



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Adam Budař

**Posouzení zavedení Universal Access Transceiver
v EUR regionu**

Bakalářská práce

2021

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Adam Budař

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Posouzení zavedení Universal Access Transceiver
v EUR regionu**

Název tématu (anglicky): Assessment of Universal Access Transceiver
Implementation in EUR Region

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit přehled využití technologie UAT a posoudit její zavedení v evropském regionu
- Představení technologie UAT a možnosti jejího využití
- Souvislosti využití UAT se zatížením v leteckém kmitočtovém pásmu L
- Problematika provozu UAT
- Posouzení zavedení technologie UAT v evropském regionu



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Letecký předpis L10 - O Civilní letecké telekomunikační službě
ICAO Doc 9861 - Manual on the Universal Access Transceiver
RTCA DO-358 - MOPS for Flight Information Services Broadcast (FIS-B) with Universal Access Transceiver

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Topková**
Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **9. srpna 2021**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Adam Budař
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 3. prosince 2020

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali při tvorbě této práce. Poděkování patří zejména paní Ing. Tereze Topkové a rovněž i panu Ing. Stanislavu Pleningerovi, Ph.D., za podměty, konzultace a odborné a cenné rady při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině, přátelům a známým, kteří mě podporovali v době, kdy jsem psal svou bakalářskou práci. Všem výše zmiňovaný patří obrovský dík.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou studii bakalářské práce vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucích práce Ing. Terezy Topkové a Ing. Stanislava Pleninger, Ph.D.

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

Dále prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

Adam Budař

V Praze dne 3. června 2021

Podpis.....

Autor: Adam Budař
Název bakalářské práce: Posouzení zavedení Universal Access Transceiver v EUR regionu
Instituce: České vysoké učení technické, fakulta dopravní
Obor: Letecká doprava
Rok: 2021

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je vytvořit přehled a popsat technologií Universal Access Transceiver (UAT). V teoretické části se práce zaměřuje na představení technologie UAT spolu s dalšími přenosovými technologiemi pro přenos zpráv ADS-B. Dále popisuje souvislosti využití UAT se zatížením v leteckém kmitočtovém pásmu L a problematiku systému v provozu. V praktické části je zvaženo zavedení UAT v evropském vzdušném prostoru spolu s popisem implementačního návrhu spolu s mandáty pro zavedení technologie.

Klíčová slova

Universal Access Transceiver, Automatic Dependent Surveillance, Flight Information Service, Traffic Information Service, přehledové systémy, implementace UAT

Author: Adam Budař
Title of Bachelor Thesis: Assessment of Universal Access Transceiver Implementation in EUR region
Institution: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences
Study program: Air Transport
Academic year: 2021

Abstract

The subject of this bachelor thesis is to create and describe the Universal Access Transceiver technology. In the theoretical part, this thesis aims to present the UAT technology together with another broadcast technologies used for transmission of ADS-B messages. It also describes usage of UAT with connection to overload in the aeronautical L band and issues of this system in operation. In the practical part, the implementation of UAT in the European airspace is assessed, as well as an implementation proposal is described together with mandates for adopting the technology.

Key words

Universal Access Transceiver, Automatic Dependent Surveillance, Flight Information Services, Traffic Information Services, Surveillance systems, Implementation of UAT

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Úvod	12
1 Technologie UAT a možnosti jejího využití	14
1.1 ADS-B	14
1.1.1 ADS-B OUT	15
1.1.2 ADS-B IN	15
1.1.3 Obsah zprávy ADS-B	16
1.2 Formát zprávy ADS-B	19
1.3 Technologie přenosu	20
1.3.1 VDL mód 4	20
1.3.2 1090ES	21
1.3.3 UAT	23
1.4 TIS-B	23
1.5 FIS-B	24
1.6 Princip fungování UAT	24
1.7 Datová zpráva	24
1.7.1 Ground část	25
1.7.2 ADS-B část	26
1.8 Vysílání UAT	26
1.9 Pozemní zařízení UAT	27
2 Problematika provozu UAT/Použití UAT ve světě	29
2.1 Testování systému UAT v evropském regionu	29
3 UAT a letecké pásmo L	34
3.1 Civilní systémy v radionavigačním leteckém pásmu L	34
3.2 Vojenské systémy v radionavigačním pásmu L	35
3.3 Přetížené pásmo 1030 a 1090 MHz	36
3.4 Pásmo 978 MHz	38
3.5 DME	41
3.6 Rušení signálu mezi DME a UAT	42
4 Posouzení zavedení technologie UAT v Evropském regionu	45
4.1 Přehled využití technologie UAT	45
4.2 Nynější implementace ADS-B v jednotlivých regionech	47
4.2.1 Implementace ADS-B v Evropě	48
4.2.2 Implementace ADS-B v USA	49
4.3 Návrh implementace UAT v evropském regionu pro palubní zařízení	51
4.3.1 Provozní omezení implementace UAT	51

4.3.2 Rozdělení podle typu letadel	57
4.3.3 Návrh implementace UAT v evropském regionu pro pozemní infrastrukturu	58
4.4 Průběh implementace	64
Závěr	67
Seznam použitých zdrojů	69
Seznam použitých obrázků	74
Seznam použitých tabulek	75

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Česky	Anglicky
	rozšířený dotazovací signál na	
1090ES	frekvenci 1090 MHz	1090 Extended Squitter
ACAS	palubní proti srážkový systém	Airborne Collision Avoidance System
	automatický závislý přehledový systém	Automatic Dependent Surveillance -
ADS-B	– vysílání	Broadcast
AGL	nad úrovní země	Above Ground Level
AIP	letecká informační příručka	Aeronautical Information Publication
	poskytovatel letových navigačních	
ANSP	služeb	Air Navigation Service Provider
ATC	řízení letového provozu	Air Traffic Control
ATM	uspořádání letového provozu	Air Traffic Management
	poskytovatel letových provozních	
ATSP	služeb	Air Traffic Service Provider
CAA	Úřad pro civilní letectví (UK)	Civil Aviation Authority
	mezinárodní Hopkinsonovo letiště	
CLE	Cleveland	Cleveland Hopkins International Airport
CNS	komunikace, navigace, přehled	Communications, Navigation, Surveillance
CTR	řízený okrsek	Control Zone
ČR	Česká republika	Czech Republic
DAA	detekce a zabránění	Detect and Avoid
DF	příchozí formát zprávy	Downlink Format
DME	měřič vzdálenosti	Distance Measuring Equipment
EKBI	letiště Billund	Billund Airport
EKRK	letiště Roskilde	Roskilde Airport
ES	rozšířený vysílač	Extended Squitter
EU	Evropská unie	European Union
FAA	Federální letecký úřad (USA)	Federal Aviation Administration
FIS-B	letové informační služby – vysílání	Flight Information Services - Broadcast
FL	letová hladina	Flight Level
GA	všeobecné letectví	General Aviation
GNSS	globální družicový navigační systém	Global Navigation Satellite System
GS	traťová rychlost	Ground Speed
GUS	pozemní vysílací služby	Ground Uplink Services
GVA	geometrická vertikální přesnost	Geometric Vertical Accuracy

	Mezinárodní organizace pro civilní	
ICAO	letectví	International Civil Aviation Organization
IFR	pravidla pro let podle přístrojů	Instrument Flight Rules
ILS	přístrojový přistávací systém	Instrument Landing System
	společný taktický informační distribuční	Joint Tactical Information Distribution
JTIDS	systém	System
	datový letecký komunikační systém v	L-Band Data Link Aeronautical
LDACS	pásmu L	Communication System
METAR	letištní meteorologické zprávy	Meteorological Terminal Air Report
	multifunkční informační distribuční	Multifunctional Information Distribution
MIDS	systém	System
MLAT	multilaterace	Multilateration
MLS	mikrovlnné přistávací systémy	Microwave Landing System
	Minimální provozní výkonnostní	Minimum Operational Performance
MOPS	standarty	Standards
MSL	střední hladina moře	Mean Sea Level
MSO	příležitost pro začátek zprávy	Message Start Opportunity
MTOW	maximální vzletová hmotnost	Maximum Take-Off Mass
NDB	nesměrový maják	Non-Directional Beacon
NIC	kategorie navigační integrity	Navigation Integrity Category
NOTAM	poznámka pro letce	Notice to Airmen
NUC	Kategorie nejistoty navigace	Navigation Uncertainty Category
PC	detektor chyb	Parity Check
	mezinárodní letiště Sky Harbor	
PHX	Phoenix	Phoenix Sky Harbor International Airport
POA	použitý posun pozice	Position Offset Applied
PSR	primární přehledový radar	Primary Surveillance Radar
SDA	zabezpečení návrhu systému	System Design Assurance
SEA	mezinárodní letiště Seattle-Tacoma	Seattle-Tacoma International Airport
SIL	úroveň integrity zdroje	Source Integrity Level
SSR	sekundární přehledový radar	Secondary Surveillance Radar
	samoorganizovaný mnohonásobný	Self-Organized Time-Division Multiple
STDMA	přístup s časovým dělením	Access
TACAN	taktický letecký navigační systém	Tactical Air Navigation System
TAF	letištní předpověď	Terminal Aerodrome Forecast
TBO	provoz založený na trajektorií	Trajectory Based Operations

TCAS	provozní výstražný prosti srážkový systém vícenásobný přístup s časovým dělením	Traffic Collision Avoidance System
TDMA	dělení	Time Division Multiple Access
TIS-B	provozní informační služby – vysílání	Traffic Information Services - Broadcast
TMA	koncová řízená oblast	Terminal Control Area
UAS	systémy bezpilotních letadel univerzální přístupový vysílač	Unmanned Aircraft Systems
UAT	a přijímač	Universal Access Transceiver
USA	Spojené státy americké	United States of America
UTC	světový koordinovaný čas	Universal Time Coordinated
VDL	datové spojení módu 4 ve velmi krátkých vlnách	VHF Digital Link (VDL) Mode 4
Mode 4		
VFR	pravidla pro let za viditelnosti	Visual Flight Rules
VHF	velmi krátké vlny	Very High Frequency
VOR	VKV všesměrový radiomaják	VHF Omnidirectional Radio Range

Úvod

Přehledové systémy hrají důležitou roli v oblasti sledování letového provozu, a tím umožňují poskytování služeb řízení letového provozu. Se stále se zvětšujícím provozem, byl v roce 2019 (před vypuknutím pandemie způsobenou nemocí COVID 19) na světovém nebi zaznamenán rekordní počet letů. Ty je potřeba sledovat a získávat informace o jejich poloze, rychlosti, výšce a dalších údajích a zpracovávat je a předávat příslušným subjektům, které se starají o bezpečný, plynulý a spolehlivý letecký provoz. Předpokládá se, že po skončení pandemie se letecký provoz opětovně vrátí do takové podoby, v jakých byl před rokem 2019 a četnost letů na světovém nebi se bude zvyšovat. [1]

Z těchto důvodů je nutné mít k dispozici spolehlivé informace nejen z přehledových systémů jako primární či sekundární radar (PSR nebo SSR), ale i z dalších zdrojů, které dokážou přenášet přehledové informace, jako například Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B). K tomu, aby bylo možné je vysílat, je důležité zajistit takovou přenosovou technologii, která nebude ohrožena přetížením kmitočtového pásma a bude možné případné rozšíření jejího použití i do budoucna. Právě takovou technologií představuje Universal Access Transceiver (UAT). [2]

Universal Access Transceiver (UAT) je technologie certifikovaná přes ICAO pro použití v civilním letectví. Její technické specifikace se nacházejí v Annexu 10. UAT je přenosová technologie, která dokáže nabídnout nejen přenos tížených ADS-B zpráv, ale i dalších přehledových informací, které mohou pomoci bezpečnějšímu a efektivnějšímu leteckému provozu. V současné době je nejpoužívanější technologie přenosu v rámci automatických přehledových systému technologie 1090ES, která využívá kmitočtů 1 090 MHz. Tato frekvence je přitom, alespoň na evropském nebi, hojně využívaná a v budoucnu nemusí její kapacita vystačit. Přitom technologie UAT dokáže přenášet stejné zprávy a zároveň i další letecké informace. Z těchto důvodů vznikla tato práce, aby posoudila zavedení Universal Access Transceiveru v evropském regionu. [2]

Vzhledem k malému využití UAT ve světě a dobrým vlastnostem technologie, bude tato práce popisovat možnosti využití tohoto systému po vzoru jediného regionu, kde se UAT aktivně používá, a tím je vzdušný prostor Spojených států amerických. Bakalářská práce podrobně popíše, jak UAT funguje, které informace přenáší a jaké jsou možnosti jeho využití. Dále se bude věnovat tomu, co všechno je potřeba pro samotný provoz této přenosové technologie a na jakém principu dokáže zlepšit dostupnost a průchodnost přehledových informací a ulehčit přetíženým frekvencím v leteckém kmitočtovém pásmu L. Nebude chybět ani posouzení problematiky, které ukáže aktuální využití systému ve světě.

Na závěr bude v práci představen návrh, který posoudí zavedení této technologie na evropském nebi a bude porovnávat výhody a nevýhody oproti jiným přenosovým technologiím zpráv typu ADS-B. Zároveň zpracuje návrh, ve kterém bude uvedeno, v jakých podmínkách a jakým způsobem bude moci být zprovozněn tento přehledový systém v Evropě a co všechno bude potřeba k samotné implementaci. Bude tak navazovat na aktuální mandáty, které jsou v platnosti v evropském vzdušném prostoru a rozšíří působení přehledových systémů. Zároveň bude uvedeno, s jakými dalšími plány se dá počítat po samotné implementaci a jaké jsou možnosti dalších rozšíření systému.

1 Technologie UAT a možnosti jejího využití

Universal Access Transceiver (UAT) je po módu 1090 Extended Squitter (1090ES) další technologií přenosu, která dokáže přenášet zprávy systému ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast). Jelikož se do budoucna nepředpokládá rozšiřování třetí možné technologie přenosu pro ADS-B zprávy, technologie VDL Mode 4 (Very High Frequency (VHF) Digital Link Mode 4), právě tyto 2 přenosové technologie jsou a budou převažovat jako významné v oblasti letectví. [3] [4]

Všechny technologie budou v tomto dokumentu stručně popsány, stejně tak, jako systém ADS-B. Podrobněji bude představena zejména technologie UAT, která se využívá pro přenos datových zpráv v letectví. Tento systém umožňuje přenos dat mezi dvěma zařízeními, která jsou schopna vyslat a přijmout zprávu vysílanou pomocí UAT. Jak bylo výše uvedeno, Universal Access Transceiver je jedním z hlavních přenosových systémů, které slouží nejen pro přenos ADS-B zpráv, ale dokáže rovněž přenášet i další druhy zpráv. Konkrétně se jedná o zprávy FIS-B (Flight Information Services – Broadcast) a TIS-B (Traffic Information Services – Broadcast). [5]

Zprávy typu ADS-B jsou z pohledu CNS (Communication Navigation Surveillance) označovány za závislé kooperativní přehledové systémy, kde jako kooperativní systém vyžadují od dotazovaného objektu určitou reakci, přesněji odpověď, která je nejčastěji generována z odpovídáče. Jelikož ADS-B systém je nastaven tak, že veškeré zprávy posílá automaticky v předem daném intervalu, tak tuto podmínku splňuje. Závislým systémem se rozumí systém, který svá odesílaná data generuje na palubě letadla. Hrozí zde však riziko, při kterém může dojít k určitým nepřesnostem v případě, kdyby generovaná data v letadle byla chybná nebo nepřesná. Tuto nelichotivou vlastnost kompenzuje fakt, že odesílaných dat je značně větší množství než dat u nezávislých přehledových systémů. Data z těchto systémů jsou totiž získávána formou výpočtů prováděných na zemi. [6] [7]

1.1 ADS-B

ADS-B neboli automatický závislý přehledový systém je aplikace, která umožňuje vysílání datových zpráv z palubních přístrojů letadel, která jsou vybavena tímto systémem. Informace obsažené ve vyslaných zprávách mohou být použity například pro získání přehledové informace pro službu řízení letového provozu (ATC). Letadla, která jsou vybavena ADS-B systémem mohou oproti sekundárnímu přehledovému radaru (SSR) poskytovat přehledové informace s menšími intervaly a přenos těchto dat probíhá automaticky. Další důležitou funkcí může plnit přijímání ADS-B zpráv z letadel pro určení polohy pomocí multilateračních systémů a využívá se také při hybridním sledování systému ACAS. Mezi informace, které se vyskytují

v ADS-B zprávě patří mezi jinými například identifikace letadla nebo jiného zařízení, které disponuje ADS-B odpovídačem. Dále vysílají svou pozici, rychlost, směr, výšku apod. Systémy ADS-B umožňují jak přijímat, tak vysílat datové zprávy na základě toho, zda plní funkci ADS-B OUT, ADS-B IN nebo obě dvě zároveň. [8]

1.1.1 ADS-B OUT

Jak napovídá název, funkce ADS-B OUT je funkcí, která umožňuje vysílání informací z objektu. ADS-OUT se skládá z transpondéru, který vysílá svoji pozici dle zdroje GNSS (Global Navigation Satellite System). Svou pozici mohou vysílat dvěma způsoby, kde jeden obsahuje pozici určenou pomocí GNSS založenou na geometrické výšce a druhý je založen na výšce odvozené od barometrického výškoměru na palubě letadla. Geometrická výška je výška vypočtena jako výška letadla nad referenčním elipsoidem pro daný GNSS systém. [10]

Ve většině dopravních letadel je systém ADS-B OUT sdružený s SSR odpovídačem, což umožňuje vysílat nejen ADS-B data, ale i informace v režimu módu S i v módu A/C, které slouží jako další zdroj dat přehledových systémů. Pro případ nutné kompatibility letadla s módem A/C nebo módem S tak letadla nemusí disponovat jednotlivými zařízeními pro komunikaci s těmito módy zvlášť, ale mohou využít právě ADS-B transpondéry, které podporují i tyto starší typy přehledových systémů. [10]

1.1.2 ADS-B IN

Stejně tak, jako u ADS-B OUT, i zde název vypovídá o jaký typ zařízení se jedná. Instalací systému ADS-B IN uživatel získá přístup k datům vysílané ostatními objekty, které vysílají pomocí technologie ADS-B OUT. Letadlo vybavené tímto systémem obdrží informace o poloze dalších zařízení, které vysílají ADS-B zprávu, ať se jedná o další letadla nebo o letištní pozemní vozidla (Airport Ground Vehicles). Navigační displej umístěný v kokpitu letadla tak může na základě těchto dat zobrazit polohu a další letové či polohové údaje, jež mohou pilotům poskytnout pouze informativní obrázek o svém okolí. [10]

