



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Jan Stádník

ANALÝZA VYUŽITELNOSTI BEZPILOTNÍCH
SYSTÉMŮ PRO DORUČOVÁNÍ ZBOŽÍ

Bakalářská práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jan Stádník

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování zboží**

Název tématu (anglicky): Analysis of the Usability of Unmanned Aircraft Systems for Delivery of Goods

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Současné koncepty využívání bezpilotních systémů v doručování a přepravě zboží
- Výběr vhodných bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží a porovnání jejich parametrů
- Legislativa regulující doručování a přepravu zboží bezpilotními systémy
- Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží v Praze



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: AUSTIN, Reg. - Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. 2010
BARNHART, Richard K. - Introduction to unmanned aircraft systems. 2012
Letecký předpis L2 doplněk X

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Stanislav Absolon
Ing. David Hůlek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

19. října 2018

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

2. prosince 2019

- 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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Stádník
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. září 2019

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Stanislavu Absolonovi za odborné vedení, poskytnuté cenné rady a konzultování této bakalářské práce. Dále je mou milou povinností poděkovat rodině a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

PROHLÁŠENÍ

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

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

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

V Praze dne 2. prosince 2019



podpis

Autor: Jan Stádník
Název: Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování zboží
Instituce: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
Obor: Letecká doprava
Rok: 2019

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování zboží“ je analýza současného stavu problematiky bezpilotních systémů. Teoretickou část práce tvoří přiblížení současných konceptů využívání bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží, právní předpisy České republiky a Evropské unie zabývající se provozem bezpilotních systémů. Praktická část bakalářské práce obsahuje komparaci a výběr vhodných bezpilotních systémů pro doručování zboží, SWOT analýzu a návrh logistické sítě mezi nemocničními areály na území hlavního města Prahy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezpilotní systém, UA, UAV, UAS, bezpečnost, užitečné zatížení, doručení, analýza

Author: Jan Stádník

Title: Analysis of the Usability of Unmanned Aircraft Systems for Delivery of Goods

Institution: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Study program: Air Transport

Academic year: 2019

ABSTRACT

The aim of the thesis “Analysis of the Usability of Unmanned Aircraft Systems for Delivery of Goods” is to analyse a current situation of unmanned aircraft systems. Firstly, the theoretical part introduces contemporary projects that have been using unmanned aircraft systems for delivery and transport of goods. The next part of the thesis is concerned with regulatory framework for unmanned aircraft systems that is applicable both in the Czech Republic and in Europe. The practical part is focused on comparison and selection of suitable unmanned aircraft systems for delivery of goods and it also introduces a SWOT analysis and logistics network between hospital facilities in Prague.

KEY WORDS

Unmanned systems, UA, UAV, UAS, safety, payload, delivery, analysis

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Současné koncepty využívání bezpilotních systémů v doručování a přepravě zboží	10
2.1	Úvod do problematiky.....	10
2.2	Základní definice	11
2.3	Rozdělení bezpilotních systémů	12
2.3.1	Pohon bezpilotních systémů.....	14
2.4	Současné koncepty	14
2.4.1	Amazon Prime Air	14
2.4.2	Wing.....	16
2.4.3	Zipline	18
2.4.4	UPS Flight Forward a Matternet	19
3	Výběr vhodných bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží a porovnání jejich parametrů.....	21
3.1	Komparace bezpilotních systémů pro rozvoz a doručování zboží a stanovení klíčových parametrů.....	21
3.1.1	Porovnání konkrétních bezpilotních systémů.....	22
3.1.2	DJI Matrice 200 V2.....	25
3.1.3	AceCore Zoe	27
3.1.4	Matternet M2	29
3.2	Shrnutí výběru vhodného bezpilotního systému	31
4	Právní předpisy regulující doručování a přepravu zboží bezpilotních systémů	34
4.1	Mezinárodní legislativa řešící provoz bezpilotních systémů	34
4.2	Doplněk X – Bepilotní systémy	38
4.3	Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947.....	40
5	Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží v Praze ..	43
5.1	SWOT analýza	43
5.1.1	Provozní náklady.....	45
5.1.2	Rychlost doručení	45

5.1.3	Bezpečnost a přijetí technologie veřejností	46
5.1.4	Ekologičnost v porovnání s ostatními způsoby přepravy	47
5.1.5	Shrnutí SWOT analýzy	48
5.2	Návrh vytvoření logistické sítě v Praze	49
5.2.1	Poloha areálů	49
5.2.2	Zvolení bezpilotního systému	51
5.2.3	Letové trasy mezi areály	52
5.2.4	Shrnutí návrhu logistické sítě	57
6	Závěr	58
7	Seznam použitých zdrojů	59
8	Seznam obrázků	64
9	Seznam tabulek	65
10	Seznam příloh	66

Seznam použitých zkratk

AES	Advanced Encryption Standard	Standard pokročilého šifrování
AGL	Above Ground Level	Nad úrovní země
AFIS	Aerodrome Flight Information Service	Letištní a letové informační služby
ATZ	Aerodrome Traffic Zone	Letištní provozní zóna
ATM	Air Traffic Management	Řízení letového provozu
ADS-B	ADS-Broadcast	
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Mimo vizuální dohled pilota
CAA	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví
CASA	Civil Aviation Safety Authority	Úřad pro civilní letectví Austrálie
CTR	Control Zone	Řízený okrsek
DAA	Detect and avoid	Detekce a vyhnutí
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd	
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví
EU	European Union	Evropská unie
FAA	Federal Aviation Administration	Státní letecký úřad USA
FMU	Flight Management Unit	Jednotka řízení letu
GB	Gigabyte	Gigabyte
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
GLONASS	Global Orbiting Navigation Satellite System	Globální navigační družicový systém na oběžné dráze

GPS	Global Positioning System	Globální navigační systém
GMS	Global System for Mobile Communications	Globální systém pro mobilní komunikace
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IMU	Inertial Measurement Unit	Inerciální navigační jednotka
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidla pro let podle přístrojů
MCTR	Military Control Zone	Vojenský řízený okresek
MTOM	Maximum Take – off Mass	Maximální vzletová hmotnost
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Dálkově řízené letadlo
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Systém dálkově řízeného letadla
RTK	Real Time Kinematics	Kinematika v reálném čase
ŘLP		Řízení letového provozu
TPB	Theory of Planned Behaviour	Teorie plánovaného chování
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotní letadlo
UPP	Traffic Management Pilot Program	
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotní systém
UAS IPP	UAS Integration Pilot Program	Plán pro integraci UAS
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Bezpilotní letecký prostředek
VLL	Very Low Level	
VLOS	Visual Line Of Sight	Ve vizuálním dohledu pilota
VFR	Visual Flight Rules	Pravidla pro let za viditelnosti

1 Úvod

Bezpilotní systémy nebo dálkově řízené letecké systémy a technologie s nimi spjaté zažívají v posledních letech markantní rozmach. Technologie, která byla dříve spojená pouze s vojenským využitím se v posledních letech stává dostupnější a nachází rozsáhlé využití jak v komerční sféře, tak i jako volnočasová aktivita a zábava. Roste počet výrobců, jejich portfolia produktů a celkový objem trhu bezpilotních systémů a služeb. Nepřiměřeně k technologickému vývoji a růstu trhu zároveň vznikají právní předpisy, které je regulují. Členské státy Evropské unie řeší problematiku bezpilotních systémů samostatně na národní úrovni a konsolidovaná pravidla vznikají postupně.

Bezpečné začlenění bezpilotních systémů do vzdušného prostoru a využívání stejných prostorů jako letadla s posádkou na palubě je jedna z hlavních výzev dnešní doby. Letectví je velmi regulovaným oborem a bezpečnost je jeho primárním faktorem. Zodpovědnost za provoz bezpilotních systémů je přenesena kvůli absenci posádky na palubě na zem. Prevence případných kolizí s ostatními uživateli vzdušného prostoru nebo jinými objekty a řešení nebezpečných situací je nutné řešit za pomoci systémů jako jsou „detect and avoid“. Kompletní integrace do vzdušného prostoru bude složitým procesem, ke kterému je potřeba přistupovat zodpovědně.

V práci jsou rozebrány právní předpisy a pravidla pro létání bezpilotních systémů v České republice a ve státech Evropské unie, konkrétně Doplněk X leteckého předpisu L2 a Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947.

Cílem této práce je vytvoření analýzy, která by zohlednila všechny faktory související s použitím bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží, komparace a výběr vhodných bezpilotních systémů pro tyto účely a návrh logistické sítě na území hlavního města Prahy.

2 Současné koncepty využívání bezpilotních systémů v doručování a přepravě zboží

Bezpilotní systémy, které jsou širokou veřejností slangově označovány jako drony vstoupily na trh na počátku 21. století. Od této doby se jedná o jeden z nejrychleji rostoucích segmentů letectví. Označení dron pochází z anglického výrazu „drone“, který v překladu znamená trubec, bzučení nebo hukot. Za tímto označením stojí podobnost zvuku, který pochází od vrtulí bezpilotního letadla. [1]

Přestože se tato práce nebude věnovat historii bezpilotních systémů je nezbytné zmínit, že technologie bezpilotních systémů byla vyvinuta pro vojenské účely a postupně se uvolňuje i na trh bezpilotních systémů pro civilní a komerční účely. Tato bakalářská práce se bude zabývat bezpilotními systémy pro komerční využití. Vojenské bezpilotní systémy budou přiblíženy okrajově na základě veřejně přístupných zdrojů, a to v kapitole 1.3.

2.1 Úvod do problematiky

Bezpilotní systémy se začaly významně prodávat od roku 2006. V této době začali také vznikat největší výrobci bezpilotních systémů. Technologický pokrok umožnil miniaturizaci částí bezpilotních letadel a instalaci GPS modulů. Na trh se dostaly první multikoptéry s elektrickými pohonnými jednotkami. Do roku 2012 byl trh tvořen převážně velkými bezpilotními systémy s velikostí od 0,5 m s konstrukcí z uhlíkových vláken, které byly určeny pro profesionální využití, a to pro letecký monitoring, letecké fotografie a videa.[1]

Poslední roky se výrobci bezpilotních systémů zaměřují na oslovení širšího spektra zákazníků a výrobu systémů pro běžné uživatele. Tyto bezpilotní systémy jsou často menších rozměrů a levnějších konstrukcí, přičemž důraz je kladen na kvalitu leteckých videí a fotografií. Systémy se vyznačují jednoduchostí a, dají se ovládat telefonem nebo tabletem. Výrobci většinou nabízí více modelů, tak aby pokryli nabídku pro celý trh, podobně jako výrobci elektroniky. [1]

S obrovským nárůstem popularity bezpilotních systémů roste i jejich možnost využití. Bezpilotní systémy mají velký potenciál v mnoha oblastech. Nabízí řešení pro mnoho situací, jejichž řešení bylo před používáním bezpilotních systémů složité, či dokonce nemožné. Bezpilotní systémy se dnes uplatňují v mnoha oblastech. Výhodou je, že systém může být

vybaven různými typy snímačů podle jeho účelu využití. Systémy se často využívají pro letecký monitoring, pořizování leteckých záběrů, inspekci objektů či mapování. V oblasti zemědělství se používají pro získávání a analyzování dat jako například vlhkosti půdy, variace půdy nebo zamoření škůdci a umožňují také monitorování dobytka v reálném čase. Dále jsou používané záchranáři při krizových situacích. Mohou být využívány při monitoringu požárů nebo úniků tepla u budov nebo teplovodů. A v neposlední řadě se bezpilotní systémy začínají využívat i pro transport zboží ve skladech a jiných průmyslových objektech.

Právě v oblasti doručování a přepravy mají bezpilotní systémy celou řadu nesporných výhod, jako například: možnost doručování i na těžce přístupná místa, rychlost doručení, nižší náklady než u nákladních vozů, šetrnost k životnímu prostředí. Proto v posledních letech usiluje čím dál tím více společností o přepravu zboží bezpilotními systémy.

2.2 Základní definice

V první řadě je potřebné definovat pojmy, které jsou s tímto odvětvím letectví spjaté. Definice jsou převzaty z leteckého předpisu L2.

Autonomní letadlo *Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.* [2]

Bezpilotní letadlo (UA) *Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.* [2]

Bezpilotní systém (UAS) *Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.* [2]

Model letadla *Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.* [2]

Bezpilotní letecký prostředek (UAV) je zastaralé označení pro letoun bez posádky na palubě. Může být řízen na dálku, létat podle předpřipravených letových plánů nebo létat autonomně podle složitějších dynamických systémů. Tento termín se běžně vyskytuje v literatuře.

Dálkově řídicí pilot (Remote pilot) Osoba pověřená provozovatelem povinnostmi nezbytnými pro provoz dálkově řízeného letadla, která ovládá systémy řízení během doby letu. [2]

Dálkově řídicí stanice (Remote pilot station) Součást systému dálkově řízeného letadla obsahující vybavení k řízení dálkově řízeného letadla. [2]

Dálkově řízené letadlo (RPA) (Remotely piloted aircraft) Bezpilotní letadlo, které je řízeno z dálkově řídicí stanice. [2]

Systém dálkově řízeného letadla (RPAS) (Remotely piloted aircraft system) Dálkově řízené letadlo, příslušná(é) dálkově řídicí stanice, nezbytné řídicí a kontrolní spoje a jakékoliv další součásti uvedené v typovém návrhu. [2]

2.3 Rozdělení bezpilotních systémů

Bezpilotní systémy mohou být rozděleny do mnoha kategorií. Za primární dělení lze považovat dělení na vojenské a civilní bezpilotní systémy. Technologie bezpilotních systémů byla vyvinuta pro vojenské účely a v dnešní době je využívána ve vojenské sféře po celém světě. Používané jsou bezpilotní systémy pro průzkumné a monitorovací mise, do této kategorie se řadí bezpilotní letoun RQ – 11 Raven, který je mimo jiné využíván i českou armádou. Jedná se o bezpilotní letoun o rozpětí 1,3 metru, délce 0,9 metru, váze 1,9 kilogramů, jehož rychlost letu je 30 km/h a doba letu až 90 minut. Využity mohou být také pro útoky na vojenské cíle. [39] MQ – 9 Reaper je bezpilotní letoun využíván převážně americkou armádou, který byl použit při mnoha misích převážně v Afghánistánu a Iráku. Letoun je schopen být v provozu s užitečným zatížením 1700 kg, jeho maximální rychlost je 482 km/h, dolet 1000 NM, dostup 50000 ft a doba letu při maximálním užitečném zatížení je 14 hodin. [40]

Civilní bezpilotní systémy mohou být dále rozděleny do kategorií podle využití pro zábavu a pro profesionální využití. Rozšířenější kategorií jsou bezpilotní systémy pro zábavu a rekreaci, tyto systémy se vyznačují nižší pořizovací cenou, odpovídající konstrukcí a vybavením letadla. Profesionální bezpilotní systémy jsou vyrobeny z kvalitnějších materiálů, klade se důraz na hmotnost letadla a systémy, kterými je letadlo vybaveno. Využití profesionálních bezpilotních systémů je také rozmanitější, tyto systémy mají všestranné použití, od pořizování profesionálních filmářských záběrů přes záchranné mise až po rozvážení zboží. [1]

Bezpilovní systémy lze rozlišovat i podle konstrukce, a to do kategorií:

- Bezpilovní koptéra
- Bezpilovní vrtulník
- Bezpilovní letoun
- Křídlo
- Vzducholod'
- Balón – upoutaný, volný

Bezpilovní koptéra nebo také **multikoptéra** je nejrozšířenějším typem bezpilovních letadel. Jedná se o motorové letadlo, které vyvozuje vztlak na vrtulových listech a pohybuje se díky regulaci otáček jednotlivých pohonných jednotek. Je schopná vertikálního startu, vertikálního přistání nebo visení. Řídící jednotka je umístěna v těle multikoptéry, ke kterému jsou připevněna ramena na jejichž koncích jsou umístěny pohonné jednotky. Bezpilovní koptéry se dělí podle počtu pohonných jednotek. Nejčastěji používané jsou: **kvadroptéry** (4 pohonné jednotky), avšak je možné se setkat i s **trikoptéry** (3 pohonné jednotky), **hexakoptéry** (6 pohonných jednotek) nebo **oktokoptéry** (8 pohonných jednotek). Multikoptéra nemá svou oficiální definici a podle české legislativy je považována za vrtulník. Koptéry mají vrtule jako součást pohonných jednotek, u vrtulníku se jedná o nosné rotující plochy. Bezpilovní vrtulníky se používají převážně pro armádní účely a průzkum. Jsou větších rozměrů a využívají spalovací motory. [3] [4]

Bezpilovní letouny se nejčastěji vyznačují klasickou konstrukcí s oddělenými ocasními plochami. Díky svým vlastnostem jsou využívány převážně k mapování a monitorování, ale existují i projekty, které je využívají pro rozvážení zásilek. Bezpilovní letouny díky své konstrukci disponují delší dobou letu a vyšší cestovní rychlost než multikoptéry, avšak jejich manévrovatelnost je omezená. Pohon je ve většině případech tvořen spalovacím motorem nebo elektromotorem a tažnou nebo tlačnou vrtulí. Letouny startují pomocí odpalovací rampy, hodem z ruky nebo rozjezdem po zemi, nejsou schopné vertikálního vzletu a přistání. Využití je ve skrze profesionální, proto výrobců není tolik jako u multikoptér. [1]

Křídla, mnohdy označována jako „samokřídla“ jsou pojmenována podle svého vzhledu, mají aerodynamický tvar. Často jsou jejich konstrukce tenké a tvořené z uhlíkových vláken. Startují pomocí odpalovací rampy nebo hodem z ruky. [4]

2.3.1 Pohon bezpilotních systémů

U většiny bezpilotních letadel se dnes používají elektrické pohonné jednotky, které jsou tvořeny vrtulí, elektromotorem, regulátorem a baterií. Nejvyužívanější jsou stejnosměrné bezkomutátorové elektromotory. Na délku letu má největší vliv kapacita baterie. Nejčastěji používané jsou dnes lithium-polymerové baterie (Li-pol), dále je možné se setkat s lithium-železo-fosfátovými bateriemi (LiFe) a lithium-iontovými bateriemi (Li-Ion). Hlavní výhodou lithium-polymerových baterií je nízká hmotnost a schopnost dodávat vysokou hodnotu elektrického proudu při napětí v desítkách voltů. [3] [4]

2.4 Současné koncepty

Tato kapitola se věnuje současným konceptům, které se zaměřují na využití bezpilotních systémů pro doručování zboží.

