
- [26] MANNA: FAQ [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.manna.aero/faq>



- [27] ALBRECHT, Chris. Manna Now Doing 50 – 100 Drone Deliveries Per Day in Galway, Ireland. The Spoon [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://thespoon.tech/manna-now-doing-50-100-drone-deliveries-per-day-in-galway-ireland/>
- [28] MANNA: Drone delivery made simple [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.manna.aero/>
- [29] MATTERNET [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://mttr.net/>
- [30] GAVI: The Vaccine Alliance [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.gavi.org/>
- [31] ZIPLINE [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://flyzipline.com/>
- [32] VILLAGE REACH [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.villagereach.org/work/drones-for-health/>
- [33] FLIRTEY: Sky Drop [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.flirtey.com/>
- [34] TU DELFT: Ambulance Drone [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.tudelft.nl/en/ide/research/research-labs/applied-labs/ambulance-drone/>
- [35] X COMPANY: The Wing [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://x.company/>
- [36] HIRO: Telemed [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.hirotelemed.com/system-components>
- [37] VAYU: Drones for Automated Aerial Intelligence [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.vayu.us/>
- [38] MD ČR. Letecký předpis L18: Bezpečná letecká doprava nebezpečného zboží [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-18/data/print/L-18_cely.pdf
- [39] AisView: ŘLP [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://aisview.rlp.cz/>
- [40] PARAZERO: Drone Safety Systems [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://parazero.com/>
- [41] HO, H.W. a Q.P. CHU. Automatic Landing System of a Quadrotor UAV Using Visual Servoing [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://aerospace-europe.eu/media/books/delft-0046.pdf>
- [42] SESAR Joint Undertaking: Smart ATM U-space [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/U-space>
- [43] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM): Annex I [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/downloads/104072/en>



- [44] JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA) [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_06_jarus_sora_v2.0.pdf
- [45] ÚCL. Postupy a formuláře dokumentů k agendě Oprávnění k provozu [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/postupy-a-formulare-dokumentu-k-agende-opravneni-k-provozu/>
- [46] ÚCL. Směrnice pro posouzení rizika specifické kategorie provozu (SORA) bezpilotních systémů [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2022/02/CAA_S-SP-034-0_2022_Smernice_-_SORA_UAS.pdf?cb=9086897e9ffc7328a1e2707785218e69
- [47] DJI. MATRICE 300 RTK: User Manual [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://dl.djicdn.com/downloads/matrice-300/20210419UM/M300 RTK User Manual EN v1.8 20210419.pdf>
- [48] ERIK, Hollnagel. FRAM: The Functional Resonance Analysis Method [online]. CRC Press, 2017 [cit. 2023-02-09]. ISBN 9781315255071. Dostupné z: doi:10.1201/9781315255071
- [49] EUROCONTROL. From Safety-I to Safety-II: A White Paper [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2437.pdf>
- [50] PATRIARCA, Riccardo, Johan BERGSTRÖM a Giulio DI GRAVIO. Defining the functional resonance analysis space: Combining Abstraction Hierarchy and FRAM. Reliability Engineering & System Safety [online]. 2017, **165**, 34-46 [cit. 2023-02-09]. ISSN 09518320. Dostupné z: doi:10.1016/j.ress.2017.03.032
- [51] FUCHSOVÁ, Jaroslava. Stres na pracovišti. 2008. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Katedra andragogiky a personálního řízení. Vedoucí práce Šnýdrová, Ivana.
- [52] LORICATUS [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.loricatus.hu/>
- [53] HOBBS, Alan a Beth LYALL. Human Factors Guidelines for Unmanned Aircraft Systems. Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications [online]. 2016, **24**(3), 23-28 [cit. 2021-12-17]. ISSN 1064-8046. Dostupné z: doi:10.1177/1064804616640632
- [54] SPRAVKA, John J. Unmanned Air Vehicles: A New Age in Human Factors Evaluations. NATO OTAN. Dostupné také z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.214.7660&rep=rep1&type=pdf>
- [55] UAV Coach: Drone Controllers: A Look at How They Work, Important Terminology, and Why They're Unique in the RC Aircraft World [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://uavcoach.com/drone-controller/>



- [56] DJI: Matrice 600 PRO [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/matrice600-pro>
- [57] DJI: Matrice 300 RTK [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/matrice-300>
- [58] FREEFLY: Alta X [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://freeflysystems.com/alta-x>
- [59] AURELIA: X6 Standard [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://aurelia-aerospace.com/product/aurelia-x6-standard/>
- [60] AURELIA: X6 Pro [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://aurelia-aerospace.com/product/aurelia-x6-pro/>
- [61] AURELIA: X8 Standard [online]. [cit. 2023-02-09]. Dostupné z: <https://aurelia-aerospace.com/product/aurelia-x8-standard/>
- [62] GALAXY GBS 10/350: Padákový systém [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/padakovy-system-galaxy-gbs-10-150-1>
- [63] ÚCL. *Specifická kategorie: SPECIFIC* [online]. [cit. 2023-02-11]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/>