ADS-B IN funkce zobrazení polohových informací TA (Traffic Display) není navržena jako anti kolizní systém TCAS (Traffic Collision Avoidance System), ani v případě, že by letadlo bylo touto technologií vybaveno, nebo pomocnou technologií samo zajišťující rozestupy („self-separation“). Stejně tak nenahrazují funkci Řízení letového provozu a komunikace mezi ATC (Air Traffic Control) a piloty nesmí být ADS-B IN funkcí ovlivněna. [10]

1.1.3 Obsah zprávy ADS-B

Informace, které obsahuje zpráva ADS-B, se kódují po jednotlivých částech do datového přenosu a následně dekódují přes zařízení, které tato data zpracovává. Tyto části mají své umístění v datovém přenosu, avšak není podmínkou, aby každá datová zpráva přenášela všechny informace, které se můžou v ADS-B zprávě přenášet. [11]

Mezi tyto zprávy patří:

- schopnost přijímat ADS-B zprávy pomocí funkce ADS-B IN. Zde se přenáší informace o případné možnosti přijímat ADS-B zprávy spolu s jakou variantou datového přenosu je zařízení vybaveno. To má za následek ukázat, zda zařízení, pokud ním disponuje, přijímá UAT ADS-B zprávu, 1090ES ADS-B zprávu či případně zprávu předávanou dalším typem přenosu ADS-B zpráv;
- letová rychlost – u tohoto údaje může být přenášena jak pravá letová rychlost, tak rychlost indikovaná;
- nadmořská výška dle barometrického tlaku – tato veličina vždy odkazuje k výšce odvozené od mezinárodní standardní atmosféry;
- Call Sign/Flight ID – Zde se uvádí volací značka letadla, přičemž se může jednat buď o číslo letu spojené s aerolinkou, které let operuje nebo registrační značkou letadla, která se většinou uvádí u letadel GA (General Aviation);
- nouzový stav – tento údaj přenáší data, která v případě stavu nouze oznámí příslušné stanici tento fakt a v případě řídicích letového provozu se tento let zvýrazní na jejich obrazovkách;
- Emitter Category – tento parametr udává o jaký typ letadla se jedná. Tato hodnota indikuje váhu, případně velikost a výkonnostní kapacity. Pomáhá tak řídicím letového provozu rozvrhnout řazení letadel při přistání nebo vzletu a nastavit bezpečné intervaly z hlediska možné tvorby turbulencí nebo jiných aerodynamických jevů;
- geometrická výška – výška vypočítána přes palubní zařízení GNSS. Přesněji se jedná o výšku nad elipsoidem světového geodetického systému (WGS-84) nebo k jinému systému, ke kterému se váže daný navigační systém;
- Geometric Vertical Accuracy (GVA) – geometrická vertikální přesnost určuje 95procentní přesnost předchozího parametru, tedy geometrické výšky;

- GNSS Antenna Offset and Position Offset Applied (POA) – kompenzace GNSS antény indikují podélnou vzdálenost mezi částí letadla a GNSS anténou a postranní vzdálenost mezi podélnou středovou čarou letadla a GNSS anténou. POA kompenzace ukazují, že vysílaná pozice je odkazována na referenční bod ADS-B pozice proti umístění GNSS antény;
- traťová rychlost (Ground Speed) – rychlost vůči zemi;
- pozemní traťový úhel (Ground Track Angle) – směr rychlostního horizontálního vektoru nad zemí;
- směr (Heading) – směr, kam míří před letadla;
- horizontální rychlost – rychlost, která udává, jak rychle letadlo mění svou pozici vůči severu a jihu a vůči západu a východu. Jedná se o kombinaci GS (Ground Speed) a směru letu;
- ICAO 24bitová Adresa – Jedná se o unikátní adresu, která je letadlu či jinému zařízení vysílající ADS-B zprávy přidělena při registraci. Je tak pro každé zařízení jiná;
- Schopnost IFR letu (IFR Capability) – schopnost provozovat let dle přístrojové navigace;
- IDENT – funkce transpondéru zvýraznit se na obrazovkách u řídicích letového provozu. Tato funkce se spouští přes pilota letadla stisknutím tlačítka IDENT na ovládacím panelu transpondéru;
- Zeměpisná šířka a délka (Latitude and Longitude) – datově vysílané informace o aktuální poloze dle zeměpisných souřadnic na elipsoidu WGS-84;
- Délka a šířka letadla – parametr uvádí rozměry letadla vypočítané na zemi;
- Kód módu A – unikátní 4 číselný kód, který se zadává pilotem a je sjednocený s každým letovým plánem. Jedná se o 4 čísla v rozmezí od 0000 do 7777 známé jako squawk a jsou nezbytně nutné pro přehledové systémy na bázi módu A/C. Jelikož se jedná o 8bitové zprávy, v kódu se nesmí objevovat číslice 8 a 9, protože je 8bitová zpráva nedokáže přenést;

- Navigation Accuracy Category for Position – specifikují přesnost údajů o zeměpisné délce a šířce vysílané přes zprávu ADS-B. Upřesňují, zdali je údaj v 95procentní pravděpodobnostní toleranci;
- Navigation Accuracy Category for Velocity – podobně jako předchozí část zprávy vyjadřuje tento údaj přesnost, s jakou je odesílána zpráva o rychlosti;
- Navigation Integrity Category (NIC) – NIC parametr specifikuje integritu umístění omezující dosah. Tyto data pomáhají přehledovým systémům zjistit, jestli je hlášená pozice v akceptovatelné hranici integrity či nikoliv;
- NIC_{BARO} – obdobně jako předešlá část zprávy, Navigation Integrity Category pro Barometrické účely zjišťuje přesnost, s jakou se odesílají informace o barometrických datech vysílané v ADS-B zprávě. Konkrétně vysílá, zdali jsou barometrické údaje o výšce zjišťovány z jednoho či z více zdrojů na palubě letadla;
- Pozice – pozice letadla odvozená od zdroje umístění, která obsahují data geometrické polohy;
- Obdržené služby ATC – informace, že letadlo přijímá údaje od ATC a indikuje, jestli kód módu A není nastaven na čtyřmístnou pozici 1200;
- Single Antenna Bit – parametr, který říká, jestli zařízení ADS-B vysílá samostatnou anténou či nikoliv;
- Source Integrity Level (SIL) – tato integrační hranice definuje pravděpodobnost, s jakou může Navigační integritní kategorie (NIC) přesahovat poloměr horizontální pozice;
- Source Integrity Level Supplement – tento parametr říká, zda výše uvedená pravděpodobnost zdroje stupně integrity je uváděna v pravděpodobnosti za hodiny nebo pravděpodobnosti na vzorek;
- System Design Assurance (SDA) – u této informace je možné zjistit případný poruchový stav ADS-B systému. SDA umí indikovat pravděpodobnost, se kterou může ADS-B systém způsobovat falešné či mylné informace o poloze, případně kvalitu získaných informací o lokalizaci;
- TCAS Installed and Operational – data, která říkají, zda TCAS, známý rovněž jako ACAS, je přítomen v letadle a dále uvádí jeho aktuální stav. Tyto data jsou svázána se

systémem TCAS II, a dále informují, jestli je TCAS schopen generovat případné výstrahy na blížící se kolizi;

- TCAS Traffic Status – tato zpráva generuje data o aktuálních výstrahách generovaných systémem TCAS II;
- Trajectory Change Report Capability – tato pozice je primárně nastavena na 0. Zprávy o změnách v trajektorií letu jsou rezervovány pro budoucí použití a nejsou nyní používány;
- Vertical Rate – udává vertikální rychlost, ať už podle barometrické či geometrické výšky. Vertikální rychlost, je rychlost udávaná ve stopách na minutu, s jakou letadlo stoupá či klesá;
- číslo verze – Verze ADS-B systému, kterým je zařízení vybaveno. [11]

Zařízení, které je schopno přijímat zprávy typu ADS-B dekoduje celou zprávu a zpracovává jednotlivé údaje, se kterými může dále pracovat. [11]

1.2 Formát zprávy ADS-B

Zpráva ADS-B, která je vysílána na kmitočku 1 090 MHz, je složená z dat o velikosti 112 bitů, založená na módu S. Její složení se skládá z preamble, která označuje začátek vysílání a zároveň umožňuje přijímači zjistit pozice vysokých a nízkých bitů u přenášené zprávy. Preamble je dlouhá 8 mikrosekund, a díky této části dokáže přijímač rozpoznat a synchronizovat pak i zbytek zprávy. Další částí je DF (Downlink Format), tedy příchozí formát zprávy. Tato část už odesílá informaci, která indikuje typy zprávy, které jsou přenášeny. Další část je Schopnost CA (Capability), kde se popisují vysílaná specifická data a tato zpráva je přenášena v binární soustavě. Další částí je ID (Aircraft Address) tedy ICAO identifikace celého letadla získaná při jeho registraci. Po ID se na řadu dostane samotná ADS-B zpráva, kde se nachází informace popsané v kapitole výše. Poslední částí formátu ADS-B zprávy je PC (Parity Check), což je 24bitová část, která slouží jako detektor chyb a pomáhá je tak odhalit v příchozí zprávě na přijímači. Obrázek níže schematicky popisuje celý formát zprávy ADS-B spolu s délkou trvání jednotlivých částí. [12]



Obrázek 1: Formát ADS-B zprávy [12]

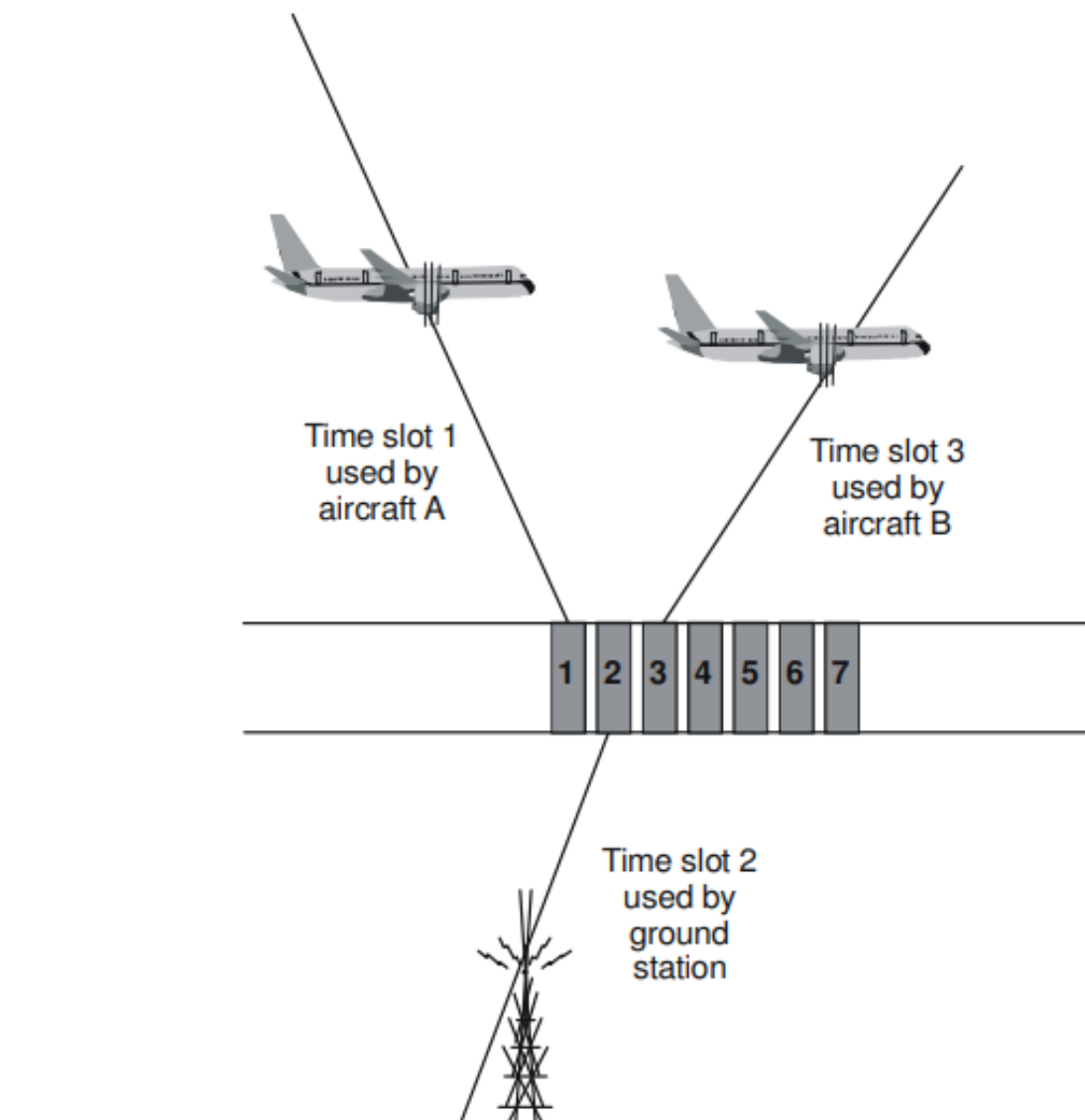
1.3 Technologie přenosu

ADS-B je považováno za nezbytnou službu v letectví. Vzhledem k důležitosti jednotlivých přenosů, aby jejich kvalita, přesnost a spolehlivost dosahovala požadovaných výsledků, je potřeba zajistit účinný přenos dat. Pro tuto operaci bylo vytvořeno několik systémů, které svou funkcí předávají data mezi jednotlivými zařízeními. Jedná se mezi jinými o Datové spojení módu 4 ve velmi krátkých vlnách (VDL Mode 4, kde V značí VHF), Mód S vysílaný na frekvenci 1090 MHz s rozšířeným dotazovacím signálem (1090 ES) a Univerzální přístupový vysílač a přijímač (UAT). [13]

1.3.1 VDL mód 4

Tento typ datového přenosu operuje na VHF (Very High Frequency), tedy na velmi krátkých vlnách a podporuje spojení mezi dvěma mobilními stanicemi (letadly nebo vozidly pozemní letecké služby) nebo mezi pohyblivým se zařízením a pevnou pozemní stanicí a opačně. Systém využívá technologie TDMA (Time Division Multiple Access – vícenásobný přístup s časovým dělením), která rozděluje komunikační kanály do časových segmentů, které jsou následně rozřazeny na časové sloty. Vždy na počátku jednotlivého časového slotu je možné začít přenášet data. [14]

Speciální vlastností VDL módu 4 je koncept STDMA (samoorganizovaný mnohonásobný přístup s časovým dělením), vytvořen švédským vynálezcem Håkanem Lansem, který rozděluje dostupný čas přenosu na velké množství krátkých časových pozic synchronizovaných do UTC (Universal Time Coordinated). Každý z těchto časových slotů může být využit zařízením, které dokáže využívat tuto technologii. Přesné využití a časové nastavení jednotlivých slotů je známo všem uživatelům v dosahu, tudíž je možné efektivně využít datový přenos a zabránit tak vysílání několika signálů naráz. Obrázek č. 2 představuje přidělování jednotlivých slotů k letadlům nebo pozemním stanicím, kde každému zařízení je přidělen vždy právě jeden slot. [2] [14] [15]



Obrázek 2: Přehled fungování VDL Mode 4 [2]

VDL Mód 4 byl vytvářen pro CNS (Communication, Navigation, Surveillance) a ATM (Air Traffic Management) aplikace v letectví, převážně pro využití systémem ADS-B, které přenáší značné množství dat v krátkých intervalech. Hlavní výhodou tohoto módu je jeho účinnost při výměnách krátkých opakujících se odpovědí v systému a jeho schopností podpořit časově omezené použití. [2] [14]

1.3.2 1090ES

Označení 1090ES popisuje nejpoužívanější systém přenosu ADS-B zpráv, které jsou přenášeny na kmitočtu 1090 MHz přes Extended Squitter (ES), tedy přes rozšířený „vysílač“. Tento squitter/vysílač, je speciální tím, že vysílá data ve specifické periodě bez toho, aniž by

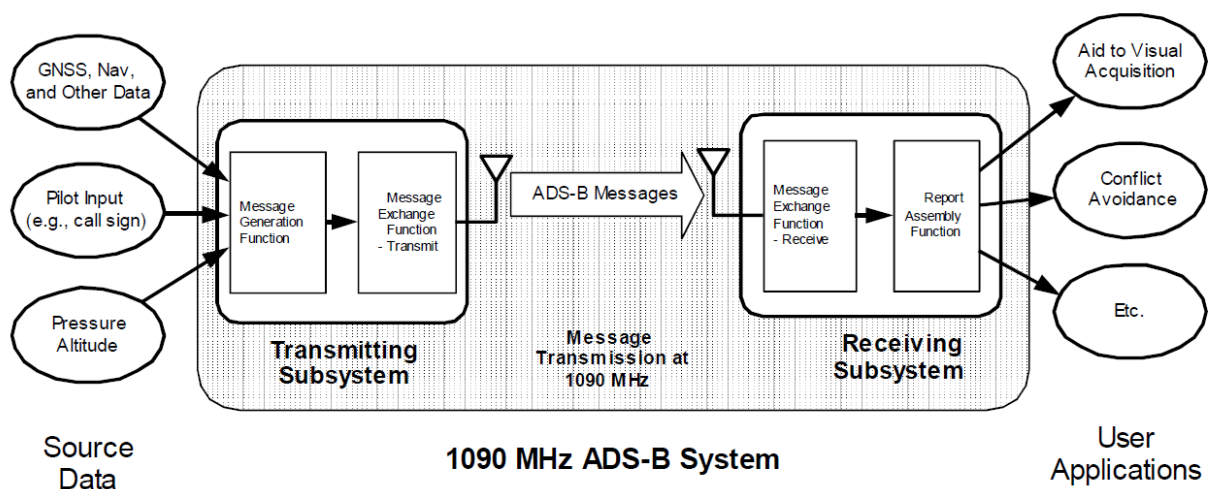
musel být nějakým způsobem dotazován přijímačem. Systém 1090 ES využívá rozšířeného transpondéru Módu S. [17]

Mód S má v sobě obsaženo několik částí, mezi nimi je i sestupový zdroj, který je označován jako DF (Downlink Format) který má 25 formátů. Díky této části se jednotlivé zprávy liší buď účelem nebo strukturou. Právě jednu z těchto struktur má 1090 Extended Squitter, konkrétně DF17. [16]

Samotný formát zprávy ES má délku 112 bitů, avšak část, která přenáší zprávy obsahuje pouze 56 bitů. Existují celkem 4 verze. Verze 0, která je prvotní implementací tohoto rozšířeného přenašeče signálu, je plně schopna přenášet data, která tohoto módu využívají. Oproti verzi 1, která je novějším a pokročilejším typem squitteru, se kvalita přehledových zpráv ADS-B, která je kontrolována přes NUC (Navigation Uncertainty Category) a může indikovat přesnost nebo integritu, tak sice informuje, avšak informace neobsahuje, zdali tato indikace obsahuje zprávu o nepřesnosti nebo o integritě. Ve verzi 1 jsou tyto zprávy vysílány odděleně. Zároveň disponuje možností posílat další volitelná data a informace a je schopná přenášet TIS neboli Traffic Information Service. Dále existuje i verze 2, a poslední verzí je verze 3, která patří mezi nejnovější verzi. Každá verze zajišťuje další informace, které jsou shodné s minimálními provozními výkonnostními standarty (MOPS). Poslední byla schválena v prosinci roku 2020. [17] [18]

