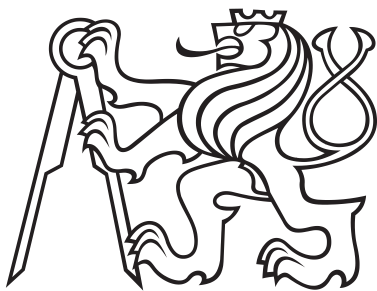


Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F6

Fakulta dopravní

Bezpilotní letadla pro meziměstskou dopravu zboží

Bc. Zbyněk Marák

Školitel: Ing. Petr Bureš, Ph.D., Ing. Ladislav Keller

Obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Květen 2021



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Zbyněk Marák

Studijní program (obor/specializace) studenta:

navazující magisterský – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Bezpilotní letadla pro meziměstskou dopravu zboží**

Název tématu (anglicky): Unmanned Aircraft for Intercity Transportation of Goods

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je zhodnotit současné možnosti využití UAS v přepravě zboží pro meziměstskou přepravu zboží ve společném vzdušném prostoru
- Analýza evropské a národní legislativy umožňující použití UAS pro meziměstskou přepravu zboží
- Analýza vývoje techniky bezpilotních systémů (SW i HW) a jejich autonomie
- Analýza systémů pro podporu přepravy zboží pomocí UAS (plánování i sledování)
- Celkové zhodnocení využití UAS v přepravě zboží ve společném vzdušném prostoru při současném stavu techniky a legislativy
- Výhled do budoucna - odhad využitelnost

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2019/947 ze dne 24. května 2019
JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA)
Nařízení (EU) 2021/664

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Bureš, Ph.D.

Ing. Ladislav Keller

Datum zadání diplomové práce:

23. září 2021

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

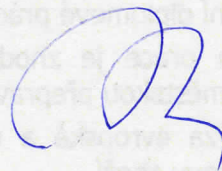
Datum odevzdání diplomové práce:

16. května 2022

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

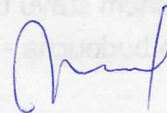


Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Zbyněk Marák
jméno a podpis studenta

V Praze dne 23. září 2021

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Ladislavu Kellerovi a Ing. Petrovi Burešovi PhD. za cenné rady a vedení práce. Poděkování patří i mé rodině za mnohaletou podporu během studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a veškeré použité informační zdroje jsem uvedl v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Nemám závažný důvod proti užívání 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 12.května 2021

Zbyněk Marák

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem využití provozu bezpilotních letadel k přepravě zboží na trase z OC Čestlice do obce Popovičky za podmínek letu bez přímé viditelnosti do vzdálenosti 10 km. V návrhové části této práce je detailně rozebrána trasa včetně požadavků na dálkovou identifikaci bezpilotního letadla během letu. V diskuzi a v závěru je poté zhodnocen současný stav komerčního provozu bezpilotních letadel a důvody vytvoření daného návrhu trasy v praktické části.

Klíčová slova: Bzpilotní letadlo, bezpilotní systém, návrh trasy, UTM, přeprava zboží, automatizace

Školitel: Ing. Petr Bureš, Ph.D., Ing. Ladislav Keller

Abstract

This thesis deals with the proposal to use the operation of unmanned aerial vehicles to transport goods on the route from OC Čestlice to Popovičky under the conditions of flight without direct visibility up to a distance of 10 km. In the research part of this thesis the route is discussed in detail including the requirements for remote identification of the UAV during the flight. The discussion and conclusion then assesses the current state of commercial drone operations and the reasons for the development of the route design in the practical section.

Keywords: Unmanned Aircraft, UAS, design of route, UTM, package delivery, automation

Title translation: Unmanned Aircraft for Intercity Transportation of Goods

Obsah

Úvod	1
1 Druhy bezpilotních letadel	3
1.1 Dělení UA dle působení zemské tíže	3
1.2 Dělení UA dle stupně automatizace	5
1.3 Automatizace letu	7
2 Legislativa	10
2.0.1 ICAO	10
2.0.2 EU	10
3 Uspořádání letového provozu bezpilotních letadel (UTM)	18
3.1 UTM - ICAO	18
3.2 UTM - NASA	22
3.3 UTM - EU	23
3.3.1 U-Space Blueprint	24
3.3.2 CORUS (Concept of Operation for European UTM Systems)	26
3.4 Systém pro správu letů UAS ve vzdušném prostoru	28
4 Systémy pro podporu přepravy - navigace na trase	32
4.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)	32
4.1.1 Global Positioning system (GPS)	34
4.1.2 Galileo	35
4.2 Augmentační systémy	35
4.2.1 Aircraft Based Augmentation system (ABAS)	36
4.2.2 Satellite Based Augmentation system (SBAS)	36
4.2.3 Ground Based Augmentation System (GBAS)	37
4.3 Detekční systémy	37
4.3.1 Aktivní detekční systémy	37
4.3.2 Pasivní detekční systémy	39
4.4 Komunikační a datové spoje	40
4.5 Požadavky na architekturu komunikačních, navigačních a přehledových systémů (CNS)	41
5 UAS a jejich využití v komerční sféře	44
5.1 Amazon Prime Air	44

5.2 Wingcopter	45
5.3 Boeing – Cargo Air Vehicle	47
6 Návrh trasy pro převoz zboží UA s výkonnostními parametry společnosti	
Wingcopter	48
6.1 Parametry UA - Wingcopter	48
6.2 Návrh Trasy	52
6.2.1 Kritická oblast	53
6.2.2 Prostor pro vzlet a přistání	54
6.2.3 Specifikace trasy	55
Diskuze	58
Závěr	60
Seznam zkratk	63
Bibliografie	65

Obrázky

1.1 5 tříd automatizace UAS [3]	7
2.1 Podkategorie A1-A3 otevřené kategorie [10]	14
2.2 Data platnosti legislativních opatření [13]	17
3.1 Architektura UTM ICAO – možné řešení [15]	21
3.2 Architektura UTM - NASA [17]	23
3.3 Oblasti pokrytí služeb U-Space [19]	24
3.4 Postupné kroky zavádění služby U-Space [20]	25
3.5 Návrh vzdušného prostoru dle CORUS [24]	27
3.6 Mapa ČR - DronView [25]	30
3.7 Zobrazení meteo informací v aplikaci DronView [25]	30
4.1 Schéma architektury CNS pro UAS [47]	42
5.1 UA společnosti Amazon Prime Air [48]	45
5.2 UA společnosti Wingcopter [50]	46
5.3 UA společnosti Boeing [53]	47
6.1 Schéma - trasa UA - 2D -[55]	52
6.2 Schéma - Detail kritického místa - 2D - [55] [56]	53

Tabulky

6.1 Rozměry [54]	48
6.2 Hmotnost UA společnosti Wingcopter [54]	49
6.3 Dolet UA společnosti Wingcopter [54]	49
6.4 Režimy letu UA společnosti Wingcopter [54]	49
6.5 Režim multikoptéry UA společnosti Wingcopter [54]	50
6.6 Režim s pevnými křídly UA společnosti Wingcopter [54]	50
6.7 Počasí [54]	51



Úvod

Jako téma závěrečné práce jsou zvoleny možnosti využití UAS (Unmanned Aircraft Systems – bezpilotní systémy). Záměrem této práce je nastínit možnosti využití UAS v přepravě zboží po stanovené trase. Analýzou je porovnán současný vývoj s budoucím při očekávaném rostoucím provozu UA (Unmanned Aircraft – bezpilotní letadla). Zhodnocení politických, sociálních a technologických faktorů. Podstatné téma je také celková kapacita vzdušných prostorů pro UAS a jejich integrace s ATM (Air Traffic Management – uspořádání letového provozu). Práce je tedy zaměřena na současné návrhy vzdušných prostorů a potřebné technologie – současné i plánované, které mohou přispět k udržení požadované bezpečnosti při rostoucím objemu provozu UA ve vzdušném provozu.

Historicky byla UA používána Rakousko-Uherskou armádou již během první světové války. Armáda shazovala výbušniny horkovzdušnými balóny na nepřátele. UAS byly v minulosti využívány zejména ve vojenské sféře. Od poloviny minulého století se UA využívají k průzkumným misím nepřátelského území. Postupný rozvoj družicových systémů a dalších technologií umožňuje v dnešní době poskytovat prostřednictvím UAS kvalitní obrazová data z prozkoumávané oblasti, a to na několik tisíc kilometrů daleko. Díky vývoji bezpilotních letadel různých velikostí se UA uplatňují i při prozkoumávání vnitřních objektů. V posledních letech se UA využívají i v civilní sféře v různých oborech pro letecké práce. Dalším krokem je nepochybně již řešená plná implementace do každodenního provozu s účelem využití UA k přepravě zboží a osob.

To vyžaduje stanovení pravidel regulačními orgány a technickou komplexnost. UAS k přepravě zboží a osob jsou v posledních letech velice často probíraným tématem. Vznikají nejen projekty vyvíjející bezpilotní letadla, ale i projekty, které se zabývají jak technickou, tak strategickou stránkou uspořádání UTM (Unmanned Traffic Management – řízení provozu bezpilotních letadel) a jeho integrace s ATM. Rozvoj těchto služeb je nepochybně podporován neustále zvětšujícími se nároky společnosti na zkrácení času cestování a zlepšení životního standartu s cílem ušetřit čas během nákupů potravin, zboží apod. Bouřlivý rozvoj technologií umožňující velice rychlý přenos dat v krátkém čase lze jistě považovat za typický znak posledních let ve vyspělých zemích světa. Neustálý vývoj a vylepšování těchto technologií slouží jako pevný základ pro využívání automatizace v dopravě.

Využití UAS se dá rozdělit na dvě oblasti, a to vojenskou a civilní. V případě využití pro vojenské účely se jedná o průzkumné letouny pro špionáž nepřátelského území. Pro civilní využití se UAS používají pro letecké práce jako mapování terénů, monitoring, inspekce, security objektů atp.

Kapitola 1

Druhy bezpilotních letadel

Bezpilotní letadla se dají rozdělit z hlediska způsobu, jakým dané letadlo překonává působení zemské tíže na letadla lehčí, nebo těžší než vzduch. UA těžší než vzduch se dále mohou dělit podle typu konstrukce, počtu pohonných jednotek apod.

1.1 Dělení UA dle působení zemské tíže

Letadla lehčí než vzduch:

- Balóny
- Vzducholodě

Letadla těžší než vzduch jsou dělena podle typu konstrukce na [1]:

- Bezpilotní vrtulníky
- Bezpilotní letouny
- Samokřídla
- Multikoptéry

Bezpilotní vrtulníky

Bezpilotní vrtulníky jsou většinou vybaveny spalovacími motory a mají větší rozměry. Především jsou využívány armádami pro účely průzkumu.

Bezpilotní letouny

Bezpilotní letouny se díky větší výdrži letu využívají k monitoringu větších lokalit a pomocí fixního, nebo otočného fotoaparátu umístěného v dolní části trupu nahrávají snímky z mapované lokality. Zpravidla je let prováděn automaticky dle předem nastaveného letového plánu. Start může být proveden pomocí odpalovací rampy nebo hodem z ruky. Hybridní bezpilotní letouny, které jsou vybaveny vrtulemi umožňují jak kolmý vzlet, tak následné přistání. Let pak probíhá již bez vrtulí jak u typického letounu. Některé letouny jsou vybaveny pro kolmé přistání padákem.

Samokřídla

Samokřídla jsou speciálními druhem bezpilotních letounů připomínající tvar křídélka z důvodu jejich tenkosti a aerodynamickému tvaru. Pro jejich výrobu se používá lehký materiál jako jsou například uhlíková vlákna.

Multikoptéry

je zařízení schopné kolmého vzletu a přistání. Je vybaveno různým počtem vrtulí s motory. Větší počet vrtulí zajišťuje větší výkon zařízení, větší stabilitu při manévrování a celkovou větší bezpečnost v případě vzniklých poruch během letu jako například vysazení jednoho z motorů. Sousední vrtule se otáčejí vždy opačným směrem. Počet pohonných jednotek musí být vždy sudý kvůli kompenzaci otáček motorů. Výjimkou jsou trikoptéry u kterých je pohonná jednotka otočná. Pod multikoptérou je situovaný gimbal, což je zařízení umožňující umístit na multikoptéru senzory sloužící k přenášení obrazu.[2]

Multikoptéry se podle počtu ramen s pohonnými jednotkami dělí na:

- Dualkoptéry(2 vrtule)
- Trikoptéry (3 vrtule)
- Kvadrokoptéry (4 vrtule)
- Hexakoptéry (6 vrtulí)

- Oktokoptéry (8 vrtulí)

V praxi není pro multikoptéry počet pohonných jednotek omezen.

Na následujícím obrázku je znázorněno schéma multikoptéry s jeho následným popisem jednotlivých částí. Obrázek znázorňuje kvadroptéru a slouží pro obecný přehled součástí, ze kterých se bezpilotní letadlo skládá. Pod krytem baterie (19) je možno umístit dodatečné příslušenství podle toho, pro co se dané bezpilotní letadlo využívá. Zpravidla tedy obsahuje přídatný držák, na který se poté uchyty kamera, nebo například box k přepravě zboží. V případě boxu je podvozek řešen svisle (Amazon prime air), nebo je uchycen těsně pod motory pro zajištění většího místa pro úložný prostor.[1]

1.2 Dělení UA dle stupně automatizace

- Manuálně řízená
- Poloautomaticky řízená
- Automaticky řízená
- Autonomní režimy letu (Fail Safe)

Manuální řízení

UA je ovládané pomocí řídicích prvků na dálkově řídicí stanici. Odchytky od trasy manuálně upravuje dálkově řídicí pilot. Tato funkce se využívá zejména při sportovním a rekreačním létání. Stabilizace jsou vypnuté.

Poloautomatické řízení

Let UA je prováděn v zadaném režimu, který zadává dálkově řídicí pilot. Pomocí poloautomatických režimů UA automaticky upravuje odchytky během letu (zatáčení, klesání, stoupání apod.) Jsou zapnuté stabilizace. Poloautomatické režimy jsou například:

- Režim GPS
UA udržuje režim letu zadaný pilotem (výška, zatáčení, dopředný let, visení apod.)

- Režim Attitude
UA automaticky odstraňuje odchylky od zadané polohy. Tento režim je využívaný v případech, kdy je nedostatečný signál GPS.
- Režim Course lock
UA drží zadaný kurz, kterým doposud letěl před zapnutím režimu
- Režim Follow me
UA je ovládáno pohybem osoby, která má ovladač
- Automatický vzlet a přistání

Automatické řízení

Let UA je prováděn podle předem nastaveného programu včetně rychlosti, výšky a trajektorie letu. Program letu může být během jeho průběhu změněn dálkově řídicím pilotem (změna výšky, nebo nastavení do jiného režimu – poloautomatického či manuálního). Automatický let lze provést pouze za předpokladu, že je k dispozici GPS.