2.4.1 Amazon Prime Air

Amazon Prime Air je koncept americké společnosti Amazon, která se zaměřuje na prodej zboží přes internet. První myšlenka rozvážení zásilek pomocí bezpilotních systémů byla představena šéfem společnosti Jeffem Bezem v prosinci roku 2013. Vizí projektu je používat malé multikoptéry s elektrickým pohonem, které by autonomně doručovaly zásilky v okruhu 10 až 15 mil od sídla společnosti a to do 30 minut od objednání. [5] Zásilka bude muset splňovat rozměrové a váhové omezení, aby mohla být uschována do těla multikoptéry. To zajistí, že bezpilotní letadlo bude vždy schopno doručit zásilku ve stanoveném časovém limitu a bude mít dostatečnou kapacitu baterie pro uskutečnění letu. Váhové omezení Amazon stanovil na 2,25 kg, a zároveň uvádí, že 75 až 90 procent všech objednávek je v tomto rozmezí. [6]

V červenci roku 2014 Amazon požádal agenturu ministerstva dopravy Spojených států amerických (dále FAA) o povolení k testování svého modelu. První povolení udělilo FAA Amazonu v březnu roku 2015, avšak na model, který byl v té době již zastaralý. Povolení pro, v té době, aktuální prototyp bezpilotního letadla bylo uděleno následující měsíc, tedy v dubnu 2015. Povolení bylo uděleno za podmínek, že bezpilotní letadlo musí být v přímé

viditelnosti pilota, létat v maximální výšce 400 ft a maximální rychlostí 160 km/h. Právě podmínka, že bezpilotní letadlo musí být neustále v přímé viditelnosti pilota se jeví jako jedna z majoritních překážek implementace do provozu. [7]

Od půlky roku 2015 Amazon testuje svůj projekt také na okraji města Cambridge v Anglii. Dle platící legislativy v Anglii bezpilotní systém nemůže létat ve vzdálenosti 50 metrů od budovy nebo osoby, 150 metrů od osídlené oblasti a musí být v přímé viditelnosti pilota. [8] Americká firma získala od tamního Úřadu pro civilní letectví (CAA) povolení k testování, konkrétně k létání ve venkovských a předměstských oblastech mimo přímou viditelnost pilota, povolení k provedení vícero autonomních letů, které budou provozovány pouze jednou osobou a k testování senzorů spojených s technologiemi detekce a vyhnutí. [9]

V prosinci roku 2016 byla služba Prime Air nabídnuta zákazníkům žijícím poblíž sídla společnosti v Cambridge, kteří disponují velkou zahradou. První doručení objednávky zákazníkovi bezpilotním systémem se uskutečnilo 7. prosince 2016. V následujícím roce se uskutečnilo první doručení v Kalifornii za dozoru FAA. V obou případech se však nejednalo o simulaci doručení objednávky v reálném provozu. [10]

Na technologické konferenci v červnu 2019 Amazon představil nový model svého bezpilotního letadla MK27. Jedná se o bezpilotního letadlo, které je schopno vertikálního vzletu a přistání, a díky jeho konstrukci vyvozující aerodynamické síly, efektivního dopředného letu. Letadlo se při dopředném letu nakloní kolem své osy a kryty vrtulí vytváří dodatečnou vztlakovou sílu.



Obrázek 1: Bepilotní letadlo MK27 Amazon Prime Air [11]

Bezpečnost je u bezpilotních systémů klíčový faktor, tudíž představený model je vybaven senzory a kamerami využívající nejnovější technologie. Získaná data se za letu analyzují a pomocí nejnovější umělé inteligence systém vyhodnocuje rizika. Amazon pracuje na vlastním strojovém učení, díky kterému bude jeho bezpilotní systém schopen rozpoznat pohybující se předměty, statické předměty a špatně viditelné předměty, jako jsou telefonní dráty, dráty elektrického vedení nebo šňůry na prádlo. [11]

Amazon čeká na schválení nového modelu FAA a říká, že všechny komponenty, ze kterých nový model vzniknul, již povolení od FAA získala. Tento proces může u tradičního výrobce trvat i roky, avšak očekává se, že zvyšující se tlak na legislativní aparát bude tyto procesy urychlovat. [6]

2.4.2 Wing

Wing je projekt americké společnosti a organizace X, která je od roku 2015 dceřinou společností konglomerátu Alphabet, který zahrnuje i společnost Google. Od roku 2010 do roku 2015 společnost nesla název Google X. Projekt Wing vznikl v roce 2012, avšak veřejnost byla uvědomena až o 2 roky později. Víze projektu je používat autonomní bezpilotní systémy s elektrickým pohonem pro rozvoz menších zásilek. Společnost používá vlastní design bezpilotního letadla, kdy zásilka je uložena pod tělem letadla a na zem je spouštěna pomocí lana. Do roku 2015 byl používán design bezpilotního letadla podobný křídlu. Současný design je od původního zcela odlišný. Letadlo je osazeno 12 pohonnými jednotkami ve vertikálním směru a 2 v horizontálním směru, což oproti předchozímu designu přidává na ovladatelnosti a bezpečnosti. Maximální rychlost je 120 km/h, pomocí algoritmů strojového učení systém detekuje nebezpečí a případné hrozby. [12]

Implementace bezpilotních systémů do vzdušného prostoru je překážkou pro jejich uvedení do provozu. Tu je tudíž, potřeba při jejich používání vyřešit. Projekt Wing byl vybrán FAA k účasti v projektu Traffic Management Pilot Program (UPP), ve kterém vybrané společnosti a univerzity budou provádět testovací lety mimo přímou viditelnost pilota, lety v obydlených oblastech, lety v noci a usilovat o vytvoření ekosystému pro uživatele bezpilotních systémů. Mimo jiné společnost dokázala, že dovožka provedená bezpilotním systémem nese menší riziko než dovožka nákladním vozem. [13]

S prvním testováním začala americká firma ve Virginii, kde získala povolení k testování od FAA. V dubnu roku 2019 získal projekt Wing povolení od FAA k provádění komerčních rozvážek zboží ve Virginii a stal se tak vůbec prvním, který toto povolení získal. Společnost

musela splnit spoustu bezpečnostních podmínek a regulí, a aby mohla operovat své bezpilotní systémy autonomně a za úplatu, musela získat povolení jako letecký dopravce. Společnost hodlá začít s rozvážením zásilek do příměstských oblastí ve městech Blacksburg a Christiansburg ve Virginii. [14]

Společnost X se rozhodla svůj projekt Wing začít testovat i v Austrálii. Jedním z důvodů jsou legislativní podmínky, které jsou zde přívětivější pro testování než např. ve Spojených státech amerických. První testovací lety začaly v roce 2017 a společnost zde uzavřela spolupráci s lékárenským řetězcem a se sítí mexických restaurací. Projekt Wing v Austrálii dokončil svou 18měsíční zkušební lhůtu, při které v Canbeře poskytoval svou službu 100 domácnostem a za tuto dobu bylo uskutečněno okolo 3000 doručení a 70000 testovacích letů. Po uplynutí zkušební doby v dubnu 2019 australský regulátor CASA udělil povolení pro zahájení komerčních letů. Při provozování bezpilotních systémů v Austrálii musí Wing dodržovat následující podmínky: bezpilotní letadla nesmí létat nad a přes hlavní ulice, může se létat od 7. hodiny ráno do 8. hodiny večerní ve všední dny, v neděli mohou být bezpilotní letadla operována od 8. hodiny ráno do 8. hodiny večerní a bezpilotní letadlo se nesmí dostat do blízkosti k lidem. [15]

Na jaře roku 2019 společnost Wing odstartovala svůj pilotní program v městské části Vuosaari v Helsinkách. Wing zde uzavřela spolupráci se supermarketem a místní restaurací. Tomuto pilotnímu programu předcházelo testování v zimních měsících a nepříznivých podmínkách v severní části Helsinek.



Obrázek 2: Bepilotní letadlo projektu Wing [12]

2.4.3 Zipline

Zipline je startup americké společnosti, působící od roku 2014. Společnost se zaměřuje na rozvoz zdravotnických potřeb a léků bezpilotním letadlem v rozvojových zemích. V současné chvíli firma rozváží lékařské produkty v Rwandě a Ghaně. V roce 2016 společnost uzavřela dohodu s Rwandskou vládou a postavila distribuční centrum ve městě Muhanga. Druhé centrum v Rwandě společnost vybudovala o 2 roky později ve městě Kayonza, ze kterého obsluhuje východní část země. V dubnu roce 2019 společnost navázala spolupráci s Ghanskou vládou a zřídila zde 4 distribuční centra. [16]

V obou státech chybí kvalitní infrastruktura a v urgentních situacích je obtížné rychle dopravit lékařskou pomoc. Zipline přichází s řešením tohoto problému, bezpilotní letadlo je schopné dopravit lékařskou zásilku o váze až 1,75 kg v časovém horizontu desítek minut. V praxi se pak jedná až o 3 krevní konzervy a léky, které mohou zachránit život.

Zipline používá bezpilotní letoun, který má cestovní rychlost 101 km/h, maximální rychlost 128 km/h a dokáže překonat vzdálenost až 160 km. Náklad se uschovává do těla letounu. Bzpilotní systém potřebuje k autonomnímu letu GPS spojení, proto je GPS přijímač napojen na baterii letadla, a tudíž je nepřetržitě připojen a připraven okamžitě k letu. Zipline je neustále ve spojení s řízením letového provozu Rwandy a mezinárodním letištěm Kigali v hlavním městě Rwandy. [16]

Ke vzletu se používá speciální startovací rampa, která letoun přivede do cestovní rychlosti během 3 desetin vteřiny, letoun zásilku vypustí na místě určení a ta pomocí jednoduchého pádaku sklesá na zem. Letoun autonomně přistává pomocí lana a záchytného háku na jeho konstrukci. Úspěšnost přistání je 90 % a pokud se přistání nezdaří, je naprogramované na opakování procedury. [16]

Letoun je vybaven vlastním padákem, ten slouží jako bezpečnostní prvek, když na letadle vznikne za letu závada a je schopno tak bezpečně sklesat na zem. Konstrukce letounu je z uhlíkového kompozitu, křídla mají rozpětí 3 metry. Za letu jsou ukládána všechna letová data, která jsou po letu nahrávána na datové servery Zipline. Každá letová hodina představuje 1 GB dat, která se dají dále zpracovat a mohou být užitečná k začlenění bezpilotních systémů do vzdušného prostoru ve státech s hustým leteckým provozem. [16]

Zipline vznikl jako startup a za svou dobu působnosti získal od investorů přes 40 milionů dolarů. Navzdory tomu faktu, že Zipline je nezisková organizace, uzavřela spolupráci s logistickou firmou UPS. V květnu 2018 byl Zipline vybrán jako 1 z 10 do programu

amerického ministerstva dopravy UAS IPP, a začal s testováním letů v USA za přímou viditelnost pilota. [17]



Obrázek 3: Bezpilotní letadlo společnosti Zipline při startu [16]

2.4.4 UPS Flight Forward a Matternet

UPS Flight Forward je dceřinou společností logistického giganta UPS, který jej kompletně vlastní. Společnost formálně vznikla v červenci 2019 a již 1.10.2019 získala úplnou certifikaci „Part 135 Standard“ od amerického regulátora FAA. Jedná se o historicky první společnost provozující bezpilotní systémy, která tuto certifikaci získala. Společnost může provozovat lety BVLOS za úplatu bez jakýchkoliv omezení v rozsahu a počtu operací. Povoleno je také provozovat bezpilotní letadlo s celkovou vzletovou hmotností přesahující 25 kg v noci. Cílem společnosti je poskytovat přepravní služby v oblasti zdravotnictví a zajišťovat urychlený a spolehlivý převoz produktů mezi nemocničními areály. Později se společnost hodlá zaměřit na služby i pro jiné skupiny zákazníků. [18]

Společnost se pro tento úkol spojila s výrobcem bezpilotních systémů Matternet. Jedná se o výrobce, který se zaměřuje na výrobu bezpilotních systémů určených pro rozvážení zboží. Aktuálním a používaným modelem je Matternet M2. Tento systém je schopen převážet zboží o

hmotnosti až 2 kg do vzdálenosti 20 km za přímou viditelnost pilota a nad shromážděními lidí. K předání zásilky může dojít bez případného kontaktu s adresátem pomocí lana nebo přistáním na vyhrazené plošině. [19]

Společně s partnery ze zdravotního průmyslu se společnost Matternet spojila také se švýcarskou poštou. Bezpilotní systémy nahradily klasický způsob přepravy v doručování laboratorních vzorků. Vnímané výhody jsou flexibilita v přepravě, nulová uhlíková stopa a časová úspora, kdy cesta automobilem trvala v kongesci až 45 minut a u bezpilotního letadla jednotky minut. Multikoptéra Matternet M2 je oprávněná švýcarskou agenturou pro civilní letectví pro logistické účely v městských oblastech. [20]



Obrázek 4: Bepilotní letadlo Matternet M2 ve spolupráci se společností UPS Flight Forward [18]

3 Výběr vhodných bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží a porovnání jejich parametrů

Jedním z cílů této bakalářské práce je vybrat a porovnat mezi sebou bezpilotní systémy vhodné pro přepravu zboží na území města Prahy. Tímto způsobem je možné porovnávat desítky systémů, z toho důvodu budou v této bakalářské práci porovnána pouze letadla, která dokáží operovat s užitečným zatížením v jednotkách kilogramů a doba letu je, co možná nejdelší. Při výběru vhodného bezpilotního systému je potřeba zvážit, co od systému očekáváme. Za prioritní jsou v této práci považovány doba letu s užitečným zatížením a bezpečnostní systémy.

3.1 Komparace bezpilotních systémů pro rozvoz a doručování zboží a stanovení klíčových parametrů

V následující kapitole jsou porovnány parametry bezpilotních systémů pro rozvoz a doručování zboží zároveň představeny klíčové parametry. Pro rozvoz zboží se jeví jako nejlepší řešení použít multikoptéru nebo letoun. Z technického hlediska je potřeba vyřešit, kde bude uložen převážený náklad. Stávající projekty tento problém řeší umístěním nákladu do těla jejich letadla nebo umístěním pod tělo letadla. Většina projektů přichází s vlastní konstrukcí bezpilotního letadla, které je konstruováno s ohledem na jeho budoucí využití. Při výběru vhodného prostředku budou porovnána ta letadla, která se dají běžně zakoupit. Součástí kapitoly bude srovnání i jejich parametrů, avšak vytvoření vlastního návrhu součástí práce nebude. Náklad by pak byl uložen pod tělem bezpilotního letadla.

Bezpilotní letoun má vyšší cestovní rychlost, delší dobu letu, avšak kvůli jeho manévrovatelnosti a potřebné ploše ke vzletu a přistání jej nelze považovat za vhodné řešení pro použití v městských částech. Jak je vidět u současných konceptů viz. projekt Zipline, použití bezpilotního letounu je vhodným řešením při letech na větší vzdálenost, protože cestovní rychlost je vyšší a doba letu delší než je tomu u multikoptér. Projekt Zipline může používat bezpilotní letouny, protože v zemích kde působí, tj. Rwanda a Ghana je nižší úroveň infrastruktury a absence leteckých předpisů.