V každé zprávě vysílané přes rozšířený signál prvních 5 bitů obsahuje typ formátu. Dle tohoto typu se zpráva kategoricky rozdělí do několika skupin. Může se jednat o zprávu typu letová rychlost, letová pozice, či pozemní pozice, identifikace, stav letadla apod. [19]

Na obrázku č. 2 je ukázána funkčnost přenosové technologie 1090ES. Ukazuje, jakým způsobem se informace ze zdroje dat dostanou až ke koncovém uživateli. [18]



Obrázek 3: Schéma přenosové technologie 1090ES [18]

1.3.3 UAT

Universal Access Transceiver umožňuje kromě služby ADS-B vysílat také zprávy FIS-B a TIS-B. Princip fungování UAT a využití je podrobněji popsán v následujících kapitolách. [2]

1.4 TIS-B

Traffic Information Service Broadcast (TIS-B) je typ zprávy, který vysílá pozemní zařízení ve formátu zprávy ADS-B. Pro správnou funkci a čitelnost, musí být zařízení, která chtějí tuto zprávu přijmout, vybavena systémem ADS-B IN. Tyto zprávy obsahují data doplňující informace o přehledu provozu a poskytují podrobnější údaje o letadlech, nacházejících se v okolí vysílané zprávy. Dokážou zároveň doplnit přehledovou mapu o ty stroje, které nejsou vybaveny ADS-B systémem nebo pokud nepracují na stejném datovém spojení. [2]

Samotná funkce této služby se dá rozdělit do tří kategorií. První z nich se stará o doplnění přehledových informací a může tak posloužit jako záložní zdroj namísto radaru, kde data jsou doplněna i o zařízení, které nedisponují ADS-B systémem a vycházejí ze sekundárního přehledového radaru. [2]

Druhou funkcí je přepracování těchto informací do datové zprávy a synchronizace výsledné zprávy tak, aby byla použitelná pro komunikaci přes zařízení, které je schopné rozpoznat a číst ADS-B zprávy. [2]

Poslední funkcí je schopnost předat tuto zprávu pomocí bezdrátového spojení přes vysílací zařízení letadlům či dalším zařízením disponujícím ADS-B IN. [2]

1.5 FIS-B

Flight Information Service Broadcast (FIS-B) jsou informace obsahující data o počasí a další údaje spojené se stavem povětrnostních podmínek na letištích, jako jsou např. METAR (Meteorological Terminal Air Report) nebo TAF (Terminal Aerodrome Forecast). Zároveň může obsahovat zprávy NOTAM (Notice To Airmen) nebo další informace o využitelnosti některých leteckých prostorů. Tato zpráva je součástí pozemního segmentu v datové zprávě UAT a disponuje daty, která jsou generována na zemi. Nejsou tak ovlivněna žádným z uživatelů, a právě uživatelé jich mohou využít k lepší přehlednosti a bezpečnosti letu. Efektivně tak zlepšují přehledové informace a předávají je pilotům. [2]

1.6 Princip fungování UAT

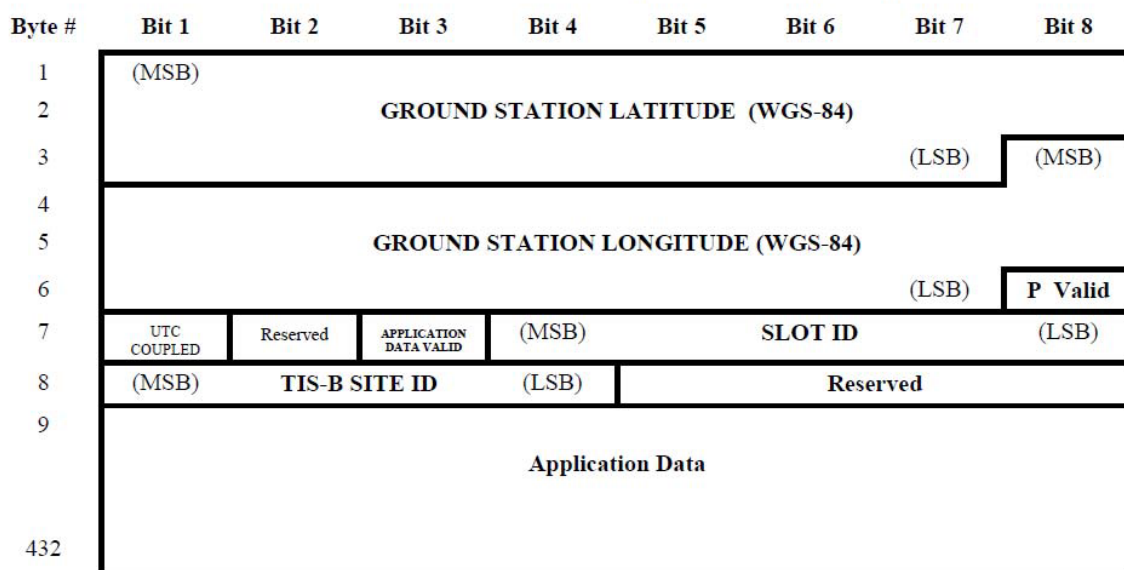
Oproti přenosu dat pomocí 1090ES využívá UAT kmitočet 978 MHz, který sdílí spolu s provozními kanály radionavigačních systémů DME (Distance Measuring Equipment) a TACAN (Tactical Air Navigation System). Využívání kmitočtu, který nezasahuje do přetíženého pásma 1030/1090 MHz by mohl ulevit přetížení tohoto pásma, které bude dále popsáno v kapitole X.X [3]

Pro přenos dat UAT používá metodu TDMA (Time Division Multiple Access). Tato metoda využívá digitální bezdrátovou komunikaci pro přenos dat. Umožňuje přístup několika uživatelů k jednomu kanálu ve vysokofrekvenční síti, aniž by zde vysílané signály mezi sebou kolidovaly. Děje se tak protože tato metoda přidělí každému uživateli unikátní časový úsek v rámci užívaného kanálu. [3]

Přenosy zpráv jsou vysílány pomocí specifické funkce MSO (Message Start Opportunity). Ta v rozmezí své datové struktury umožní počátek vysílané zprávy v definovaném přes manuál UAT časovém rozmezí. Mezery mezi MSO jsou u UAT 250 μ s. [3]

1.7 Datová zpráva

Datové zprávy systému UAT mají délku jedné sekundy a jsou koordinovány s přesností na jednu sekundu UTC. Formát zprávy se skládá ze 2 segmentů. Kratší segment pro pozemní zařízení (Ground) a část, která obsahuje ADS-B zprávu. Obrázek níže (č. 4) ukazuje datovou zprávu schematicky. [3]



Obrázek 5: Pozemní segment UAT datové zprávy [3]

1.7.2 ADS-B část

Oproti tomu část určená pro ADS-B je sice delší, avšak obsahuje kratší časové intervaly mezi jednotlivými MOS. Časová odchylka mezi vysílanými zprávami je 250 μ s. Tento fakt tak omezuje v jisté části délku jednoho přenosu a to tak, aby dosah zpráv nepřesahoval 1 Hz. [3]

ADS-B segment je složen z části, která odesílá informace ADS-B a TIS-B. Délka tohoto segmentu je více než 4x větší a to konkrétně 800 ms, rozpíná se zde 3200 možností, kdy mohou být jednotlivé zprávy odeslány. Výběr, kdy se zpráva odešle je definován tzv. pseudovýběrem, který zabraňuje, aby se ve stejném čase odeslaly 2 zprávy a zařízení, které zprávu přijme, tak nepracovalo s chybnými daty. [3]

ADS-B segment UAT zprávy vysílá obsah své zprávy dle typu zařízení, které datovou zprávu odesílá. Letadla nebo zařízení, které vysílají své informace o poloze, se ve své datové zprávě dělí o tyto informace prostřednictvím ADS-B zprávy. Naopak zařízení, které patří mezi ty, jejichž poloha je stálá a nemění se, kam patří pozemní zařízení UAT, odesílají TIS-B zprávu namísto ADS-B zprávy. [3]

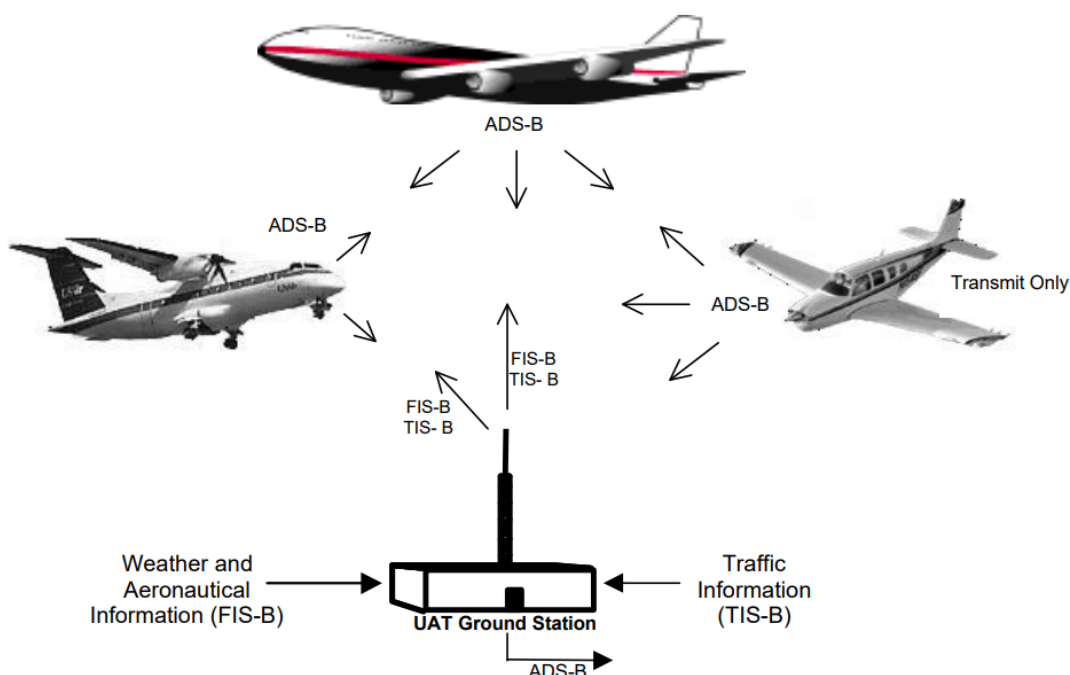
1.8 Vysílání UAT

Jednotlivá data, která jsou systémem UAT vysílána se liší typem a dosahem jednotlivých zařízení. Na obrázku níže (č. 6) je zobrazena využitelnost operací a dat, které se mohou dělit o své ADS-B a další zprávy přes UAT vysílací technologii. [8]

Letadla nebo objekty, které disponují pouze systémem ADS-B OUT odesílají informace plně spolupracují i s letadly, která disponují jak ADS-B IN, tak ADS-B OUT funkcí. Nejsou sice schopny přijímat dodatečné údaje, kterými UAT disponuje, ale rozšiřují přehledové informace tím, že data o sobě předávají dál. [8]

Letadla, která jsou obohacena o ADS-IN mohou přijímat informace nejen z pozemních stanic UAT, ale také od jiných letadel, které disponují alespoň ADS-B OUT funkcí. [8]

Shrnutím může být obrázek č. 6, který názorně ukazuje přehled všech možností předání dat mezi jednotlivými subjekty. [8]



Obrázek 6: Schéma UAT přenosů [8]

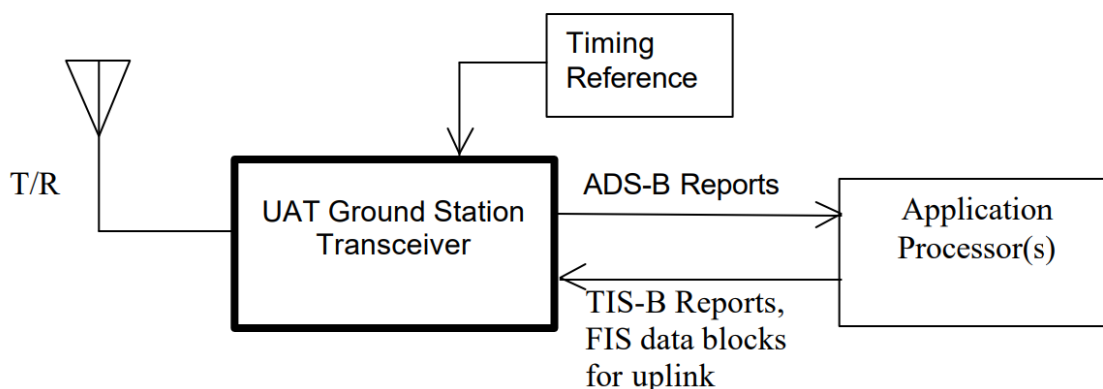
1.9 Pozemní zařízení UAT

Podobně jako zařízení na palubě letadla, pozemní stanice UAT slouží jako přijímač zpráv a zároveň i jako transpondér. Liší se ale odesílané služby. V případě letadel nebo letištních pozemních prostředků, se odesílá ADS-B část zprávy. Z pozemního zařízení se vysílají informace typu FIS-B s TIS-B. [2]

V tzv. Ground segmentech je schopen subsystém pozemního zařízení UAT vysílat v jednom ze 32 přidělených časových slotů pozemního segmentu. TIS-B informace z pozemní stanice UAT se posílají s využitím ADS-B formátu a ADS-B segmentu UAT datové konstrukce.

Přijímací systém na palubě letadel tak nerozlišuje zpracování ADS-B či TIS-B zprávy, ale dekodovací zařízení ano. Může tak učinit pomocí pole Address Qualifier. [2]

Samostatná pozemní stanice systému UAT je schopna přijímat ADS-B zprávy a fungovat tak, jako ADS-B přijímací stanice. Provádí měření času příchodu ADS-B zprávy, kde na základě jednoho senzoru provede nezávislé měření dosahu. V případě propojené sítě UAT pozemních stanic může systém porovnávat a upřesňovat výpočet příchozích signálů na základě výpočtu multilateračních přehledových zařízení. Tato vypočtená poloha je pak zcela nezávislá na datech přijímaných z ADS-B zpráv a poskytuje tak dodatečné upřesňující nebo záložní informace o poloze letadla. Dále pozemní stanice funguje jako transpondér TIS-B a FIS-B zpráv. Každá je však vysílána v jiném segmentu UAT datové zprávy. Zároveň poskytuje časovou referenční hodnotu, která uživatelům UAT systému může sloužit jako rezervní časový bod, případně i jako záložní navigaci. Veškeré tyto funkce jsou přehledně ukázány v obrázku č. 7. [2]



Obrázek 7: Procesy probíhající v pozemní stanici UAT [2]

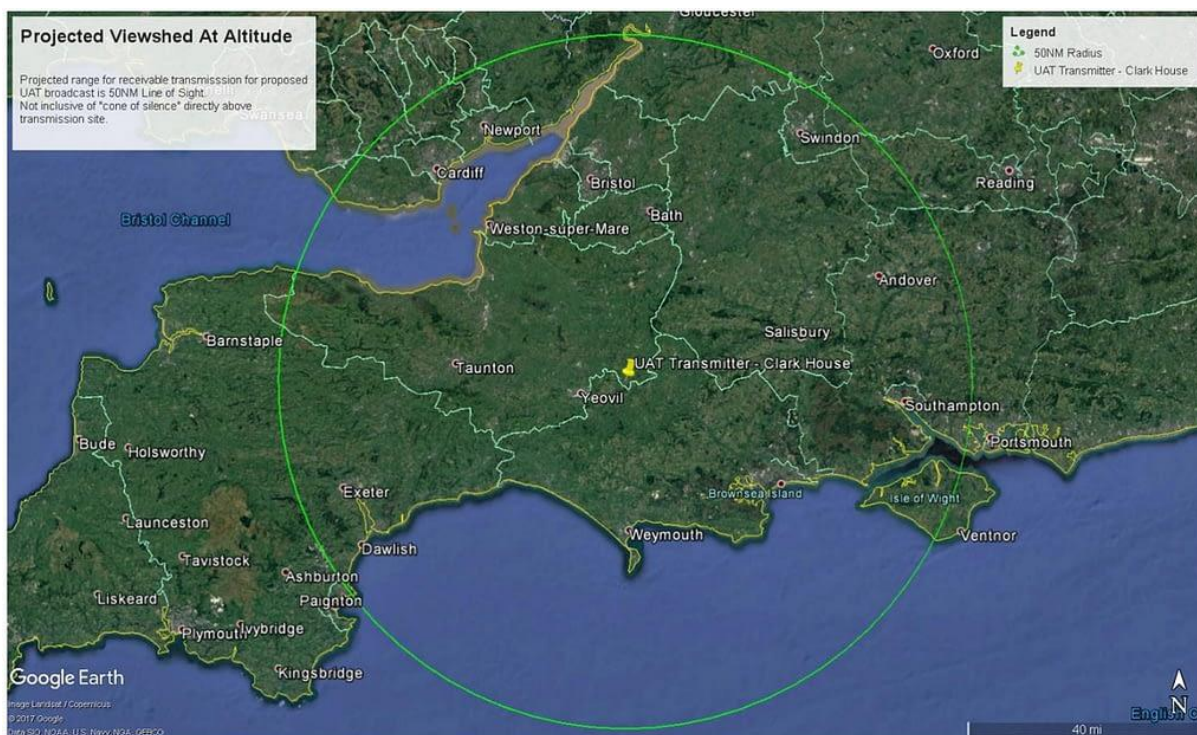
2 Problematika provozu UAT/Použití UAT ve světě

V nynější době je na světě pouze několik míst, které operují s UAT systémem. Nejznámější oblastí, kde se UAT využívá jsou Spojené státy americké. Ty totiž ve svých implementačních programech uvádějí 2 možnosti typy přenosu. 1. standardním typem je celosvětově rozšířený mód 1090ES, který mohou využívat veškerá letadla bez omezení na typ používaného prostoru. Dalším typem, který je možné využívat v americkém federálním vzdušném prostoru je právě systém UAT. Ten má však jistá omezení. [20] [21]