Autonomní režimy letu – Fail Safe módy

Režimy používané v případech, pokud dojde k poruše řídicího a datového spoje, nebo v případech ztráty vizuálního kontaktu UA. Mohou být aktivovány manuálně dálkově řídicím pilotem, nebo automaticky. Za Safe Fail módy lze považovat:

- RTH (Return to Home - Automatický návrat na místo vzletu) Aby byla zajištěna správná funkčnost tohoto režimu musí být zajištěn příjem signálu alespoň od 6 satelitů GPS. Tento režim slouží k automatickému návratu UA do bodu, kde vzlétlo.
- Auto Hovering (Automatické visení) o UA přejde do tzv. visení a postupným klesáním přistane v místě, kde došlo k přerušení datového spoje.

Bezpilotní letadla se dají dělit do mnoha kategorií. Za nejzákladnější se dá považovat rozdělení UAS na komerční a vojenské. Další dělení může být například podle hmotnosti, druhu pohonu, nosnosti, velikosti apod. [1] [2]

1.3 Automatizace letu

Rozdíl mezi automatizovaným a autonomním bezpilotním systémem je ten, že u automatizovaného záleží na počtu potřebných automatických zařízení a nutného manuálního zásahu. Pokud tedy není plně autonomní systém, pak se jedná o systém automatizovaný.

Automatizovaný systém bezpilotního letadla kopíruje rozkazy ohledně trasy a cíle, ale na rozdíl od autonomního již trasu nevyhodnocuje.

Autonomní systém je na rozdíl od automatického zcela nezávislý na vůli pilota, během letu bude limitován jen plněním svého účelu a legislativními omezeními - dálkově řídicí pilot nemůže do průběhu letu zasahovat. Výhodou bezpilotního letadla, které je vybaveno autonomním systémem je ta, že na základě získávaných dat, která načítá pomocí čidel, bude moci vyhodnocovat trasu a reagovat na nečekané překážky, měnící se meteorologické vlivy apod. Stupně automatizace jsou rozděleny do 5 tříd a jsou popsány na obrázku pod textem.

THE 5 LEVELS OF DRONE AUTONOMY

Autonomy Level	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
Human Involvement						
Machine Involvement						
Degree of Automation	No Automation	Low Automation	Partial Automation	Conditional Automation	High Automation	Full Automation
Description	Drone control is 100% manual.	Pilot remains in control. Drone has control of at least one vital function.	Pilot remains responsible for safe operation. Drone can take over heading, altitude under certain conditions.	Pilot acts as fall-back system. Drone can perform all functions 'given certain conditions'.	Pilot is out of the loop. Drone has backup systems so that if one fails, the platform will still be operational.	Drones will be able to use AI tools to plan their flights as autonomous learning systems.
Obstacle Avoidance	NONE	SENSE & ALERT		SENSE & AVOID	SENSE & NAVIGATE	

Obrázek 1.1: 5 tříd automatizace UAS [3]

- Třída 0 – Nulová automatizace: Bzpilotní letadlo je ovládáno manuálně pilotem. Spadají sem zejména závodní bezpilotní letadla.

- Třída 1 – Asistence pilota: Pilot má kontrolu nad celkovým průběhem letu. Systém je schopen po určitý čas převzít alespoň jednu funkci, ale nejedná se o trvalé ovládání a nekontroluje současně rychlost a směr letu, změnu letové hladiny apod. (ty jsou nastaveny pomocí ručního zadávání). Pomocí systému je např. možné udržovat polohu, nadmořskou výšku a celkovou navigační podporu. Stabilizace letu je zajištěna pomocí GNSS.
- Třída 2 – Částečná automatizace: Pilot stále nese zodpovědnost za celkový průběh letu včetně jeho monitoringu, vzdušného prostoru, letových podmínek a reakcí v případě vzniklých potíží. Systém je nejčastěji výrobcem nastavován tak, aby pilotovi pomáhal s navigačními funkcemi a umožňoval pilotovi provádět méně úkonů. Do autopilota se nahraje předem naprogramovaná trasa a tu poté kopíruje bezpilotní letadlo na základě instrukcí z dat. Tato třída automatizace umožňuje provádět s bezpilotním letadlem automatický vzlet, nebo přistání. To ovšem podporuje manipulaci, ale nikoliv autonomii, jedná se o let automatický. Často se používají bezpilotní systémy s touto třídou automatizace pro mapování, geodetické práce či postřik zemědělských ploch.
- Třída 3 – Podmíněná automatizace: Podobně jako u druhé třídy automatizace je bezpilotní letadlo schopno letět automaticky za předem nastavených podmínek. Systém tedy vykonává všechny funkce za daných podmínek a v případě možného narušení letu po trase nějakou překážkou vyšle signál pilotovi, který je nucen ručně upravit směr, nebo nadmořskou výšku. Po úpravě systém navede bezpilotní letadlo na původní trasu. Bzpilotní letadla s touto třídou automatizace jsou jako u druhé třídy často využívány pro mapování, geodetické práce apod. Do této třídy spadá také „automatizované nasazování bezpilotních letadel“. Do systému je před naprogramovaná dráha letu, která je neměnná a let se opakuje v daném časovém intervalu. Bzpilotní letadlo je nastaveno na automatický vzlet a přistání a přistává do tzv. „dronového boxu“, kde je chráněno před vnějšími vlivy a jeho baterie jsou zde neustále dobíjeny. Často se tento systém využívá pro bezpečnostní monitoring objektů, nebo průzkumy povrchových dolů.
- Třída 4 – Vysoká automatizace: Systém je schopen letět sám s možným, ale ne nutným zásahem pilota. Je vybaven záložními systémy pro případ výpadku.

V případě selhání jednoho ze systému se očekává, že bude stále funkční. Senzory za letu snímají okolní překážky a systém je schopný provádět jednoduché úhybné manévry, nebo změny výšky letu. Je používán při pořizování filmových záběrů, nebo fotografování.

- Třída 5 – Plná automatizace: Bezpilotní letadlo je zcela ovládáno systémem bez zásahu lidského činitele. Ten ovšem může do řízení zasáhnout, pokud si to situace vyžaduje [3].

O třídách automatizace 1-3 lze pohovořit, že létají v automatickém režimu. Třídu 4. lze považovat za semi-autonomní a třídu 5 za autonomní.

Kapitola 2

Legislativa

V této kapitole jsou zmíněny legislativní požadavky na UA Mezinárodní organizací pro civilní letectví (ICAO) a Evropskou unií.

■ 2.0.1 ICAO

Požadavky na bezpilotní systémy jsou uvedeny v dokumentu CONOPS (Concept of operations) vydaným organizací ICAO [4]. Cílem tohoto dokumentu je poskytnout obecný rámec technických požadavků, stanovení priorit a řešení potřeb spojených se zavedením bezpilotních systémů do vzdušného prostoru. Dokument tak poskytuje společný pohled na problematiku bezpilotních systémů, který slouží jako podklad pro členské státy. Definice UAS jsou uvedeny v Annexu 2 „Rules of the Air“ jako:

- RPAS (Remotely Piloted Aircraft System – systém dálkově řízeného letadla)
- RPA (Remotely Piloted Aircraft – dálkově řízené letadlo) [5]

■ 2.0.2 EU

Požadavky na regulační rámec pro členské státy EU jsou stanoveny základními a prováděcími nařízeními. Základní nařízení řeší obecný přístup k dané problematice a jsou schvalována Evropským parlamentem. V případě letectví se jedná o „Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139 ze dne 4. července 2018 o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Agentury Evropské unie pro bezpečnost letectví“. [6]

Prováděcí nařízení začíná obdobně jako základní zdůvodněním jeho přijetí. Obsahuje články, ve kterých je uvedeno, čím se dané prováděcí nařízení zabývá včetně definic pojmů. Přílohy upřesňují požadavky jednotlivých článků. K přílohám jsou vydané tzv. poradenské materiály GM (guidance material), které slouží k lepšímu pochopení textu v jednotlivých člancích a přijatelné způsoby AMC (Acceptable Means of Compliance) jako závazné přílohy definující požadavky pro jednotlivé články a ustanovení, které musí být splněny. Prováděcí nařízení nařízeními pro bezpilotní letadla jsou „Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945 ze dne 12. března 2019 o bezpilotních systémech a o provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí“ [7] a „Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947 ze dne 24. května 2019 o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel“. [7] Prováděcí nařízení schvaluje Evropská komise. Materiály k prováděcím nařízením AMC a GM jsou vytvářeny agenturou pro bezpečnost letectví EU (EASA). [8]

Na stránkách Úřadu pro civilní letectví (ÚCL) je možné dohledat konsolidované znění nařízení 947, 945 a materiálů GM a AMC v dokumentu „eRules UAS CS“, které je neustále aktualizované. [7] Evropská legislativa má přednost před národní (pro ČR se jedná o letecký zákon 49/1997 Sb. a leteckými předpisy L a Doplnkem X). Jednotlivým evropským nařízením se hlouběji věnuji v následujících podkapitolách.

■ Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139

Článek 3 „Definice“ tohoto nařízení uvádí, že: „Bezpilotním letadlem je jakékoli letadlo provozované nebo projektované pro autonomní provoz nebo pro pilotování na dálku bez pilota na palubě“.

Nařízení evropského Parlamentu a Rady o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Agentury Evropské unie pro bezpečnost letectví se věnuje bezpilotním letadlům ve třetí kapitole konkrétně v oddílu VII, kde jsou popsány požadavky na bezpilotní letadla, Shoda bezpilotních letadel, prováděcí akty a přenesené pravomoci. A v příloze IX tohoto nařízení, kde jsou uvedeny doplňkové požadavky na bezpilotní letadla na projektování, výrobu, údržbu a provoz a požadavky vztahující se na oblast životního prostředí či registraci a označování bezpilotních letadel.

Toto nařízení stanovuje požadavky pro provoz bezpilotních letadel velmi obecně a proto byla vydána nařízení 2019/945, které stanovuje požadavky pro bezpilotní systémy a provozovatele bezpilotních systémů ze třetích zemí a prováděcí nařízení 2019/947, které stanovuje pravidla a postupy pro provoz bezpilotních systémů pro všechny členské státy EU. [6]

■ Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945

Toto nařízení stanovuje požadavky na projektování a výrobu UAS určených k provozování vymezených v nařízení (EU) 2019/947, pravidla pro dodávání UAS a jejich souprav a doplňkových zařízení pro identifikaci na dálku na trh a pro jejich volný pohyb v Unii a pravidla pro provozovatele bezpilotních systémů z třetích zemí, pokud provozují bezpilotní systém podle prováděcího nařízení (EU) 2019/947 v rámci vzdušného prostoru jednotného evropského nebe“. V tomto nařízení je rovněž definován typ bezpilotních systémů, jejichž projektování, výroba a údržba podléhají osvědčování.

Nařízení stanovuje třídy bezpilotních systémů. Požadavky pro jednotlivé třídy bezpilotních systémů jsou uvedeny v příloze tohoto nařízení. Nařízení takové stanovuje třídy bezpilotních systémů označených C0, C1, C2, C3, C4, C5 nebo C6. Pro jednotlivé třídy jsou stanoveny požadavky na maximální vzletovou hmotnost, maximální rychlost při vodorovném letu či požadavky na e-identifikaci. Požadavky pro třídy bezpilotních systémů C5 a C6 jsou myšleny pro lety dle Standardních scénářů (STS). [7]

Provozem STS se rozumí provoz UA, při kterém budou dodrženy body stanovené pro VLOS a BVLOS v dodatku nařízení 2019/947.[7] Znějí takto:

- Během provozu bude dodržena vzdálenost UA max. do 120 m od povrchu země
- Při provozu UA bude dodržena horizontální vzdálenost 50 m od umělé překážky. V případě, že výška umělé překážky přesahuje hranici větší než 105 m může být na základě vlastníka daného objektu výška provozu nad objektem navýšena o 15 m.
- Nebude překročena výška provozu o 30 m nad stanovenými výškami v předchozích dvou bodech.

- UA není povolena přeprava nebezpečného nákladu
- Provoz probíhá na kontrolovanou pozemní plochou

■ **Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947**

„Toto nařízení stanovuje podrobná ustanovení pro provoz bezpilotních systémů, jakož i pro personál, včetně dálkově řídicích pilotů a organizací zapojených do tohoto provozu“. Nařízení stanovuje provoz bezpilotních systémů do 3 kategorií provozu, které jsou uvedeny v článku 3 tohoto nařízení [7]. Jedná se o:

- Otevřenou
- Specifickou
- Certifikovanou

Otevřená kategorie

„Je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých s ohledem na související rizika není vyžadováno předchozí povolení příslušného úřadu, ani prohlášení provozovatele UAS před uskutečněním provozu“.[9] Dle nově platné evropské legislativy je provozovatel nucen zaregistrovat na stránkách příslušného úřadu pro civilní letectví v daném členském státě EU.

Obecně platí, že provoz UA v této kategorii může být uskutečněn pokud:

- Hmotnost UA je menší než 25 kg
- UA je označeno jedním ze štítků označujících bezpilotní třídu C0, C1 apod. (UA mohou od 31.12 do 1.1.2023 létat bez štítků s označením tříd - článek 22 nařízení (EU) 2019/947)
- Provoz probíhá za podmínek VLOS (Visual line of Sight)
- Výška letu nepřesáhne 120m
- Není přepravováno nebezpečné zboží či není za letu shazován materiál

V této kategorii není povolen autonomní provoz UA. Na základě provozních omezení, požadavků na dálkově řídicího pilota a technických požadavků na bezpilotní systém se tato kategorie dělí na podkategorie A1, A2 a A3 .[9] Přehled je znázorněn na obrázku pod textem.

UAS		Provoz		Provozovatel/pilot dronu		
Třída	MTOM	Podkategorie	Provozní omezení	Registrace provozovatele dronu	Způsobilost dálkově řídicího pilota	Minimální věk dálkově řídicího pilota
Soukromě zhotovené	< 250 g	A1 (rovněž může létat v podkategorii A3)	<ul style="list-style-type: none"> - může létat nad nezapojenými osobami (pokud je to možné, měl by se jim vyhnout) - zákaz letů nad shromážděními osob 	Ano, pokud je na palubě kamera/senzor a pokud dron není hračka	- není potřeba žádný výcvik	Žádný minimální věk
0					- přečíst uživatelskou příručku	16*, žádný minimální věk, pokud je dron hračka
Drony dříve uvedené na trh (Čl. 20)					- přečíst uživatelskou příručku - absolvovat online školení - složit online teoretickou zkoušku	16*
1	< 900 g		<ul style="list-style-type: none"> - žádné plánované lety nad nezapojenými osobami (pokud se tak stane, měly by být minimalizovány) - zákaz letů nad shromážděními osob 	Ano	<ul style="list-style-type: none"> - přečíst uživatelskou příručku - absolvovat online školení - složit online teoretickou zkoušku 	16*
2	< 4 kg	A2 (rovněž může létat v podkategorii A3)	<ul style="list-style-type: none"> - žádné lety nad nezapojenými osobami - udržování vodorovné vzdálenosti 30 m od nezapojených osob (může být sníženo na 5 m, je-li aktivována nízkorychlostní funkce) 	Ano	<ul style="list-style-type: none"> - přečíst uživatelskou příručku - absolvovat online školení - složit online teoretickou zkoušku - provést a deklarovat praktický výcvik formou samostudia - složit písemnou zkoušku u příslušného národního leteckého úřadu (nebo u schváleného subjektu) 	16*
3	< 25 kg	A3	<ul style="list-style-type: none"> - lety daleko od lidí - lety mimo urbanistickou oblast (vzdálenost 150 m) 	Ano	<ul style="list-style-type: none"> - přečíst uživatelskou příručku - absolvovat online školení - složit online teoretickou zkoušku 	16*
4						
Soukromě zhotovené Drony dříve uvedené na trh (Čl. 20)						

Obrázek 2.1: Podkategorie A1-A3 otevřené kategorie [10]

Specifická kategorie

„Je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých je s ohledem na související rizika vyžadováno povolení příslušného úřadu (v případě ČR Oprávnění k provozu vydané Úřadem pro civilní letectví) před uskutečněním provozu, s uvážením zmírňujících opatření identifikovaných v posouzení provozního rizika“.[9]

Oprávnění k provozu ve specifické kategorii je uděleno na základě, kdy není splněn některý ze stanovených požadavků provozu v otevřené kategorii. Provozovatel poskytne příslušnému úřadu podklady k posouzení provozních rizik týkajících se zamýšleného provozu. Autonomní provoz UA je v této kategorii povolen.