Pro rozvážení zboží nejen v obydlených částech je jedním z klíčových faktorů bezpečnost. Aby mohly být bezpilotní systémy používány pro rozvážení zboží, musí tento způsob přepravy

splňovat bezpečnostní kritéria. Stroj musí být vybaven technologiemi, které budou pomoci strojového učení vyhodnocovat nebezpečí. Bude se muset jednat o systém, který bude schopen provádět automatizované lety a lety za přímou viditelnost pilota. Použití multikoptéry se mi kvůli těmto argumentům jeví jako nejlepší řešení pro rozvoz zboží v obydlených částech.

Na základě využitelnosti systému pro návrh, který je zpracován v 5. kapitole, jsem se rozhodl stanovit minimální hmotnost užitečného zatížení na 1250 gramů a dobu letu s touto zátěží na 25 minut. Informace o bezpečnostních systémech se u každého výrobce liší a obtížně se porovnávají, avšak i přesto se snažím u každého bezpilotního systému zdůvodnit své rozhodnutí. Za velmi podstatné vnímám, zda výrobce poskytuje možnost automatizovaného provozu a letů za přímou viditelnost pilota.

Pro srovnání jsem vybral několik bezpilotních prostředků použitelných pro rozvážení zboží. Pro bližší srovnání jsem vybral jako nejvhodnější bezpilotní systém pro rozvážení zboží multikoptéry DJI Matrice 200 V2, AceCore Zoe a Matternet M2, protože splňují stanovená kritéria a budu se jim věnovat v kapitolách 3.1.2, 3.1.3 a 3.1.4.

3.1.1 Porovnání konkrétních bezpilotních systémů

Vulcan UAV - Mini 8 je oktokoptéra z dílny britské společnosti Vulcan UAV. Multikoptéra váží 3,4 kg bez baterií a její maximální vzletová hmotnost je 8 kg. Výrobce uvádí, že doba letu je přes 30 minut bez dodatečné zátěže a přes 15 minut s užitečnou zátěží o hmotnosti 1,8 kg, oba údaje jsou za použití lithium-polymerové baterie s kapacitou 16000 mAh vážící 1,75 kg. Počet pohonných jednotek, který je u tohoto modelu 8, zajišťuje vysokou bezpečnost letu. Mini 8 má zabudovanou kameru s pohledem z první osoby. Výrobce nabízí vlastní řešení navíjecího systému pro spuštění přepravovaného zboží. Pořizovací cena systému je 204 660 Kč. [21]

Mini 8 nespĺňuje můj stanovený požadavek na dobu letu s užitečným zatížením. Výrobce neuvádí, zda jeho bezpilotní systém disponuje jakýmkoliv bezpečnostními systémy. Jako výhodu vnímám počet pohonných jednotek. Oktokoptéra může, narozdíl od kvadroptéry, po vysazení jedné pohonné jednotky bezpečně pokračovat v letu. Avšak na základě nesplnění požadavku jsem se rozhodl, multikoptéru Mini 8 ve výběru vhodného systému nezvažovat.

DJI Matrice 100 je multikoptéra se 4 pohonnými jednotkami. Kvadroptéra s výrobcem doporučenou baterií TB48D váží 2431 g, maximální vzletová hmotnost je 3600 g. Bez další zátěže je uváděná doba letu výrobcem 28 minut, s nákladem o hmotnosti 500 g je doba letu 20 minut a s nákladem o hmotnosti 1000 g je se strojem možné létat 16 minut. Výrobce umožňuje přidat druhou baterii TB48D, která váží 676 gramů. Doba letu se bez dalšího zatížení zvýší na 40 minut, dobu letu s dodatečnou zátěží výrobce neuvádí. Hmotnost zátěže pak může být maximálně 493 gramů. Maximální rychlost za bezvětří a bez nákladu je 22 m/s při Attitude módu a 17 m/s při GPS módu. Kvadroptéra může operovat v rozmezí teplot od -10° C do 40° C. Pořizovací cena je 92 000 Kč. [22]

DJI Matrice 100 je nejmenší multikoptéra z řady Matrice. Kvůli faktu, že nesplňuje stanovený požadavek na minimální hmotnost užitečného zatížení jí dále ve výběru nezvažuji.

DJI Matrice 200 V2 je dalším zástupcem multikoptér z řady Matrice. Na rozdíl od Matrice 100, dokáže tato kvadroptéra operovat s užitečným zatížením až 1450 g a to po dobu 24 minut. Její maximální vzletová hmotnost je 6140 g. Označení V2 značí druhou verzi této řady, která byla představena zkraje roku 2019 a přinesla spoustu nových nebo vylepšených funkcí. Po bezpečnostní stránce se jedná o jednu z nejvyspělejších multikoptér, na kterou jsem ve výběru narazil. DJI Matrice 200 V2 se budu více věnovat v kapitole 3.2. [23]

YD4-1000S je multikoptéra od čínské společnosti Yangda. Jedná se o kvadroptéru, jejíž tělo je tvořeno z uhlíkových vláken, ramena jsou tvořena z průmyslového plastu a skleněných vláken. Stroj je odolný vůči vodě, prachu a dokáže, podle výrobce, operovat téměř ve všech podmínkách. Hmotnost kvadroptéry je 1700 g, výrobce doporučuje použití lithium-polymerové baterie s napětím 22,8 V a kapacitě 30000 mAh nebo 2 baterií o kapacitách 25000 mAh. Maximální vzletovou hmotnost ani hmotnost baterií výrobce neuvádí, avšak uvádí, že se zátěží o hmotnosti 2 kg je doba letu 65 minut. Není uvedeno, zdali je bezpilotní systém vybaven protisrážkovými, failsafe nebo jakýmikoliv jinými systémy. Cena uvedená na stránkách výrobce se pohybuje okolo 53 300 Kč. [25]

Tento bezpilotní systém jsem se rozhodl uvést, protože disponuje nejlepšími parametry doby letu mezi multikoptérami. Avšak kvůli absenci bezpečnostních systémů a dalších zásadních informací potřebných pro profesionální využití, jsem se rozhodl jej dále nezvažovat.

Raptor EV je hybridní bezpilotní letadlo, které je schopné vertikálního vzletu a přistání a klasického letu. Konstrukčně se jedná o letadlo s pevným křídlem, na kterém jsou připevněny 4 pohonné jednotky, které zajišťují možnost změny letových režimů. Maximální vzletová hmotnost letadla je 9 kg, hmotnost užitečného zatížení může být až 4 kg. Výrobce uvádí minimální dobu letu 2 hodiny a maximální 5 hodin, hodnoty jsou závislé na rychlosti letu, hmotnosti zatížení a kapacitě použité baterie. Konstrukce letadla je z laminátu. Jedná se o malovýrobu, tudíž výrobce stanovil cenu na 715 000 Kč. [26]

Raptor EV vnímám jako zajímavý produkt, avšak dále jsem ho ve výběru nezvažoval. Cestovní rychlost, doba letu a možnost vertikálního vzletu a přistání jsou významná pozitiva, avšak díky omezené manévrovatelnosti a absenci bezpečnostních systémů ho nepovažuji za vhodný bezpilotní systém pro účely přepravy zboží.

AceCore Zoe je produkt nizozemské firmy AceCore Technologies. Společnost se zaměřuje na výrobu pouze 2 bezpilotních systémů, avšak klade si za cíl, aby splňovaly náročné podmínky pro profesionální využití. AceCore Zoe je kvadrokoptéra o hmotnosti 3890 g, její maximální vzletová hmotnost je 11950 g a maximální hmotnost užitečného zatížení je 6500 g. Výrobce nabízí použití široké škály kapacit lithium-polymerových baterií, které ovlivňují délku doby letu. S užitečným zatížením 1500 g je doba letu přes 30 minut. Po stránce bezpečnostních systémů a prvků vnímám kvadrokoptéru AceCore Zoe za přijatelné řešení a více se jí věnuji v kapitole 3.1.3. [27]

Matternet M2 je bezpilotní koptéra, která má 4 elektrické pohonné jednotky a používá lithium-iontové baterie. Její hmotnost s bateriemi je 9,5 kg, maximální vzletová hmotnost je 11,5 kg, maximální hmotnost užitečného zatížení je 2 kg. S užitečným zatížením o hmotnosti 1 kg má multikoptéra dolet 20 km. Její cestovní rychlost je 10 m/s a cestovní výška 120 metrů nad zemí (AGL). Kvadrokoptéra může být provozována při teplotách od -10° C do 40° C. Systém disponuje mobilním standardem GSM, je připojen ke cloudovému serveru společnosti Matternet pro automatizované operace. Detailněji je popsána v kapitole 3.1.4. [35]

3.1.2 DJI Matrice 200 V2

DJI Matrice 200 V2 je multikoptéra z řady Matrice od největšího výrobce bezpilotních systémů na trhu DJI. Řada Matrice je určena pro profesionální průmyslové využití. V této řadě existují modely s označením Matrice 100, 200 a 600. Matrice 200 se prodává ve variantách: M200, M210, M210 RTK. Varianty M200 a M210 se nevýrazně liší v technických parametrech a mnoho údajů je totožných. Maximální vzletová hmotnost je u obou variant 6,14 kg, M210 je nepatrně těžší než M200 (4,80 kg X 4,69 kg – oba údaje s použitím dvou TB55 baterií). Doba letu je při použití dvou baterií TB55 a maximální vzletové hmotnosti 6,14 kg u obou variant 24 minut. Rozdíl je v univerzálnosti, M210 nabízí více variant upevnění gimbálu. Třetí model má označení M210 RTK, kde zkratka značí „Real Time Kinematics“, což znamená vestavěnou satelitní kinetickou navigaci v reálném čase. Výsledkem je pak vysoká přesnost zaměření a odolnost proti rušení signálu. [23]

DJI Matrice 200 V2 je kvadrokoptéra, která váží s 2 bateriemi TB55 4,69 kg. Baterie TB55 je lithium-polymerový článek 6S s kapacitou 7660 mAh a napětím 22,8 V. Maximální vzletová hmotnost je 6,14 kg, tudíž hmotnost nákladu může být až 1,45 kg. Výrobce uvádí dobu letu bez nákladu 38 minut a 24 minut při celkové hmotnosti 6,14 kg. Maximální rychlost letu při módu S a A je 22,5 m/s a 17 m/s při módu P. Mód P (Positioning) je letový mód, který vyžaduje signál GPS a pomocí senzorů se multikoptéra dokáže automaticky stabilizovat a navigovat mezi objekty. Kvadrokoptéra může operovat při teplotách od -20 °C do 50 °C a má rating IP43 proti vodě a prachu. M200 V2 disponuje protisrážkovým systémem, senzory vpředu, senzory monitorující okolí pod strojem, infračervenými senzory nad strojem a systémem monitorující letový provoz v blízkosti stroje - Airsense.

Ze začátku roku 2019 byla představena řada Matrice 200 V2. Zdokonaleno bylo několik oblastí:

- Spolehlivost spojení – Bepilotní systémy Matrice 200 V2 disponují systémem OcuSync 2.0. Jedná se o systém, který slouží ke spojení mezi vysílačem a bezpilotním letadlem. Systém je dvoupásmový, dokáže automaticky přepínat mezi pásmem 2,4 GHz a pásmem 5 GHz pro nejlepší signál za letu. Další výhodou oproti předchozím systémům je přenos obrazu s rozlišením 1080p na vzdálenost až 8 km.
- Ochrana dat – Použití AES – 256 (standard pokročilého šifrování)
- Bezpečnost letu – Anti-kolizní senzory nad i pod letadlem. Dalším systémem, který přidává na bezpečnosti letu je AirSense. Letadlo je vybaveno přijímačem ADS-B (ADS-B In) a pilot je tak informován o letadlech, které jsou v jeho okolí a ADS-B signál vysílají.
- Výkonnost – Novinkou je možnost nastavení těžiště letadla při různých použitích užitečného zatížení pomocí DJI Pilot aplikace a dosáhnutí lepších letových vlastností.

- Přesnost dat – Funkce systému TimeSync, který souvisle spojuje a synchronizuje letovou řídicí jednotku, výstup z kamer, výstup z GPS a RTK modulů a výstup z jakéhokoliv užitečného zatížení. Výsledkem systému je fixace pozice a dosažení přesnosti dat.

Dle výrobce DJI jsou multikoptéry z řady Matrice V2 díky těmto vylepšením připraveny na lety BVLOS a noční provoz. [24]

Tento stroj se dá zakoupit v 3 různých konfiguracích řídicí jednotky a to N3,A3 a A3 Pro. Hlavní rozdíly jsou zobrazené v následující tabulce, která je převzata z webových stránek prodejce. [23]

Flight Controller Comparison: Flight Controller System			
Flight Controller	N3	A3	A3 Pro
IMU	2	1	3
IMU Quality	Consumer	Industrial	Industrial
GPS Antenna	1x Square ceramic antennas	1x Dual-feed circular patch antennas	3x Dual-feed circular patch antennas
GPS Noise Immunity	Moderate	High	High
Weight g	132	186	386

Tabulka 1: Porovnání nabídky řídicích jednotek pro systém DJI Matrice 200 V2 [24]

DJI Matrice 200 V2	
Počet pohonných jednotek	4
Rozměr rozložené multikoptéry	883x886x398 mm
Hmotnost multikoptéry	2920 g
Hmotnost s doporučenými bateriemi (2x TB55)	4690 g
Celková maximální hmotnost	6140 g
Maximální hmotnost užitečného zatížení	1450 g
Maximální doba letu bez užitečného zatížení	38 min
Maximální doba letu při maximální hmotnosti	24 min
Cestovní rychlost	17 m/s
IP rating	IP43
Systémy	Airsense
	Forward vision system
	Downward vision system
	Upward infrared sensing system
	OcuSync 2.0
GNSS	GPS+GLONASS
Doporučené baterie TB55	Lithium-polymer
Hmotnost	885 g
Napětí	22.8 V
Kapacita	7660 mAh

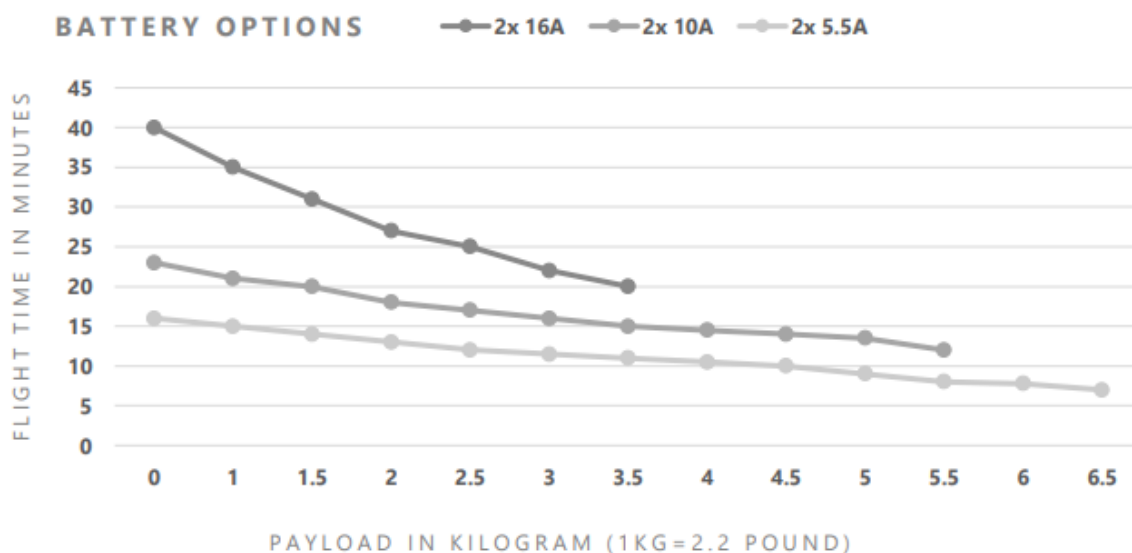
Tabulka 2: Parametry bezpilotního systému DJI Matrice 200 V2 [vlastní]

3.1.3 AceCore Zoe

AceCore Zoe je kvadrokoptéra určena pro profesionální použití. Acecore Technologies je společnost zabývající se výrobou a vývojem bezpilotních systémů, druhým vyráběným bezpilotním systémem je oktokočtvera Neo. Zoe má konstrukci z uhlíkových vláken, hmotnost bez baterií a užitečného zatížení je 3,89 kg. Maximální vzletová hmotnost je 11,95 kg. Kvadrokoptéra může být provozována při teplotách od -10 °C do 45 °C, ve větru do rychlosti 18 m/s. Hodnocení IP je IP43, tudíž je chráněna proti dešti.

Kvadroptéra Zoe je vybavena autopilotem, 3 inerciálními navigačními jednotkami (IMU), přičemž každá inerciální navigační jednotka se skládá z akcelerometru, gyroskopu, magnetometru a barometru. FMU (flight management unit) je oddělena od IMU, tudíž nedochází k interferenci jednotlivých senzorů. Multikoptéra může být vybavena padákem pro případ technické závady. Výrobce neuvádí, zdali je bezpilotní letadlo vybaveno dalšími bezpečnostními systémy.