Mezi ně patří základní omezení maximální letové hladiny, které může letadlo dosáhnout, pokud je systém ADS-B přenášen technologií UAT. Limit, do kterého letadlo mohou letět, je 17 999 stop nad povrchem moře. Nad touto hladinu je vyžadováno používat technologii přenosu 1090ES. V praxi to znamená, že dopravní letadla, která většinou operují kolem letové hladiny FL360 musí být vybavena systémem 1090ES a je tak zbytečné instalovat aplikaci UAT jako další přenosovou technologii. Praktické využití pro tento systém tak spadá pro kategorii GA (General Aviation), kde letadla zpravidla nedosahují výšek, které přesahují FL180 a zároveň mohou získat další informace, které systém UAT přenáší. Mezi tyto služby patří např. počasí, okolní přehled apod. Mohou tak ulehčit vytíženému kmitočtu 1 090 MHz. [20]

2.1 Testování systému UAT v evropském regionu

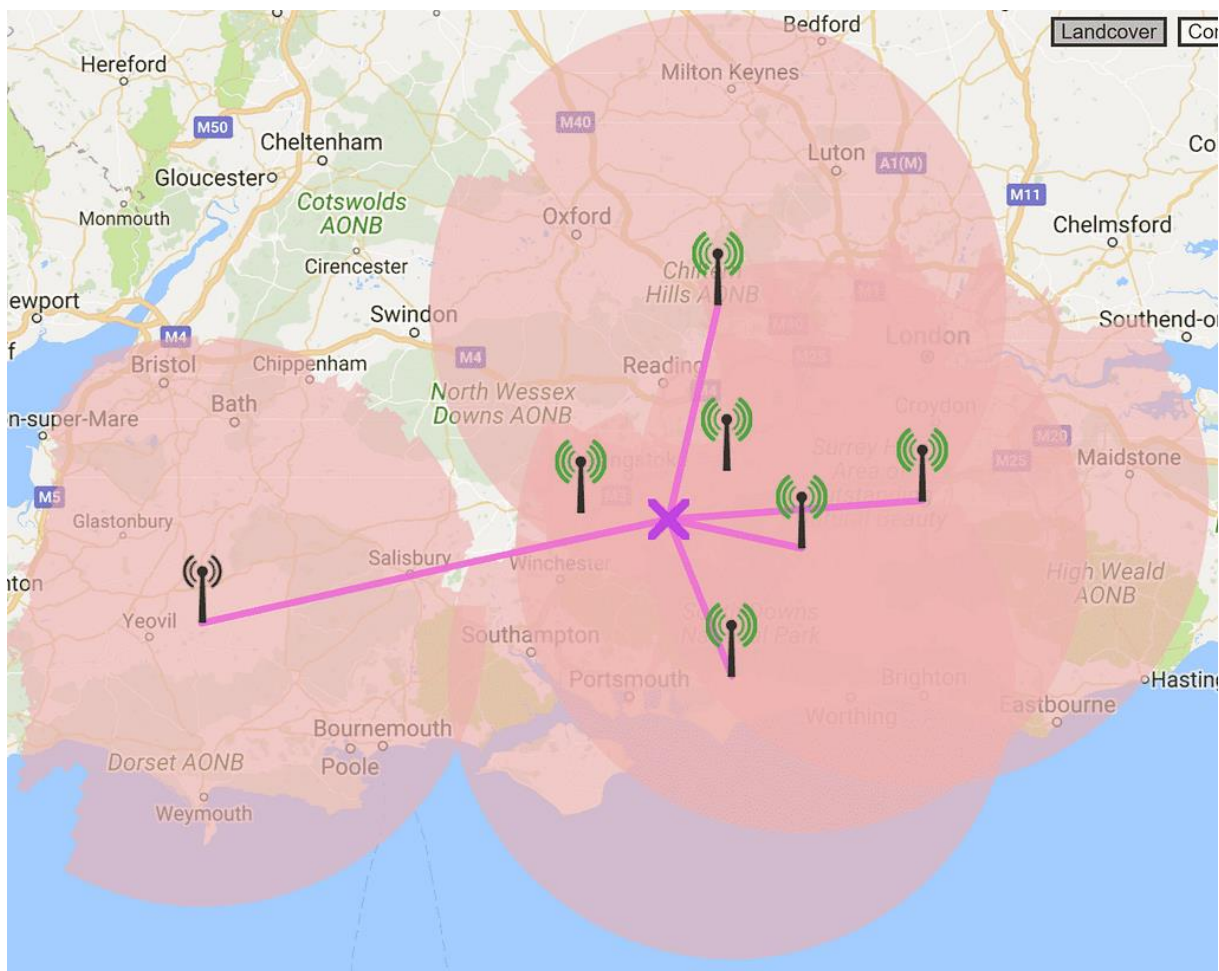
Sice ve většině států světa není využívána technologie UAT jako technologie pro přenos ADS-B zpráv, neznamená to však, že by se na světě UAT technologie netestovala. Jedním z hlavních příkladů je testování na území Spojeného království a Severního Irska, kde tamější úřad pro civilní letectví (CAA) schválil testování tohoto datového přenosu. Nyní (05/2021) probíhá v UK již 3. vlna testování a postupně jsou přidávány další pozemní stanice UAT a transpondéry UAT spolu s 1090ES transpondéry jsou instalovány do některých letadel v rámci testování. První pozemní stanicí na území Velké Británie byla stanice umístěna do blízkosti vesnice Milborne Port v hrabství Somerset, odkud je v okruhu 50 NM možné přijímat signál UAT. Obrázek č. 8 tuto oblast označuje. Tato operace byla provedena roku 2017 a jedná se o první případ, kdy byl systém UAT implementován do oblasti neřízené americkou FAA. [22]



Obrázek 8: Dosah první testované pozemní stanice UAT v Britském Milborne Port [22]

K dalším pozemním stanicím, které patří do průběhu testování, byly přidány stanice na jihu Anglie, konkrétně na letišti Redhill a Goodwood. Tyto stanice byly aktivovány k 15. únoru roku 2018. O necelé 2 měsíce později, 10.04.2018, byly přidány další 2 stanice, a to na letištích Wycombe a Dunsfold. [22]

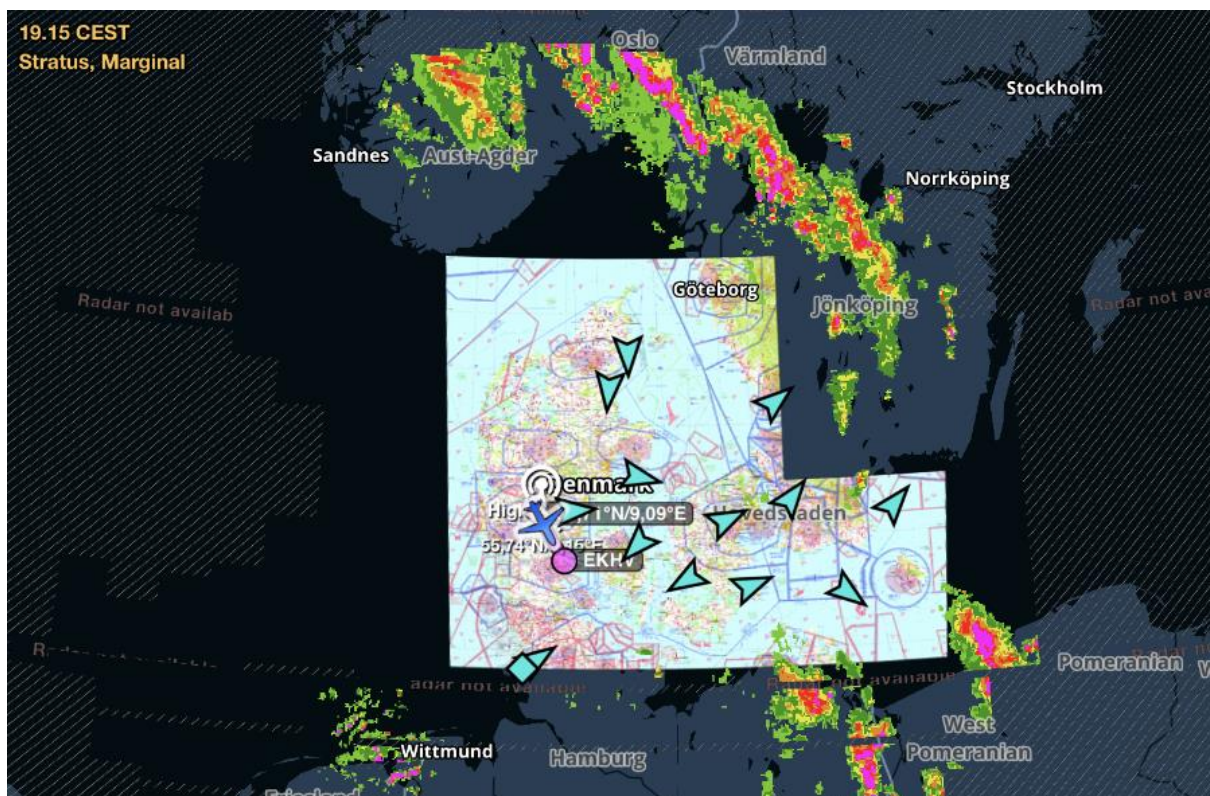
Všechny tyto stanice vysílají pouze FIS-B zprávy, tedy informace o počasí, zprávy typu METAR a TAF. Po aplikování těchto 5 stanic je nynější spektrum, ve kterém se dá zpracovávat signál UAT, zobrazen na následujícím obrázku č. 9. V tomto případě se jedná o situaci, kde se letadlo nachází ve výšce 5 000 AGL (Above Ground Level). Funkční pozemní stanice UAT jsou spojené růžovými čarami. [22]



Obrázek 9: Přehled dosahu pěti testovacích pozemních stanic UAT v jižní Anglii [22]

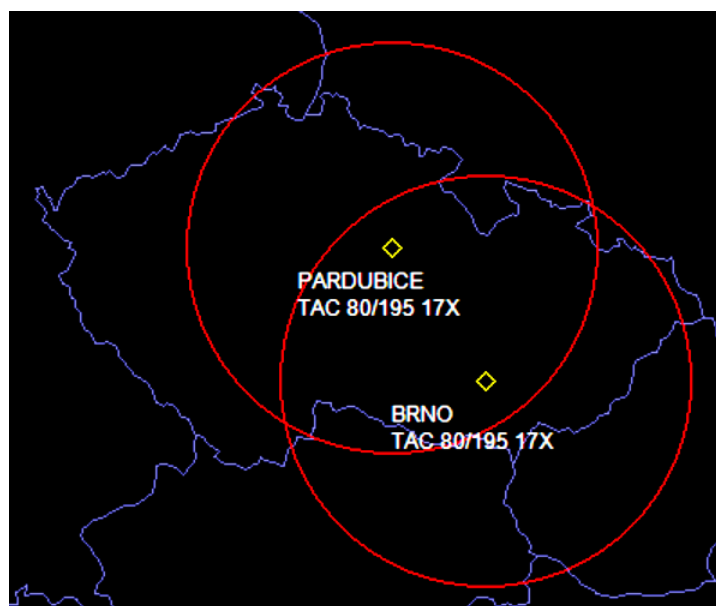
Další zemí, kde je prováděno testování přenosové technologie UAT je Dánsko. To začalo s implementací první pozemní stanice v dubnu roku 2019, kdy na letišti Billund (EKBI) zprovoznilo 1. transpondér. Druhý přidalo o pár měsíců později v červenci téhož roku, tentokrát na letišti Roskilde (EKRK). [23]

Rozsah, kam až sahá signál emitovaný z těchto stanic je zobrazen na obrázku č. 10. Vzhledem k umístění Dánska na světové mapě, tak tyto dvě stanice pokryjí značnou část svého území a jsou schopné pokrýt i některá území sousedních států. [23]



Obrázek 10: Přehled dánského pokrytí službou UAT [23]

Podobné testování probíhá i v České republice, a to konkrétně na letištích v Brně a v Pardubicích, kde se do konce roku 2021 bude testovat UAT ve zkušebním provozu. Také v České republice se jedná pouze o poskytování služby FIS-B. Obrázek č. 11 ukazuje dosah, kam až se signály dostanou. [24]



Obrázek 11: Dosah testovacích pozemních stanic UAT v České republice [24]

Dalšími místy kde se technologie UAT testuje či testovala jsou například Portugalsko, kde se na letištích Cascais, Portimão a Vila Real nainstaloval UAT pozemní stanice. Dále ve Švédském Västerås nebo na Finském území. Podobnější informace o testování UAT systémů nejsou veřejně dostupné.

3 UAT a letecké pásmo L

Pásmo L představuje část kmitočtového spektra, jehož součástí je i vyhrazené pásmo pro použití v letectví, konkrétně v rozmezí 960–1215 MHz. Neznamena to však, že se v jiných pásmech nemohou vyskytovat další zařízení využívající kmitočty k provozu aviatických zařízení. Např. provozní kmitočty systému ILS nespádají do pásma L, stejně tak jako NDB, VOR aj. Pásmo L ovšem tvoří významnou část spektra pro provoz leteckých systémů. V samotném pásmu L pro letecké použití se nachází výhradně CNS systémy. Mezi jinými zde najdeme např. DME, GNSS, apod. Pásmo L je tak velmi důležitým faktorem pro letectví. [26]

Pro leteckou radionavigaci je vyhrazena část mezi 960 MHz a 1215 MHz. Tato část pásma je velmi vytižená a v značné míře vypomáhá v organizaci letového provozu, jak civilního, tak vojenského. [26]

3.1 Civilní systémy v radionavigačním leteckém pásmu L

Jako jeden ze systémů, který využívá frekvenčního pásma L je systém DME, tedy Distance Measuring Equipment. Tento systém měří šikmou vzdálenost mezi letadlem a pozemní stanicí DME. Pro svou funkci využívá pulzových signálů a výpočet času mezi odeslanou a přijatou dvojicí pulzů. [26]

Jedním z dalších radionavigačních systémů, jejichž informace se přenáší v pásmu L, jsou přenosy SSR. Samotný SSR může fungovat jako systém soběstačný nebo jako sekundární radar synchronizovaný s radarem primárním. Veškeré signály využívané SSR systémem, ať už mód A/C nebo S, využívá funkce tzv. dotazů, které jsou přenášeny na kmitočtu 1 030 MHz a jsou vysílány všesměrově z pozemních stanic, letadla disponující odpovídačem SSR vysílají odpověď na frekvenci 1 090 MHz. [26]

Palubní proti srážkový systém využívá zpráv systému SSR, konkrétně módy A/C a módu S, odkud vysílá dotaz transpondérům na letadle v blízkosti zdroje a dále pracuje s obdrženými odpověďmi. Následně vyhodnocuje tyto odpovědi a ACAS/TCAS vyhodnocuje potenciální hrozbu, kterou je možno aplikovat až ve třech módech TCAS. ACAS využívá stejné frekvence pro dotaz i odpověď jako SSR, frekvenci 1 030 MHz pro dotazy blízkých cílů a 1 090 MHz pro jejich případné odpovědi. [26]

Frekvenci 1 090 MHz rovněž využívá i 1 090 Extended Squitter (1090ES), přes který je možné přenášet zprávy ADS-B nebo TIS-B. O tomto systému již bylo psáno v kapitole X.X.X. [26]

Signálů z frekvencí 1 090 a 1 030 MHz využívá rovněž i multilaterační systém. Ten však již využívá signály, které se na těchto frekvencích vyskytují a pomocí výpočtů rozdílů času přijetí

příchozích signálů na ostatních pozemních stanicích získává přehledové informace. V případě, že systém funguje pasivně, nezatěžuje navíc tyto dvě frekvence a pouze využívá již dostupná přenosová data. Multilaterační systém, který funguje aktivně, využívá tak jako i jiné systémy na této frekvenci kmitočet 1 030 MHz pro vysílání dotazů. Jelikož zjišťuje převážně informace o poloze letadel, čerpá tak nejčastěji z informací na kanále 1 090 MHz, avšak v místech, kde je tato síť řídko využívána, může být nainstalován na multilaterační systém vyšetřovací modul (interrogator), který by měl k systému přivádět další informace. [26]

Dalším pásmem frekvencí v pásmu L, které jsou vyčleněné pro systémy radionavigačních zařízení je pásmo s rozsahem od 1 164 do 1 215 MHz. Jeho ochrana je důležitá do budoucna, kdy se počítá s rozšířením působnosti signálů GPS přidáním dodatečné frekvence L5 a zároveň s využitím pro Evropský systém Galileo. [26]

Do budoucna se také počítá s dalším systémem, který by využil tohoto pásma. Jedná se o LDACS, tedy L-Band Data Link Aeronautical Communication System, což v překladu znamená systém datového spojení v pásmu L pro leteckou komunikaci. Tento systém bude sloužit k datové komunikaci mezi letadly a zemí, aby byla zvýšena kapacita datového přenosu dnešních technologií. Hlavním cílem LDACS je zajistit datovou kapacitu pro spojení, se kterým by bylo možné využívat pro koncept provozu založeného na trajektorii TBO (Trajectory Based Operations), který je součástí budoucnosti ATM. Proveditelnost implementace systému se potýká právě s koexistencí v Pásmu L s ostatními systémy, zejména DME. LDACS se totiž plánuje zřizovat na frekvencích od 985,5 do 1 007,5 MHz a od 1 048,5 do 1 071,5 MHz. [26]

Na jediném kmitočtovém kanálu také pracuje systém UAT, o kterém již byla zmínka v předešlých kapitolách tohoto dokumentu. Na kmitočtu 978 MHz tak funguje jak UAT, tak DME. [26]

3.2 Vojenské systémy v radionavigačním pásmu L

Jedním z dalších leteckých systémů, které však neslouží pro civilní letectví, je systém TACAN. Jedná se o vojenský systém, který dodává informace jak o azimutu, tak vzdálenosti od transpondéru v pásmu od 960 do 1 215 MHz. TACAN je velmi podobný svým fungováním systému DME. Kmitočty, ve kterých funguje jsou totožné. Pokud se TACAN sloučí se systémem VOR (VHF Omnidirectional Radio Range), může být tento dvoj systém označován jako VORTAC. V takovém případě je systém považován za technologii, která může substituovat DME a je tak možné ho použít i v civilním letectví. Stejně jako u spojení systému DME a VOR (VOR/DME) se při naladění kmitočtu přiřazenému kanálu VOR rovněž automaticky naladí a spojí frekvence se systémem TACAN, který zde poslouží jako DME

transpondér. Letadlo rozpozná signál stejně, ať už přijme impulz z VOR/DME systému či z VORTACu. Výsledná informace je pak identická. [26] [28]