K zmírnění provozního rizika v této kategorii bude dosaženo splněním technického vybavení UAS a schopností provozovatele, které budou v souladu s jedním z uvedených:

- Standardní scénář (STS) – Popsány v dodatku 1 přílohy nařízení 947 [7]. Definují podmínky letu dle předem stanovených scénářů, kterými se bude muset provozovatel během letu v této kategorii držet.
- LUC – Osvědčení provozovatele lehkých UAS. Osvědčení, jež se vydává pouze provozovatelům, kteří disponují provozní praxí v rámci regulačního rámce EU. Získáním tohoto osvědčení je provozovatel oprávněn provozu dle STS bez podávání prohlášení a sám si schvalovat veškerý provoz bez žádosti povolení.
- Oprávnění k provozu vydané Úřadem – Vydaný úřadem pro civilní letectví, pokud není provozovatel držitelem LUC, nebo omezení vydaná v STS jsou nedostačující.[9] [10]

Od července roku 2022 je pro specifickou kategorii nutná přímá identifikace prostřednictvím Bluetooth nebo WiFi dle článku UAS.SPEC.050. Povinnost síťové identifikace, prostřednictvím které je přenos dat zajištěn skrze mobilní síť je v očekávání od roku 2023.

Certifikovaná kategorie

„Je kategorie provozu bezpilotních systémů, u kterých s ohledem na související rizika je vyžadována certifikace bezpilotního systému, osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota a schválení provozovatele příslušným úřadem, aby byla

zajištěna odpovídající úroveň bezpečnosti“. [9]

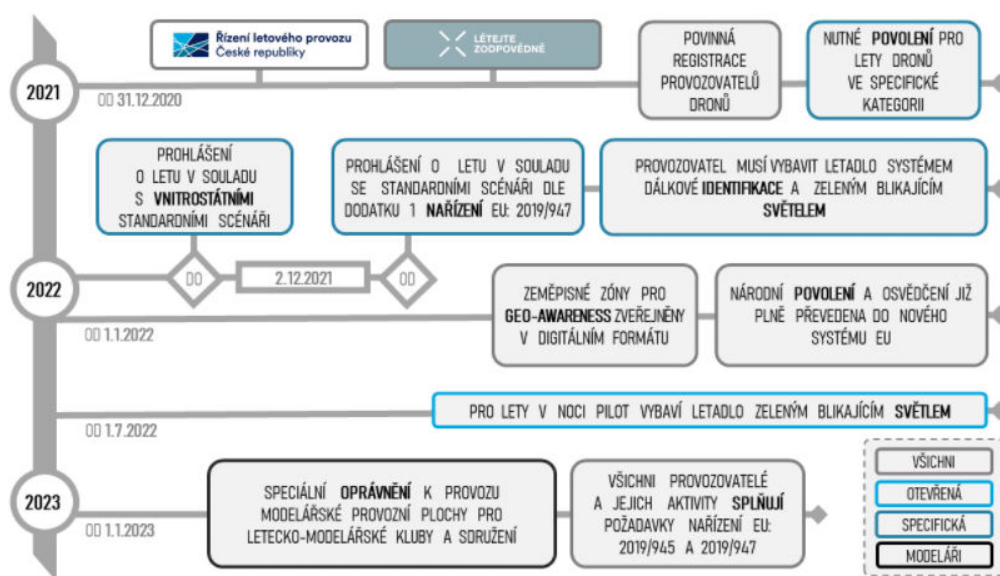
V současné době je v řešení, jaký typ provozu by spadal do této kategorie. Předpokladem ale je, že se bude jednat o provoz, kde budou UA využívána pro komerční použití.

Pro členské státy EU má evropská legislativa přednost před národní s výjimkou ústavních zákonů. Pro ČR mají přednost zmíněná evropská nařízení před Zákonem o civilním letectví 49/1997 a leteckými předpisy L (L2 – Pravidla létání a Doplněk X).

Nově je nutná povinná registrace vlastníka bezpilotního letadla v online systému na stránkách příslušného úřadu pro civilní letectví [11].

Každý členský stát je povinen stanovit zeměpisné zóny pro UA, ve kterých budou stanoveny oblasti se zákazem letu, nebo oblasti, kde bude let vyžadovat speciální povolení. Tyto zóny musí být zveřejněny ve společném digitálním formátu. Jsou platné pro všechny kategorie provozu (otevřená, specifikovaná, certifikovaná) [12]. V České Republice slouží k předletové přípravě a informacemi o vzdušném prostoru v místě zamýšleného letu webová aplikace Řízení letového provozu (<https://dronview.rlp.cz/>)

Vzhledem k postupnému zavádění pravidel pro provoz UA ve vzdušném prostoru, je na obrázku pod textem uveden přehled legislativních opatření s daty vstupu platnosti.



Obrázek 2.2: Data platnosti legislativních opatření [13]

Kapitola 3

Uspořádání letového provozu bezpilotních letadel (UTM)

UTM (UAS Traffic Management) je iniciativa prováděná různými způsoby prostřednictvím vytváření konceptů návrhů vzdušného prostoru pro bezpilotní letadla a jejich integrace s ATM. Návrhem konceptů se zabývá řada subjektů po celém světě. V USA se uspořádáním UTM a jeho integrace zabývá společnost NASA. Vyvíjené koncepty UTM v EU jsou řešeny v rámci projektu SESAR JU a EUROCONTROL [14]. Globální koncept UTM popisuje Organizace pro civilní letectví (ICAO). Koncepty UTM budou popsány v následujících podkapitolách. Cílem je bezpečná integrace s ATM na základě vzájemné spolupráce všech zainteresovaných stran, a to takovým způsobem, aby byla zajištěna bezpečnost a ekonomická efektivita provozu vzhledem k narůstajícímu počtu UAS v provozu.

3.1 UTM - ICAO

Koncepce UTM organizací ICAO byla poprvé navržena v roce 2016. Obecně popisuje, jak efektivně koordinovat management provozu UAS v reálném čase, způsoby, jak podpořit potenciál budoucího provozu za podmínek letu mimo přímou viditelnost (BVLOS) či podporu technického vývoje. Koncept je popsán v dokumentu UTM – „A Common Framework with Core Boundaries for Global

Harmonization-Edition 3“ [15].

Účelem tohoto konceptu je poskytnout rámec základních funkcí a požadavků, které by měl UTM obsahovat pro členské státy, které mají snahu UTM implementovat. Obecně by měla být splněna tato kritéria:

- Trvalá bezpečnost letového provozu (s posádkou i bez posádky)
- Bezpečnost osob na zemi
- Infrastruktura provozu UAS v nízkých výškách
- Neustálá podpora technologického pokroku
- Hodnocení enviromentálních a bezpečnostní rizik
- Globální harmonizovaný rámec pro UTM provoz v nízkých výškách

Aby byla tato kritéria splněna, ICAO zvažuje následující body:

- Odpovědnost nad dohledem poskytovaných služeb (UTM/ATM) nese regulátor
- Stávající politiky pro stanovení priorit letů pro podporu veřejné bezpečnosti by měly zůstat zachovány. UTM postupy by s těmito politikami měly být slučitelné
- Pro uživatele, kteří splní podmínky provozu, předpisy, požadavky na vybavení a procesy definované pro příslušný vzdušný prostor UTM by měl vzdušný prostor přístupný
- Provozovatel UAS by měl být kvalifikován k provádění běžných i mimořádných provozních postupů v jednotlivých třídách vzdušného prostoru UTM
- Pro zajištění provozní bezpečnosti (safety) a ochrany před protiprávními činy (security) by měl být zajištěn neomezený přístup ke všem provozovatelům UAS členskými státy. Tj. – informace o poloze, rychlosti, trajektorie letu a výkonnosti UA ve vzdušném prostoru.

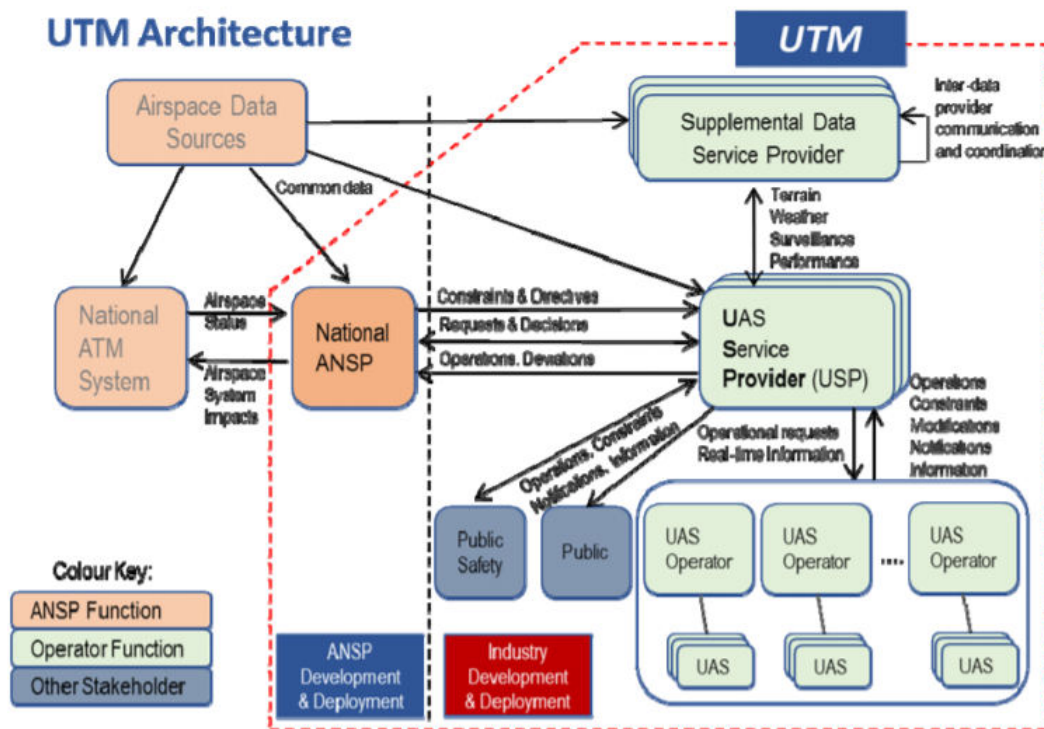
UAS je možné provozovat v řízeném i neřízeném letovém prostoru. Každý typ vzdušného prostoru ovšem bude vyžadovat odlišný druh specifických služeb. V Případě provozu v řízeném vzdušném prostoru bude provozovatel UAS

povinen dodržovat postupy dané třídy ve vzdušném prostoru a dodržovat bezpečnost provozu s ohledem na jeho hustotu. V dokumentu jsou zmíněny návrhy typů služeb, které mohou být poskytovány i třetími stranami. Příklady zní takto:

- Služba hlášení aktivit (Activity Reporting Service) – Poskytované informace o UTM na vyžádání, periodicky - prostřednictvím zprávy obsahující informace o čase provozu a popisu vzdušného prostoru.
- Služba poskytující informace pro provoz bezpilotních letadel(AIS) – Služba poskytující tok informací nutných pro bezpečnost, účinnost, ekonomičnost a pravidelnost provozu UAS
- Služba autorizace (Airspace Authorization Service) - Povolení do daného vzdušného prostoru pověřeným regulátorem
- Služba vyhledávání – poskytování informací o službách dostupných v daném geografickém umístění uživatelům UTM, např. poskytovatelé meteorologických služeb
- Služba mapování – poskytování dat s údaji o terénu a informací o překážkách (např. GIS), které jsou přijatelné pro zajištění bezpečného letu, nebo pro zajištění rozestupů nebo služeb plánování letů.
- Registrace – Služba umožňující provozovatelům UAS registraci UA a současně poskytuje data z daného systému pro autorizační orgány k případnému ověření. (např. policie)
- Služba správy omezení – Vydávání směrnic (např. bezpečnostních bulletinů) či provozních a vzdušných omezení od příslušného úřadu pro civilní letectví, nebo poskytovatele navigačních služeb i prostřednictvím NOTAmů.
- Služba plánování letu (Flight Planning Service) – Zajištění optimalizace trasy a její trajektorie před zamýšleným letem.
- Služba správy rozstupů a konfliktů – v dokumentu ICAO Framework je tato oblast rozdělena do 5 dalších služeb. Je zde odkaz na samostatný dokument „ICAO Doc 9854 Global ATM Operational Concept“.

- Služba sledování a určování polohy (Tracking and Location Service) – poskytování informací operátorovi UAS a systémům UTM o přesné poloze UA v reálném čase.
- Počasí (Weather Service) – Poskytování meteorologických informací v reálném čase provozovatelům UAS

Koncept vychází zejména ze zkušeností ATM provozu. Je obecný a nenavrhuje přímo konkrétní řešení. V dodatku F tohoto dokumentu jsou uvedeny případné návrhy možné architektury UTM [15]. Příklad možné architektury UTM je uveden na obrázku.