Výrobce nabízí lithium-polymerové baterie s kapacitou od 4500 mAh do 16000 mAh. Nominální napětí je 22.8 V. V následující tabulce výrobce udává dobu letu při zátěži a použití baterií s různou kapacitou. Výrobce neuvádí hmotnosti baterií, ale s použitím 2 lithium-polymerových baterií o kapacitách 16000 mAh je doba letu s užitečnou zátěží 1 kg 35 minut, s 2,5 kg 25 minut a s 3,5 kg 20 minut. Tabulka je převzatá z webových stránek výrobce. [27]



Tabulka 3: Porovnání doby letu při zatížení pro různé kapacity baterií [27]

AceCore Zoe	
Počet pohonných jednotek	4
Rozměr rozložené multikoptéry	700x700x495 mm
Hmotnost multikoptéry	3890 g
Hmotnost s doporučenými bateriemi	Výrobce neuvedl
Celková maximální hmotnost	11950 g
Maximální hmotnost užitečného zatížení	6500 g
Maximální doba letu bez užitečného zatížení	40 min
Maximální doba letu při maximální hmotnosti	Viz. Tabulka 3
Cestovní rychlost	Výrobce neuvedl
IP rating	IP43
Systémy	Autopilot
	3x IMU
	Bezpečnostní padák
Doporučené baterie Tattu	Lithium-polymer
Hmotnost	Záleží na kapacitě baterie
Napětí	22.2 V
Kapacita	Až 16000 mAh

Tabulka 4: Parametry bezpilotního systému AceCore Zoe [vlastní]

3.1.4 Matternet M2

Matternet M2 je bezpilotní systém společnosti Matternet, která se zaměřuje na vývoj a výrobu bezpilotních systémů určených k přepravě zboží. Americká firma spolupracuje se svými partnery a dodává jim kompletní řešení bezpilotního systému. Matternet poskytuje kompletní technické řešení pro švýcarskou poštu a logistickou firmu UPS, která s tímto typem bezpilotního systému získala úplnou certifikaci „Part 135 Standard“ od amerického regulátora FAA.

Matternet M2 je kvadrokoptéra, která pro napájení používá lithium-iontové baterie. Hmotnost koptéry je s bateriemi 9,5 kg, maximální vzletová hmotnost je 11,5 kg. Užitečné zatížení může vážit až 2 kg. Výrobce uvádí, že dolet multikoptéry s užitečným zatížením o hmotnosti 1 kg je 20 km. Cestovní rychlost je 10 m/s a cestovní výška 120 metrů nad zemí (AGL). Matternet M2

může být provozována v teplotním rozmezí od -10 °C do 40 °C. Díky mobilnímu standardu GMS je bezpilotní systém připojen ke cloudovému serveru společnosti Matternet pro automatizované operace. Mezi výbavu bezpečnostních prvků multikoptéry se řadí automatický padák a vícefaktorový 3D geo-fencing. [47]

Matternet M2	
Počet pohonných jednotek	4
Rozměr rozložené multikoptéry	1280x1280x260 mm
Hmotnost multikoptéry	Výrobce neuvedl
Hmotnost s doporučenými baterie	9500 g
Celková maximální hmotnost	11500 g
Maximální hmotnost užitečného zatížení	2000 g
Maximální doba letu bez užitečného zatížení	Výrobce neuvedl
Maximální doba letu při maximální hmotnosti	Výrobce neuvedl
Cestovní rychlost	10 m /s
Cestovní výška	120 m AGL
Systémy	Vícefaktorový 3D geo-fencing
	Automatický padák
Doporučené baterie	Lithium-iontové
Hmotnost	Výrobce neuvedl
Napětí	
Kapacita	

Tabulka 5: Parametry bezpilotního systému Matternet M2 [vlastní]

3.2 Shrnutí výběru vhodného bezpilotního systému

Jako nejvhodnější bezpilotní letadla pro rozvoz zboží jsem se rozhodl porovnat DJI Matrice 200 V2, AceCore Zoe a Matternet M2. Všechny z těchto koptér splňují mnou stanovené požadavky. Parametry jsou obsaženy v následující tabulce.

	DJI Matrice 200 V2	AceCore Zoe	Matternet M2
Počet pohonných jednotek	4	4	4
Rozměr rozložené multikoptéry	883x886x398 mm	700x700x495 mm	1280x1280x260 mm
Hmotnost multikoptéry	2920 g	3890 g	X
Hmotnost s bateriemi	4690 g	X	9500 g
Maximální hmotnost	6140 g	11950 g	11500 g
Maximální hmotnost užitečného zatížení	1450 g	6500 g	2000 g
Maximální doba letu bez užitečného zatížení	38 min	40 min	X
Maximální doba letu při užitečném zatížení 1450 g	24 min	32 min	X
IP rating	IP43	IP43	X
Cestovní rychlost	17 m/s	X	10 m/s
Cestovní výška	*Bez omezení	*Bez omezení	120 m AGL

Pozn. X – výrobce tento parametr neuvádí

Tabulka 6: Komparace parametrů vybraných bezpilotních systémů [vlastní]

Kvadrokoptéra AceCore Zoe nabízí možnost létat s užitečným zatížením až 6,5 kg, Matternet M2 se zatížením až 2 kg a DJI Matrice 200 V2 pouze s 1450 gramy a jeho doba letu je s touto zátěží 24 minut. Pokud by byla AceCore Zoe vybavena 2 bateriemi s největší nabízenou kapacitou, pak dokáže létat se zatížením 1,5 kg přes 30 minut. AceCore Zoe je vybavena autopilotem a 3 inerciálními měřicími jednotkami, které jsou odděleny od FMU. Maximální hmotnost užitečného zatížení 6,5 kg nabízí široké spektrum praktického využití.

DJI Matrice 200 V2 je vybavena systémy, které při jejím provozu zajišťují vysokou úroveň bezpečnosti. Systémy monitorují okolí za letu a zajišťují bezpečnost provozu v osídlených oblastech. Díky systému AirSense multikoptéra přijímá ADS-B signál od okolního letového provozu. OcuSync 2.0 a šifrování AES – 256 zajišťují bezpečné spojení mezi multikoptérou a vysílačem. To jsou argumenty pro využití v oblasti doručování zboží. Doba letu je 24 minut při užitečné zátěži 1450 gramů, což je hodnota, kterou vnímám jako největší slabinu, avšak stále se jedná hodnoty použitelné v praxi. Při cestovní rychlosti 17 m/s dokáže koptéra urazit za 24 minut vzdálenost 24480 metrů.

Matternet M2 je osvědčený bezpilotní systém, vytvořený za účelem logistických operací. Hmotnost užitečného zatížení může být maximálně 2 kg, což vnímám jako nízkou hodnotu při hmotnosti letadla s bateriemi 9,5 kg. Za výhody vnímám vysokou spolehlivost systému a zkušenosti s tímto systémem z reálného provozu při logistických operacích. Systém disponuje vícefaktorovým 3D geo-fencingem, který zajišťuje bezpečnost systému při provozu v zástavbách. Cestovní rychlost koptéry Matternet M2 je 10 m/s, zatímco cestovní rychlost DJI Matrice 200 V2 je 17 m/s. Při úvaze překonání vzdálenosti 9500 m je doba letu koptéry Matternet M2 15,8 minut a doba letu DJI Matrice 200 V2 9,3 minut.

Pokud by byla hmotnost užitečného zatížení menší nebo rovna 1450 g, zvolil bych za nejvhodnější bezpilotní systém DJI Matrice 200 V2. Nabízí vysokou úroveň bezpečnostních systémů a prvků, které splňují standardy méj představy o bezpečném provozu bezpilotních systémů. Její cestovní rychlost je v módu P 17 m/s, rychlost se při celkové maximální hmotnosti sníží, výrobce však tuto hodnotu neuvádí. V případě, že by hmotnost užitečného zatížení byla větší než 1450 g, avšak menší nebo rovna 2000 g, použil bych bezpilotní systém Matternet M2 a pro užitečné zatížení s větší hmotností, avšak do 6500 g bych zvolil bezpilotní systém AceCore Zoe.

Výběr bezpilotního systému v závislosti na hmotnosti užitečného zatížení:

Bezpilotní systém	DJI Matrice 200 V2	Matternet M2	AceCore Zoe
Hmotnost užitečného zatížení (m) [g]	$0 < m \leq 1450$	$1450 < m \leq 2000$	$2000 < m \leq 6500$

Tabulka 7: Bezpilotní systém v závislosti na hmotnosti užitečného zatížení [Vlastní]

4 Právní předpisy regulující doručování a přepravu zboží bezpilotních systémů

Následující kapitola se bude věnovat legislativnímu rámci, který řeší provoz bezpilotních systémů. Letectví je obor, jež je regulován na mezinárodní i národní úrovni. Mezinárodně je řešen Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO), která vznikla Chicagskou úmluvou v roce 1944 a po ratifikaci vstoupila v platnost v roce 1947. Součástí je 19 příloh (tzv. annexů) obsahujících standardy a doporučené postupy, které jsou promítnuty v legislativě členských států. V České republice jsou tyto standardy vydávány Ministerstvem dopravy ČR pod názvem letecké předpisy řady L. Provozem bezpilotních systémů se zabývá předpis L2 – Pravidla létání, a to konkrétně Hlava 3, Dodatek 4, Dodatek 5, Doplněk X a Doplněk R. Doplněk X – Bepilotní systémy bude rozebrán v další části.

Dále musí být civilní využívání vzdušného prostoru v České republice v souladu se zákonem číslo 49/1997 Sb. o civilním letectví a dle 14. ustanovení Doplněku X v souladu se Zákonem o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb., Zákonem o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb., Zákonem o chemických látkách a chemických č. 356/2003 Sb., Zákonem o odpadech č. 185/2001 Sb., Zákonem o požární ochraně č. 133/1985 Sb., Zákonem o vodách č. 245/2001 Sb., Zákonem o životním prostředí č. 17/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů a v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013. [2]

4.1 Mezinárodní legislativa řešící provoz bezpilotních systémů

S technologickým vývojem a novým využitím bezpilotních systémů nejde zcela ruku v ruce předpisová základna. Státy Evropské unie řeší legislativní rámec pro provoz bezpilotních systémů každý zvlášť a konsolidovaná pravidla pro všechny státy EU jsou ve fázi příprav. Snaha členských států EU řešit problematiku UAS je zřejmá, neboť 6. března 2015 vznikla **Rižská deklarace**. V tomto dokumentu bylo uvedeno 5 principů, které mají sloužit jako podklad k vytváření nových regulačních rámců v Evropě:

- S bezpilotními systémy musí být zacházeno jako s novým typem letadel s pravidly úměrnými nebezpečí při jejich použití;
- Evropská legislativa pro bezpečný provoz bezpilotních systémů musí vzniknout urychleně;

- Technologie a standardy musí být vyvinuty s ohledem na kompletní integraci bezpilotních systémů do evropského vzdušného prostoru;
- Klíčovým faktorem pro rozvoj bezpilotních systémů je jejich přijetí širokou veřejností;
- Zodpovědnost za provoz bezpilotního systému má provozovatel. [28]

Na Řižskou deklaraci navázala **Varšavská konference**, která se uskutečnila 23. a 24. listopadu 2016. Na konferenci byl vyzdvihnut možný potenciál využití bezpilotních systémů, technologická řešení a pozornosti se dostalo i autonomním letadlům. Dále bylo odsouhlaseno, že Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) se bude dále zabývat vzájemným působením mezi bezpilotními systémy a letadly s pilotem na palubě. Byl představen koncept U-Space a použit termín „Very Low-Level Airspace“, tedy vzdušný prostor do výšky 500 ft. Závěrem byly stanoveny požadavky pro bližší spolupráci v rámci Evropské unie:

- Vytvoření předpisového rámce a včasné stanovení standardů;
- Financování a podpora implementace UAS;
- Vývoj konceptu U-Space. [29]

Helsinská deklarace byla přijata 22. listopadu 2017. Shodla se na ní Evropská komise se zástupci leteckého průmyslu. Deklarace navázala na pokrok, kterého bylo dosaženo od Řižské deklarace a Varšavské konference a to specificky:

- Vytváření regulačního rámce dle závazku Evropského parlamentu a Předsednictví Rady EU,
- Probíhající proces agentury EASA na vytvoření podmínek k provozu bezpilotních systémů v kategoriích „otevřená“ a „specifická“ podle míry rizika
- Vydáním dokumentu U-Space Blueprint a příprava aktualizace ATM Master Plan uskupením SESAR Joint Undertaking
- Spuštění prvních U-Space a městských leteckých projektů financovaných EU

Bylo odsouhlaseno všemi zúčastněnými stranami otevření evropského trhu služeb bezpilotních systémů do roku 2019 a zároveň spolupráce na třech ustanoveních s ohledem na prostředí, ochranu bezpečí a soukromí občanů:

- Legislativní požadavky pro bezpilotní systémy a jejich provoz pro bezpečné a efektivní užívání vzdušného prostoru, vytvoření nákladově efektivních U-Space služeb;
- Podpora investic a dlouhodobých projektů výzkumu řešící problematiku autonomních systémů;

- Vytvoření efektivních procesů a standardů přizpůsobených rychle se vyvíjejícím digitálním technologiím. [30]

Na předchozí konference a deklaráce navázala **Amsterdamská deklaráce**, která byla schválena 28. listopadu roku 2018. Jedním z témat byla integrace „chytré mobility“, tedy vznik nových technologií a projektů, které by využívaly „Very Low-Level Airspace“. Tento pojem označuje vzdušný prostor do výšky 500 ft nad povrchem země (AGL). Více se mluvilo o využití UAS ve spojitosti se zelenou mobilitou a poukazuje se na ekologičnost. Za naléhavé bylo shledáno vytvoření podmínek, za kterých by mohl být spuštěn komerční automatizovaný provoz bezpilotních systémů a lety za přímou viditelnost pilota (BVLOS). Závěrem konference byly stanoveny nejdůležitější body pro budoucí postup:

- Podpora členským státům v implementaci jednotné evropské legislativy řešící bezpilotní systémy;
- V úzké spolupráci s členskými státy a všemi stranami vyvinout institucionální rámec pro konkurenceschopný trh služeb v rámci U-Space a podpora bezpilotních systémů v rámci Single European Sky;
- Stanovit, s přihlédnutím na situaci ve světě, Evropský standard pro UAS výroby, tak aby splňovaly výkonnostní požadavky Evropských předpisů;
- Podpora měst ve víceúčelových řešení k využití vzdušného prostoru ve třídě „Very Low-Level Airspace“;
- Podpora propagace informačních kampaní bezpilotních systémů ke zrychlení začátku poskytování služeb bezpilotními systémy;
- Podpora investic výzkumu a rozvoje aktivit pro bezpečný a ekologický, „zelený“ provoz UAS v Evropě. [31]

Program SESAR

SESAR neboli „Single European Sky ATM Research“ je projekt financovaný Evropskou unií a evropskou mezinárodní organizací Eurocontrol, který si klade za cíl vytvoření nebo zlepšení technologií a procedur v oblasti řízení letového provozu a zaštiťuje všechny výzkum a vývoj vedený v EU. Program je rozdělen na fázi vývojovou a fázi zaváděcí, obě fáze v současné době probíhají paralelně. [32]

Součástí programu SESAR je projekt U-Space, jehož cílem je integrovat bezpilotní systémy do vzdušného prostoru států Evropské unie. Víze projektu je docílit plné integrace do všech tříd vzdušného prostoru a jeho užívání společně s letadly s posádkou na palubě. Větší bezpilotní systémy budou používat stejnou letištní infrastrukturu a, budou komunikovat s řízením letového provozu pomocí datalinku. V dokumentu o projektu U-space SESAR je uvedeno, že do roku 2035 bude vzdušný prostor minimálně 10x více obsazený. S majoritním zastoupením bezpilotními systémy, které budou provozovány automatizovaně a za přímou viditelnost pilota (BVLOS). Dále je v dokumentu zmíněno, že vznikne vysoká poptávka užívání vzdušného prostoru v městských oblastech. Bepilotní systémy provozovány v těchto oblastech budou muset splňovat přísnější podmínky, tj. přesnost navigace, zvládání krizových situací a DAA (Detekce a vyhnutí). [33]

Začlenění je popsáno ve 3 fázích:

- Fáze 1: IFR RPAS ve třídě A-C: Bepilotní systémy budou moci využívat vzdušný prostor tříd A-C podle pravidel IFR, budou vybaveny systémy DAA, komunikovat s řízením letového provozu. [33]
- Fáze 2: IFR RPAS ve třídě A-G: Bepilotní systémy budou létat podle pravidel IFR se schopností DAA, budou tak začleněny do provozu IFR a VFR. [33]
- Fáze 3: RPAS ve třídě A-G dle pravidel IFR a VFR. UAS budou bezpečně začleněny do řízeného i neřízeného prostoru. Použití datalinku pro komunikaci s řízením letového provozu. [33]