V některých zemích se pásmo v rozmezí od 960 MHz do 1215 MHz používá i pro jiné komunikační systémy. Ty se ale v každé zemi liší. Jako příklad může sloužit systém JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System), známý také jako MIDS (Multifunctional Information Distribution System) tedy vojenský rádiový systém, který vysílá informace o pozici, identifikaci spolu s dalšími informacemi ve své vojenské síti mezi jednotlivými objekty. Jelikož se ale tyto systémy na pásmu, které je převážně vyhrazeno pro civilní radionavigační letecké účely, musí striktně dodržovat jistá pravidla, aby zde nevznikalo případné rušení radionavigačních signálů. [26] [27] [28]

Frekvencí 1 030 a 1 090 MHz rovněž využívá vojenský systém IFF (Identification Friend or Foe), tedy systém umožňující detekci přátelských či nepřátelských letadel. Přenos těchto dat je zakódován pouze skrze zašifrované a zabezpečené datové přenosy. V ověřovacím procesu, který probíhá při zjišťování blízkých cílů, vysílá transpondér na palubě dotazy. Pokud objekt přijme tento signál a patří mezi přátelské letadla, vyšle zakódovanou odpověď a IFF přijímač na palubě letadla, odkud byl poslán dotaz, letadlo identifikuje jako přátelské. Jestli však systém nerozpozná přátelský objekt a obdržená odpověď od letadla nebude odpovídat zašifrovaným datům, které by označily letadlo za přátelské, tak systém vyhodnotí příchozí signál jako nepřátelský. Pro dotazy a odpovědi používá systém IFF Mode S a obě frekvence 1 030 a 1 090 MHz obdobně jako Mode S pro dotazy v civilním letectví. [29]

V některých zemích, převážně ve východní Evropě, se kmitočty v pásmu L používají i na jiné letecké radionavigační systémy, které jsou ve většině případů využívány ve východní Evropě. Tyto systémy však nepatří do certifikovaných radionavigačních systémů uznávaných přes ICAO. Stejně jako v předchozím případě platí taktéž potřeba chránit a zabraňovat rušení aplikací radionavigačních zařízení celosvětově uznávaných přes ICAO. [26]

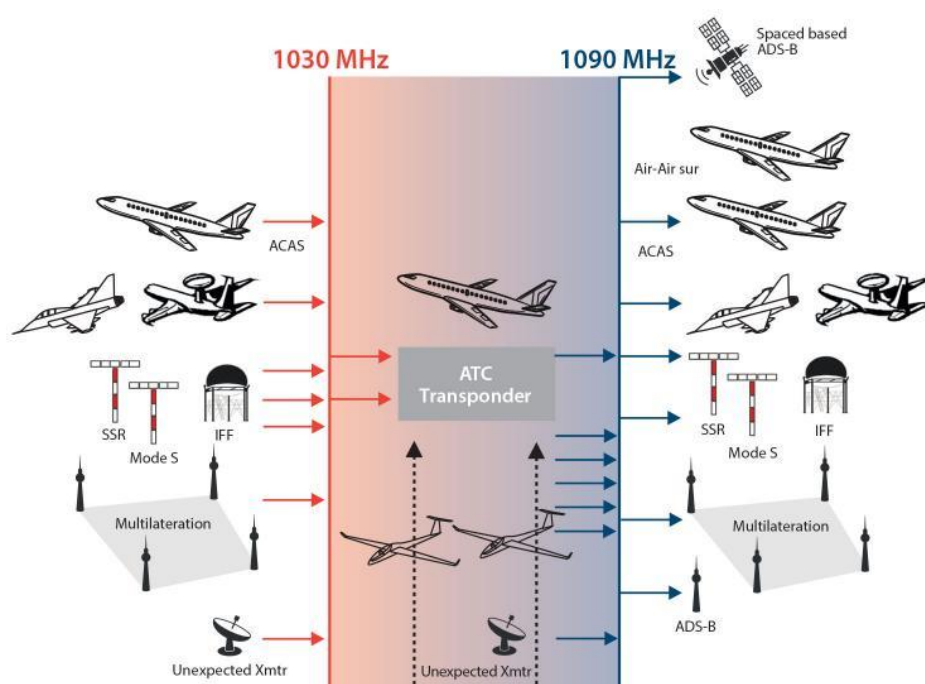
3.3 Přetížené pásmo 1030 a 1090 MHz

Kmitočty 1 030 a 1 090 MHz patří mezi ty nejvytíženější v celém radionavigačním pásmu L. Jsou tak označovány jako kritické, a to z důvodů značného množství systémů, které tyto frekvence využívají. Jejich využití je tak potřeba kontrolovat a navrhovat tak, aby nebylo zbytečně přetěžováno a zároveň aby nedocházelo ke ztrátám, či případně k jakémukoliv rušení signálů. [30]

Tyto frekvence jsou přetíženy z důvodů příliš mnoha dotazů vysílaných na frekvenci 1 030 MHz, nadbytečných množství odpovědí na frekvenci 1 090 MHz, neočekávaných

datových přenosů nebo dalšími problémy nezpůsobenými přes transmissi dat. Z tohoto důvodu bylo nařízeno chránění a monitorování těchto frekvencí. Konkrétně je tak uvedeno v prováděcím nařízení Komise (EU) č. 1207/2011 a prováděcím nařízením (EU) č. 2019/123. [30]

Radionavigační systémy provozované na těchto dvou kmitočtech jsou nezbytně nutné pro ATC, které tak pro své potřeby získává přehledové informace z odpovědí na dotazy SSR módu A/C a módu S, z ADS-B zpráv vysílaných přes přenosovou techniku 1090ES, z MLAT v oblasti letišť, vojenských systémů a služby ACAS a do budoucna i z ADS-B IN aplikace, pro tvorbu TIS-B/FIS-B. Tyto systémy jsou přehledně zobrazeny na obrázku č. 12. [30]



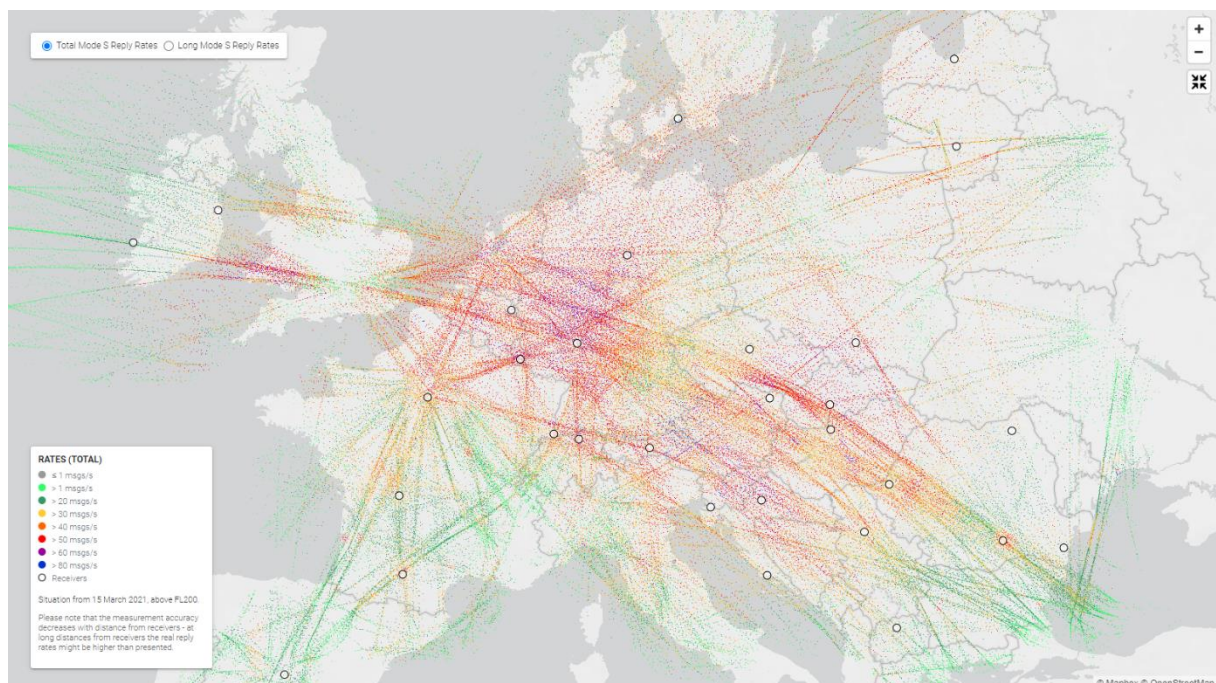
Obrázek 12: Přehled leteckých systémů operující na pásmech 1 030 a 1 090 MHz [30]

Ke ztrátám kvality poté dochází, pokud jsou výslechy transpondérů mimo předepsanou nebo i faktickou schopnost přenášet tyto informace. Děje se tak většinou při přílišném množství dotazů na frekvenci 1 030 MHz nebo při velké nadmíře odpovědí vysílaných na kmitočtu 1 090 MHz. Další možnou příčinou špatného fungování přehledových systémů může být příliš velký počet přenosů dat na daných frekvencích. Může se tak stát i v případě neočekávaných transmisí dat nebo i za situace, která není spojena samotným přenosem signálů. [30] [31]

Z těchto důvodů může dojít v jistých případech ke ztrátě dat z jednotlivých přehledových systémů, možných restrikcích v přetížených oblastech, zpožděním jak letů, tak i přenosů dat nebo ke snižování výkonnostní kapacity celé přehledové sítě. [30]

K takovému incidentu došlo několikrát v období od 5. do 10. června roku 2014, kdy v oblasti centrální Evropy nastalo několik neplánových a nekontrolovaných ztrát dat, které ve velmi zahuštěné letové oblasti snížili kapacitu a četnost dat zobrazovaným řídicím letového provozu, a to vyústilo ke zpožděním a přetížením průchodnosti letového provozu. Následné vyšetřování zjistilo, že zdrojem těchto rušení byl jeden z přehledových systémů nainstalovaných na letadle nebo technická neúspěšná instalace, které přeplnily datové spojení natolik, že překročilo nejen maximální stanovené požadavky, ale i technické limity, které vedly ke chvilkovému výpadku systému. [30]

Z takovýchto důvodů dochází k měření a monitorování dat přenášených na kmitočtech 1 030 a 1 090 MHz. Obrázek č. 13 zobrazuje situaci nad evropským nebem, kde tmavě vyznačené tečky znamenají velké vytížení této sítě. [31]



Obrázek 13: Četnost zachycených Mode S odpovědí nad Evropou [31]

Je proto potřeba zabránit, aby došlo k podobným situacím, jako ty z poloviny roku 2014 a jedním z řešení může být např. limitace vysílaných dotazů či odpovědí nebo přenesení některých systémů na jiný kmitočet a uvolnit tak frekvencím 1 030 a 1 090 MHz. [31]

3.4 Pásmo 978 MHz

Oproti kmitočtům 1 030 a 1 090 MHz je frekvence 978 MHz využívána pouze přes 3 systémy. Bohužel vzájemná kooperace mezi těmito systémy není možná a je tak nutno, aby došlo k jednotlivým úpravám buď samotných systémů nebo kmitočtových signálů nebo

k případnému vyčlenění pásma pro účely jednoho systému. Systémy, které v současné době využívají tuto oblast jsou systémy TACAN/DME nebo UAT. [33]

Pro správné fungování jakéhokoliv systému je potřeba zajistit filtrování jednotlivých služeb, aby se jednotlivé kanály mezi sebou neblokovaly nebo nepřekážely při přenosu dat. Vzhledem k důležitosti kmitočtu 978 MHz, který má vůči UAT systému jedinou možnost přenosu, je pro zajištění nejlepšího chodu aplikací potřeba vyhradit tento kanál výhradně pro použití UAT. [34]

Tabulka 1: Výňatek z tabulky ukazující přehled DME kanálů [35]

Párování kanálů				Parametry DME					
				Dotaz				Odpověď	
				Kmitočet	Kódy impulzů			Kmitočet	Kód impulzů
					DME/N	Režim DME/P			
Kanál DME č.	Kmitočet MHz	Kmitočet úhl. MLS MHz	Kanál MLS č.	Kmitočet MHz	DME/N μs	Režim IA μs	Režim FA μs	Kmitočet MHz	Kód impulzů μs
*1X	-	-	-	1025	12	-	-	962	12
**1Y	-	-	-	1025	36	-	-	1088	30
*2X	-	-	-	1026	12	-	-	963	12
**2Y	-	-	-	1026	36	-	-	1089	30
*3X	-	-	-	1027	12	-	-	964	12
**3Y	-	-	-	1027	36	-	-	1090	30
*4X	-	-	-	1028	12	-	-	965	12
**4Y	-	-	-	1028	36	-	-	1091	30
*5X	-	-	-	1029	12	-	-	966	12
**5Y	-	-	-	1029	36	-	-	1092	30
*6X	-	-	-	1030	12	-	-	967	12
**6Y	-	-	-	1030	36	-	-	1093	30
*7X	-	-	-	1031	12	-	-	968	12
**7Y	-	-	-	1031	36	-	-	1094	30
*8X	-	-	-	1032	12	-	-	969	12
**8Y	-	-	-	1032	36	-	-	1095	30
*9X	-	-	-	1033	12	-	-	970	12
**9Y	-	-	-	1033	36	-	-	1096	30
*10X	-	-	-	1034	12	-	-	971	12
**10Y	-	-	-	1034	36	-	-	1097	30
*11X	-	-	-	1035	12	-	-	972	12
**11Y	-	-	-	1035	36	-	-	1098	30
*12X	-	-	-	1036	12	-	-	973	12
**12Y	-	-	-	1036	36	-	-	1099	30
*13X	-	-	-	1037	12	-	-	974	12
**13Y	-	-	-	1037	36	-	-	1100	30
*14X	-	-	-	1038	12	-	-	975	12
**14Y	-	-	-	1038	36	-	-	1101	30
*15X	-	-	-	1039	12	-	-	976	12
**15Y	-	-	-	1039	36	-	-	1102	30
*16X	-	-	-	1040	12	-	-	977	12
**16Y	-	-	-	1040	36	-	-	1103	30
▽17X	108,00	-	-	1041	12	-	-	978	12
17Y	108,05	5043,0	540	1041	36	36	42	1104	30
17Z	-	5043,3	541	1041	-	21	27	1104	15
18X	108,10	5031,0	500	1042	12	12	18	979	12
18W	-	5031,3	501	1042	-	24	30	979	24
18Y	108,15	5043,6	542	1042	36	36	42	1105	30
18Z	-	5043,9	543	1042	-	21	27	1105	15
19X	108,20	-	-	1043	12	-	-	980	12
19Y	108,25	5044,2	544	1043	36	36	42	1106	30
19Z	-	5044,5	545	1043	-	21	27	1106	15
20X	108,30	5031,6	502	1044	12	12	18	981	12

Z tabulky, která se nachází v L10/I se dá vyčíst jednotlivé přiřazení kanálů DME k frekvencím a zároveň další sdružené frekvence k ostatním radionavigačním systémům. Pro kanál 17X tak platí, že využívá frekvenci 978 MHz a zároveň v případě sdružených systémů je u radionavigačního systému VOR využíván kmitočet 108.00 MHz. [35]

Systém UAT využívá pro svůj provoz pouze frekvenci 978 MHz. Jelikož USA je jedinou zemí, kde se UAT aktivně využívá, FAA zakázala využití systému DME a TACAN na kanálech 17X

a 18X a umožnila tak fungování na této frekvenci pouze systému UAT. Tento zákon je možné najít pod číslem FAA Order 9840.1. Pro kanál 18X operující na kmitočtu 979 MHz se nařízení týká z důvodu možných kolizí signálů na sousedních frekvencích mezi radionavigačními systémy. [49]

3.5 DME

Zkratka DME označuje Distance Measuring Equipment, tedy radionavigační zařízení, které měří šikmou vzdálenost letadla od transpondéru, který je v případě DME pozemní stanice. Princip tohoto systému je založen na palubním dotazovači, který odesílá dotaz a přijímá odpověď, která přijde zpět. Díky znalosti umístění pozice DME pozemní stanice, která je dotazována, systém na palubě letadla poté dle rozdílu času mezi odesláním a přijetím odpovědi determinuje vzdálenost mezi transpondérem a DME dotazovačem na palubě letadla. Jako signály jsou používány elektromagnetické impulzy, které vzhledem k systému DME tvoří pulzní dvojice a jsou tak specifické pro DME systém, aby byly tyto pulzy systémem DME rozpoznatelné. [35] [37]

Tato aplikace pracuje na kmitočtech v rozmezí od 962 do 1 213 MHz. Toto pásmo pracuje s 252 kanály, kde polovina z nich, tedy 126, je připsána kanálům X a druhá polovina kanálům Y. DME pracuje s dotazy, které jsou vysílány v rozmezí od 1 025 do 1 150 MHz a odpovědi přichází v pásmu L, které je vyhrazeno pro DME (926 – 1 213 MHz). Odpověď je frekvenčně posunutá vždy o 63 MHz buď nahoru nebo dolů od kmitočtu, ze kterého byl vyslán dotaz. To determinují právě kanály X a Y. Na obrázku č. 14 je zobrazen princip dotazů a odpovědí pro kanály X a Y. [37]

X Mode	Aircraft DME reception		Aircraft DME transmission				Aircraft DME reception	
	1X	63X	1X	63X	64X	126X	64X	126X
Y Mode			Aircraft DME transmission					
			1Y	63Y	64Y	126Y		
			Aircraft DME reception					
			64Y	126Y	1Y	63Y		
	962	1024	1025	1087	1088	1150	1151	1213
	MHz							

Obrázek 14: Kanály systému DME a přehled kmitočtů u dotazů a odpovědí [37]

DME disponuje dvěma verzemi systému. Jedním z nich je DME/N, kde N značí narrow, tedy úzký. Fungují na úzce vyřazovaném spektru. Využívá se zde pulzních signálů na módech X a Y, které tímto způsobem rozdělení vytváří dodatečné prostory pro přenos dat. DME/N je považován jako standartní verze DME a může být sdružena spolu se systémem VOR. VOR/DME poté umožňuje určení polohy letadla ve 3D prostoru díky výpočtu radiálu, na které se letadlo nachází, a šikmé vzdálenosti od zařízení. Dalším radionavigačním zařízením, na které může být systém DME navázán je přibližovací systém ILS (Instrumental Landing System). DME zde plní funkci měřiče vzdálenosti od prahu dráhy a ILS zajišťuje vedení na sestupovou dráhu. [37]

Druhou verzí systému DME je DME/P, kde P značí Precision, tedy přesnost. Tento typ DME opětovně využívá podobně jako DME/N další dva druhy módů, a to W a Z, jenž opětovně navyšují kapacitu systému. DME/P se používá v souvislosti s upřesněním měřících schopností a spolupracuje tímto způsobem se systémem MLS (Microwave Landing System), aby vypomáhal determinovat přesnější vzdálenost při koncovém přiblížení. [37]