Obrázek 3.1: Architektura UTM ICAO – možné řešení [15]

3.2 UTM - NASA

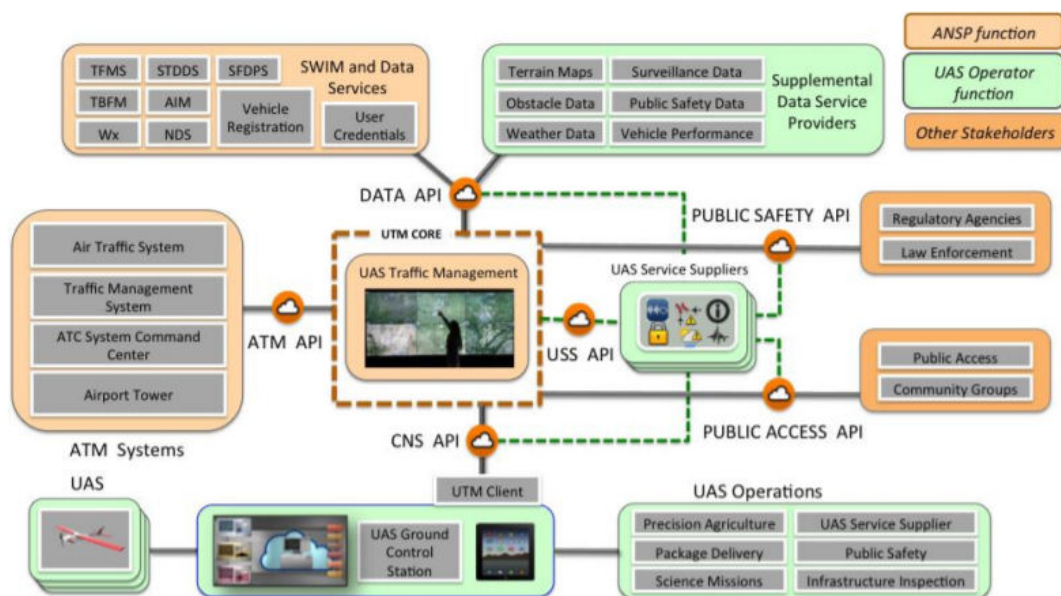
Koncept UTM vytvářený americkou společností NASA ve spolupráci s akademickými a komerčními partnery a americkým úřadem pro civilní letectví FAA (Federal Aviation Authority). Výzkum byl zaměřen zejména na provoz UAS v nízkých výškách. Zabýval se vývojem nových technologií, návrhem provozních modelů a celkové digitální revoluce či návrhem tzv. „vertiportů“ (místa, určená pro přistání bezpilotních letadel s vertikálním startem a přistáním v místech adekvátní občanskou dostupností) [16].

Systém UTM se liší od systému řízení letového provozu, který využívá FAA pro pilotované letouny. UTM je založeno na digitálním sdělování informací o letu každého uživatele. Tím je zajištěno, že každý uživatel zapojený do provozu v UTM bude mít stejné situační povědomí o vzdušném prostoru na rozdíl od toho, co se děje v dnešním řízení letového provozu. Výzkum by rozdělen do 4 úrovní, které jsou nazvané TCL (Technical Capability Levels), neboli fáze úrovní technické způsobilosti.

- TCL1 – Dokončena v roce 2015. Tato fáze byla zaměřena na využití UAS v zemědělství, hašení požárů a monitorování infrastruktury. Vývojářské týmy se v této fázi zabývaly také začleněním nových technologií jako např. geofencing.
- TCL2 - Dokončena v roce 2016. Fáze zaměřená na monitoring UAS, které létají v řídce zabydlených oblastech, kde operátor létající UA nevidí. Byly zde testovány technologie povolení letu do oblastí přímo v jeho průběhu a technologie pro okamžité omezení provozu ve vzdušném prostoru v důsledku případného zahájení operací SAR (Search and Rescue) nebo ztráty spojení.
- TCL3 – Dokončena v roce 2018. Zaměřená na vytváření a testování technologií určených pro separaci UA od okolního provozu a jejich let v určitých zónách a vzájemné vyhýbání se s ostatními UA během provozu.
- TCL4 – Dokončena v roce 2019. Zaměřena na integraci UAS do městských oblastí. Byly testovány zejména způsoby řešení překážek jako sníženou viditelnost, povětrnostní podmínky, sníženou schopnost radiové komunikace

nebo méně bezpečných míst pro přistání v městských oblastech [15].

I přes neustálý rozvoj technologií stále ještě nejsou na trhu takové, které by umožňovaly plnou integraci UAS do provozu. Důvodem mohou být jejich rozměry, nebo velká hmotnost atp. Proto se tento koncept zabývá zejména provozem v třídě vzdušného prostoru G (prostor určený pro provoz letadel od země do 300 m nadmořské výšky). Schéma architektury pod textem popisuje propojení mezi jednotlivými UAS a jejich provozovateli s regulátory či poskytovateli servisních služeb.



Obrázek 3.2: Architektura UTM - NASA [17]

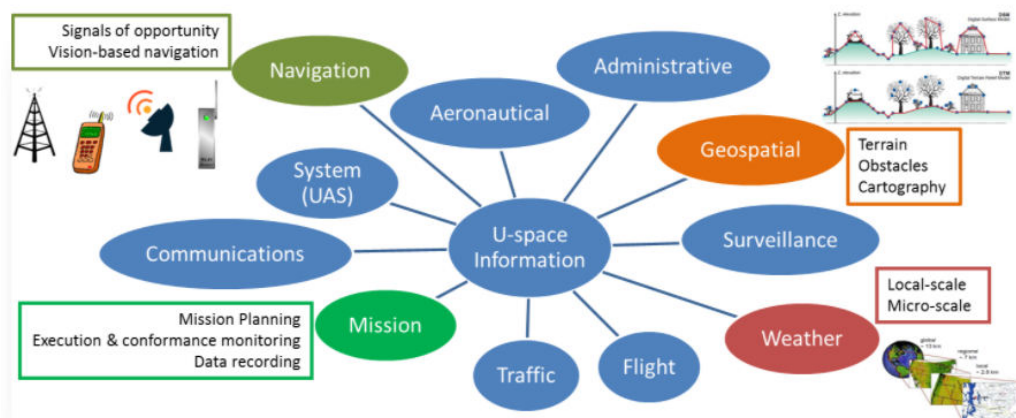
3.3 UTM - EU

V Evropě je mnoho řešení pro UTM. Hlavním konceptem, který řeší tuto problematiku je U-Space [14]. Není řešen jen koncept uspořádání vzdušného prostoru, ale i technické požadavky na komunikaci, geofencig atp.

3.3.1 U-Space Blueprint

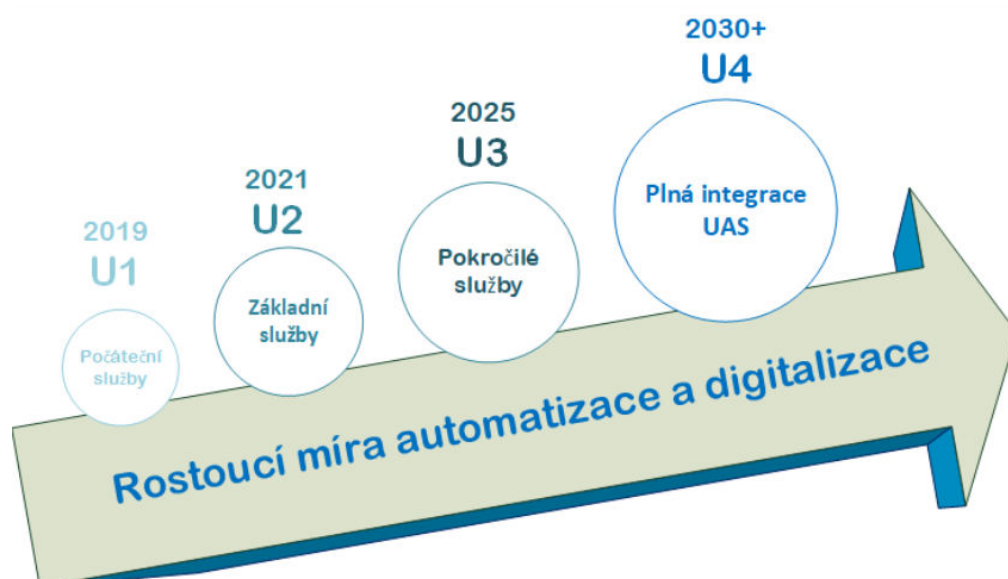
Dokument vytvořený v roce 2017 v rámci programu SESAR JU (Single European ATM research Joint Undertaking) [18]. U-Space je soubor specifických služeb a postupů určených k bezpečné integraci UAS do vzdušného prostoru. Implementace služeb závisí úrovni digitalizace a automatizace UAS i tak pozemních systémů.

V rámci projektu IMPETUS - jedním z projektů v rámci U-Space, který řeší správu informací o provozu UAS ve vzdušném prostoru velmi nízké úrovně VVL (Very Low Level) jsou stanoveny procedurální postupy a jejich proveditelná řešení. Toto řešení se odráží od stávajících informačních systémů řízení provozu jako např. integrace dat se systémy ATM atp [19]. Ilustrace U-Space služeb je znázorněna na obrázku.



Obrázek 3.3: Oblasti pokrytí služeb U-Space [19]

Soubor těchto služeb má zajistit využití UAS určených k přepravě zboží a osob, leteckých prací a služby SAR a bude možné tuto službu využít ve všech vzdušných prostorech. Klíčové je do budoucna nepochybně využití v VVL do 500ft od země. V dokumentu „U-space Blueprint“ jsou stanoveny kroky zavádění služeb do provozu.



Obrázek 3.4: Postupné kroky zavádění služby U-Space [20]

- U1 – poskytování e-registrace, e-identifikace a „geo fencing“
- U2 – management – plánování letů, schvalování letů, info o vzdušném prostoru, sledování na trase, procedurální zasahování do provozu stanovištěm ATC.
- U3 – Pokročilejší služby zahrnující lety ve více zahuštěných oblastech. Detekce konfliktů, automatické funkce atd.
- U4 – Podpora plné operační schopnosti v U-Space, vysoký stupeň automatizace pro bezpilotní letadla a systém U-Space.

Současní poskytovatelé služeb svými bezpilotními letadly naplňují koncepci U1 a U2. Aby mohla být realizována koncepce U3, musí se vyřešit ještě řada dalších záležitostí např. řešení kompatibility UTM s ATM a také zajištění vyšší úrovně automatizace, která zahrnuje strojové učení či umělou inteligenci [21] [22].

■ 3.3.2 CORUS (Concept of Operation for European UTM Systems)

Integraci UAS do prostoru VVL řeší také projekt „Horizon 2020“ zřízený projektem SESAR. Cílem konceptu operací CORUS je návrh vzdušného prostoru VVL včetně prostoru kolem letišť. Hlavním úkolem je:

- Vytvoření konceptu operací a vypracovat scénáře provozu včetně identifikace možných bezpečnostních rizik.
- Řešení provozu UAS v neřízeném, řízeném a chráněném vzdušném prostoru
- Vypracování bezpečné interakce s ostatními třídami vzdušného provozu a ohledů na mimořádné události během provozu a předpokladu jeho objemu.
- Identifikace problémů pro společnost (hluk z provozu, soukromí obyvatel atp)
- Stanovení nezbytných doplňkových služeb a potřebného technického rozvoje [23]



Obrázek 3.5: Návrh vzdušného prostoru dle CORUS [24]

Návrh vzdušného prostoru dle CORUS je uveden na obrázku.

Prostor je rozdělen podle míry rizik v provozních třídách na:

- Třídu X - Představuje provoz s nízkými riziky. Je výškově omezena na 500 ft (150 m).
- Třídu Y - Představuje provoz s většími riziky. Pokud chce provozovatel létat v třídě Y musí mít zvláštní povolení a schválený plán zamýšleného letu. Před letem musejí být vyhodnocena rizika a případné konflikty, které mohou nastat během zamýšleného letu. Pokud zamýšlený let povede do národních parků, je v této třídě vyžadována funkce Geo awareness. Pilot podává a dostává informace o poloze a okolním provozu po celou dobu letu.

- Třídou Z - Představuje provoz s největšími riziky. Třída Z je rozdělena na třídy Za a Zu a lety jsou zde povoleny pouze s povolením a schváleným plánem zamýšleného letu. Za třída představuje např. provoz v CTR a Zu provoz např. nad hustě obydlenými oblastmi jako jsou sídliště atd. Jelikož je U-space zaměřený na létání v VVL (very low level). Třída Zu má výškovou hranici 100ft (300m) – nad hustě obydlenými oblastmi. V třídě Z je nutné vyhodnocovat rizika před zamýšleným letem a v jeho průběhu. Je zde také požadavek sledování a dodržování separačních minim. V Za třídě U-Space systém poskytuje situační povědomí pracovišti ATC. V Zu třídě vzdušného prostoru U-Space poskytuje situační povědomí pracovišti ATC a vyhodnocování rizik během letu ze země [23].

■ 3.4 Systém pro správu letů UAS ve vzdušném prostoru

Systém vytvořený pro zajištění bezpečné integrace UAS do vzdušného prostoru a monitorování průběhu letu. Skrze systém je zajištěna kooperace se složkami ATC. Provozovatel UAS prostřednictvím mobilní aplikace zadá údaje o letu a o UA, s kterým bude daný let provádět. Musí být zadáno:

- Letová výška
- Doba letu
- Trajektorie letu
- Dálkově řídicí pilot/ společnost
- Registrační číslo UA
- Vzletovou hmotnost
- Podmínky letu – VLOS / BVLOS

Systém pro správu letů by měl provozovateli poskytovat informace o:

- Vzdušných prostorech
Letištní provozní zóny u neřízených letišť

Řízené okrsky (TMA a CTR)

Omezené prostory (R)

Nebezpečné prostory (D)

Dočasně vyhrazené prostory (TSA)

Dočasně rezervované prostory (TRA)

■ NOTAM zprávách

Zprávy o aktuálních změnách a omezení provozu

Meteo zprávy

■ Okolním provozu

Rozstupy

Prováděné lety jinými provozovateli

Díky decentralizaci trhu EU je pravděpodobné, že subjektů vyvíjejících systémy pro správu letů UAS bude v provozu uplatňováno více. Mezi tyto platformy patří například Airmap, AisView, nebo nyní vyvíjená aplikace pro správu letů společnosti Dronetag. Jako příklad je uvedena webová aplikace AisView Letecké informační služby ŘLP ČR, s.p (dronview.rlp.cz).

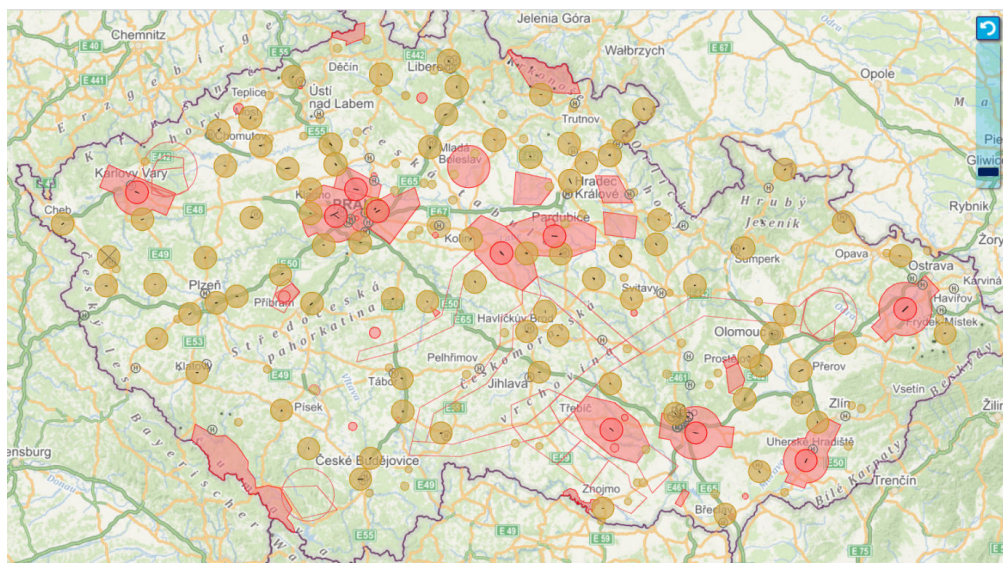
Tato aplikace slouží pro předletovou přípravu provozovatelům UAS k plánování letu ve vzdušném prostoru. Poskytuje informace o vzdušných prostorech a jejich využití, zprávách NOTAM a meteorologických informací.