U1 – Při této fázi budou spuštěny základní služby: e-registrace, e-identifikace a předletový geo-fencing. Cílem je identifikovat bezpilotní systémy, jejich provozovatele a informovat o oblastech, ve kterých je zakázáno létat. Procedury k získání letových povolení budou usnadněny. Lety BVLOS budou velmi omezené. Spuštění fáze U1 je naplánováno od roku 2019. [33]

U2 – Tato fáze značí první propojení bezpilotních systémů s řízením letového provozu a letadly s posádkou na palubě. Bude použita stávající infrastruktura ŘLP a technologie, které se v této době vyvíjejí, tj. LTE pro datové spojení. Rozsah použití „at low levels“ bude zvětšen, a dojde k použití v řízeném vzdušném prostoru. Budou běžně prováděny BVLOS lety. Spuštění fáze U2 je naplánováno od roku 2022. [33]

U3 – Naváže na zkušenosti získané z fáze U2. Nové technologie, automatické a vylepšené systémy detekce a vyhnutí a vyšší spolehlivost spojení dovolí provoz bezpilotních systémů ve všech prostředích a posílí propojení s ŘLP a využívání stejného vzdušného prostoru s letadly s posádkou na palubě. Toto je fáze, ve které je předpokládán největší rozmach provozu bezpilotních systémů, převážně v městských oblastech. Spuštění fáze U3 je naplánováno od roku 2027. [33]

U4 – Je zaměřena na zdokonalení integrace a propojení bezpilotních systémů s ŘLP. Je podpořena provozuschopnost celého projektu U-space s vysokou úrovní automatizace. Spuštění fáze U4 je naplánováno od roku 2035. [33]

4.2 Doplněk X – Bepilotní systémy

Doplněk X je součástí leteckého předpisu L2 – Pravidla létání. Byl vydán v roce 2012 a od té doby byl několikrát novelizován. V první řadě je na místě zmínit Dodatek 4 předpisu L-2, ze kterého Doplněk X vychází. Dodatek 4 obsahuje všeobecná pravidla provozu systému dálkově řízeného letadla (RPAS), vycházející z ICAO dokumentu „Manual on Remotely Piloted Aircraft“. [2]

Od novelizace z roku 2014 je Doplněk X je doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg. Pro všechny bezpilotní letadla, která nespádají do kategorie modelů letadel s MTOM < 25 kg je Doplněk X platný v celém znění. Pro bezpilotní letadla s MTOM > 150 kg platí Pravidla létání jako u klasických letadel. [2]

Kritickým faktorem celého letectví je bezpečnost, v Doplněku X se jím zabývá ustanovení 3.1. *„Let bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí.“* Ustanovení 3.2 poté řeší létání s modely letadel ve vzdušném prostoru, které může být uskutečněné po vzájemné dohodě pilotů a osob. [2]

Velmi důležitým bodem pro využití bezpilotních systémů pro doručování zboží a další automatizované aplikace je ustanovení 4. Dohled pilota. Pro všechny bezpilotní systémy platí, že mohou být provozovány pouze v přímém dohledu pilota, tak aby pilot nebo poučená osoba udržovala trvalý vizuální kontakt s letadlem během poježdění a letu. Jedná se o lety VLOS (Visual Line of Sight). Lety BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) jsou zakázány, pokud ÚCL nerozhodne jinak. [2]

Prostory – Bepilotní systémy mohou být v České republice provozovány pouze v následujících prostorech:

- Ve vzdušném prostoru třídy G
- Povoleno je létat v letištní provozní zóně (ATZ). Letištní provozní zóna je zřízena na letištích, na kterých není poskytována služba řízení letového provozu, a to kružnicí o poloměru 5,5 km od vztažného bodu letiště, vertikálně je ohraničena nadmořskou výškou 1200 metrů, pokud ÚCL nestanoví jinak. Pokud by takto vymezený prostor zasahoval do vzdušného prostoru třídy C nebo G, nebo zakázaného prostoru, pak hranice těchto prostorů je hranice ATZ.
- Povoleno je létat na území neřízených letišť v aktivované oblasti s povinným radiovým spojením, pokud jsou splněny podmínky stanovené provozovatelem letiště a po vzájemné koordinaci s letištními a letovými informačními službami (AFIS).
- V řízeném okrsku letiště (CTR a MCTR) do výšky 100 metrů nad zemí a horizontální vzdálenosti od vztažného bodu řízeného letiště větší než 5500 metrů, pokud příslušné stanoviště řízení letového provozu nerozhodne jinak. Výjimkou je povolení od ÚCL nebo domluva s příslušným stanovištěm řízení letového provozu. Pro bezpilotní letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg platí, že let může být proveden ve vzdálenosti menší než 5500 metrů od vztažného bodu řízeného letiště. [2]

Zakázáno je létat, pokud ÚCL nerozhodne jinak, v zakázaných, nebezpečných a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhraných prostorech. [2]

Ve společném vzdušném prostoru České republiky nesmí být provozováno autonomní bezpilotní letadlo viz. ustanovení 7.6. [2]

Za zmínku stojí ustanovení 11. Shazování nákladu, které zakazuje shazování nákladů za letu, pokud se nejedná o letecké veřejné vystoupení a soutěž. Doplněk nezohledňuje spouštění nákladu pomocí spouštěcího mechanismu. Při zachování bezpečnosti provozu je tato metoda předání nákladu optimální. [2]

Doplněk X rozlišuje bezpilotní systémy podle maximální vzletové hmotnosti do 4 kategorií:

- MTOM \leq 0,91 kg
- MTOM > 0,91 kg a < 7 kg
- MTOM 7–25 kg
- MTOM > 25 kg

Pátou kategorií jsou pro bezpilotní letadla provozovaná mimo dohled pilota. [2]

Pro účely rozvozu zboží bezpilotními systémy se blíže zaměřím na kategorie: MTOM > 0,91 kg a < 7 kg; MTOM 7 – 25 kg a bezpilotní letadla provozovaná mimo dohled pilota.

Bezpilotní letadla v kategorii MTOM > 0,91 kg a < 7 kg a v kategorii MTOM 7 – 25 kg se dále rozdělují do dvou kategorií podle účelu použití: rekreačně sportovní a výdělečné, experimentální a, výzkumné. Dále se budu zabývat pouze druhou kategorií, tedy výdělečnou, experimentální a, výzkumnou. Obě kategorie dle MTOM požadují evidenci letadla i pilota, praktický a teoretický test pilota, povolení k létání, povolení k provádění leteckých prací a leteckých činností pro vlastní potřebu. Bezpilotní letadla v kategorii MTOM 7 – 25 kg musí dodržet minimální vzdálenost vzletu, přistání / osoby, stavby / osídleného prostoru a to tak, že vzdálenost musí být vždy bezpečná, ale minimálně 50/100/150 metrů. Kategorie MTOM > 0,91 kg a < 7 kg pak pouze bezpečná. Po bezpilotních letadlech v obou kategoriích je požadováno vybavení „failsafe“ systémy, provozní příručkou UAS a hlášením událostí. Není požadován dozor, ale je požadováno pojištění pro obě kategorie dle nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 785/2004 o pojištění provozovatelů letadel. [2]

Kategorie bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota se oproti předchozím kategoriím liší v tom, že pro něj nelze získat povolení k provádění leteckých prací a leteckých činností pro vlastní potřebu, minimální vzdálenosti musí být bezpečné, ale minimálně 50/100/150 metrů. Letadla spadající do této kategorie nepotřebují provozní příručku UAS. [2]

4.3 Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947

Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947 bylo vydáno dne 24. května 2019 Evropskou komisí a bude použito ode dne 1. července 2020. Dokument je v přenesené pravomoci doplněn nařízením Komise (EU) 2019/945 z 12. března 2019, které se zabývá a stanovuje technické požadavky pro bezpilotní systémy.

V dokumentu se vyskytuje termín jednotné evropské nebe, a to konkrétně:

„Bezpilotní letadla bez ohledu na jejich hmotnost mohou být provozována ve stejném vzdušném prostoru v rámci jednotného evropského nebe spolu s letadly s posádkou na palubě, ať již se jedná o letouny nebo vrtulníky.“ [34]

Měly by být uplatňovány jednotné postupy a pravidla pro provoz bezpilotních systémů, pro provozovatele bezpilotních systémů a dálkově řídicích pilotů jako je tomu v ostatních odvětvích letecké dopravy. Bezpečnost provozu bezpilotních systémů by měla být minimálně na stejné úrovni jako v letecké dopravě s posádkou na palubě. [34]

Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947 rozděluje bezpilotní systémy do kategorií podle míry rizika, která při jejich provozu vzniká. Nařízení se nejvíce zaměřuje na kategorie „open“ a „specifickou“, třetí kategorie je „certifikovaná“ a větší pozornost se jí bude věnovat v následujících fázích vývoje regulačního rámce.

Otevřená

Bezpilotní letadla v kategorii „open“ neboli otevřená se dále rozdělují do kategorií: A1, A2 a A3. Provoz v této kategorii nevyžaduje žádné předchozí povolení nebo oprávnění k provozu a musí splňovat následující podmínky:

- Bezpilotní letadla musí být vždy v přímé viditelnosti dálkově řídicího pilota, výjimky jsou režim „follow-me“ nebo použití pozorovatele bezpilotního letadla;
- Bezpilotní letadlo je za letu nejméně 120 metrů od nejbližšího bodu povrchu země, pokud nepřelétává překážku;
- Bezpilotní letadlo nesmí být použito pro přepravu nebezpečného zboží a za letu shazovat jakýkoliv materiál.

Do kategorie A1 spadají bezpilotní letadla, která splňují následující podmínky:

- Provoz je přizpůsoben tak, aby nedocházelo k přelétávání nad shromážděními osob a dálkově řídicí pilot předpokládá, že nepřeletí nad žádnou nezapojenou osobou;
- Dálkově řídicí pilot je obeznámený s uživatelskou příručkou vydanou výrobcem bezpilotního systému;
- Pokud bezpilotní letadlo spadá do kategorie C1, dálkově řídicí pilot absolvoval on-line výcvikový kurz a složil úspěšně on-line zkoušku z teoretických znalostí stanovených příslušným orgánem;
- MTOM Bezpilotního letadla je nižší než 250 g, maximální provozní rychlost nižší než 19 m/s;
- Spadá a splňuje požadavky kategorie C0 nebo C1;

Do kategorie A2 spadají bezpilotní letadla, která splňují následující podmínky:

- Provoz je přizpůsoben tak, aby nedocházelo k přelétávání nad nezapojenými osobami a provoz bezpilotního letadla probíhal ve vodorovné vzdálenosti minimálně 30 metrů od nich, horizontální vzdálenost musí být minimálně 5 metrů při zapnutí funkce „low speed mode“;
- Dálkově řídicí pilot je obeznámený s uživatelskou příručkou vydanou výrobcem bezpilotního systému a je držitelem osvědčení o způsobilosti dálkově řídicího pilota, které vydává příslušný orgán;
- Spadá a splňuje požadavky kategorie C2;

Do kategorie A3 spadají bezpilotní letadla, která splňují následující podmínky:

- Bepilotní letadlo je po celou dobu provozováno v oblasti, ve které dálkově řídicí pilot očekává, že nedojde k ohrožení žádné nezapojené osoby;
- Bepilotní letadlo je provozováno v horizontální vzdálenosti minimálně 150 metrů od obytných, obchodních, průmyslových nebo rekreačních prostor;
- Dálkově řídicí pilot absolvoval on-line kurz a složil on-line zkoušku z teoretických znalostí;
- MTOM bezpilotního letadla je nižší než 25 kg;
- Spadá a splňuje požadavky kategorie C2, C3 nebo C4. [34]

Specifická

Do kategorie „specific“ neboli specifická patří bezpilotní systémy, které nesplňují podmínky pro kategorii „open“ a získají oprávnění k provozu vydané příslušným úřadem. Spolu s žádostí o oprávnění k provozu provozovatel provede posouzení rizik a předloží je taktéž příslušnému úřadu. Příslušný úřad rozhodne, zda udělí oprávnění k provozu a uvede, jestli je oprávnění určeno pro jednu nebo více provozních operací ve specifickém nebo nespecifickém čase a místě. Dále musí být uvedena opatření ke zmírnění rizik. [34]

5 Analýza využitelnosti bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží v Praze

5.1 SWOT analýza

Pro analýzu využitelnosti je použita analýza SWOT. Jedná se o nástroj strategické analýzy, jenž byl vytvořen Albertem Humphreym mezi lety 1960 a 1970 na Stanfordově univerzitě. Analýza se skládá z identifikace silných stránek projektu (**S**trengths), slabých stránek projektu (**W**eaknesses), příležitostí (**O**pportunities) a hrozeb (**T**hreats). Silné a slabé stránky představují interní faktory, zatímco příležitosti a hrozby představují externí faktory projektu. Výhodou SWOT analýzy je její široký rozsah použití, je vnímána jako osvědčený nástroj strategické analýzy, ale také kritizována za svá omezení. Následující tabulka představuje standardní SWOT matici, jednotlivé kvadranty matice jsou zvýrazněny.

SWOT – analýza	Kladné stránky	Záporné stránky
Interní analýza	Silné stránky	Slabé stránky
Externí analýza	Příležitosti	Hrozby

Tabulka 8: Matice SWOT analýzy [vlastní]

Silné stránky jsou všechny pozitivní faktory interní povahy. Za silné stránky využitelnosti UAS pro doručování a přepravu zboží v Praze vnímám: provozní náklady, rychlost doručení, ekologičnost, využití potenciálu vzdušného prostoru „VLL“, bezpečnost a, zavedení nových technologií do provozu – odemknutí potenciálu, jediný projekt tohoto typu v České republice.

Slabé stránky představují negativní faktory interní povahy. Pro využitelnost bezpilotních systémů pro rozvoz zboží vnímám za slabé stránky následující faktory: limitující hmotnost a rozměry zásilky, vnímané narušení soukromí, počáteční investice, počasí, povětrnostní podmínky a nemožný provoz ve všech podmínkách.

Příležitosti jsou externí skutečnosti, které mohou využití UAS v tomto odvětví pomoci. Nesmí být zaměňovány za silné stránky nebo za strategie. Za příležitosti považuji obrovský vzestup trhu bezpilotních systémů a služeb s nimi spojenými, podporu a iniciativu Evropské

unie k vytvoření společného legislativního rámce a také, zavedení pojmu „Very Low-Level Airspace“ jako třídu vzdušného prostoru pro provoz bezpilotních systémů.

Negativní faktory externího charakteru jsou označovány za hrozby. Za hrozby v analýze využitelnosti UAS považují: bezpečnost, jedná se o průkopnický projekt, volatilní přístup společnosti k projektu, citlivost společnosti – přesvědčení, budování důvěry v projekt.

<p style="text-align: center;">Silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provozní náklady • Rychlost doručení • Ekologičnost • Využití „VLL“ • Zavedení nových technologií do provozu • Bezpečnost 	<p style="text-align: center;">Slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limitující hmotnost a rozměr zásilky • Počáteční investice • Narušení soukromí
<p style="text-align: center;">Příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Růst trhu UAS a služeb s nimi spojených • Podpora a iniciativa EU k vytvoření společného legislativního rámce • Zavedení pojmu „VLL“ 	<p style="text-align: center;">Hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> • Průkopnický projekt • Volatilní přístup společnosti k projektu • Citlivost společnosti • Bezpečnost

Tabulka 9: Tabulka faktorů ve SWOT matici [vlastní]

Dalším postupem při vytváření SWOT analýzy je vytvoření strategie na základě určených faktorů v matici. Silné stránky jsou stavebními kameny a zároveň i hlavními argumenty, proč by měl projekt uspět. Jednotlivé slabé stránky je naopak potřeba pokusit se eliminovat. Cílem příležitostí je jejich využití v prospěch projektu, u hrozeb je nezbytné být připraven na jejich důsledky.

V následujících kapitolách jsou detailně popsány jednotlivé faktory ze SWOT matice a kapitole 5.1.5 nabízí jejich shrnutí.

5.1.1 Provozní náklady

Mezi hlavní důvody, které vnímají velké společnosti usilující o užívání bezpilotních systémů rozvážejících zboží do provozu, patří výrazně nižší provozní náklady než u klasických způsobů přepravy a snížení nákladů spojených s lidskou prací. Náklady na používání a provoz bezpilotních systémů se dají z ekonomického hlediska rozdělit na náklady fixní a variabilní. Z pohledu fixních nákladů majoritní část tvoří pořizovací cena bezpilotního systému. Pohon je zajištěn elektromotory, které jsou napájeny bateriemi. Baterie jsou dobíjecí, avšak jejich kapacita a napětí se provozováním snižuje a dá se tak teoreticky vyjádřit životnost baterie v počtech nabíjecích cyklů, v případě dodržení podmínek stanovených výrobcem. Při dlouhodobém provozu systému je samozřejmě nutné počítat s jejich výměnami. Fixní náklady tedy tvoří nákup bezpilotního systému, baterie a závěsný systém pro přepravu zboží.