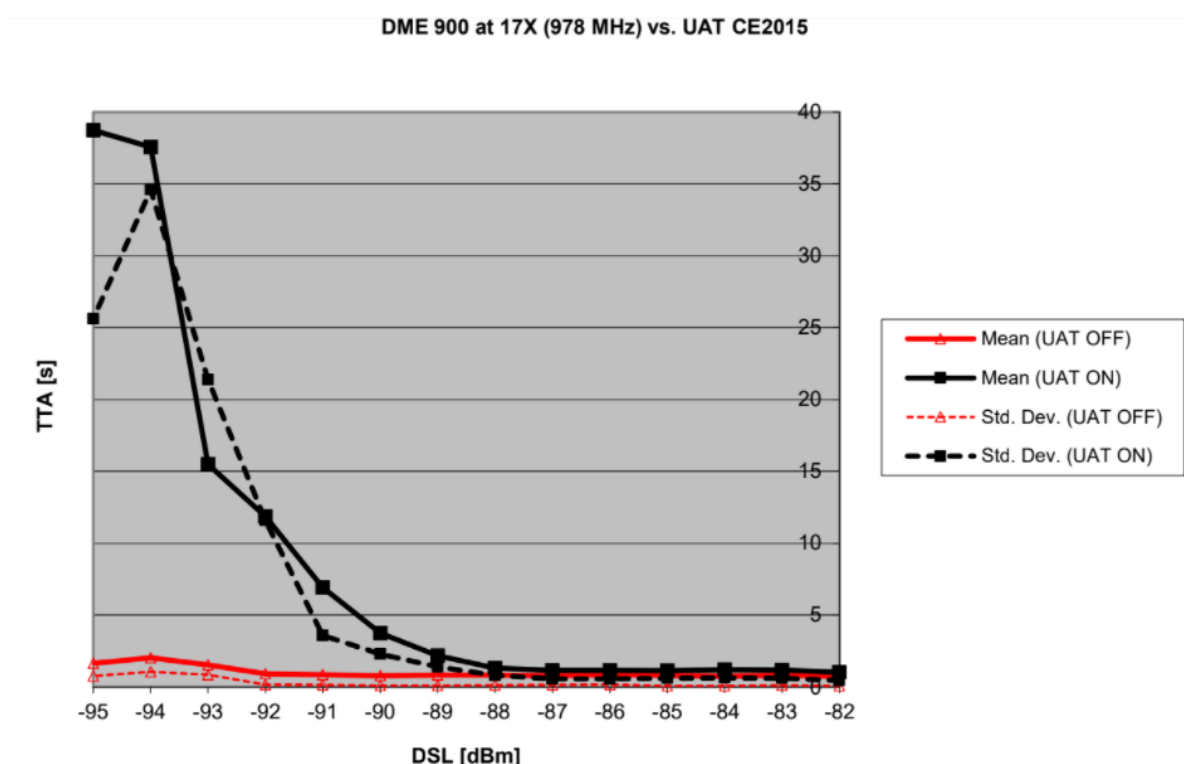
3.6 Rušení signálu mezi DME a UAT

UAT působící na frekvenci 978 MHz by svým působením, pokud by nedošlo k žádným opatřením, mohl kolidovat s vyslanými pulzy systému DME. Konkrétně by se jednalo o kanál 17X, který odpovídá právě kmitočtu 978 MHz. DME dotazovač je tak zároveň svázán i s frekvencí o 63 MHz vyšší a to kmitočtem 1 041 MHz. Vzhledem k častému napojení VOR

na systém DME je i zde jedna frekvence svázána s kmitočtem 978 MHz a to konkrétně 108.00 MHz. Pokud by byly výše zmíněné systémy na stejných frekvencích, zároveň by se rušily a jejich provoz by nebyl možný. [33]

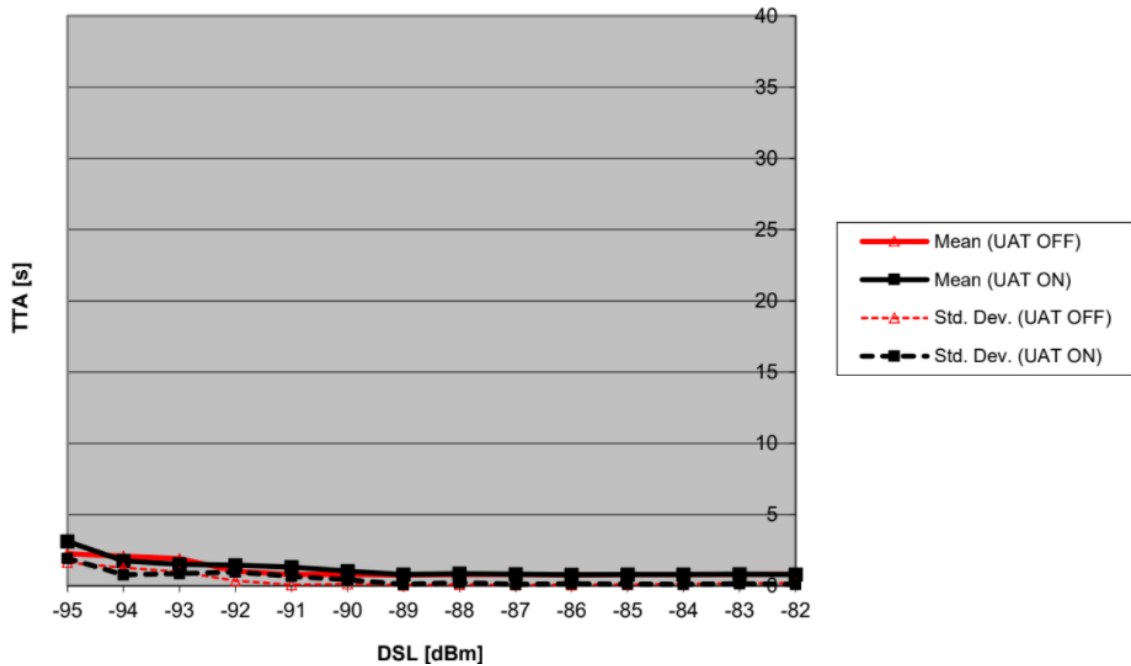
V případě kanálu 18X je odpovídající frekvence 979 MHz spojena obdobně jako v předchozím případě o s 63 MHz výše položeným kmitočtem 1 042 MHz. I zde je DME často sdružována s dalšími systémy. Velmi často i se systémem ILS, který by na přidruženém kmitočtu 108.10 MHz působil. Pro kanál 18X jsou však důsledky rušení nižší. I tak se zde vyskytují a pro správně fungování obou systémů by bylo zapotřebí tuto frekvenci vymezit pouze jednomu systému, aby nedocházelo k rušení. [34]

Z testů prováděných v Evropském prostoru v roce 2004 vyplývá, že při zapojení DME a UAT současně do provozu na stejné frekvenci dochází k velkým vzájemným interferencím a systémy nejsou schopné společně fungovat. Tento test se zaměřil na sledování kanálů 17X a také 18X, aby porovnal vzájemné kolize v blízkosti středního kmitočtu kanálu pro UAT. Testy prokázaly, že při zapojení obou systémů do provozu na kanálu 18X dochází k malému vměšování pulzů do systému UAT. 2 obrázky č. 15 a č. 16 ukazují rozdíl mezi kanály 17X a 18X. [34]



Obrázek 15: Rušení na frekvenci 978 MHz [34]

DME 900 at 18X (979 MHz) vs. UAT CE2015



Obrázek 16: Rušení na frekvenci 979 MHz [34]

Tyto obrázky jednoznačně popisují a vystihují nezbytné vyčlenění kmitočtu 978 MHz pro použití pouze jedním z těchto systémů. V opačném případě bude docházet k velmi častým a značným rušením a spolehlivost obou systémů by byla zanedbatelná. [34]

4 Posouzení zavedení technologie UAT v Evropském regionu

Závěrečná kapitola bude popisovat výhody a nevýhody tohoto systému a porovná je s již využívaným způsobem přenosu zpráv ADS-B aktuálně využívaným ve světě. Dále upraví fungování kanálů 17X a 18X pro systém DME/TACAN. Zároveň nabídne návrh, jakým způsobem by mohla vypadat implementace systému UAT v Evropě spolu se standardy pro jednotlivé kategorie.

4.1 Přehled využití technologie UAT

Technologie přenosu UAT je systém, který je schopen doplnit dosavadní přehledové systémy tím, že na jednom kmitočtu, jmenovitě 978 MHz s rychlostí přenosu 1.041667 Mbps, dokáže přenášet nejen zprávy typu ADS-B, ale zároveň i zprávy GUS (Ground Uplink Services). Do této skupiny spadají zprávy TIS-B, které vypomáhají pilotům udělat si přesnější obrázek o okolním pohybu letadel. TIS-B má v sobě 3 hlavní funkce. Tou první je, že zajišťuje a zpracovává další zdroj přehledových informací o letadlech, která nejsou vybavena systémem umožňujícím vysílat ADS-B zprávy například ze systému SSR od ANSP. Druhou je konverze těchto přehledových informací a zpracování těchto dat tak, aby byla připravena k použití pro letadla vybavena systémem UAT a za třetí samotný přenos těchto dat do již zmiňovaných letadlových transpondérů UAT. [8]

FIS-B je dalším typem zpráv, které spadají do GUS. Tyto zprávy obsahují informace, které piloti využívají k provádění bezpečnějších a efektivnějších letů. Mezi tyto zprávy patří mezi jinými např. METAR, TAF, NOTAM, zprávy s informacemi o využití letového prostoru a jiné. Tyto zprávy jsou pevnou součástí (pokud je daná pozemní stanice vysílá) systému UAT a uživatelé mohou využívat data z těchto zpráv bez žádných poplatků. Jedinou podmínkou pro příjem těchto zpráv je funkční zařízení UAT v letadle, které je schopné tyto zprávy zpracovávat. [8]

Další výhodou systému UAT je schopnost nejen zprávy typu ADS-B odesílat a přenášet tak data o poloze, výšce, rychlosti a dalších informacích o letadle, ale i tyto zprávy přijímat a zpracovávat na palubě letadla. Spolu s daty z TIS-B tak má pilot letadla dostupné informace o dění v okolí z více zdrojů. Jelikož však větší letadla, která dosahují MTOW větší než 5 700 kg a létají ve výškách, kde jsou nuceny být vybaveny systémem TCAS, nejsou tyto informace nutné pro bezpečné provozování letu, jelikož už taková data mají dostupná. Podobně je tak tomu i s informacemi o počasí, které jsou často generovány v kokpitu letadla. Z výhod zpráv TIS-B a FIS-B tak nejvíce vyteží moderní letadla patřící do tzv. skupiny GA (General Aviation),

která mohou využít těchto informací bez nutnosti instalovat další systémy v případě, že jejich palubní vybavení dokáže generovat přehled o okolním dění z dat GUS systémů.


Jelikož systém UAT dokáže přenášet zprávy ADS-B nejen z pozemních zařízení do letadel, ale i opačně, z výhod tohoto systému dokážou těžit i další uživatelé. Nimi jsou bezesporu poskytovatelé letových navigačních služeb (ANSP). Ti budou moci získat další polohové informace o letadlech, která do té doby nemusela být dostupná. Nově totiž letadla, která doposud nemusela být vybavena jakýmkoliv přehledovým systémem, budou tyto informace vysílat. Pomohou tak nejen k lepšímu přehledu řídicím letového provozu, ale zároveň i sami sobě v případě, že na palubách těchto letadel bude příslušné zařízení pro čtení a zobrazení takových dat. [8]

Mezi další výhody implementace systému UAT patří i schopnost systému fungovat jako multilaterační systém. Tato schopnost je však účinná, pokud je síť UAT pozemních stanic poměrně hustá a pokrývá větší plochu. Nicméně se data z multilateračního systému mohou považovat za další zdroj polohové informace a dále být předávána poskytovatelům letových navigačních služeb, popřípadě řízení letového provozu. UAT pozemní zařízení tak může poskytovat subjektům jak data z přijatých ADS-B zpráv přímo od letadel, tak i přehledové informace, které získá od příjmu signálů vysílaných letadly a následným výpočtem jejich rozdílu času příchodu do dalších pozemních stanic. Pro využití schopnosti multilaterace musí být pozemní stanice UAT časově synchronizovány. [39]

Přejít z frekvence 1 090 MHz na 978 MHz pomůže odlehčit přetížení, které se vyskytuje v pásmu 1 030 a 1 090 MHz. Odlehčení kmitočtu 1 030 MHz nemusí být zprvu výrazné, ale při případném dalším rozšíření či zavádění nových implementačních návrhů se může uvažovat nad částečným přechodem ze systému SSR na pouze automatická přehledová zařízení. Výraznějšímu ulehčení bude čelit kmitočet 1 090 MHz, kde odlehčení této frekvence a přechod dalších letadel právě na frekvenci 978 MHz namísto připojení se ke stávajícímu fungujícímu systému 1090ES, by významně pomohlo zabezpečit spolehlivost těchto kmitočtů a snížit tak riziko výpadků sítě, jak tomu bylo v červnu roku 2014 ve střední Evropě. K přechodu je však potřeba přeladit stávající systémy, které fungují na frekvenci 978 MHz a uvolnit tak tento kmitočet pro použití výhradně UAT technologií. Jedná se konkrétně o systémy DME, případně TACAN, kterým by bylo potřeba omezit provoz na kmitočtu 978 MHz. U systému DME se jedná konkrétně o kanál 17X, který může být často sdružený i se systémem ILS na frekvenci 108.00 MHz, kde je s tímto kanálem propojen. Dalším typem radionavigačního zařízení, které je často sdruženo s DME je VOR. Obě tyto služby by musely být přeladěny v případě, že jejich sdružení se systémem DME probíhá na kanále 17X. [38]

Zároveň by bylo potřeba se zaměřit i na kanál 18X, tedy sousední kanál DME operující na frekvenci 979 MHz. Jeho blízkost ke kanálu 17X, tedy ke kmitočtu 978 MHz, může mít vliv na fungování systému UAT a mohlo by narušovat fungování obou systémů. Pro bezproblémové fungování obou systémů je tak doporučeno přesun i stanic z kanálu 18X na jiné frekvenční kanály, na kterých budou moci fungovat bez toho, aniž by rušily ostatní systémy. [38]

Vzhledem k již fungujícímu systému UAT nad americkým vzdušným prostorem je v kapitole 4.3 popsán návrh, který je inspirován implementačním příkazem FAA a zároveň představen návrh pro další využití, který by mohl v blízké budoucnosti být proveditelný. Níže je uvedena tabulka, ve které jsou zobrazeny výhody a nevýhody implementace přenosové technologie UAT.



<ul style="list-style-type: none">Odlehčení vytíženým kmitočtům 1 030 a 1 090 MHz;Přes jednu přenosovou technologii je možné získat zprávy TIS-B a FIS-B;Přehled o více letadlech ve vzdušném prostoru;Využití pozemní sítě UAT jako multilaterační systém;Získání informací z TIS-B a FIS-B zdarma pro uživatele letadel;Levnější instalace transpondéru UAT než 1090ES;Možné použití UAT přes UAS;Technologie certifikována ICAO	<ul style="list-style-type: none">Zavedení nové sítě pozemních stanic systému UAT;Vyčlenění frekvencí 978 MHz a omezení kmitočtu 979 MHz;Instalace nových transpondérů do letadel;Neumožnění využití některých kmitočtů pro sdružené využití DME s ILS nebo s VOR
---	--

Obrázek 17: Výhody a nevýhody implementace systému UAT [autor]

I přes některé nevýhody může systém UAT zajistit větší stabilitu, integritu a spolehlivost na evropském nebi. Implementace tak pomůže rozvíjet ATM/CNS infrastrukturu.

4.2 Nynější implementace ADS-B v jednotlivých regionech

Nyní se technologie ADS-B zavádí v různých částech světa. V některých zemích, jako je například Austrálie, Indonésie, Taiwan nebo Vietnam, je již povinnost být vybaven systémem,

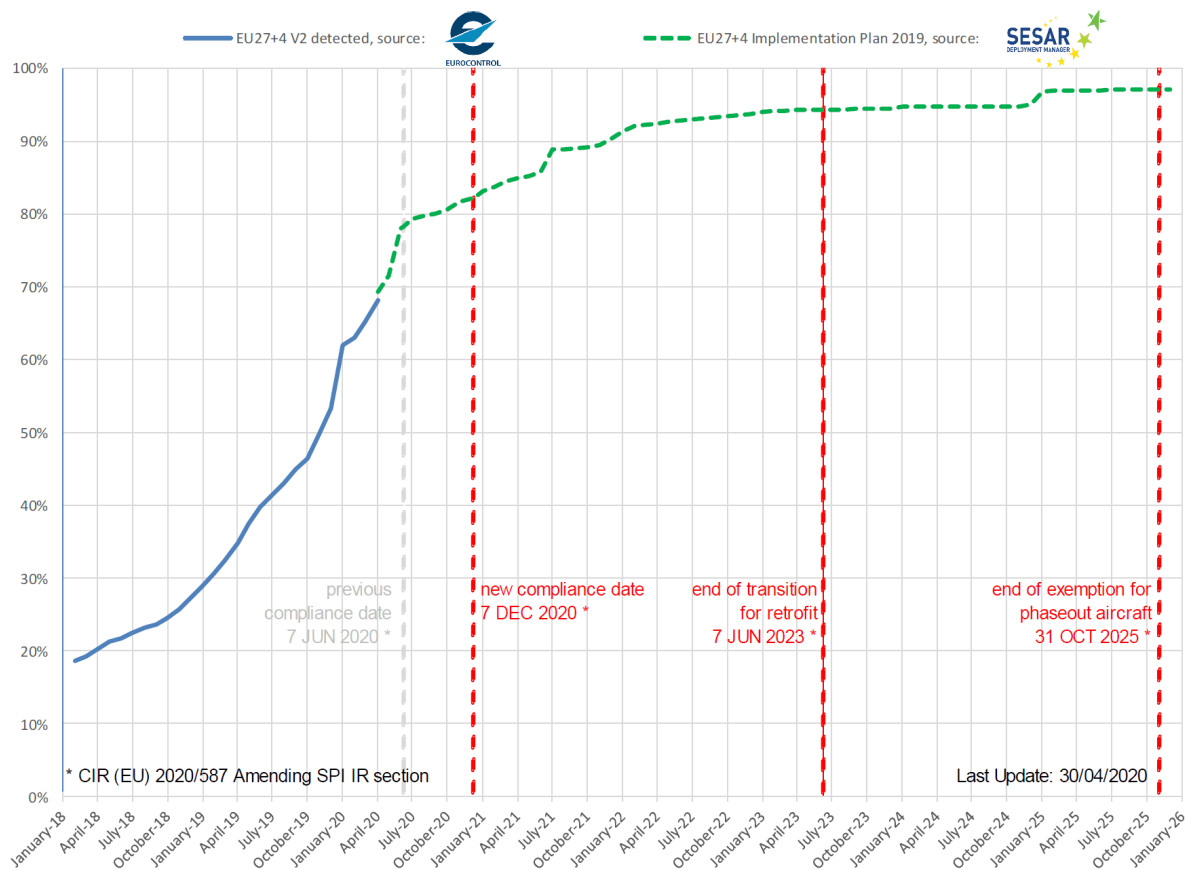
který dokáže tyto zprávy přenášet ve vybraných vzdušných prostorech či letových hladinách. Vzhledem k tomu, že technologie UAT je plně podporována pouze v USA, bude následující rozbor implementací věnován právě USA a také Evropě a současné situaci nad Evropským vzdušným prostorem. [21]