Z platformy AisView, která je využívána spíše pro všeobecné letectví a která obsahuje více informací o provozu vychází „DronView“. Grafické znázornění aplikace uvádím na obrázcích pod textem.

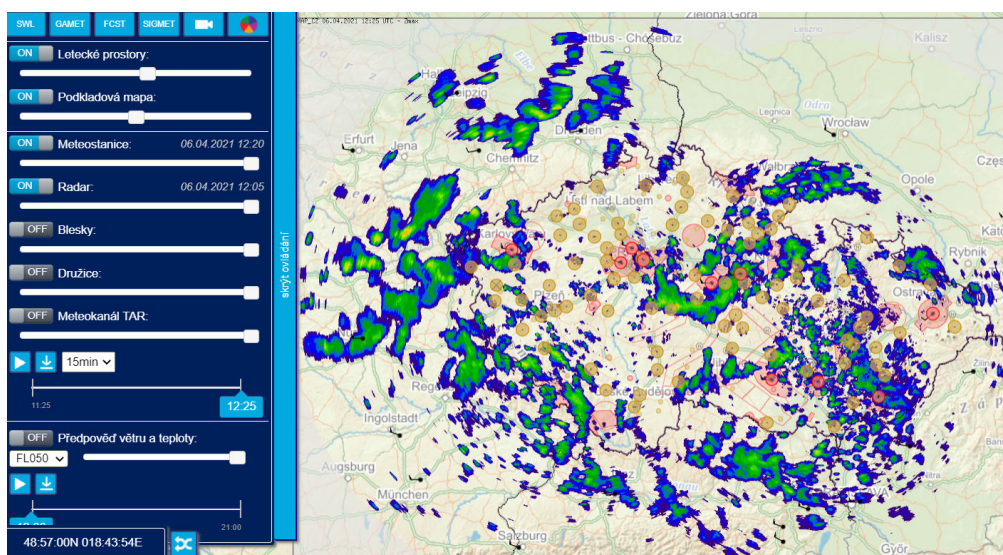
Na obrázku je znázorněna podkladová mapa aplikace DronView, na které jsou vyznačeny prostory TMA, CTR, TSA, TRA, nebezpečné prostory (D), omezené prostory (R) a vnitrostátní letiště. Množství informací se zobrazuje na základě stanovení výšky letu atp. V případě přepnutí mapy v aplikaci do AisView je na mapě zobrazováno více informací.

V Aplikaci je možné zobrazit meteoroinformace pomocí tlačítka „MetView“. Zobrazení na mapě je znázorněno na obrázku 3.7 pod textem.:

Provozovatel zadá v aplikaci dobu letu jeho výšku a hmotnost UA. Vyplnění



Obrázek 3.6: Mapa ČR - DronView [25]



Obrázek 3.7: Zobrazení meteo informací v aplikaci DronView [25]

tohoto plánu je pouze pro informativní účely a není možné jím nahradit oprávnění k letu, které vydává ÚCL nebo ŘLP, a to v případech, kdy je nutné mít pro dané lety povolení na základě pravidel stanovených evropskou legislativou.

Kapitola 4

Systémy pro podporu přepravy - navigace na trase

V současnosti UAS používají systémy satelitní navigace, díky kterým lze určit polohu UA s chybou v řádu několika metrů. Přesnost satelitní navigace lze zvýšit buďto kombinací dat z GPS a GLONAS, nebo používat satelitní navigaci společně s inerciální jednotkou (IMU) jež zaručuje udržení pozice UA s odchylkou několika centimetrů. U bezpilotních systémů lze přijímače využít nejen pro určování polohy, ale i pro plánování automatického letu dle souřadnic. Podmínkou je však, o jakého výrobce bezpilotního systému je jedná a zda tuto možnost nabízí. Software umožňuje nastavit zadanou trasu, na které bude zamýšlený let prováděn. Plán letu sestavený na PC je poté nahrán do UA bezdrátově, nebo prostřednictvím paměťové karty. Pokud má UA nahranou trasu, je pak možné danou trasu letět v automatickém režimu [26]. Pro zjišťování polohy UA mohou být také použity systémy detekce. Družicové navigační systémy a detekční systémy jsou popsány v následujících podkapitolách.

4.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Globální navigační družicový systém. Je název zastřešující všechny družicové satelitní systémy (GPS, GLONAS, Galileo nebo Beidou) pro určování polohy s celosvětovým pokrytím. Obecně jsou tvořeny třemi segmenty. satelitní systém

se pak liší v počtu letových drah, počtu družic či pozemních stanic. Jedná se o:

- Kosmický segment - Je tvořen konstelací umělých družic Země pohybujících se na oběžných drahách.
- Řídící segment - Je tvořen sítí stanic, které zajišťují provoz navigačního systému.
- Uživatelský segment - Tvoří jej uživatelé, kteří přijímají signál GNSS o své poloze a rychlosti do svých přijímačů. Informace o poloze a rychlosti probíhá pouze jednosměrně od družice do GNSS přijímače.

Výkonnost navigačního systému je hodnocena pomocí čtyřech kritérií [27]. Hodnotí se:

- Přesnost
- Integrita
- Kontinuita
- Dostupnost

Přesnost

Přesnost je rozdíl mezi vypočítanou a skutečnou polohou. Mělo by být zajištěno, že chyba polohy se nachází s pravděpodobností 95 procent v mezích požadavků na přesnost [28].

Integrita

Schopnost systému poskytovat uživateli včasná varování, že by systém neměl být využíván k navigaci. Integrita je určena parametry jako:

- Alert Limit – Pokud je překročena stanovená hodnota parametru systém vydá varování.
- Time to Alert – Maximální povolená doba, kdy musí vydat systém výstrahu v případě, že jsou překročeny stanovené hodnoty parametru.
- Integrity risk – Pravděpodobnost, že nebude v případě překročení hodnot vydána výstraha ve stanoveném čase Time to Alert.

- Protection Level - chyba vypočítaná tak, aby zaručila, že pravděpodobnost absolutní chyby polohy přesahující uvedený počet je menší nebo rovna cílovému riziku integrity.

Spojitosť

Pravděpodobnost, že systém bude vykonávat jeho funkci bez přerušení během provozu od jeho začátku. Míra požadavků na spojitost se liší podle vzdušného provozu a jeho hustoty.

Dostupnost

Dostupnost je definována jako procento času, po který je služba využitelná navigátorem. Je ukazatelem schopnosti systému poskytovat služby ve stanovené oblasti pokrytí [29].

■ 4.1.1 Global Positioning system (GPS)

Je globální družicový polohový systém USA s celosvětovým pokrytím, který poskytuje uživatelům informace o poloze a času s přesností několika metrů. V současné době obíhá na orbitách ve výšce 20200 kilometrů 30-32 družic na 6 oběžných drahách s inklinací 55 stupňů k rovníku a s dobou oběhu kolem Země 11h 58 minut. Jsou rozmístěny tak, aby bylo zajištěno, že z každého místa na Zemi bylo vidět alespoň 4 družice. Pro zajištění větší odolnosti vůči chybám jsou satelity na oběžných drahách rozděleny asymetricky [30] [31]. Poskytuje 2 typy služeb a to:

- SPS (Standart Positioning Service) – Služba pro běžné uživatele, kteří signál GPS přijímají prostřednictvím komerčně dostupných zařízení. Přesnost během určování polohy se pohybuje v řádech metrů.
- PPS (Precision Positioning Service) – Služba pro autorizované uživatele (armáda spojených států a její spojenci. Přesnost polohy při používání této služby je v jednotkách centimetrů.

Informace od satelitů jsou přenášeny do přijímačů GPS pomocí dvou nosných frekvencí v tzv L pásmech. Kanál L1 vysílá C/A kód, což je kód pro civilní uživatele a šifrovaný P(Y) kód určený pro autorizované uživatele. V kanálu L2

je vysíláný P(Y) kód. Existují ještě kanály L3 (monitoring startu balistických raket apod.), L4, (signál určený k měření ionosférické refrakce a L5 vysílající civilní signál SoL (Safety of Life). Na kódy C(A) a P(Y) je namodulována navigační zpráva, která obsahuje informace o efemeridech, korekci hodin, stavu družic a almanach [31].

Existuje více zdrojů chyb, které zhoršují přesnost GPS. Jedná se o chybu efemerid satelitů, chyba hodin satelitů, ionosférickou a troposférickou chybu, vícecestné šíření signálu, nebo chybu měření přijímače. Výsledný odhad přesnosti GPS je okolo 15 metrů. Avšak korelací pomocí systémů SBAS, které redukuje ionosférickou chybu, chyby efemerid apod je odhad chyby na přesnost určení polohy snížen na 3-5 metrů [32].

■ 4.1.2 Galileo

Je evropský globální polohový systém. V plné funkčnosti nabízí 4 služby.

- Open Service (OS) - bezplatnou službu určování polohy a času a také ověřování navigačních zpráv.
- High Accuracy Service (HAS) - Doplnující službu OS o další navigační signál a služby v jiném frekvenčním pásmu
- Public Regulated Service (PRS) - určenou pro autorizované uživatele vyžadující vysokou úroveň kontinuity.
- Search and Rescue Service (SaR) [33].

Obdobně jako systém GPS se skládá ze 3 segmentů. Kosmický segment je tvořen 30 satelity na oběžné dráze (10 satelitů rozmístěných v každé orbitální rovině) ve výšce 23 222 km od povrchu země s inklinací 56 stupňů a dobou oběhu kolem Země za 14 hodin a 22 minut. Aktivní konstelace se skládá z 24 satelitů. 6 satelitů je záložních [34].

■ 4.2 Augmentační systémy

Pro zlepšení výkonnosti navigačních systémů a zejména pro zlepšení integrity a přesnosti se používají zpřesňující systémy jako ABAS, SBAS a GBAS.

Systémy jsou popsány v následujících podkapitolách.

■ 4.2.1 Aircraft Based Augmentation system (ABAS)

ABAS je systém, který integruje informace získané z dat GNSS s informacemi získanými ze systémů na palubě letadla (výškoměr apod.). V případě tohoto systému existují dvě metody monitorování integrity.

- RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) – Integrita dat GNSS z 5-6 družic je monitorována palubním zařízením na palubě letadla.
 - a. FD (Fault Detection) – Pokud je viditelných minimálně 5 satelitů je možno stanovit, že jeden či více poskytuje chybné informace. Palubní zařízení poté vydá výstrahu.
 - b. FDE (Fault Detection and Exclusion) – V případě, že je dostupných alespoň 6 satelitů. Palubní zařízení automaticky vyřadí satelit poskytující chybné informace.
- AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring) – Integrita je ověřována kromě informací z dat GNSS ještě ověřováním dat z nezávislých navigačních zařízení na palubě letadla [35] [36] .

■ 4.2.2 Satellite Based Augmentation system (SBAS)

Stanice monitorují signál GNSS a informace o něm jsou poté posílány do stanic řídicích. Z nich jsou dále data vyhodnocována a odesílána přes geostacionární družice uživateli. Používáním tohoto systému je zvýšena integrita, přesnost, dostupnost a kontinuita. Systémů SBAS je více a fungují regionálně podle oblastí. V USA se jedná o službu WAAS (Wide Area Augmentation System), s oblastí pokrytí severní, střední a jižní ameriky a oblast pacifiku. Evropským SBAS systémem je EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) s oblastí pokrytí pro Evropu a severní Afriku. A Mnoho dalších (Rusko SDCM apod.) [36].

■ 4.2.3 Ground Based Augmentation System (GBAS)

Systém s pozemním rozšířením GNSS referenčních přijímačů, které zpřesňují GNSS při přesném přiblížení na přistání CAT I. GBAS je tvořen 3-4 referenčními stanicemi, které vyhodnocují integritu a přesnost dat z GNSS a pomocí datalinky jsou odesílána na palubu letadla. GBAS poskytuje dva druhy služby. Systém poskytuje kromě služby přiblížení také službu určování polohy [36].

■ 4.3 Detekční systémy

Systémy detekce je možno rozdělit na aktivní a pasivní.

■ 4.3.1 Aktivní detekční systémy

Data o poloze a pohybu jsou aktivním detekčním systémem UAS vysílána automaticky. Díky propojení těchto systému s ATM/UTM má řízení letového provozu přehled o okolním provozu [37]. Pro aktivní vysílání polohy UAS v reálném čase se využívají například tyto systémy:

- GNSS lokátor
- ADS

■ GNSS lokátor

Lokátor s navigačním systémem pomocí integrované antény určuje přesnou polohu zařízení, ve kterém je zabudován. Lokátor uchovává informace o průběhu letu, které odesílá do mobilního zařízení/systému UTM prostřednictvím mobilní sítě GMS. Aby mohla být data odesílána musí být lokátor vybaven SIM kartou [2].

Jako příklad zde uvádím identifikační zařízení společnosti „Dronetag“. Lokátor může být umístěný externě, nebo prostřednictvím zabudovaného modulu v UA. V případě externího zařízení je poloha je získávána z družic (GPS, GLONAS,

Galileo) i systému SBAS. Externí zařízení váží 30 g a jeho velikost je srovnatelná s krabičkou od sirek. Výdrž baterie je 8 hodin.

Verze modulu zatím ještě probíhá vývojem. Toto identifikační zařízení má být navrženo tak, aby ho bylo možné propojit s řídicí jednotkou UA.

Pro přenos dat z modulu do uložení bude využito mobilních sítí. Vysílané data do okolí budou předávány prostřednictvím Bluetooth. Výsledkem pro zajištění bezpečného provozu UAS bude mobilní aplikace, která bude propojena s řízením letového provozu [38].

■ ADS

ADS (Automatic Dependent Surveillance) je rozšířený odpovídač SSR. Součástí odpovídače je informace o aktuální poloze letadla, kterou určuje navigační systém na palubě letounu. Odpověď je vysílána pravidelně (ADS-B – Broadcast), nebo na dotaz (ADS-C - Contract) [37]. ADS může být ještě doplněno o dvě funkce - ADS B in/out. ADS B (Out) je od roku 2020 povinný v případě letů ve vzdušném prostoru, kde je vyžadován odpovídač módu C. Vysílá informace o letadle dalším letadlům zapojených do provozu a do pozemních stanic. ADS B (In) poskytuje informace o letu, které využívá pilot. Jedná se například o informace o počasí, nebo okolním provozu [39]. Pro UAS se používají speciálně upravené ADS-B. Aby ADS bylo využitelné, musí být na palubě UA přijímač GNSS. [37].