Do variabilních nákladů musí být zahrnuty výdaje za servis spojený s celým systémem a také za všechny nepředvídatelné situace, které mohou v provozu nastat. Cílem je, aby se úspěšnost provozu blížila 100 %, avšak je nutné počítat s případnými komplikacemi. Na faktory ovlivňující úspěšnost provozu se dá pohlížet jako na „vnitřní“ a „vnější“. Vnitřní faktory se dají ovlivnit a dlouhodobé testování vede k jejich optimalizaci. V rámci Evropské unie jsou vytvářeny legislativní rámce, které bezpečnost provozu bezpilotních systémů staví na minimálně stejnou úroveň jako u letectví s posádkou na palubě. Za vnější faktory lze považovat situace, které se nedají předpovídat, avšak mohou nastat. Může se například jednat o napadení bezpilotního systému, náhlou změnu povětrnostních podmínek, či jakoukoliv technickou závadu. To všechno jsou situace, které mohou v běžném provozu nastat a představují potenciální náklady.

5.1.2 Rychlost doručení

Silnou stránkou použití bezpilotních systémů pro rozvážení zboží je čas doručení, přičemž časová úspora bude nejzřetelnější v městských částech. Vzdušný prostor je součástí městských část a jeho potenciál není zcela využíván. Na tento fakt bylo poukázáno v Amsterdamské deklaraci z konce roku 2018 a již dříve se použil termín „Very Low-Level Airspace“, tedy vzdušný prostor do výšky 500 ft nad úrovní země (AGL), jako součást městských částí, ve kterých by měly být bezpilotní systémy provozovány.

Projekty využívající bezpilotní systémy pro doručování a přepravu zboží v městských částech se v mnoha případech používají právě u zboží, u kterých je rychlost doručení klíčová.

Příkladem mohou být laboratorní vzorky, krevní konzervy a další zdravotní produkty, které jsou v rámci úspěšných projektů přepravovány bezpilotním systémem právě pro jejich rychlost doručení. U společností, které se zabývají přepravou zboží ke koncovému zákazníkovi je možné se setkat s termínem „last mile delivery“, jedná se o proces doručení zboží z posledního sběrného místa k zákazníkovi. Časová úspora je v tomto případě nejvýraznější a mohlo by se jednat o nadstandardní službu pro zákazníky, kteří chtějí zboží obdržet nejrychleji. Při cestovní rychlosti 10 m/s překoná bezpilotní letadlo vzdálenost 9,5 km za 15,8 minut, při rychlosti 17 m/s za 9,3 minut.

5.1.3 Bezpečnost a přijetí technologie veřejností

Jak již bylo zmíněno, bezpečnost je zásadním prvkem letectví. Letecká doprava musí být přísně regulována, aby bezpečnost dosahovala vysoké úrovně. Úrovně, která je nedílnou součástí faktorů stojící za růstem letecké dopravy. Poptávka po letecké dopravě je přímo úměrná její úrovni bezpečnosti. Právní předpisy regulující leteckou dopravu již byly rozebrány v 3. kapitole, tato kapitola se tudíž budu zabývat pouze bezpečností jako zásadním faktorem pro budoucnost provozu bezpilotních systémů.

Jak je zmíněno v Prováděcím nařízení Komise (EU) 2019/947, nejaktuálnějším legislativním rámci pro provoz UAS v rámci Evropské unie, bezpečnost provozu bezpilotních systémů musí být na minimálně stejné úrovni jako bezpečnost letadel s posádkou na palubě. Tuto podmínku považuji za klíčovou. Úroveň bezpečnosti v České republice vyhodnocuje Úřad civilního letectví, který řeší žádosti o provoz bezpilotních systémů.

Vyhodnocovat se musí bezpečnost vzhledem k okolnímu letovému provozu, tak aby její chod a bezpečnost nebyly narušeny. Dále nesmí být ohroženy osoby, zvířata a majetek. Vybrané bezpilotní systémy zmíněné 2. kapitole disponují vysokou úrovní bezpečnosti a bezpečnostních systémů. Z tohoto důvodu vnímám bezpečnost systému jako kladný faktor interního charakteru a zařadil jsem ho do silných stránek, avšak zároveň bezpečnost vnímám z druhého pohledu jako záporný externí faktor.

V otázce bezpečnosti je důležité brát v potaz i přístup široké veřejnosti k bezpilotním systémům a s tím spojené možné napadení bezpilotního systému nezapojenou osobou nebo zasažení do provozu třetí stranou. Řižská deklarace popisuje přijetí provozu bezpilotních systémů širokou veřejností jako jeden z klíčových faktorů pro jeho úspěch. Existuje celá řada teorií, zabývajících se chováním potenciálních zákazníků. Jedna z nich je Theory of Planned Behaviour (TPB) prezentována autorem Ickem Ajzenem v roce 1991, která popisuje chování

spotřebitele k nové technologii. Přijetí bezpilotních systémů veřejností bude vycházet z vnímaných rizik, z funkčních výhod a vlastností této technologie. Zjednodušeně řečeno, pokud výhody budou převažovat nad vnímanými riziky, pak technologie bude s přijata s vyšší pravděpodobností.

Bezpilotní letadla jsou při svém provozu, stejně jako letadla s posádkou na palubě, závislá na počasí a okolních podmínkách. Náhlé, nepředvídatelné změny počasí a povětrnostních podmínek mohou mít negativní vliv na let bezpilotního letounu a je potřeba je v předletové přípravě zohlednit. Při letu bezpilotního letadla se musí brát v potaz vlastnosti proudění vzduchu a jeho chování při obtékání objektů a těles, tak aby nedošlo k ovlivnění letu. Multikoptéra DJI Matrice 200 V2 může být provozována při rychlosti větru do 12 m/s a teplotách od -20 °C do 50 °C.

5.1.4 Ekologičnost v porovnání s ostatními způsoby přepravy

Standardní způsob přepravy zboží je prováděn pomocí osobních nebo nákladních automobilů. Nahrazení určitého objemu převáženého zboží doručováním bezpilotními systémy by vedlo k snížení počtu potřebných automobilů a s tím spojenou lidskou prací. Snížení počtu nákladních automobilů na vozovkách v městských částech přináší výhody ve formách snížení hustoty provozu, případných kongescí a snížení produkovaných emisí oxidu uhličitého. Bezpilotní systémy s elektrickým pohonem přináší šetné ekologické řešení, při jejich provozu nejsou produkovány žádné emise, avšak je nutné zohlednit jejich výrobu spolu s těžbou lithia a výrobou lithiových baterií. Hmotnost lithiových baterií bezpilotních letadel, které jsem při výběru porovnával, se pohybují v jednotkách stovek gramů.

V hlavním městě Praze, jako v ostatních metropolích, je zastoupen způsob přepravy kurýrními službami využívající jízdní kola nebo chůzi v kombinaci s městskou hromadnou dopravou. Tento způsob je také zcela ekologický, nezanechává žádnou uhlíkovou stopu, avšak přeprava bezpilotních systémem je rychlejším řešením.

5.1.5 Shrnutí SWOT analýzy

Technologie bezpilotních systémů se za svou historii vývoje posunula k profesionálnímu komerčnímu využití, trh bezpilotních systémů a služeb s nimi spojenými zažívá obrovský nárůst. V roce 2014 dosahoval trh UAS hodnoty 609 milionů dolarů a dle předpovědí dosáhne celosvětově do roku 2021 hodnoty 4,8 miliardy dolarů. [36] Projektů využívající technologie bezpilotních systémů přibývá, ne zcela odpovídající rychlostí jsou vytvářeny legislativní rámce regulující jejich provoz, pozitivně vnímám iniciativu orgánů Evropské unie a ostatních zapojených subjektů ve věci společného rámce pro všechny členské státy a snahy o úspěšné a úplné začlenění UAS do vzdušného prostoru.

V odvětví přepravních služeb bezpilotní systémy nabízí řešení, které je proti konvenčním způsobům odlišné, avšak v některých aspektech porovnatelné. Nemyslím si, že je možné jednoznačně určit jaký způsob přepravy je nejlepším řešením, protože ne všechny parametry a pohledy jsou porovnatelné nebo měřitelné. Porovnatelným parametrem je rychlost doručení. Při stejných podmínkách, tedy pokud by byla uvažována cestovní rychlost bezpilotního letadla 15 m/s, při dráze mezi areálem Thomayerovy nemocnice a areálem Fakultní nemocnice v Motole, které jsou od sebe vzdáleny 9,5 km, by doba letu bezpilotního letadla byla 10,5 minuty. Nejkratší navrhovaná trasa podle navigace Google Maps pro osobní automobil mezi 12.-14. hodinou je necelých 30 minut.

Provozní náklady jsou dalším porovnatelným parametrem. Porovnat náklady spojené s přepravou zboží bezpilotním systémem a standardním způsobem přepravy vyžaduje přesná a rozsáhlá data od obou způsobů přepravy, která nemám k dispozici. Pro ukazatel použiji článek z roku 2013, ve kterém autor uvádí prognózu vývoje nákladů na přepravu zásilky bezpilotním systémem pro koncept Amazon Prime Air. Autor ve svém článku uvedl náklady na jedno doručení v závislosti na pořizovací ceně bezpilotního systému. Výsledkem je pořizovací cena 5960 dolarů jako zlomový bod. Při vyšší pořizovací ceně bezpilotního systému jsou náklady na doručení jedné zásilky vyšší než uváděných 2,1 dolaru, což je vyčíslený hodnota nákladů na doručení zásilky společnosti Amazon konvenčním způsobem přepravy. [37]

Myslím si, že provoz bezpilotních systémů je na svém vzestupu a v následujících letech bude běžnou součástí vzdušného prostoru, avšak k jeho začlenění mezi letadla s posádkou na palubě je potřeba přistupovat opatrně a zodpovědně. Po zvážení všech pozitivních a negativních faktorů interního i externího charakteru vnímám za nejpodstatnější pro úspěch projektů využívající technologie UAS úroveň bezpečnosti. Výrobci profesionálních bezpilotních systémů se v této oblasti snaží zdokonalovat a představovat systémy splňující standardy.

Příkladem jsou systémy „detect and avoid“ využívající strojové učení, tak aby systém rozpoznal dle zadaných parametrů případné hrozby a nebezpečí. Pokud bude bezpečnost provozu UAS na stejné úrovni jako u letecké dopravy s posádkou na palubě, tak lze očekávat velký rozmach bezpilotních systémů v přepravě zboží, stejně jako v ostatních odvětvích využití.

5.2 Návrh vytvoření logistické sítě v Praze

V této části je představen návrh vytvoření logistické sítě mezi nemocničními areály na území hlavního města Prahy. Pro logistickou síť byly vybrány areály Thomayerovy nemocnice, Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenské nemocnice – Vojenské fakultní nemocnice v Praze. Primárním důvodem výběru těchto nemocničních areálů byla jejich poloha. Cílem je vytvoření co nejpřesnějšího návrhu, který bude moci sloužit například jako zdroj informací či podklad pro budoucí projekty. Úkolem bezpilotních systémů v tomto návrhu je doručení lékařských materiálů mezi jednotlivými areály. Let by byl prováděn mimo přímou viditelnost pilota. Jedná se o rámcový návrh, při uváděných hodnotách výpočtů nejsou zohledněny všechny parametry, se kterými je v reálném provozu nutné počítat. Návrh neobsahuje ekonomickou studii.

K transportu lékařských produktů mezi nemocničními areály v České republice nedochází na denní bázi, ale pouze v krizových situacích. Včasné dodání potřebných lékařských produktů může být klíčové pro záchranu lidských životů. K transportu se v současné době používají sanitní nebo osobní vozy nemocničních areálů s nemocničním personálem. Použití bezpilotních systémů v této oblasti nabízí nejen časově úspornější řešení, ale zároveň i efektivnější využití materiálních a lidských zdrojů.

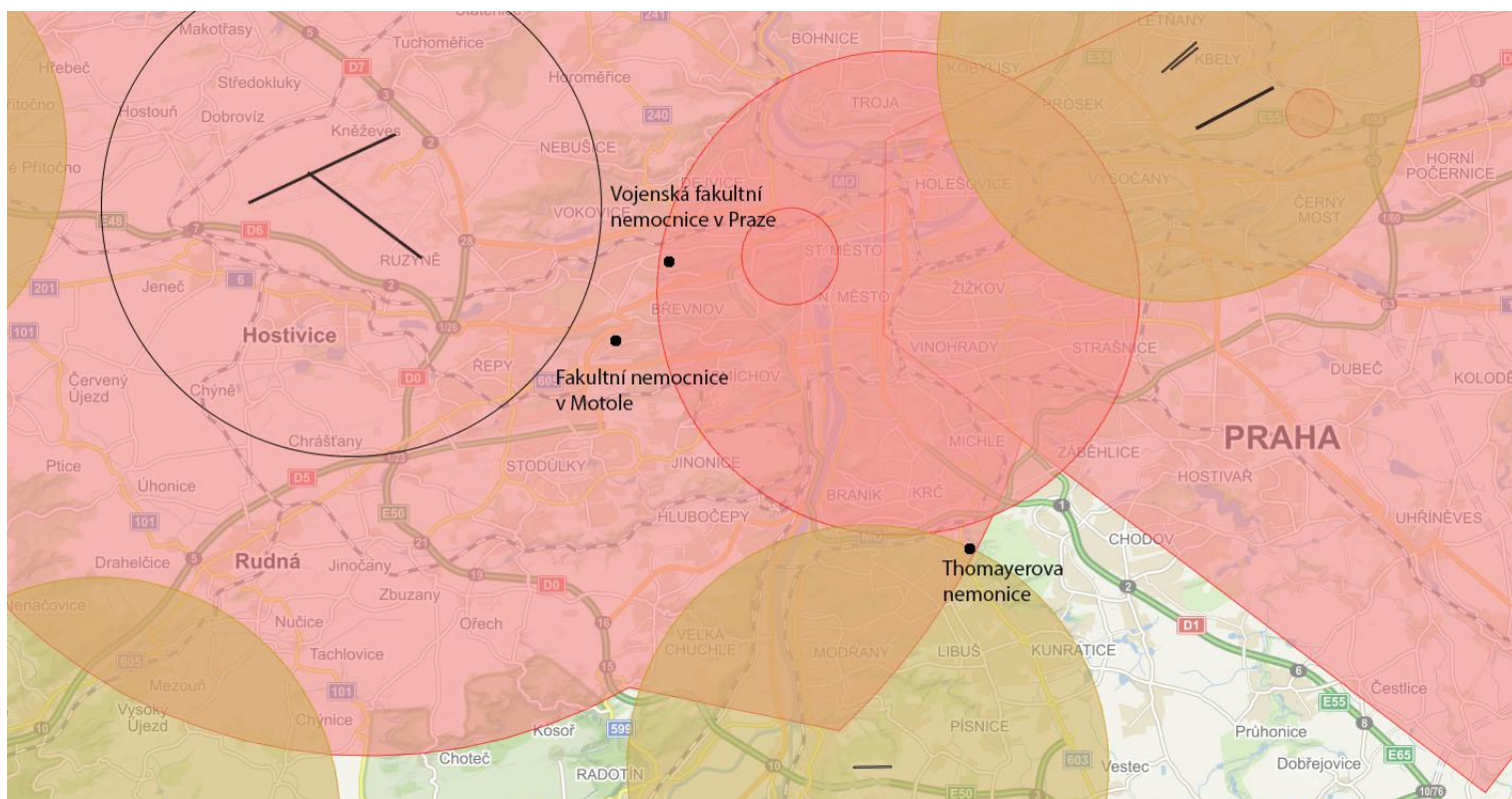
5.2.1 Poloha areálů

Na území hlavního města Prahy se vyskytují řízené okrsky CTR Ruzyně, MCTR Kbely, omezený prostor Praha LKR9, zakázaný prostor Pražský hrad LKP1, letiště Letňany LKLT a jižně od města Prahy se nachází letiště Točná LKTC.

Areál Thomayerovy nemocnice se nachází v prostoru letiště Točná a v řízeném okrsku letiště Ruzyně, Fakultní nemocnice v Motole se nachází pouze v řízeném okrsku letiště Ruzyně a

Ústřední vojenská nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice v Praze v řízeném okrsku letiště Ruzyně a omezeném prostoru Praha LKR9.