4.2.1 Implementace ADS-B v Evropě

Jelikož systém ADS-B patří svou jednoduchostí, efektivností a cenou mezi velmi spolehlivé přehledové systémy a je schopen nahradit nebo doplnit stávající SSR Múd S systém, bylo v různých částech světa rozhodnuto o povinné implementaci této technologie. Vzhledem k různým regionům a správám letového provozu přes jiné úřady však nejsou tato zavedení ADS-B systému rozšířena na celý svět, ale pouze na určité regiony. V některých regionech v závislosti na různých parametrech letadla je nebo bude zaveden mandát na vybavení letadel technologií ADS-B. [40]

V Evropském letovém prostoru je dle nařízení č. 1207/2011 a následné úpravě č. 2020/587 rozhodnuto o mandátu, který stanovuje, že veškerá letadla s hmotností MTOW větší než 5,7 tun nebo maximální letovou rychlostí větší než 250 kt, která užívají evropského letového prostoru, musí být vybavena zařízením, která jsou schopná přenášet ADS-B zprávy. [41]

Po 7. prosinci 2020 nesmí žádné letadlo, které nespĺňuje tyto podmínky, užívat evropského letového prostoru. Platí zde i jisté výjimky. Mezi ně patří jisté typy letadel, jako jsou např. státní letadla. Pro ty platí, že pokud nebudou vybavena ADS-B transpondérem, musí to být buď z důvodů, že do dne, kdy mandát vstupuje v platnost nebudou již v provozu nebo z technických důvodů nebude možná jejich instalace či z důvodů, že by jejich implementace mohla omezit zadávání zakázek. Další z těchto výjimek mají některá starší letadla, kterým byla posunuta lhůta a mohou tak využít dodatečného přechodného období, které končí 7. června 2023. Pro letadla, kterým skončí jejich provozuschopnost před 31. října 2025 rovněž platí výjimka a na tyto stroje se systém ADS-B implementovat nemusí. Platí tak tedy, že od 1. listopadu 2025 nesmí být na evropském nebi provozován let, kde letadlo bude těžší než 5,7 tun (MTOW) nebo bude dosahovat rychlostí větších než 250 uzlů, který nebude vybaven systémem ADS-B. Z důvodu pandemie způsobenou virovým onemocněním typu SARS-COV2 se původní termín 7. června 2020 posunul o půl roku na již zmiňovaný konec roku 2020. Graf na obrázku č. 18 ukazuje přehledně implementační lhůty pro jednotlivé skupiny a aktuální vybavení letadel systémem ADS-B v procentuální míře. [42]



Obrázek 18: Graf zavedení ADS-B v Evropě [40]

4.2.2 Implementace ADS-B v USA

Americký úřad pro civilní letectví FAA vydal 2 nařízení, konkrétně 14 CFR 91.225 a 14 CFR 91.227, ve kterých stanoví pravidla pro vybavení letadel pohybujících se po vzdušném prostoru na Spojenými státy americkými. V nich pojednává o povinnosti být vybaven zařízením ADS-B OUT, pokud se letadlo pohybuje po řízeném vzdušném prostoru třídy A, B, C a E. Kromě vzdušného prostoru třídy A, kde toto nařízení platí pro všechny účastníky provozu, se u zbylých vzdušných tříd podmínky jemně upravují. Pokud se letadlo pohybuje ve vzdušném prostoru třídy C, je nutné, aby byl vybaven ADS-B OUT zařízením ve výškách v rozmezí od země až do 4 000 ft, v některých případech až do 10 000 ft MSL (Mean Sea Level), dále ve všech výškách v okruhu 30 NM od letišť zmíněných v příloze D, Sekci 1, části 91 samotného nařízení. Jedná se o větší letiště, jako jsou třeba SEA, PHX, CLE až do výšky 10 000 stop. Ve vzdušném prostoru třídy E platí povinnost být vybaven ADS-B OUT transpondérem v případě, že letadla letí ve výšce vyšší než 10 000 ft. Nemusí být jim vybaven, pokud se pohybuje v těchto výškách a zároveň neletí výš než ve výšce 2 500 ft AGL. Dále platí výjimka pro Mexický záliv, kde je nutné mít nainstalovaný odpovídáč ADS-B v případě, že se letadlo pohybuje ve výškách vyšších než 3 000 stop nad hladinou

moře. To platí pro oblast, která je vzdálená 12 NM od pobřeží Spojených států Amerických. Dále pak ve třídě B, a to od země až po oblast dosahující 10 000 stop MSL. [43]

Ve všech těchto oblastech, které vyžadují vlastnění transpondéru je zároveň povinnost být vybaven verzí 2 ADS-B OUT systémem. Tím může být systém ADS-B, který je přenášen technologií 1090ES nebo UAT. Pro letecké operace přesahující výšku FL180, tedy lety operující ve vzdušném prostoru třídy A, a pro možnost použít i jiný vzdušný prostor než ten americký, je nutné, aby byl na palubě nainstalován ADS-B transpondér založený na typu Módu S, tedy 1090ES. Pro lety v hladinách menších, než FL180 může být letadlo vybaveno buď přenosovou technologií 1090ES nebo UAT. [43] [44]

Toto nařízení platí pro všechna letadla, která disponují na svých palubách elektronickými systémy. V případě že nedisponují a pohybují se ve výše zmíněných vzdušných prostorech, anebo zavedení těchto elektronických systémů do letadla není možné, nemusí být tato letadla vybavena ADS-B OUT vysílačem. Mezi takové stroje patří např. balóny nebo kluzáky. [43]

Obrázek níže popisuje graficky oblasti, ve kterých má pilot povinnost pilotovat letadlo, které vysílá zprávy typu ADS-B. [44]



Obrázek 19: Obrázek znázorňující třídy vzdušného prostoru Spojených států amerických a povinnosti spojené s vybavením ADS-B transpondéru [44]

Celé nařízení je v platnosti od 1. ledna 2020 a po tomto datu nesmí žádné letadlo, které tuto podmínku nesplňuje vstoupit do vzdušného prostoru USA. [43]

4.3 Návrh implementace UAT v evropském regionu pro palubní zařízení

Nad evropským nebem je v nynější době používaná technologie 1090ES pro přenos ADS-B zpráv. Ta využívá dle implementačních standardů a prováděcího zařízení prováděcí zařízení (EU) č. 2018/1139 frekvenci 1 090 MHz. Od 7. června 2020 je povinnost mít vybaveno letadlo tímto systémem, pokud je letadlo těžší než MTOW 5,7 t a je schopno letět rychlostí vyšší než 250 kt. Neuplatňuje však žádná pravidla pro letadla, která těchto standardů nedosáhnou. Pro lepší přehledové dění na nebi je proto důležité, aby i menší letadla z kategorie všeobecného letectví byla vybavena obdobným zařízením a přenášela tak své přehledové informace pomocí ADS-B zpráv. Pro ulehčení provozu a odlehčení od již velmi vytíženého pásma 1 030 a 1 090 MHz byl vypracován návrh, aby pro přenos zpráv pro tento typ letadel byl využitý přenosový systém UAT.

Hlavním cílem je zavedení povinnosti pro další letadla, která se pohybují ve vzdušném prostoru členských států. Pro letadla, která jsou již vybavena systémem ADS-B a splňují podmínky již uvedené v platném nařízení nebudou platné žádné změny. Návrh pojednává přidání dalších povinností pro letadla, která nedosahují maximální cestovní letové rychlosti 250 uzlů nebo jejich MTOW váha je nižší než 5 700 kg. Hlavním kritériem, v jakých případech bude muset být letadlo vybaveno zařízením schopným odesílat zprávy ADS-B je vzdušný prostor a zároveň i typ letadla.

4.3.1 Provozní omezení implementace UAT

Ve Spojených státech amerických, tedy jediné zemi, kde je aktuálně systém UAT plně podporován, je povinnost pro letadla být vybavena odpovídačem na palubě podmíněna vzdušným prostorem, který letadla využívají. Pokud letadla využívají vzdušného prostoru kategorie A, znamená to, že piloti letí podle IFR (Instrument Flight Rules) a zároveň letí ve výšce vyšší než 18 000 ft. V tomto prostoru však musí být letadla vybavena systémem 1090ES. UAT mohou využívat letadla, která létají v jiných třídách vzdušných prostorů. Konkrétně se jedná o třídy B, C a E, až na lokální výjimky popsány v samotném nařízení. Výjimky platí i pro typy letadel, ty však budou popsány v následující kapitole. [43]

Při zavádění evropských mandátů je důležité sjednotit v jakých výškách, případně vzdušných prostorech, bude nařízení platit. Jelikož má každá země Evropské unie odlišné rozdělení a využití vzdušných prostorů, je důležité najít takové řešení, aby nové podmínky pro implementaci UAT v Evropě byly jednoduché k zavedení a odpovídaly co možná nejvíce jednotlivým úpravám tříd vzdušných prostorů v členských zemích.

V České republice je využíván vzdušný prostor, který je rozdělen do 4 klasifikačních tříd. 3 z nich jsou řízené vzdušné prostory a 1 neřízený, kde se poskytuje všem letům pouze letová informační a pohotovostní služba. Ten je označován jako třída G. Mezi řízené třídy vzdušných prostorů patří třídy C, D a E. Výškově jsou třídy rozděleny následovně: [45]

Tabulka 2: Tabulka zobrazující výškové rozdělení v řízených vzdušných prosterech v ČR [45]

Vzdušný prostor třídy C	Vzdušný prostor v rozmezí FL095 až FL660 a zároveň koncová řízená oblast TMA (Terminal Control Area) Praha
Vzdušný prostor třídy D	Veškeré řízené okrsky CTR (Control Zone) a koncové řízené oblasti TMA (kromě TMA Praha). Tzn. Vzdušné prostory v oblasti letišť od zemského povrchu do určité výšky uvedené v letových příručkách jednotlivých oblastí.
Vzdušný prostor třídy E	Vzdušný prostor mimo oblasti CTR a TMA od výšky 1 000 AGL do výšky FL095

Ve všech třech třídách vzdušného prostoru by bylo dobré, aby byla letadla vybavena systémem, který je schopen odesílat zprávy typu ADS-B pro zvýšení přehledu o provozu. Jelikož ve třídách C a D jsou letadla povinna získat letové povolení před samotným letem, bylo by vhodné, aby zde byla letadla sledována. Stejně tak tomu může být i ve vzdušném prostoru třídy E.

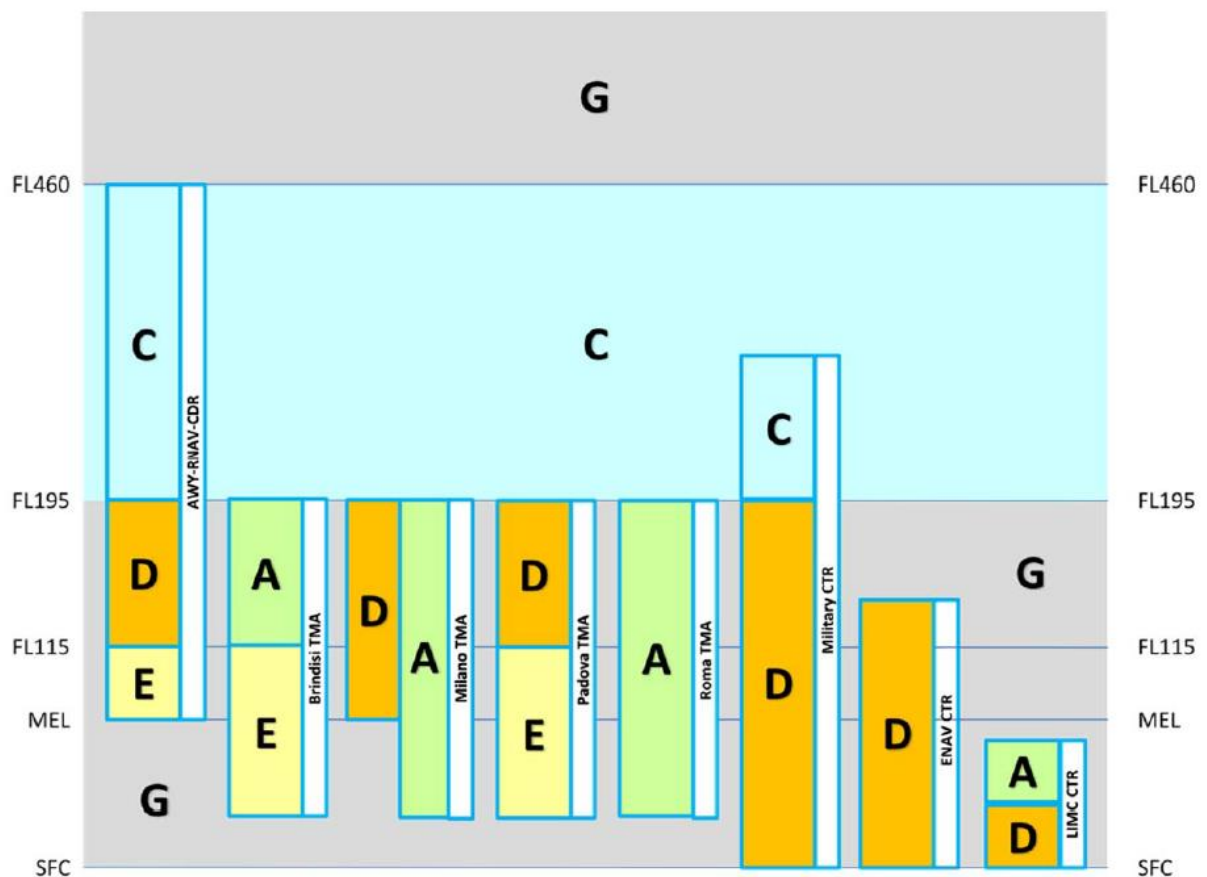
Ve třídách C a D vzdušného prostoru v ČR je provoz nejen sledován, ale pro vstup do této oblasti je potřeba mít letové povolení. Vzhledem k zajištění poskytování služby řízení letového provozu těchto oblastí, kam spadají prostory CTR, TMA a zároveň oblast vyšších letových hladin, by bylo vhodné, aby letadla, která nesplňují podmínky týkající se vybavenosti 1090ES, byla vybavena právě UAT a tím doplňovala přehledové systémy dalšími zprávami ADS-B.

Letadla letící ve vzdušném prostoru třídy E sice nepodléhají povolením k letu, bylo by však vhodné, aby zavedení transpondérů na letadlech platila i pro tuto třídu. Jelikož se do této kategorie můžou řadit vyhlídkové lety nebo jiné lety podobného typu, které většinou spoléhají na let v podmínkách VFR (Visual Flight Rules), může se zdát implementace pro tuto třídu nadbytečná. Avšak s rostoucí poptávkou po provozu rekreačních či sportovních letů v této oblasti se zvyšuje počet letů, které se pohybují převážně ve vzdušném prostoru třídy E. Při náhlé změně meteorologických podmínek, kdy může dojít k poklesu viditelnosti, se schopnosti pilota sledovat vzdušný prostor zhoršují a přehledová informace by mohla zvýšit bezpečnost

provozu v hustém provozu. Dále může hrozit riziko srážky i v případě, kdy se dvě letadla pohybují na stejném kurzu a rychlosti a mohou se dostat do kolizní situace. Nově by mohly přehledové informace získané pomocí UAT zajistit přehled o okolním provozu a vyhnout se právě takovýmto srážkám.

Jednotlivé třídy se však mezi členskými státy EU liší. Například v Německu je sice rozdělení velmi podobné jako v České republice. Využívají se zde stejné třídy jako v ČR, rozdílná je však hraniční výška těchto kategorických tříd. Hranice mezi kategorií C a E je ve výšce FL100 a spodní hranice kategorie E je ve výšce 2 500 AGL. Výjimku tvoří horské oblasti, které jsou uvedené v AIP pro Německo. Tam je hranice mezi třídami C a E nastavena na FL130. [46]

V Nizozemsku používají například vyšší třídy vzdušných prostorů A a B klasifikované mezinárodní organizací pro civilní letectví ICAO (International Civil Aviation Organization). Dále se zde liší podmínky pro lety VFR, kde letová hladina FL100 a výška 3 000 ft AGL rozlišují podmínky pro užívání vzdušného prostoru. Itálie má organizaci svého vzdušného prostoru rozdělenou do oblastí podle regionu a podle výšky. Rozdělení podle výšky na vyšší prostor a nižší prostor se následně rozděluje do tříd vzdušného prostoru. Hranicí mezi vyšším a nižším vzdušným prostorem je výška FL195. Vyšší vzdušné prostory v Itálii se dělí do tříd C a G, hranicí pro ně je výška FL460. U nižších vzdušných prostorů je hranice mezi výškou u jednotlivých tříd rozdílná. Nejčastěji je to však výška FL115 a výška 1 500 ft AGL. Grafický přehled tříd italského vzdušného prostoru je uveden v obrázku č. 19 spolu s příklady oblastí TMA a CTR. [47] [48]



Obrázek 20: Třídy vzdušných prostorů spolu s oblastmi CTR a TMA nad Itálií [48]

Další státy Evropské unie mají svůj vzdušný prostor rozdělen podobně do několika tříd, ne však všechny jsou používány. Některé státy používají všechny možné prostory, některé státy ale nikoliv a v užití jsou pouze některé třídy vzdušných prostorů.

V provozu v jednotlivých třídách vzdušného prostoru odpovídají pravidla v závislosti na typu letu IFR nebo VFR. Ve většině států je povinnost být vybaven odpovídačem SSR v módu S s funkcí alespoň Elementary Surveillance¹, pokud letadla provozuje lety IFR. Pro VFR lety platí tato povinnost pouze ve větších výškách většinou nad hranicí FL100, avšak tato hranice se podle členských států mění. Pokud se letadlo zároveň pohybuje ve větší rychlosti než 250 kt nebo jeho hmotnost MTOW přesahuje 5 700 kg, musí být vybaven odpovídačem módu S Enhanced Surveillance².