■ 4.3.2 Pasivní detekční systémy

Pasivní detekcí se rozumí systém, který nejdříve musí danou informaci detekovat a tím získá informace o jejím pohybu. Mezi systémy pasivní detekce lze například zařadit:

- PSR
- RF detektory
- Akustické senzory
- Infračervené senzory
- Optické senzory

■ PSR

PSR (Primary Surveillance Radar) - primární přehledový radar je zařízení, které využívá služba řízení letového provozu pro sledování polohy letadel. Princip funkčnosti je na základě odrazu radiového vlnění vysílaného vysílačem k letadlu a zpět. Na základě časového intervalu vyslaného intervalu a jeho příjmem se zjistí vzdálenost letadla. Anténa PSR je pohyblivá, což umožňuje, že bude vysílat signál do celého prostoru. U tohoto typu radaru není třeba spolupráce s palubním vybavením letadla. Tím je zajištěno, že ho lze použít i pro určení polohy letadel, která nespolupracují [40].

■ RF detektory

Monitoring rádiového spektra využívá neustálé komunikace ohledně řízení letu mezi UA a vysílací stanicí. Systém pasivně sleduje okolí. Nedochozí zde k vysílání elektromagnetických vln.

Detekce je možná do vzdálenosti, na jakou UA dokáže komunikovat s vysílací stanicí. S výjimkou autonomních letadel je tento systém využíván téměř u všech UAS, které komunikují s vysílací stanicí.

■ Akustické senzory

Metoda, která využívá zachycení zvuku z okolního prostředí použitím mikrofonů s dosahem okolo 30 ft. Použití tohoto typu detekce je vhodné pro klidná prostředí. V městském prostředí ne takřka nepoužitelný díky vysoké úrovni hluku. Jedna z nevýhod systému detekce s zvukovými senzory je také to, že nemůže být součástí paluby UA, neboť by zachytily zvuk.

■ Infračervené senzory

Senzory detekující odlišné teploty okolních předmětů (Detekce UAS od motorů, nebo akumulátorů). Tento systém detekce je možné použít jak ve dne, tak v noci či při snížené viditelnosti a nepříznivých meteorologických podmínkách. Systém je účinný přibližně do 350 ft. Není možné, aby byl pevnou součástí UAS z důvodu narušení měření senzorů od motorů nebo akumulátorů samotného UA [41].

■ Optické senzory

Tyto senzory fungují na základě kamerových systémů identifikujících objekty v prostoru. Dosah kamer je přibližně 350 ft. Nevýhodou tohoto systému je, že UAS malých rozměrů jsou v některých případech obtížně rozeznatelné od ptactva. Proto je často navíc vybaven senzory pro detekci pohybu, aby se mohly odlišit mechanické a automatické pohyby UA od chování ptáků. Kamerový systém je citlivý na světlo a povětrnostní podmínky. Není použitelný za tmy, pokud není doplněn o infračervené senzory [41] ,[42].

■ 4.4 Komunikační a datové spoje

UAS využívají integrovaný letový počítač pro ovládání avioniky a systému a přijímač na radiové vysílání. Zabudovaný letový počítač v UA umožňuje zvolit autonomní nebo automatický provoz. Prostřednictvím radiového vysílání je umožněno dálkové ovládání UA a výměna dat mezi UA a řídicí stanicí.

Rádiový signál může být vysílán například pomocí vzdáleného síťového systému prostřednictvím celulárních sítí (např. 2G/GSM) nebo sítí 4G/LTE. Přes toto spojení tedy probíhá výměna dat o letu (obrazová data apod.) a je možné UAS ovládat [43]. Důležitou roli nepochybně hraje rychlost přenosu dat.

Ta může být vylepšena novou generací vysokorychlostních sítí 5G se stabilnějším a rychlejším připojením. 5G sítě mají výrazně nižší latenci oproti sítím 4G/LTE. Výsledkem zavedení těchto sítí není pouze zlepšení kvality služeb připojení k internetu, ale zejména prostor pro modernizaci automatizovaných procesů v různých odvětvích či vývoj zcela nových, inovativních služeb. Pro zajištění požadovaných nároků, které má vysokorychlostní síť 5G splňovat je nutné zavést pokrytí sítěmi založenými výhradně na optických vláknech, a ta využít jako přenosové médium. Vedení komunikace je navrženo pozemními optickými linkami. Důvodem je, že pozemní optické linky nejsou limitovány kapacitami jednotlivých kmitočtů a je možno využít vedení komunikace prostřednictvím radiových vln v nejkratším nutném úseku. Podmínkou je nutnost existence vysokokapacitních stanic. Datové sítě 5G jsou pro oblast automatizované a budoucí autonomní mobility předpoklad právě z důvodu zajištění vysoké kapacity a rychlého přenosu dat s nízkým zpožděním [44] [45].

■ 4.5 Požadavky na architekturu komunikačních, navigačních a přehledových systémů (CNS)

Do budoucna musí být zajištěna dostatečná harmonizace mezi UTM (Unmanned traffic management) a ATC (Air traffic management). Tento požadavek je daný zejména kvůli očekávanému nárůstu provozu automatizovaných letadel v následujících letech. V případě vzniklých problémů během provozu musí stanoviště UTM převzít kontrolu řízení bezpilotního letadla.

vývojem systémů autonomie se věnuje od roku 2016 např. americká společnost NASA v projektu SASO (Safe Autonomous System Operations). Tento projekt je zaměřen na hledání vhodných způsobů, jak nejefektivněji implementovat automatizaci do současného vzdušného prostoru s ohledem na bezpečnost,

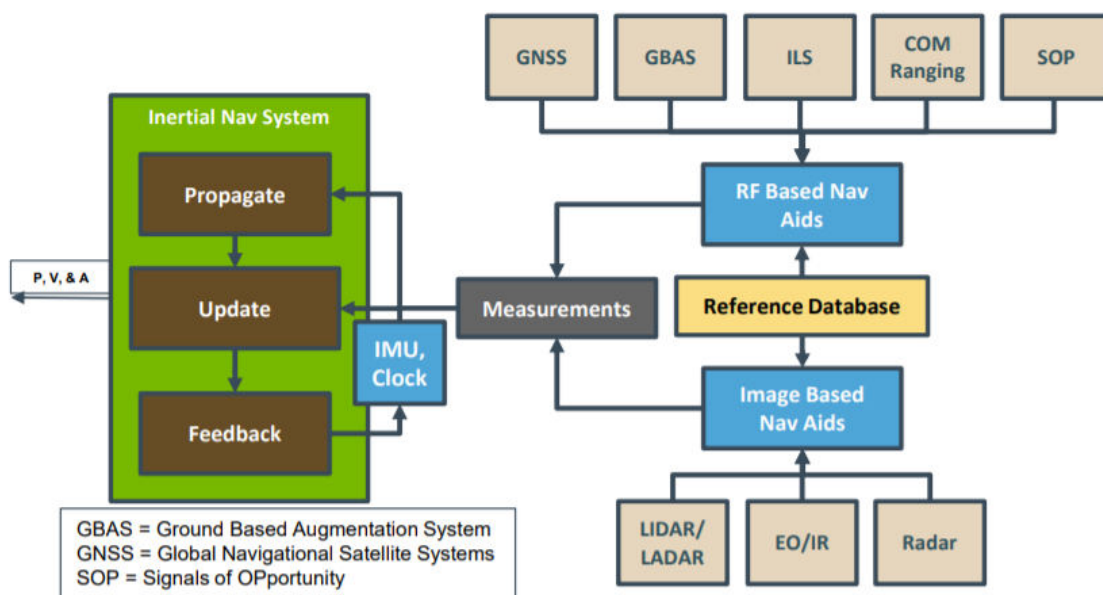
■ ■ ■ ■ ■ 4.5. Požadavky na architekturu komunikačních, navigačních a přehledových systémů (CNS)

provozní náklady, dostatečnou kapacitu vzdušného prostoru atp. Na stránkách projektu je uvedeno, že se počítá s rozšířením autonomie, jakmile bude implementován NextGen (Next Generation navigation system) [46].

Jsou definovány požadavky na komunikační síť, komunikaci prostřednictvím data linku, navigační požadavky a požadavky na přehlednost.

Celkem je stanoveno 12 požadavků na komunikační síť, představují např. globální pokrytí a adresování, škálovatelnost atp. Pomocí data linku je zajištěno, že pilot a řízení letového provozu budou vzájemně propojeni pomocí pozemní infrastruktury. Požadavky jsou kladeny na dosah do všech tříd vzdušného prostoru (A,B,C,D), rychlost, latenci, dostupnost atp. Požadavky se v jednotlivých třídách vzdušného prostoru liší. S rostoucí výškou a vzdáleností se mění požadavky na typ spojení (Bluetooth, wifi, satelitní navigace atp.) [47].

Architektura bezpilotních systémů, řídicích navigačních systémů je pro UTM znázorněna na následujícím schématu.



Obrázek 4.1: Schéma architektury CNS pro UAS [47]

■ ■ ■ ■ ■ 4.5. Požadavky na architekturu komunikačních, navigačních a přehledových systémů (CNS)

Schéma popisuje palubní navigační rámec bezpilotního systému, který zpracovává a porovnává mezi sebou navigační výstupy ze systémů družicové navigace, pozemních navigačních systémů a sensorových zařízení. Ty jsou dále porovnávány s inerciálním navigačním systémem.

Požadavky stanovují, že musí být zajištěná bezpečnost provozu, jeho kapacita atp. Přes IP přenosové kanály jsou odesílány UA jejich adresy do centrálního systému, který odesílá informace o průběhu letu dálkově řídicímu pilotovi, službě řízení letového provozu a zpětně do bezpilotních systémů. Na tomto základě je pak možné určit oblast, kde daný let probíhá a stanovit provozní omezení v daných oblastech. V případě možného rizika buďto systém bezpilotního letadla sám provede kroky díky získaným informacím o okolním provozu, nebo zasáhne dálkově řídicí pilot [47].

V požadavcích na CNS architekturu, informace o průběhu letu by měly být přenášeny přes IP přenosové kanály. Zejména pro budoucí autonomní provoz je nutné zajistit, aby přenos dat v průběhu letu probíhal v co nejkratším čase.

Kapitola 5

UAS a jejich využití v komerční sféře

V posledních letech vznikají na trhu nové společnosti, jejichž cílem je vývoj bezpilotních systémů, které budou doručovat zboží pomocí vysoce automatizovaných a později také plně autonomních bezpilotních letadel. Různé projekty jsou zakládány na bázi spolupráce startupových firem se společnostmi tradičně působících v poskytování logistických služeb. Prostor ke spolupráci a také aktivní kroky lze pozorovat v segmentu malých i velkých výrobců letadel a letecké techniky. Bepilotní letadla, vzhledem k jejich kapacitním parametrům se zdají zatím být vhodná zejména pro přepravu méně rozměrných a lehčích nákladů (léčivé přípravky, potraviny, drobnější spotřební zboží apod.). Nicméně v současné době vznikají i koncepty UAS pro komerční sféru k přepravě těžšího nákladu či osob.

V následujících podkapitolách jsou stručně popsány vybrané společnosti vyvíjející koncepty UAS určené k přepravě zboží.

5.1 Amazon Prime Air

Je projekt společnosti Amazon, který v srpnu roku 2020 získal osvědčení leteckého dopravce od amerického úřadu FAA. FAA dodala Amazonu výsadní práva bezpečně a efektivně doručovat zásilky pomocí letů mimo vizuální přímou viditelnost [48].

Cílem společnosti je uvést do provozu UAS nesoucí zboží maximální hmotnosti 5 liber (2,25 kg) s doletem až 24 km do 30 minut na místo určení od zadání

objednávky. Vychází ze statistik provedených společností o nejčastějších objednávkách zboží, které ukazují, že objednané položky z 90 procent splňují váhový limit. Plné spuštění této služby ještě není stanoveno [49].



Obrázek 5.1: UA společnosti Amazon Prime Air [48]

UA je vybaveno technologiemi detekčních systémů založených na počítačovém a strojovém učení pro identifikaci jak statických, tak pohyblivých předmětů různých velikostí. Je ovládáno 6 stupni volnosti, což zajišťuje lepší stabilitu a lepší manévrovatelnost při letu v zhoršených meteorologických podmínkách [48].

5.2 Wingcopter

Německá společnost založena roku 2017, která působí jako výrobce bezpilotních hybridních letounů, a také jako poskytovatel služeb pro přepravu dodávek zdravotnického zboží, balíků potravin, nebo náhradních dílů do oblastí se zhoršenou dopravní dostupností. Přepravou bezpilotních letadel je dodávka zkrácena na hodiny a v některých případech i na minuty. Bepilotní letadla společnosti

Wingcopter mají rozpětí křídel 178cm a jsou 132cm dlouhá. Maximální možné zatížení nákladem bezpilotní letadla je 6 kg s možným doletem 40 km. Při hmotnosti nákladu 4 kg se dolet bezpilotního letadla navýší na 60 km. Při hmotnosti nákladu 2 kg je dolet již 100 km a bez nákladu je dolet bezpilotního letadla 120km. Zařízení je schopné bezpečného letu při průměrné rychlosti větru do 15m/s nebo do 20 m/s při poryvech větru. Maximální dostup se uvádí 5km. Je schopna letět cestovní rychlostí 100km/h, nebo v režimu letu s pevnými křídly 150km/h [50].

Počátkem února tohoto roku Wingcopter přepravila ve spolupráci s dalšími společnostmi zdravotnický materiál mezi dvěma městy na středozápadě Německa. Let dlouhý 25 km se uskutečnil nad železnicemi, silnicemi a zejména nad zastavěnou městskou oblastí, a to již bez neustálého dohledu pilota. Společnost bude v testovacích letech nadále pokračovat se snahou tento způsob přepravy využívat jako plně autonomní [51].



Obrázek 5.2: UA společnosti Wingcopter [50]

5.3 Boeing – Cargo Air Vehicle

Zařízení s elektrickým pohonem společnosti Boeing, které je stavěno především pro převoz velkých zásilek. Jeho rozměry jsou oproti ostatním vyvíjeným bezpilotním letadlům pro převoz zboží o mnoho větší. Je široké 6 metrů a váží přes 450 kilogramů. Díky jeho velikosti je schopné nést až 225 kilogramu nákladu. Stále se pokračuje v testování autonomních letů. [63]

Společnost Boeing také prostřednictvím projektu Boeing Horizon Ventures X financuje další startupy působící v této oblasti. V minulosti investovala do společnosti Matternet, která například spolupracuje se švýcarskou poštou, nebo společností UPS [52].