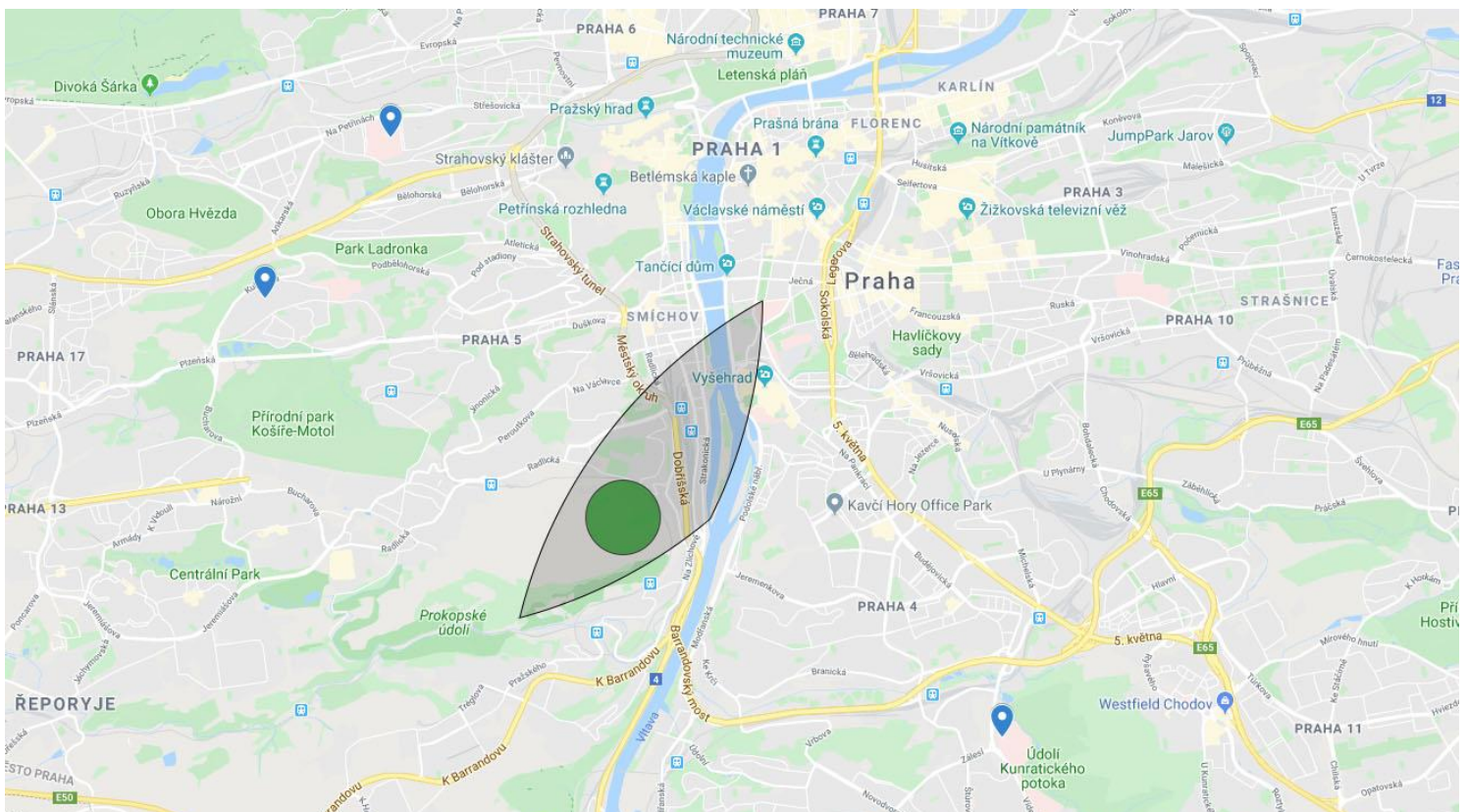
Fakultní nemocnice v Motole je vzdálená od Ústřední vojenské nemocnice vzdušnou čarou 2,25 km, let by byl prováděn přes území řízeného okrsku letiště Ruzyně ve vzdálenosti větší než 5,5 km od vztažného bodu letiště a v omezeném prostoru Praha LKR9. Přímá vzdálenosti mezi Fakultní nemocnicí v Motole a Thomayerovou nemocnicí je 9,5 km. Let by byl naplánován přes území letiště Točná LKTC, CTR Ruzyně a LKR9 Praha. V případě spojení mezi Ústřední vojenskou a Thomayerovou nemocnicí je situace obdobná, vzdálenost je 9,5 km a let by byl naplánován přes stejná území, tedy LKTC, CTR Ruzyně a LKR9 Praha. Provoz bezpilotních systémů na území LKTC musí být prováděn se souhlasem provozovatele letiště a s koordinací s letištní službou AFIS nebo RADIO. Provoz na území omezeného prostoru LKR9 Praha musí být povolen Úřadem pro civilní letectví České republiky, na území řízeného okrsku CTR Ruzyně musí být provoz bezpilotního systémů schválen Úřadem pro civilní letectví, Řízením letového provozu a provozovatelem letiště Ruzyně. Mapa je převzata z aplikace AisView, která je poskytována Řízením letového provozu pro předletovou přípravu UAS na webových stránkách dronview.rlp.cz. [38] Do mapy jsem vyznačil nemocniční areály a rádius 5500 m od vztažného bodu letiště Ruzyně Praha. Mapa je přiložena jako **příloha 1**.



Obrázek 5: Hlavní město Praha z pohledu aplikace AisView s vyznačenými nemocničními areály (vlastní podle [38])

5.2.2 Zvolení bezpilotního systému

Pro účely návrhu logistické sítě budou použity bezpilotní systém z 2. kapitoly. V návrhu bude pracováno s lékařskými produkty, jejichž rozměry jsou v jednotkách centimetrů. Hmotnost produktů i s přepravním zařízením bude splňovat hmotnostní omezení 1450 g. Za nejvhodnější bezpilotní systém považuji DJI Matrice 200 V2, bližší specifikace jsou obsaženy v kapitolách 3.1.1 a 3.2. Výrobce udává cestovní rychlost je 17 m/s, avšak tato rychlost je bez užitečného zatížení, z tohoto důvodu budu dále kalkulovat s hodnotou 15 m/s. Problém nastává při použití standardního vysílače GL900A dodávaného výrobcem. Maximální vysílací vzdálenost je 8 km v prostředí bez rušení. V městských částech a členitém terénu je maximální vysílací vzdálenost 5 km. Řešení tohoto problému je znázorněno na následující mapě. Na mapě je vyznačen průnik, který vznikl vytvořením kružnic s poloměry 5 km od vyznačených nemocničních areálů. Tento průnik splňuje podmínku vysílací vzdálenosti, tudíž je nezbytné umístění vysílače do této oblasti. Zelený kruh vyznačuje pražskou obytnou část Divčí hrady, která se v oblasti nachází v nejvyšší nadmořské výšce. Mapa byla vytvořena v aplikaci Google Maps a následně upravena pro potřeby této bakalářské práce. [41] Mapa tvoří **přílohu 2**.



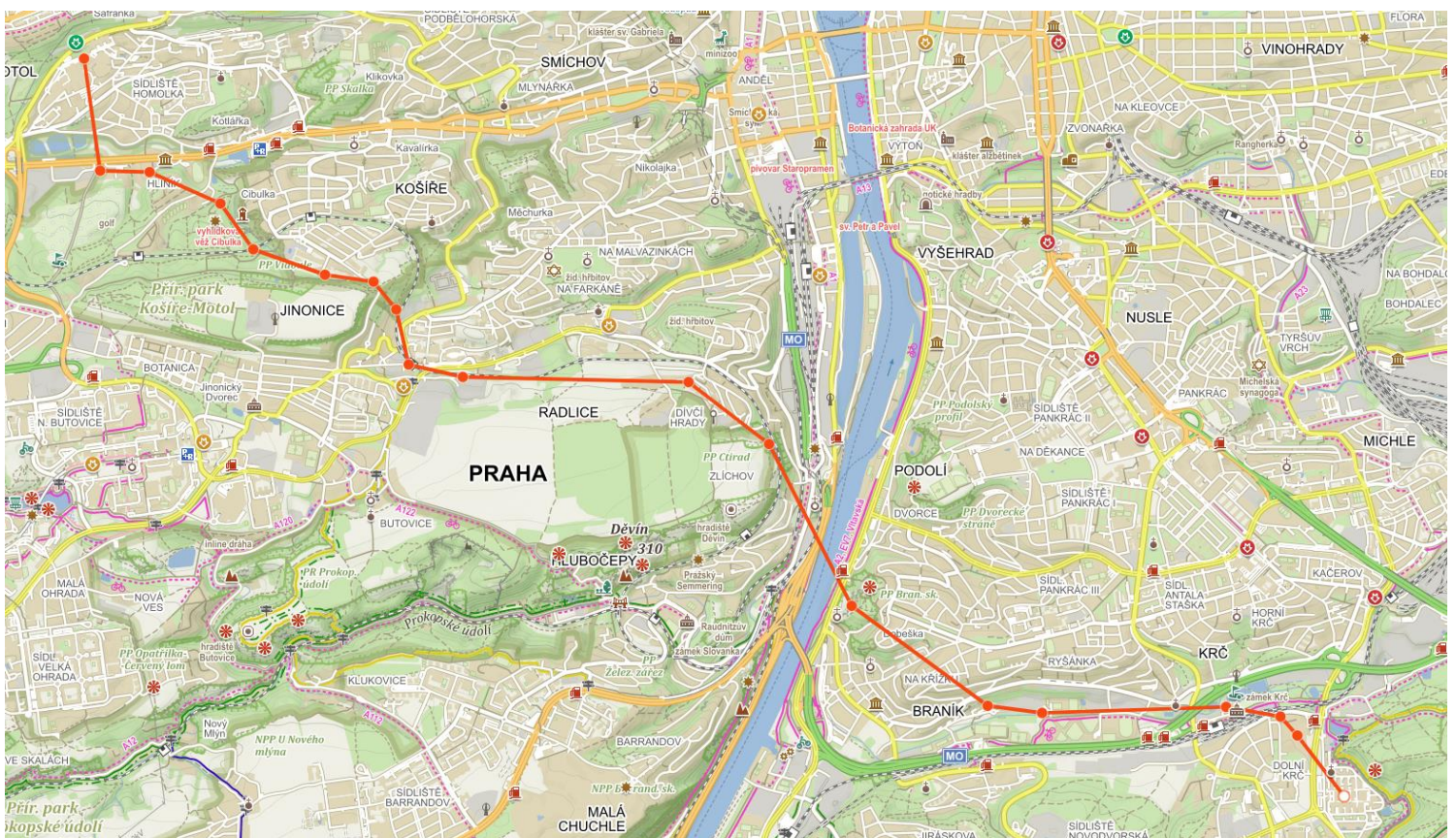
Obrázek 6: Vyznačená oblast pro použití vysílače GL900A (vlastní podle [41])

Druhým vhodným bezpilotním systémem je Matternet M2, tato multikoptéra je blíže popsána v kapitolách 3.1.4 a 3.2. Pro výpočty je počítáno s cestovní rychlostí 10 m/s. Tento bezpilotní systém byl navrhnout a vytvořen pro logistické úkony a je používán nejúspěšnějšími projekty přepravy zboží bezpilotními systémy. Oba projekty jsou schopny provozovat let mimo vizuální dohled pilota.

5.2.3 Letové trasy mezi areály

V následující kapitole jsou znázorněny vytvořené letové trasy mezi jednotlivými areály. Při jejich tvorbě jsem si kladl za cíl zohlednit bezpečnost provozu, tak aby let bezpilotního systému byl prováděn minimálně nad hustou zástavbou, komunikacemi a místy, kde se vyskytují shromáždění lidí. K vytvoření letových tras jsem použil webovou aplikaci Mapy.cz. [42]

Přímá vzdálenost mezi areály Thomayerovy nemocnice a areálem Fakultní nemocnice v Motole je 9,5 km. Letová trasa mezi těmito areály je zobrazena na následující mapě, která je přiložena jako **příloha 3**.



Obrázek 7: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Fakultní nemocnice v Motole (vlastní podle [42])

Délka vyznačené trasy je 10890 m, oproti přímé vzdálenosti se jedná o navýšení o 1390 m. Letová trasa je naplánovaná od areálu Thomayerovy nemocnice přes Jižní spojku, trasa pokračuje nad Kunratickým potokem přes Branické skály a řeku Vltavu. Trasa dále vede nad ulicí Strakonickou, kopec Dívčí hrady ke čtvrti Jinonice kolem areálu Waltrovka. Finální část letové trasy tvoří část nad přírodním parkem Košíře-Motol a přelet přes ulici Plzeňskou k areálu Fakultní nemocnice v Motole.

Při cestovní rychlosti 15 m/s pro bezpilotní systém DJI Matrice 200 V2 by byla doba letu při bez zohlednění změn výšek 12,1 minut. Doba letu pro bezpilotní systém Matternet M2 při cestovní rychlosti 10 m/s by byla 18,15 minut.

Následující grafika zobrazuje výškový profil terénu. Cestovní výška bezpilotního letadla by byla 120 m nad úrovní země (AGL) a byl by zohledněn přelet nad řekou Vltavou (187 m.n.m.), tak aby letadlo v části mezi Branickými skálami a kopcem Dívčí hrady nesnížilo výšku letu.



Obrázek 8: Výškový profil terénu trasy mezi areály Thomayerovy nemocnice a Fakultní nemocnice v Motole (vlastní podle [42])

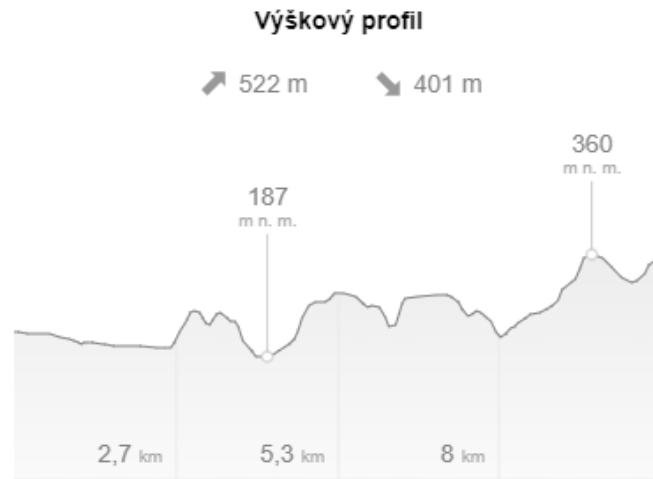
Druhá letová trasa je naplánována mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenské nemocnice – Vojenská fakultní nemocnice Praha. Její přímá vzdálenost je 9,5 km, vzdálenost letové trasy byla vyměřena na 10650 m. Letová trasa je od areálu Thomayerovy nemocnice naplánována stejně jako při letu do areálu Fakultní nemocnice v Motole k oblasti Dívčí hrady, avšak od tohoto bodu pokračuje nad ulicí Radlická, přes hřbitov Malvazinky a ulici Peroutkova. Dále letová trasa vede nad ulicemi Vrchlického a Plzeňskou, vedle přírodní památky Skalka a nad ulicí Podbělohorská. Trasa dále pokračuje nad zástavbou a ulicí Patočkova.

Pro bezpilotní systém DJI Matrice 200 V2 a cestovní rychlost 15 m/s je doba letu 11,83 minut, při použití systému Matternet M2 a cestovní rychlosti 10 m/s 17,75 minut.

Letová trasa je znázorněna na následující mapě, která tvoří přílohu 4, pod mapou je zobrazen výškový profil terénu trasy.