Obrázek 5.3: UA společnosti Boeing [53]

Kapitola 6

Návrh trasy pro převoz zboží UA s výkonnostními parametry společnosti Wingcopter

V této kapitole je uveden návrh trasy UA určeného pro převoz zboží z OC Čestlice do obce Popovičky. Dále jsou v tabulkách pod textem vypsány výkonnostní a provozní parametry UA společnosti Wingcopter, které slouží pro obecný přehled.

6.1 Parametry UA - Wingcopter

Rozměry		
Výška	0,48	m
Šířka	1,78	m
délka	1,46	m

Tabulka 6.1: Rozměry [54]

Hmotnost		
Prázdný	8,4	Kg
2 baterie	12	Kg
3 baterie	13,9	Kg
4 baterie	15,7	Kg
MTOM	18	Kg
Max. hmotnost nákladu	6	Kg

Tabulka 6.2: Hmotnost UA společnosti Wingcopter [54]

Užitečné zatížení	6 kg	4 kg	2 kg
Počet baterií	2	3	4
Jednosměrný let Km/ min	40km/35min	60 km/50 min	100 km/85 min
Let s pomalým klesáním Km/min	35km/30min	50 km/40 min	75 km/65 min

Tabulka 6.3: Dolet UA společnosti Wingcopter [54]

Režimy letu		
Režim letu	Manuální	Automatický

Tabulka 6.4: Režimy letu UA společnosti Wingcopter [54]

Poznámka k tabulce 6.5: UA letí 2 min v režimu mutikoptéry a poté přechází do režimu s pevnými křídly.

Let - režim multikoptéry [54]		
Cestovní rychlost	18	km.h -1
Maximální cestovní rychlost	50,4	km.h -1
Rychlost stoupání	7,2	km.h -1
Rychlost klesání	9	km.h -1
Max výška letu	3000	m
Přesnost při automatickém přistání	3	m
Max. doba letu	2	min

Tabulka 6.5: Režim multikoptéry UA společnosti Wingcopter [54]

Let - režim s pevnými křídly		
Minimální Rychlost	50,4	km.h -1
Cestovní rychlost	86,4	km.h -1
Maximální cestovní rychlost	150	km.h -1
Rychlost stoupání	9	km.h -1
Rychlost klesání	10,8	km.h -1
Max výška letu	5000	m
Max doba letu	2	h

Tabulka 6.6: Režim s pevnými křídly UA společnosti Wingcopter [54]

Povětrnostní limity		
Povolený rozsah teplot	0-40°	C
Létání v podmínkách námrazy	Zakázáno	
Létání v silném dešti	Zakázáno	
Létání v bouřce	Zakázáno	
Max. rychlost větru pro vzlet a přistání v režimu multikoptéra	15	m.s -1
Max. rychlost větru pro vzlet a přistání v režimu s pevnými křídly	20	m.s -1

Tabulka 6.7: Počasí [54]

Dle informací z tabulky 6.3 "Dolet" je patrné, že dolet UA závisí na hmotnosti přepravovaného zboží a počtu baterií. V tomto Návrhu vzledem ke krátké vzdálenosti do 10 km je možno zvolit variantu převozu zboží o 6 Kg. Výrobce UA na svých webových stránkách uvádí, že maximální objem přepravních boxů činí 16 litrů.

Vzhledem k situování návrhu není možné vyloučit křížení trasy s vedením komunikací silniční dopravy, a proto je kladen důraz na kolmé křížení eliminující křížení delší, než je nezbytně nutné.

Délka trasy činí 7,4 km. Dle předpokladu, že rychlost UA na trase bude 100 km/h je možné tuto vzdálenost při jedné cestě překonat v rámci 13 minut od vzletu do přistání v OC Čestlice. Při určení rychlosti přeletu je zanedbán čas potřebný k vykládce zboží - jedná se tak pouze o čistou dobu letu včetně vzletu a přistání. Jelikož se jedná o modelový příklad bylo zanedbáno nebo zjednodušeno působení vlivu větru, brzdění a zrychlování. Tyto specifikace byly zanedbány pro zjednodušené znázornění provozu UA na trase z hlediska času.

6.2.1 Kritická oblast



Obrázek 6.2: Schéma - Detail kritického místa - 2D - [55] [56]

Za kritickou část letu na trase je vyhodnocena plocha v místě vzletu a návratu UA v blízkosti obchodního centra a jeho těsném okolí. Okolo OC je situováno

parkoviště, průmyslová zóna a dálnice D1. V okolí dálnice D1 je samozřejmě zřízeno ochranné pásmo, které je ve vedení trasy zohledněno a znázorněno v obr. 6.2. Dále se zde nachází showroom nových vozidel, které vedení trasy narušuje. Při návrhu bylo vyhodnoceno toto řešení jako méně škodlivé, než její vedení v oblasti ochranného pásma dálnice. Hlavním předpokladem tohoto řešení bylo uvážení intenzity provozu na dálnici a koncentrace provozu v místě showroomu. Důraz je kladen na vedení trasy v minimální horizontální vzdálenosti 150 m od okolní zástavby obytných domů (viz. Obr. 6.2). Obrázek zmiňované oblasti je podložen detailem z koordinačního výkresu Územního plánu obce Čestlice pro lepší představu funkčního využití ploch v kritické oblasti a zvýraznění ochranného pásma dálnice (na obrázku černou přímkou).

6.2.2 Prostor pro vzlet a přistání

- Vzlet OC Čestlice - Vzlet je stanoven z střešního prostoru nákupního centra. Po dosažení výšky 135 m nad zemí UA přechází do vodorovného letu.
- Přistání v obci Popovičky je nutné provádět na ploše 3X3 m viz tabulka „Let - režim multikoptéry“. Rozmístění ploch pro přistání v obci je stanoveno vždy na jejím okraji, aby let UA zasahoval v co nejmenší míře do zastavěných ploch. Klesání UA je vždy stanoveno přímo nad plochou pro přistání v režimu multikoptéry.

6.2.3 Specifikace trasy

Vzlet

Rychlost stoupaní UA je v režimu multikoptéry 7,2km/h. UA dosáhne výšky 125 m za 60 s z obce Popovičky a z OC Čestlice při úvaze výšky OC 40 m se jedná o výšku vzletu 95 m a tím pádem o 47,5 s. Poté přechází do režimu letu s pevnými křídly. Rychlost letu UA na trase je stanovena na 100 km/h. 100 km/h je stanoveno z důvodu toho, aby nebylo využito 100 procent výkonu baterie, nýbrž pouze dvě třetiny kvůli životnosti baterie.

Dálková identifikace UA na trati

Pro tento návrh je stanovena síťová identifikace pro přenos dat do centrálního systému pro ostatní účastníky provozu prostřednictvím mobilní sítě. Alternativa pro zvýšení bezpečnosti je zařízení společnosti Dronetag – Dronetag Mini, které je možné externě umístit na UA a zajišťuje nepřetržitý monitoring UA na trase. Data jsou zobrazována prostřednictvím aplikace pro správu letů navržené také společností Dronetag, kde jsou k dispozici letové zóny, plánování letu a autorizace letu od příslušných úřadů. Z hlediska zajištění co největší míry bezpečnosti je UA doplněno i systémem ADS-B z důvodu hrozící srážky s provozem VFR či záchranými složky ve vzdušném prostoru třídy G, ve kterém provoz UA probíhá dle platné legislativy EU. Na základě zmíněné legislativy je maximální výška letu UA stanovena na 120 m pro otevřenou kategorii ve vzdušném prostoru třídy G. Pro daný návrh se počítá s letem ve specifické kategorii. Stanovená výška na trase - 135 m a 125 m pro zpáteční směr je stanovena z důvodu eliminace srážky například s hobby piloty dronů a modeláři, kteří mohou provádět let v otevřené kategorii. Je ovšem vhodné stanovit během provozu na dané trase dočasně rezervovaný prostor (TRA) od země do 135 m v daném časovém úseku, kdy bude provoz probíhat.



DronetagMini - [57]

Technické potíže na trati

V případě, že dojde k neočekávaným provozním komplikacím během letu (ztráta signálu GPS, porucha baterie atp.), je možné v UA prostřednictvím systému zapnout režim Auto hovering (Automatické visení), RTH (Return to home).

- Režim Auto hovering

V případě poruchy UA se nastaví automatické klesání UA v daném bodě na trati, kde se aktuálně nachází. Vyjma plochy v kritické oblasti, v její těsné blízkosti a v oblasti showroomu. V této oblasti není možné zahájit Auto hovering.

- Režim Return to Home (RTH)

V systému jsou načteny souřadnice (místa vzletu a přistání). V případě poruchy systém, nebo dálkově řídící pilot nastaví souřadnice přistání v OC Čestlice nebo v obci Popovičky na základě vzdálenosti.

V případě ztráty spojení s řídicí stanicí je UA schopno letět v režimu RTH do stanoveného bodu, který je zadán pro nouzové přistání. Jelikož se jedná o let BVLOS, je z pohledu bezpečnosti vhodnější volit postup zapnutí režimu Auto hovering a přistát v místě, kde bylo spojení ztraceno vyjma ploch popsáných výše.



Diskuze

Implementace bezpilotních letadel k přepravě zboží do vzdušného prostoru je zatím postavena na teoretických základech a minimu zkušebních letů přímo v provozu, kterými by mohla být zajištěna požadovaná bezpečnost. Přístupy ohledně provozu jsou různými projekty odlišné. Je možné se setkat s přístupy vzdušného provozu, které jsou zaměřené na lety do stanovených výšek s volným pohybem bezpilotních letadel, nebo přístupy, které stanovují provoz bezpilotních letadel nejen do stanovených výšek, ale i po předem stanovených trasách. Koncepte UTM jasně prokazují svou snahu k zdárné implementaci ve stanoveném časovém úseku, který se nepochybně opírá o technologický pokrok.

V práci je trasa stanovena obecně v modelovém příkladu. Tento postup byl zvolen po konzultacích s odborníkem ČVUT v Praze Fakulty dopravní z Ústavu letecké dopravy panem Ing. Ladislavem Kellerem. Práce je zpracována formou studie modelového příkladu s nemožností spolupráce s firmami zabývající se problematikou - nemožnost spolupráce z důvodu odmítnutí zpracovatele DP může být zapříčiněná neochotou sdílet vlastní informace spojené s tímto tématem - a nedisponováním příslušné techniky pro praktická měření.

Předpokladem návrhu je vedení trasy mimo oblasti zastavěné a mimo místa, kde je riziko narušení přenosu signálu jako např. v blízkosti výrobních hal s kovovou konstrukcí a podél vysokého napětí. Záměrem práce bylo navrhnout trasu se všemi uvedenými parametry letu pro možnou implementaci po více studiích podložených reálnými daty ze zkušebního provozu, které nebyly k dispozici v průběhu zpracování (důvody popsány výše). Studie byla vypracovávána tak,

aby splňovala kroky zavádění služeb do provozu U1 -U3 popsané v evropském dokumentu „U-space Blueprint. Všeobecně není do budoucna dobře přijímáno zavádění ADS-B do provozu UA, ale z hlediska zásahu do provozu letů za podmínek VFR se jedná o významnou složku z hlediska kvality a bezpečnosti letecké dopravy po zavedení pravidelného využívání provozu UA.

Předpokládá se, že s příchodem novějších technologií a jejich větší komplexnosti se posune možnost využití bezpilotních letadel v provozu dle koncepcí, které mají za cíl přepravovat zboží pomocí UA přímo k bydlištím koncových zákazníků. Vzhledem k návrhu tras, který má svou strukturu a počítá se, že povede především přes nezastavěné oblasti či kolem vedení komunikací je mnohonásobně menší pravděpodobnost kolize UA s osobami, než v zabydlených oblastech. Nezapojená osoba má na takovýchto místech jistě větší rozhled a může včas reagovat. Koridory pod stanovenými tratěmi by jistě měly být označené výstražnými, nebo alespoň informativními dopravními značkami pro lepší informovanost o provozu UA. Proces potencionálního schvalování úřadem ÚCL by za takovýchto podmínek mohl trvat v řádu měsíců. Jistě by se podklady pro schválení neobešly bez měření četnosti výskytu pilotovaných letadel, motorových závěsných kluzáků apod. v dané oblasti, kde je provoz zamýšlen. Toto téma pojednává pouze o budoucím zavedení pravidelného provozu UA a nikoli o vypracované studii, která se zaměřuje na možné pilotní využití již v nynějších podmínkách.



Závěr

Práce se zaměřila nastínit možný přístup k řešení návrhu letu bezpilotního letadla přepravujícího zboží po stanovených trasách z centrálního skladu do odběrových míst včetně určení vhodného typu spojení, kterým bude zajištěn přenos dat o letu v přijatelném časovém úseku konkurenceschopném k nynější konvenční přepravě.

Na základě informací uvedené v rešeršní části jsou zvoleny adekvátní postupy a bezpilotní letadlo vybrané společnosti pro sestavení trasy spolu se stanovením parametrů letu.

Navržená trasa byla zkonstruována v podkladních mapách dle pravidel popsaných v praktické části a dále zanesena také do územního plánu (detail kritického místa), což bylo zpracováno v prostředí programového balíku Autodesk, konkrétně v programu AutoCad. V návrhu bylo uvažováno i vypořádání se s mimořádnými situacemi při provozu.

V rešeršní části práce jsou popsána bezpilotní letadla včetně dělení z hlediska konstrukce, automatizace a kladené legislativní a technické požadavky na jejich konstrukci a provoz. V rámci provozu bezpilotních letadel uvádím také koncepty návrhů vzdušných prostorů a koordinace managementu provozu, ať už obecně organizací ICAO, nebo koncepty vytvářené americkou společností NASA, či evropské koncepty zabývající se touto problematikou jako například projekt U-Space Blueprint atp. Uvedeny jsou také nyní používané navigační systémy, systémy detekce a datové sítě pro přenos dat. V poslední části rešerše jsou uvedeny příklady vybraných společností zabývajících se přepravou zboží

bezpilotními letadly včetně systému pro správu letu.

Jak již bylo zmíněno navržená trasa je v souladu s maximální možnou bezpečností v oblasti a především na základě stávajících legislativních požadavků platných pro provoz bezpilotních letadel.

V posledních letech provoz bezpilotních letadel a jejich využití pro komerční a hobby účely neustále narůstá. Vzhledem k zmíněnému trendu narůstání provozu se dala očekávat reakce nadnárodních orgánů a společností na turbulentně měnící se situaci v letecké dopravě. I přes velký budoucí potenciál využití bezpilotních letadel k přepravě zboží, tzv. přerpravy "poslední míle", ale i osob zůstává hlavním tématem bezpečnost. Regulátoři společně s nově zakládanými nebo současnými společnostmi zabývající se touto problematikou se snaží najít nejvhodnější řešení, aby byla dodržena požadovaná bezpečnost – jak provozní, tak ochrana před protiprávním jednáním stejná, jako v případě civilní letecké dopravy. Jasným důkazem jsou vyvíjené koncepty vzdušných prostorů různými subjekty po celém světě nebo vyvíjené technologie. Za povšimnutí stojí také vývoj systémů pro správu letů. Zejména pak přístup států, zda zvolit jeden centralizovaný systém, nebo jít cestou decentralizace. Rozdělení vzdušného prostoru UTM do tříd dle rizik provozu a posuzování rizika na základě sestavení modelových scénářů prováděných letů. Na jejich základě pak určit, do jaké kategorie provozu bude daný let spadat – například v případě přístupu Evropské unie. Tématem k řešení a vhodné k zamyšlení je také, zda je více přijatelný z pohledu sledované bezpečnosti návrh tras po stanovených bodech a přistání pouze na předem určených místech, nebo spíše volba volného letu ve stanoveném vzdušném prostoru a přistání například přímo na pozemku koncového zákazníka.

Z pohledu zpracovatele se více vhodnou variantou jeví spíše lety po předem stanovených trasách a přistávání na místech k tomu určených, přesně jak je uvedeno v diplomové práci. Důvodů pro toto tvrzení je hned několik. Dohled na bezpečnost je v tomto případě snazší. Pravděpodobnost místa havárie bezpilotního letadla je snadněji odhadnutelná a tím je sníženo riziko ohrožení nezapojených osob a subjektů do provozu. I za předpokladu, že trasy povedou mimo hustě zastavěné oblasti je kladen zřetel na hluk bezpilotních letadel a neomezování dalších druhů dopravy. Další bod pro zvolení této alternativy je,

že se jedná o bezpilotní automatizovaný let mimo přímou dohlednost. Je vkládána důvěra do budoucího rozvoje tak, že v následujících letech bude využití bezpilotních letadel rozšiřováno díky neustálému pokroku technologií, které zaručí vývoj bezpilotních systémů v režimu kompletní autonomie.



Seznam zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity v letadle
ABAS	Airborne Based Augmentation Systems	Systemy s palubním rozšířením
ADS	Automatic dependent surveillance	Závislý přehledový systém
AIS	Automatic identification system	Služba poskytující informace pro provoz bezpilotních letadel
AMC	Acctable means of Compliance	Generální vizuální prohlídka
ATC	Air traffic Control	Řízení letového provozu
ATM	Air Traffic Management	Uspořádání letového provozu
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	Let mimo přímou viditelnost
CNS	Communications, navigation and surveillance	Komunikační systémy, navigační systémy, přehledové systémy
ČVUT	https://www.overleaf.com/project/608969a93726cab0d369a2	České vysoké učení technické v Praze
CORUS	Concept of Operations for european UTM systems	Evropský koncept operací pro provoz bezpilotních systémů ve vzdušném prostoru
CTR	Control Zone	Řízený okrsek
EU	European union	Evropská unie
FAA	Federal Aviation Authority	Federální úřad pro letectví
GBAS	Ground Based Augmentation System	System pro přesné přiblížení a přistání
GM	Guidence Manual	Globální polohový systém
GNSS	Global Navigation Satellite system	Pulzně šířková modulace
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém

Zkratka	Anglický význam	Český význam
MTOM	Maximum Take-Off Mass	Maximální vzletová hmotnost
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a vesmír
NOTAM	A notice distributed by means of telecommunication containing information concerning the establishment, condition or change in any aeronautical facility, service, procedure or hazard, the timely knowledge of which is essential to personnel concerning with flight operations	Oznámení rozšiřované telekomunikačními prostředky, obsahující informaci o zřízení, stavu nebo změně kteréhokoli leteckého zařízení, služby nebo postupů, nebo o nebezpečí, jejichž včasná znalost je nezbytná pro pracovníky, kteří se zabývají letovým provozem
PPS	Precision Positioning Service	Přesná polohová služba GPS
PSR	Primary surveillance radar	Primární přehledový radar
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Autonomní monitorování integrity v přijímači
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Dálkově řízené letadlo
RPAS	Remotely Piloted Aircraft system	Dálkově řízený bezpilotní systém
RTH	Return to Home	Automatický návrat na místo vzletu
SASO	Safe Autonomous Systems Operations	Bezpečné operace autonomních systémů – projekt NASA
SBAS	Satellite Based Augmentation Systems	Rozšiřující systém pro družicovou navigaci GPS
SPS	Standart Positioning Service	Standardní polohová služba GPS
SSR	Secondary Surveillance Radar	sekundární přehledový radar
STS	Standard Scenario	Standardní scénář
TCL	Technical Capability Service	Dálkové řízení
TMA	Terminal control area	Koncová řízená oblast
TRA	Temporary reserved area	Dočasně rezervovaný prostor
TSA	Temporary segregated area	Dočasně vyhrazený prostor
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotní letadlo
UAS	Unmanned Aircraft System	Bezpilotní systém
UAS	Unmanned aerial system	Bezpilotní systém
UAV	Unmanned aerial vehicle	Bezpilotní prostředek
ÚCL	Czech Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví
UTC	Universal Time Coordinated	Koordinovaný Světový Čas
UTM	Unmanned Traffic Management	Uspořádání letového provozu bezpilotních letadel
VLOS	Visual Line of Sight	Let za přímé dohlednosti
VVL	Very Low Level	Let v nízké letové hladině



Bibliografie

- [1] Ing. Ladislav Keller. *Učební texty pro piloty UAS, Dronim, zpracoval Ing. Ladislav Keller.* 2017.
- [2] Jakub Karas. *222 tipů a triků pro drony.* 2017.
- [3] Dronelife. *DRONEII: Tech Talk – Unraveling 5 Levels of Drone Autonomy.* Miriam McNabb. URL: <https://dronelife.com/2019/03/11/droneii-tech-talk-unraveling-5-levels-of-drone-autonomy/>.
- [4] ICAO. *CONCEPT OF OPERATIONS (CONOPS).* 2016. URL: https://www.dhs.gov/sites/default/files/publications/NICS_CONOPS_508-v2.pdf.
- [5] ŘLP. *Letecký předpis L2 - Pravidla létání.*
- [6] EASA. *Nariadení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139.* 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex:32018R1139>.
- [7] ÚCL. *Dokument EASA eRules, (nařízení (EU) 2019/947 a (EU) 2019/945).*
- [8] Ing. Ladislav Keller. *MAGAZÍN RC revue - článek o legislativě.* accessed Oct 19, 2020. URL: <https://www.digiport.cz/detail/floowie-pu/457522/994-rc-revue-9-2020>.
- [9] ÚCL. *Kategorie provozu.* URL: <https://www.caa.cz/provoz-stare/bezpilotni-letadla-stara/kategorie-provozu-uas/>.

- [10] ÚCL. *BEZPILOTNÍ SYSTÉMY Školící materiál ÚCL*. URL: https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/online-skoleni-a-informace-k-vyuziti/dokumentFAQUASCShttps://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/FAQ-DRONES_CS.pdf.
- [11] ÚCL. *Informační video ke změně pravidel od 31. 12. 2020*. URL: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/online-skoleni-a-informace-k-vyuziti/>.
- [12] ÚCL. *Informace k regulačnímu rámci pro EU pro bezpilotní systémy*. URL: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zakladni-informace-k-regulacnimu-ramci-eu-pro-bezpilotni-systemy/>.
- [13] ŘLP. *Přechodná období provozu UAS dle nařízení EU (31.12.2020 až 1.1.2023)*. URL: <https://letejtezodpovedne.cz/legislativa/jak-letame-nyni/prechodne-obdobi>.
- [14] U-Space SESAR Joint undertaking. *European UTM solutions*. URL: <https://www.sesarju.eu/U-space>.
- [15] ICAO. *UTM - A Common Framework with Core Boundaries for Global Harmonization - Edition 3, dokument pdf*.
- [16] Aeronautics Research Mission Directorate Jim Banke. *Taking Air Travel to the Streets, or Just Above Them*. NASA, 2020. URL: <https://www.nasa.gov/aero/taking-air-travel-to-the-streets-or-just-above-them>.
- [17] American Institute of Aeronautics a Astronautics. *UTM Concept of Operations*. URL: https://www.researchgate.net/publication/303902685_UAS_Traffic_Management_UTM_Concept_of_Operations_to_Safely_Enable_Low_Altitude_Flight_Operations.
- [18] U-Space Blueprint. *European UTM solutions*. 2017. URL: <https://www.sesarju.eu/u-space-blueprint>.
- [19] Sesar joint undertaking. *Solving big challenges in small packets: SESAR project makes progress on U-space information management*. 2019. URL: <https://www.sesarju.eu/news/solving-big-challenges-small-packets-sesar-project-makes-progress-u-space-information>.

- [20] ŘLP. *U-Space služby*. URL: https://letejtezodpovedne.cz/legislativa/co_nas_ceka?clid=268.
- [21] Sesar joint undertaking. *U-Space - Blueprint*. URL: <https://www.sesarju.eu/u-space-blueprint,souborpdfUspaceBlueprint>.
- [22] Unmanned Airspace information portal. *European U-Space research largely covers U1 and U2 services but U3 and U4 need new focus” – SESAR JU*. 2020. URL: https://www.unmannedairspace.info/latest-news-and-information/european-u-space-research-largely-covers-u1-and-u2-services-but-u3-and-u4-need-new-focus-sesar-ju/?fbclid=IwAR39uDtTj_MyrtpoZ0aq8VX0NaL4zjCqT-1CjfYcLeXt4TZbDmIIQmGqf-g.
- [23] Sesar joint undertaking. *Corus - U-space concept of operations*. URL: <https://www.sesarju.eu/node/3411,pdfvolume1,pdfvolume2>.
- [24] Luigi Brucculeri 3 Giancarlo Ferrara 4 Andrew Hately 4 * Peter Hullah 4 David Martin-Marrero 4 Enric Pastor 1OrcID Anthony Peter Rushton 5 andAndreas Volkert 6 Cristina Barrado 1OrcID Mario Boyero 2OrcID. *settings Open Access Concept Paper U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations*. 2020. URL: <https://www.mdpi.com/2226-4310/7/3/24/htm>.
- [25] ŘLP. *Aplikace pro správu letů - DronView*. URL: <https://dronview.rlp.cz/>.
- [26] TICHÝ Tomáš KARAS Jakub. *Drony . 1. vydání*. Computer Press, 2016.
- [27] Agentura GSA. *What is GNSS*. URL: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>.
- [28] Bc.Jan Bittner. *PŘESNOST EVROPSKÉHO GNSS PRO CIVILNÍ LETECTVÍ, diplomová práce*. 2012. URL: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54668.
- [29] European Space Agency nauipedia. *Integrity, Availability*, URL: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Main_Page.
- [30] Jiří Kvapil. *Kosmický segment GPS a jeho budoucnost*. 2005. URL: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2005_02_gps.php.

- [31] David Vojtek. *Kontrolní a řídicí segment GPS*. 2014. URL: https://geoinformatika-1.vsb.cz/vojtek/content/gnps/files/_source/Ucebni-texty-GNPS-distancni.pdf.
- [32] Časopis Automa. *Systém GPS - princip, prednosti a nedostatky*.
- [33] GSA. *Galileo Services*. 2020. URL: <https://www.gsa.europa.eu/galileo/services>.
- [34] GSA. *Galileo is the European global satellite-based navigation system*. 2020. URL: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>.
- [35] *Moderní letecká navigace - Augmentační systémy*. URL: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=gnss>.
- [36] GSA Collective of authors of the Výzkumny ústav dopravy a.s. *GNSS for IFR flights. Supporting learning materiel for students and instructors*. 2017.
- [37] Slavomír Vosecký. *Radionavigace*. CERM s.r.o. Brno, 2011.
- [38] Drone tag. *Produkty společnosti Dronetag*. URL: <https://www.dronetag.cz/product/>.
- [39] *ADS B In/Out*. ADS B info, 2016. URL: <https://www.ads-binfo.com/>.
- [40] Učebnice pilota. 2013.
- [41] Igor Bisio; Chiara Garibotto; Fabio Lavagetto; Andrea Sciarrone; Sandro Zappatore. *Unauthorized Amateur UAV Detection Based on WiFi Statistical Fingerprint Analysis*. IEEE, 2013. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337905,dokumentpdf>.
- [42] RENEE KNIGHT. *ISR Sensors: Smaller Size, Greater Capability*. Inside unmanned systems, 2020. URL: <https://insideunmannedsystems.com/isr-sensors-smaller-size-greater-capability/>.
- [43] *Unmanned aerial vehicle*. Wikipedia, 2018. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle.
- [44] Český telekomunikační úřad. *5G síť*. URL: <https://www.ctu.cz/5g>.

- [45] The Country for The Future. *Implementace a rozvoj sítí 5G v České republice*. 2019. URL: <https://amp.cz/wp-content/uploads/2019/11/Implementace-a-rozvoj-s%C3%ADt%C3%AD-5G-v-%C4%8CR.pdf>.
- [46] Lillian Gipson. *Safe Autonomous Systems Operations (SASO) Project*. NASA, 2017. URL: <https://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/aosp/saso/description/>.
- [47] NASA. *Requirements for an Integrated UAS CNS Architecture*. 2017. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20170006573/downloads/20170006573.pdf>.
- [48] *FAA clears Amazon's fleet of Prime Air drones for liftoff*. Businessinsider, 2020. URL: <https://www.businessinsider.com/amazon-prime-air-delivery-drones-faa-ruling-2020-8>.
- [49] Chaim Gartenberg James Vincent. *Here's Amazon's new transforming Prime Air delivery drone*. The Verge, 2019. URL: <https://www.businessinsider.com/amazon-prime-air-delivery-drones-faa-ruling-2020-8>.
- [50] Wingcopter. URL: <https://wingcopter.com/>.
- [51] Deník E15. *Přeprava balíků drony: Nový test v Německu. Realita v Austrálii či Finsku*. 2020. URL: https://www.e15.cz/byznys/technologie-a-media/preprava-baliku-drony-novy-test-v-nemecku-realita-v-australii-ci-finsku-1366615?fbclid=IwARO_Clu3f-q0yjLsxZAlS-eTVhcia-un8qM3Y87lsbZeoCiea_h4gUgKOHQ.
- [52] Boeing. *Unlocking the Future of Flying*. 2018. URL: <http://www.boeing.com/features/2018/01/cargo-air-vehicle-01-18.page>.
- [53] Boeing. *Cargo Air Vehicle*. URL: <https://www.boeing.com/features/highlights/2020/cargo-air-vehicle>.
- [54] WingCopter. *Technical Details Wingcopter 178 Heavy Lift A (Delivery Variant)*. Wingcopter, 2021. URL: <https://wingcopter.com/>.
- [55] Mapy.cz. 2019. URL: <https://mapy.cz/letecka?x=14.5720674&y=50.0002904&z=16>.

- [56] Zastupitelstvo obce Čestlice. *ÚP obce Čestlice - Koordinační výkres*. Ing. arch. Milan Salaba, 2020. URL: https://www.cestlice-obec.cz/e_download.php?file=data/editor/77cs_49.pdf&original=D1-koord-vykres-UZ-po-zm-3.pdf.
- [57] Dronetag. URL: <https://dronetag.cz/product/>.