Obrázek 9: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

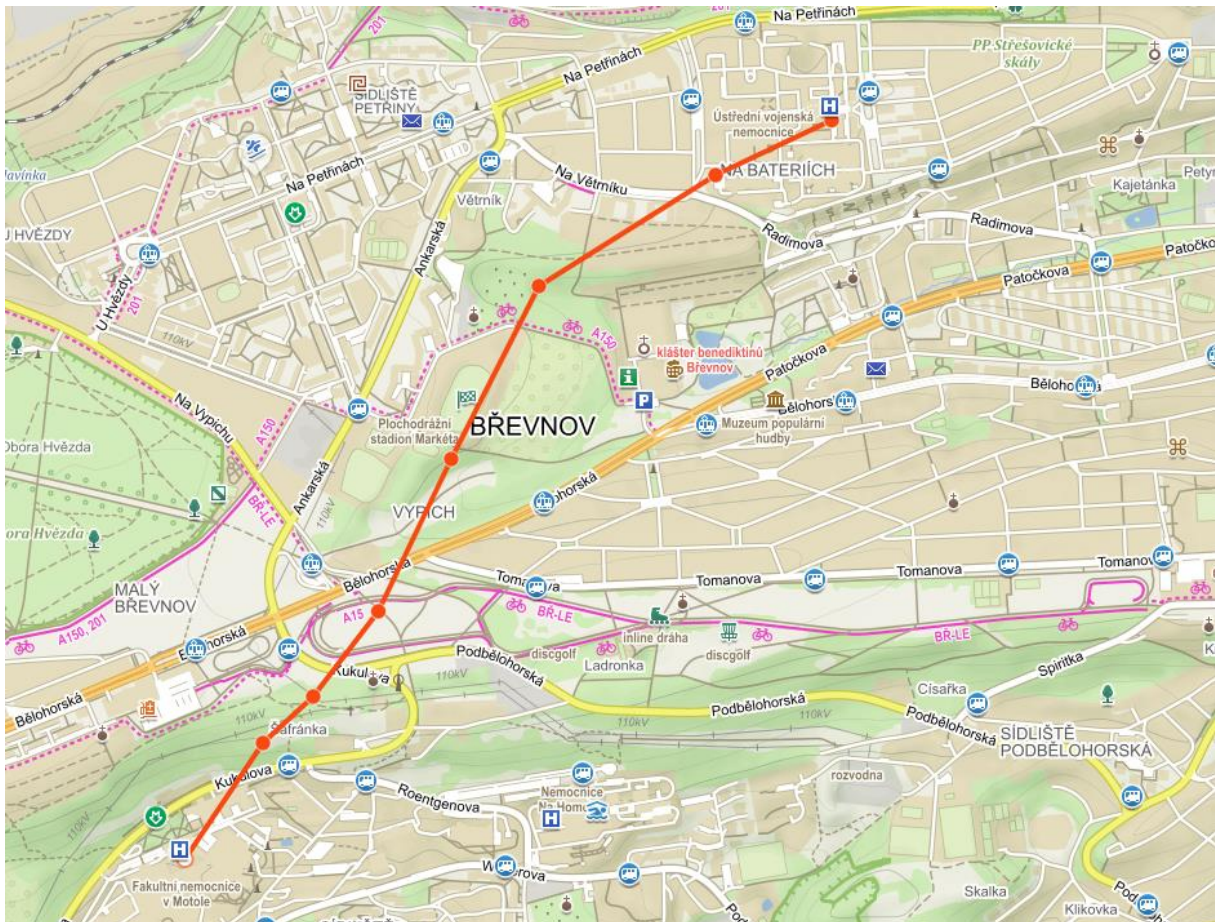


Obrázek 10: Výškový profil terénu trasy mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

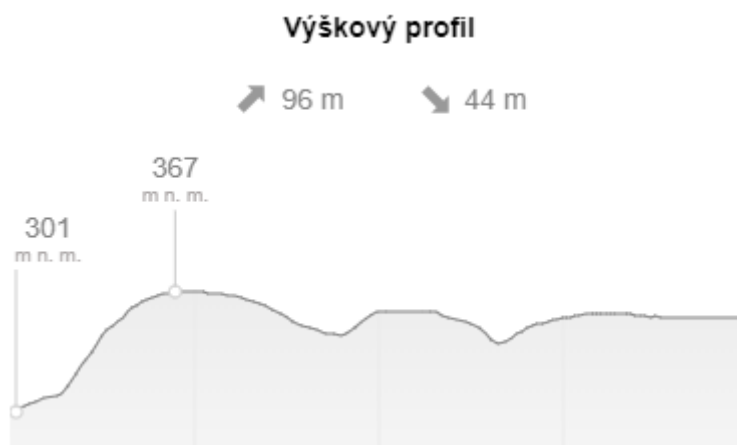
Poslední letová trasa spojuje Fakultní nemocnici v Motole a Ústřední vojenskou nemocnici – Vojenská fakultní nemocnice v Praze. Přímá vzdálenost mezi těmito areály je 2,25 km, letová trasa měří 2410 m. Mezi areály nemocnic se nachází park Ladronka, ulice Bělohorská, Břevnovský klášter a klášterní zahrada. Trasa vede jen minimálně nad zástavbou a nevede nad Břevnovským klášterem, nýbrž vedle něj.

Bezpilotní systém DJI Matrice 200 V2 s cestovní rychlostí 15 m/s tuto letovou trasu zvládne urazit za 2,67 minuty. Doba letu je pro UAS Matternet M2 při cestovní rychlosti 10 m/s jsou 4 minuty.

Následující mapa znázorňuje letovou trasu a je přiložena jako **příloha 5**.



Obrázek 11: Letová trasa mezi areály Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])



Obrázek 12: Výškový profil terénu trasy mezi areály Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

5.2.4 Shrnutí návrhu logistické sítě

Cílem této kapitoly je přehledné shrnutí závěrů z návrhu logistické sítě na území hlavního města Prahy. Logistická síť byla navržena mezi nemocničními areály Fakultní nemocnice v Motole, Ústřední vojenské nemocnice a Thomayerovy nemocnice. Byly navrženy letové trasy mezi jednotlivými areály s ohledem na bezpečnost při provozu. Pro doručování lékařských produktů byly za vhodné zvoleny bezpilotní systémy z 3. kapitoly, a to konkrétně DJI Matrice 200 V2 a Matternet M2. Cestovní výška bezpilotního letadla by byla 120 m nad úrovní země (AGL).

Při použití bezpilotního systému DJI Matrice 200 V2 musela být zohledněna vzdálenost a terén mezi areály, tak aby byla splněna podmínka vysílací vzdálenosti. Podmínku splňuje oblast Dívčí hrady, která je zobrazena v kapitole 5.2.2. Při výpočtech dob letů byla uvažována cestovní rychlost 15 m/s.

Bezpilotní systém Matternet M2 nabízí kompletní logistická řešení, proto je těžké ho ve výběru nezmínit. Pro výpočty byla uvažována cestovní rychlost 10 m/s. Další výhodou, kterou systém nabízí je možnost použití stanice, která slouží jako platforma pro vzlet a přistání letadla, pro automatickou identifikaci zásilky, odejmutí zásilky a výměny baterie.

Uvedení projektu tohoto typu do reálného provozu je obtížným úkolem. Letové trasy zasahují do řízeného okrsku CTR Ruzyně, omezeného prostoru Praha LKR9 a letiště Točná LKTC. Provozovatel bezpilotního systému musí splnit podmínky pro provoz v těchto prostorech a získat povolení, jak je popsáno v kapitole 5.2.1, dalším aspektem je fakt, že by se jednalo o lety mimo vizuální dohled pilota.

Jak je přiblíženo v kapitole 2.4, legislativní procesy u obdobných projektů mohou trvat roky a je při nich nutnost prokazovat spolehlivost, bezpečnost a funkčnost systému, tak jako dalších faktorů.

6 Závěr

V bakalářské práci byla řešena problematika bezpilotních systémů. Součástí práce je i přehled právních předpisů pro provoz bezpilotních systémů v České republice a v Evropě. Teoretickou část práce dále tvoří přiblížení, dle mého názoru, nejvýznamnějších současných konceptů využívání bezpilotních systémů v doručování a přepravě zboží. Byly popsány koncepty Amazon Prime Air, Wing, Zipline a UPS Flight Forward.

Komparační metodou byly zvoleny vhodné bezpilotní systémy pro doručování a přepravu zboží. Za nejvhodnější byly vybrány 3 konkrétní systémy podle hmotnosti užitečného zatížení. Se systémy bylo dále pracováno v návrhu logistické sítě na území hlavního města Prahy. Návrh logistické sítě obsahuje zohlednění umístění jednotlivých areálů, letové trasy mezi jednotlivými areály, výškové profily a doby letu. Použité mapy a letové trasy tvoří přílohy bakalářské práce.

Návrh byl vytvořen jako inovativní řešení, které by mohlo v budoucnu nahradit dosud používaný způsob přepravy lékařských produktů mezi nemocničními areály. Použití bezpilotních systémů nabízí rychlejší a efektivnější řešení než konvenční způsoby. Rychlost přepravy je v krizových situacích stěžejní. Navrhované řešení by mohlo vést, v krizových situacích, ke zlepšení životně důležitého spojení mezi areály nemocnic.

Faktory ovlivňující využití bezpilotních systémů pro doručování a přepravu zboží byly podrobeny analýze. Detailně byly popsány provozní náklady, jakožto kladný faktor interního charakteru. Bezpečnost byla zohledněna jako kladný faktor interního charakteru ovšem také jako negativní faktor externího charakteru. Dále byly rozebrány rychlost doručení a ekologičnost bezpilotních systémů.

Vývoj technologií bezpilotních systémů se bude dále rozvíjet a s ním budou vznikat i nové příležitosti jejich využití. Je zřejmé, že potenciál bezpilotních systémů je velký, ale musí být správně využit. Za pozitivní považuji snahu o využití vzdušného prostoru „Very Low-Level Airspace“ v městských částech. K začlenění bezpilotních systémů do vzdušného prostoru je však potřeba přistupovat opatrně. Bepilotní systémy představují segment, který může změnit leteckou dopravu. Je na všech zapojených, aby neklesla úroveň bezpečnosti pilotovaného letectví a nadále se jednalo o bezpečný způsob dopravy.

7 Seznam použitých zdrojů

[1] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.

[2] L 2 Pravidla létání. MINISTERSTVO DOPRAVY ČR: Úřad pro civilní letectví, 2014, ročník 2019, 153/2014-220 [cit. 2019-10-15]. Dostupné také z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/print/L-2_cely.pdf

[3] KELLER, Ladislav. *Učební texty pro piloty UAS*. 3. vydání. Praha, 2019.

[4] KARAS, Jakub. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.

[5] Amazon Prime Air. *Amazon.com* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>

[6] Here's Amazon's new transforming Prime Air delivery drone. *The Verge* [online]. 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2019/6/5/18654044/amazon-prime-air-delivery-drone-new-design-safety-transforming-flight-video>

[7] Amazon to begin testing new delivery drones in the US. *New Atlas* [online]. 13.4.2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://newatlas.com/amazon-new-delivery-drones-us-faa-approval/36957/>

[8] Email chain shows that Amazon has been testing drones in the UK for longer than initially thought. *Business Insider* [online]. 23.11.2016 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/amazon-drones-tested-uk-for-longer-than-thought-2016-11?r=UK>

[9] Amazon claims first successful Prime Air drone delivery. *The Guardian* [online]. 14.12.2016 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2016/dec/14/amazon-claims-first-successful-prime-air-drone-delivery>

[10] Watch Amazon's Prime Air drone make its first demo delivery in the US. *The Verge* [online]. 24.3.2017 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2017/3/24/15047424/amazon-prime-air-drone-delivery-public-us-test-mars>

[11] A drone program taking flight. *The Amazon blog* [online]. 5.6.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://blog.aboutamazon.com/transportation/a-drone-program-taking-flight>

[12] *Wing* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://x.company/projects/wing/>

[13] Wing selected to participate in the FAA's UAS Traffic Management Pilot Program as part of the Virginia Tech MAAP application. *Medium* [online]. 25.2.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://medium.com/wing-aviation/wing-selected-to-participate-in-the-faas-uas-traffic-management-pilot-program-as-part-of-the-53301d2b314e>

[14] Wing becomes first certified Air Carrier for drones in the US. *Medium* [online]. 23.4.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://medium.com/wing-aviation/wing-becomes-first-certified-air-carrier-for-drones-in-the-us-43401883f20b>

[15] Google's Wing drones approved to make public deliveries in Australia. *The Verge* [online]. 9.4.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2019/4/9/18301782/wing-drone-delivery-google-alphabet-canberra-australia-public-launch>

[16] *Zipline* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.flyzipline.com/about/>

[17] Drone delivery startup Zipline launches UAV medical program in Ghana. *TechCrunch* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2019/04/24/drone-delivery-startup-zipline-launches-uav-medical-program-in-ghana/>

[18] UPS Flight Forward Attains FAA's First Full Approval For Drone Airline. *UPS Pressroom* [online]. 1.10.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1569933965476-404>

[19] Matternet [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://mtrr.net/product>

[20] Drones: A vision has become reality. *Swiss Post* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.post.ch/en/about-us/innovation/innovations-in-development/drones>

[21] *Mini 8 - VulcanUAV* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://vulcanuav.com/aircraft/#mini-8>

[22] *Matrice 100 Specs* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/matrice100/info#specs>

[23] *Matrice 200 Series V2 Specs* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/matrice-200-series-v2/info#specs>

[24] *Hardware Introduction* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://developer.dji.com/onboard-sdk/documentation/introduction/osdk-hardware-introduction.html>

[25] *YD4-1000S* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://www.yangdaonline.com/yd4-1000s-long-flight-time-waterproof-quadcopter-frame/>

[26] *RaptorUAS* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2017/06/raptoruas-completes-tests-endurance-vtol-uas/>

[27] *AceCore Zoe Specifications* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: https://www.acecoretechnologies.com/assets/zoe-2018-pixhawk-specifications-and-operating-limits-v1.4.pdf?fbclid=IwAR3AkIzQC1R85ZomMForzxn6uBSsn3TnB-6LjdG8ebg0EJLk9DKKd0m-R_c

[28] Riga declaration on remotely piloted aircraft (drones): Framing the future of aviation. In: *European Commission* [online]. 10.5.2015. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/news/doc/2015-03-06-drones/2015-03-06-riga-declaration-drones.pdf>

[29] Warsaw declaration: Drones as a leverage for jobs and new business opportunities. In: EASA [online]. 24.11.2016. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/drones-warsaw-declaration.pdf>

[30] Drones Helsinki Declaration. In: *European Commission* [online]. 22.11.2017. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2017-drones-declaration-helsinki.pdf>

[31] Drones Amsterdam Declaration. In: *European Commission* [online]. 28.11.2018. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2018-drones-amsterdam-declaration.pdf>

[32] *Discover SESAR* [online]. 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/discover-sesar>

[33] *European ATM Master Plan* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf>

[34] PROVÁDEČÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2019/947. *Úřední věstník Evropské unie* [online]. 11.6.2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32019R0947>

[35] *Matternet M2 Specifications* [online]. 2017 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.post.ch/-/media/post/ueber-uns/medienmitteilungen/2017/drohnen/spezifikationen-matternet-m2.pdf?la=en>

[36] Drones for Deliveries. *Saturdja Center: Berkeley Engineering* [online]. 8.11.2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://scet.berkeley.edu/wp-content/uploads/ConnCarProjectReport-1.pdf>

[37] How Many Drones Des Amazon Need? *Ivey Business Review* [online]. 11.12.2013 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://iveybusinessreview.ca/blogs/pmenonhba2010/2013/12/11/how-many-drones-does-amazon-need/>

[38] *AisView 3.7* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://dronview.rlp.cz/>

[39] RAVEN RQ-11B. *Armáda České republiky* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://www.acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/letecka/raven-rq-11b-89946/>

[40] Predator B RPA. *General Atomics Aeronautical* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://www.ga-asi.com/predator-b>

[41] *Google Maps* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>

[42] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://mapy.cz>

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Bezpilotní letadlo MK27 Amazon Prime Air [11]

Obrázek 2: Bezpilotní letadlo projektu Wing [12]

Obrázek 3: Bezpilotní letadlo společnosti Zipline při startu [16]

Obrázek 4: Bezpilotní letadlo Matternet M2 ve spolupráci se společností UPS Flight Forward [18]

Obrázek 5: Hlavní město Praha z pohledu aplikace AisView s vyznačenými nemocničními areály (vlastní podle [38])

Obrázek 6: Vyznačená oblast pro použití vysílače GL900A (vlastní podle [41])

Obrázek 7: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Fakultní nemocnice v Motole (vlastní podle [42])

Obrázek 8: Výškový profil terénu trasy mezi areály Thomayerovy nemocnice a Fakultní nemocnice v Motole (vlastní podle [42])

Obrázek 9: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

Obrázek 10: Výškový profil terénu trasy mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

Obrázek 11: Letová trasa mezi areály Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

Obrázek 12: Výškový profil terénu trasy mezi areály Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenskou nemocnicí (vlastní podle [42])

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání nabídky řídicích jednotek pro systém DJI Matrice 200 V2 [24]

Tabulka 2: Parametry bezpilotního systému DJI Matrice 200 V2 [vlastní]

Tabulka 3: Porovnání doby letu při zatížení pro různé kapacity baterií [27]

Tabulka 4: Parametry bezpilotního systému AceCore Zoe [vlastní]

Tabulka 5: Parametry bezpilotního systému Matternet M2 [vlastní]

Tabulka 6: Komparace parametrů vybraných bezpilotních systémů [vlastní]

Tabulka 7: Bepilotní systém v závislosti na hmotnosti užitečného zatížení [vlastní]

Tabulka 8: Matice SWOT analýzy [vlastní]

Tabulka 9: Tabulka faktorů ve SWOT matici [vlastní]

10 Seznam příloh

Příloha č. 1: Hlavní město Praha z pohledu aplikace AisView s vyznačenými nemocničními areály

Příloha č. 2: Vyznačená oblast pro použití vysílače GL900A

Příloha č. 3: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Fakultní nemocnice v Motole

Příloha č. 4: Letová trasa mezi areály Thomayerovy nemocnice a Ústřední vojenskou nemocnicí

Příloha č. 5: Letová trasa mezi areály Fakultní nemocnice v Motole a Ústřední vojenskou nemocnicí