¹ Elementary Surveillance zahrnuje požadavky na schopnost palubního odpovídače módu S vysílat určité typy zpráv. [9]

² Enhanced Surveillance – zahrnuje požadavky na schopnost palubního ovladače módu S vysílat typy zpráv Elementary Surveillance rozšířené o další typy zpráv. [25]

Dle tříd provozu se dále v některých případech upravují podmínky i pro použití odpovídače módu A/C. Ty jsou ale omezené jen na některé výšky, příp. traťové lety VFR v noci. V jiných zemích je použití těchto již zastaralých odpovídačů zakázáno.

Vzhledem k pořizovací ceně odpovídačů módu S a odpovídačů typu UAT, kde UAT je levnější variantou, by bylo dobré, aby šlo pro určité kategorie letadel nahradit funkčnost vybavení odpovídačem módu S právě UAT.

Pro implementaci UAT by bylo vhodné seskupit jednotlivé podmínky provozu pro lety IFR/VFR a dále podle tříd vzdušného provozu. Ve vzdušných prostorech tříd A-D jsou platné mandáty na vybavení odpovídačem módu S a technologií ADS-B na 1090ES pro kategorie letadel těžší než 5 700 kg nebo přesahující maximální letovou rychlost 250 kt dle nařízení EU č. 2018/1139. V případě, že by těchto vzdušných prostorů chtělo využít jiné letadlo, které do této kategorie nespadá, musí dodržet platná pravidla na vybavení radiokomunikačními zařízeními pro jednotlivé vzdušné prostory a zároveň se řídit pravidly pro typ prováděného letu. U těchto kategorií je v návrhu na zavedení UAT doporučeno, aby mohla být letadla vybavena právě UAT. To by zajistilo přehledovou informaci pro řízení letového provozu a taktéž by umožnilo uživatelům vzdušného prostoru použití levnější technologie. Zároveň by se mohl tento návrh rozšířit i o zapojení letadel letících podle VFR v noci. Jelikož tato letadla nemusí být vybavena SSR módem s funkcí Elementary Surveillance, znamenalo by to pro tyto lety povinnost být vybaven UAT transpondérem, který rozšíří odesílané informace. Pro tyto lety je důležité, aby vysílaly své přehledové informace i za dobré viditelnosti. I při dobré viditelnosti může dojít ke srážce a sdílení přehledových informací může být jednou z možností, jak zvýšit bezpečnost letového provozu. V obou případech jak letů IFR, tak letů VFR v oblastech vzdušných tříd B, C a D je v návrhu nastaveno datum implementace na 31. prosince 2028.

V dalším prostoru, konkrétně třídy E bude situace mírně odlišná. Na rozdíl od tříd A až D se ve třídě E mohou lety provozovat v některých státech bez toho, aniž by vyžadovaly letové povolení v případě, že by se jednalo o let VFR. V tomto prostoru by implementace UAT zvýšila bezpečnost provozu a samotným uživatelům vzdušného prostoru poskytla přehledovou informaci o okolním provozu. Nejdříve, po zajištění pozemní infrastruktury UAT pozemních stanic, bude nutné, aby letadla provozující let dle pravidel letu podle přístrojů měla na palubě nainstalován UAT odpovídač. To samé bude platit pro lety VFR. Poslední termín, kdy se letadla budou moci pohybovat po tomto vzdušném prostoru bez UAT byl stanoven na 31. prosince 2031.

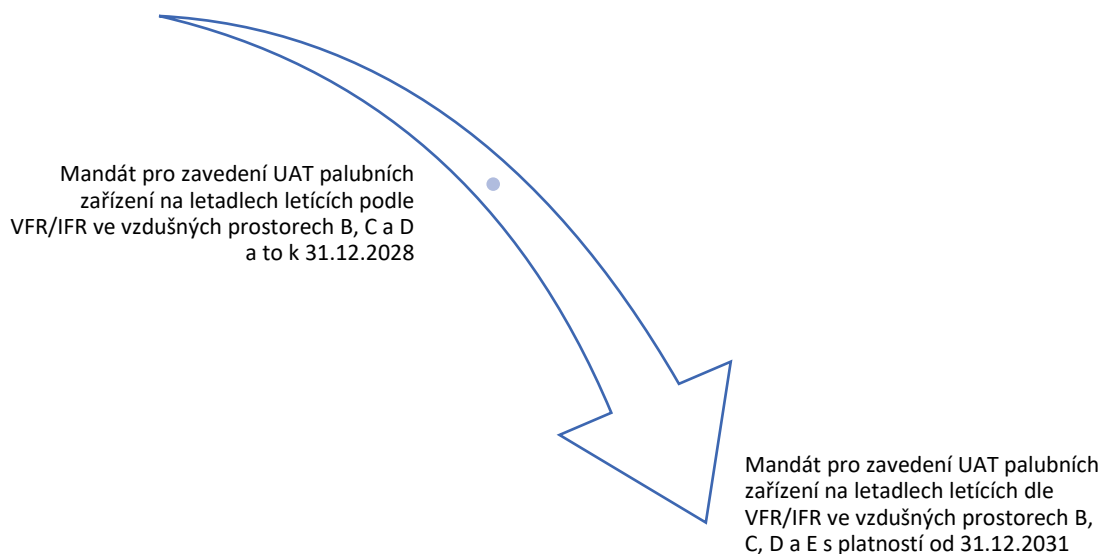
Tabulka níže ukáže, jaké typy letů a provozních tříd by musely být vybaveny buď zařízením UAT nebo SSR odpovídačem módu S spolu s fází implementace.

Tabulka 3: Tabulka povinného vybavení pro jednotlivé typy letů [autor]

Třída a typ letu	A	B	C	D	E
IFR pro lety na 5 700 kg nebo maximální TAS 250 kt	ADS-B (1090ES)	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B
VFR pro lety na 5 700 kg nebo maximální TAS 250 kt	N/A	ADS-B	ADS-B	ADS-B	ADS-B
IFR pro lety pro lety na 5 700 kg nebo nepřesahující TAS 250 kt	ADS-B (1090ES) / SSR móde S	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v druhé fázi)
Traťové lety VFR v noci	N/A	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v druhé fázi)
VFR pro lety pro lety na 5 700 kg nebo nepřesahující TAS 250 kt	N/A	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde S (implementace ADS-B v první fázi)	ADS-B / SSR móde A/C (implementace ADS-B v druhé fázi)

Implementační mandáty se nebudou týkat letadel, která jsou již vybavená technologiemi 1090ES a odpovídačem módu S s funkcí Enhanced Surveillance. Pro tato zařízení by takové rozšíření nemělo význam.

První etapou bude implementace letadel ve třídách B, C a D, tedy v oblastech, kde mají letadla povinnost mít letové povolení. V této oblasti by zavedení do provozu muselo přijít nejpozději 31. prosince 2028. Druhou fází by představovalo rozšíření prostoru, kde by bylo UAT využíváno, a to o další třídu vzdušného provozu E. Zde by proběhlo rozšíření o 3 roky později, tedy 31. prosince 2031.



Obrázek 21: Časové schéma implementačního mandátu pro palubní zařízení UAT [autor]

Letový prostor třídy A bude vyžadovat po letadlech, aby byla vybavena přenosovou technologií 1090ES. Hranice mezi vzdušným prostorem třídy A a B není ve většině Evropy pevně stanovena. Pro lepší přehled, do jaké výšky se bude moci používat UAT by bylo vhodné stanovit hranici, nejlépe odpovídající hranici nižšího a vyššího vzdušného prostoru. Ten se ve většině zemí pohybuje kolem FL195 a mohlo by se zavést pro všechny státy.

4.3.2 Rozdělení podle typu letadel

Ne veškerá letadla, která budou prolétávat prostorem vyhrazeným v kapitole výše budou mít povinnost vybavení transpondérem UAT. Do takových výjimek budou podobně jako v USA spadat letadla, která nedisponují elektronickým systémem zpracovávajícím data o poloze, výšce, rychlosti a dalších attributech. Tyto informace jsou na těchto letadlech zobrazovány analogově, anebo vůbec, a proto by jejich přenos nebyl možný. V případě, že by se dalo toto zařízení zdigitalizovat a umožnit tak instalaci UAT transpondéru do letadla, mělo by se tak učinit. O tom musí rozhodnout výrobci letadel u každého z modelů, zda je tato operace možná či nikoliv. V případě že ano, budou provozovatelé letadel nuceni naimplementovat jak digitální zařízení, tak UAT transpondér na palubu.

Mezi výjimky uvedené výše platí větroně, případně kluzáky, kde starší modely disponují pouze analogovými systémy zobrazující letové informace. U novějších modelů je v některých případech možné číst letové údaje z digitálních palubních přístrojů. Dalším případem, kde

implementace nebude vyžadována je případ balónů, rogal, padáků, draků apod. Dále sem patří experimentální letadla uvedená v kategoriích letadlech předpisu L8, mezi nimiž se nachází modely letadel, letadla zkoušející nové koncepce, dále předváděcí letadla aj. [32]

Do další výjimky, kde letadla nemusí být vybavena transpondérem ADS-B zpráv jsou přidána akrobatická letadla popsána v Hlavě 6 leteckého předpisu L8. Do této kategorie spadají letouny a kluzáky schválené pro akrobatický provoz a jejich využití je převážně sportovní a soutěžní. Dále sem patří státní a vojenská letadla, která z důvodů státní a vojenské bezpečnosti nemusí zveřejňovat svá přehledová data. [32]

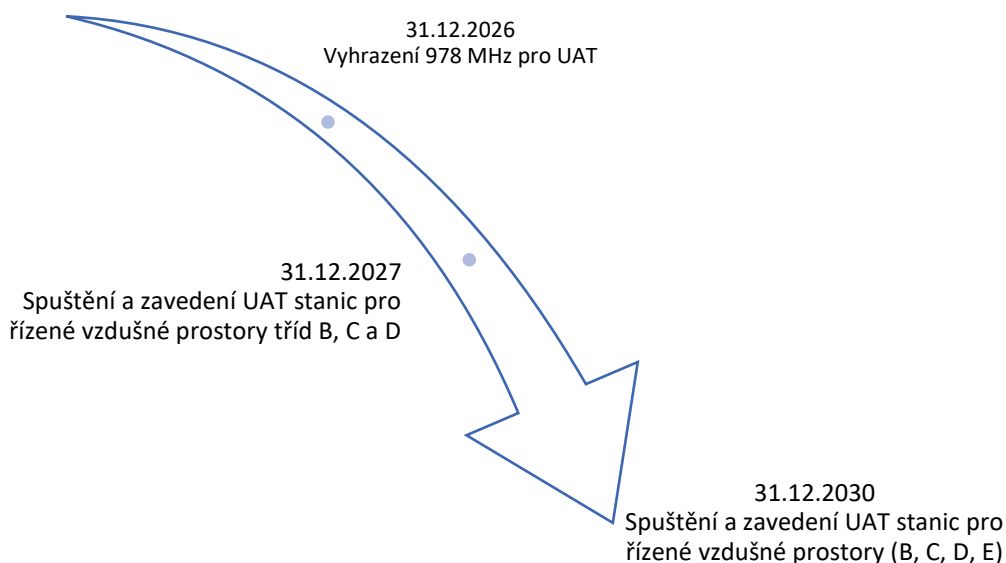
Odpovídačem a vysílačem UAT by mohly být vybaveny i drony a další bezpilotní letadla, které splňují podmínky z kapitoly 4.3.1. Jelikož tato bezpilotní letadla jsou moderním leteckým zařízením, jsou ony schopny díky své technologické pokročilosti přenášet data mezi pilotem, který je většinou na zemi a ovládá letadlo pomocí těchto informací přenášených z letadla. Jelikož uživatel těchto bezpilotních letadel často vidí jen základní informace o výšce, rychlosti a poloze, ale nemá vždy přehled o okolním dění, mohli by uživatelé takové informace získávat a využívat je k lepší orientaci v okolí za pomoci funkce ADS-B IN a informací TIS-B a FIS-B. U některých menších bezpilotních letadel, kde samotná velikost létajícího zařízení je poměrně malá, je velmi přínosná informace pro řídicí letového provozu, kde se takovéto drony nachází. ATC tak má přehled i o těchto malých letadlech a může pomoci se vyvarovat případným srážkám s o mnoho většími letadly, které si jich nemusí vizuálně všimnout. U dronů se také počítá i s jinými přehledovými systémy, které by mohly vysílat svá data o provozu, či systémy DAA (Detect And Avoid), které by dokázaly zajistit úhybná manévry bez nutného zásahu ATC. Zatím však není přesně stanoveno, jak budou podobné systémy v rámci provozu UAS implementovány.

Instalace palubních transpondérů odesílajících zprávy ADS-B do letadel, která nespádají do výjimek a splňují podmínku o využití konkrétních tříd vzdušných prostorů, musí proběhnout do 31. prosince 2028. V případě, že tyto podmínky nebudou splněny, piloti nebudou smět vstoupit a provozovat let ve vzdušných prostorech, kde bude implementační nařízení platit.

4.3.3 Návrh implementace UAT v evropském regionu pro pozemní infrastrukturu

Povinnost implementace se týká i poskytovatelů služeb letového provozu. Ti musí do 31. prosince 2027 zřídit na území členských států pozemní stanice systému UAT, aby tak byl později umožněn přenos dat mezi pozemními stanicemi a transpondéry UAT na palubách letadel. Zřízení stanic musí být provedeno takovým způsobem, aby síť těchto stanic obklopila celý sledovaný evropský region a pokryla tak vzdušný prostor členských států. V souladu

s návrhem na palubní vybavení je nutné nejdříve zajistit pozemní infrastrukturu pro třídy vzdušného prostoru B, C a D a do 31. prosince 2030 také na třídy E, kde bude pokrývat i tento řízený vzdušný prostor. Zároveň je nutné zprovoznit postupně veškeré služby, které UAT podporuje, a to nejen vysílání a příjem ADS-B, ale i, ale i vysílání TIS-B a FIS-B. Vzhledem k vysokým finančním nárokům na výstavbu infrastruktury by bylo vhodné podpořit finanční spoluúčasť od Evropské unie. Jakákoliv finanční podpora by koncové subjekty motivovala k urychlení výstavby pozemní infrastruktury.



Obrázek 22: Přehled implementačních mandátů pro UAT pozemní infrastrukturu [autor]

V případě zavádění UAT by bylo možné využít také motivace na výstavbu ze soukromého sektoru, která by mohla usnadnit financování pro ATSP (Air Traffic Service Provider). Soukromé společnosti, které nabízejí palubní vybavení UAT, by mohly ve svém zájmu pozemní infrastrukturu vybudovat a investice by se jim vrátila v podobě prodaných produktů palubního vybavení. Následně by mohly také zajišťovat provozování pozemních stanic a poskytování dat v zajištěné kvalitě poskytovatelům letových navigačních služeb. Takový návrh implementace v sobě ovšem nese rizika komerčního sektoru a bylo by nutné se problematikou podrobněji zabývat, aby se nastavila spolupráce, která by zajistila včasné vystavění pozemních stanic a dostatečnou spolupráci s evropským koordinátorem i ANSP pro zajištění provozní bezpečnosti systému.

Předpokládá se, že důležitou roli při výstavbě bude hrát i EUROCONTROL, od kterého se očekává stanovení nejlepší polohy a počtu pozemních stanic pro vytvoření optimální sítě

rozmístění napříč evropským regionem a následná koordinace při zavádění UAT. Obzvláště rozmístění je důležitým krokem při zřizování systému UAT. Jednotlivé stanice musí být od sebe vzdáleny v takové vzdálenosti, aby se svým dosahem vzájemně zbytečně nepřekrývaly, ne však aby vznikala nepokrytá místa na evropském prostoru. Důraz se musí klást na oblasti v okolí hranic jednotlivých států, aby i tyto části vzdušného prostoru nezůstaly nepokryté. Pomůže to systému splňovat jak správné plnění funkce, tak bude výstavba efektivnější a ekonomičtější, co se týče nákladů.

Při správné funkčnosti systému mohou rozmístěné pozemní stanice UAT splňovat další funkci, a to vytvářet další záložní zdroj informací o poloze letadel na bázi multilateračního systému. Propojení celé sítě pozemních stanic by tuto funkci umožnilo a získaná data by mohla být odesílána poskytovatelům letových navigačních služeb, kteří by je mohly dále využívat. Při případném výpadku ADS-B zpráv z přenosové technologie 1090ES by získané informace plnili záložní zdroj informací.

Pro samotné fungování je však potřeba vyřešit další komplikaci celé implementace systému UAT. Tou je totožné užívání některých kanálů radionavigačního zařízení DME/TACAN a systému UAT. Kanál 17X, který vysílá na stejné frekvenci jako UAT přímo zasahuje do užívání tohoto kmitočtu a není tak možné, aby oba systémy užívaly této frekvence. Nově tak od 1. ledna 2027 má systém UAT výhradní právo pro užívání frekvence 978 MHz. Jednotlivé členské státy tak mají za úkol vyčlenit a vymezit kanál 978 MHz pro použití systémem UAT. Pozemní stanice na kanálu DME 17X tak musí být přeladěny. V následující tabulce je vypsán seznam všech stanic, které kanál 17X používají ve členských státech EUROCONTROLu. Tmavě jsou zvýrazněné státy, které nepatří mezi členské státy Evropské unie.

Tabulka 4: Seznam všech zařízení vysílajících na kanále 17X ve členských státech EUROCONTROLu [36]

P. č.	Země	Místo	ID	Typ	Poloha
1	Turecko	Usak	4320	VOR/DME	384101N 292831E
2	Německo	Celá země	4420	VOR	„Celá země“

Jelikož ale signály ze sousední frekvence 979 MHz mohou zasahovat do fungování systému UAT a narušovat jeho průběh, nový návrh předkládá změnu ve fungování tohoto kmitočtu pro radiokomunikační zařízení DME, případně ILS. Nově bude i kanál 979 MHz vyhrazen

výhradně pro UAT a veškeré pozemní stanice DME nebo ILS musí být přeladěny na jinou frekvenci, ve které by mohly působit. V případě, že by lokální využití jiných frekvencí zabraňovalo pozemní stanice přeladit, bude možné tyto stanice ponechat na svých původních kmitočtech pouze za podmínky, že bude provedena studie, ve které se bude zkoumat rušení signálů mezi stanicemi UAT a DME na konkrétních stanicích. V případě, že by byly pozemní stanice DME a UAT v dostatečné vzdálenosti od sebe a studie by vyvrátila tvorbu rušení, bude moci tato konkrétní stanice DME pozůstat beze změny. Oproti kanálu 17X je kanál 18X, který funguje na frekvenci 979 MHz, využívaný ve větší míře. Tabulka níže zachycuje přehled všech radiokomunikačních zařízení, které využívají tuto frekvenci.

Tabulka 5: Seznam všech zařízení vysílajících na kanále 18X ve členských státech EUROCONTROLu [36]

P. č.	Země	Místo	ID	Typ	Poloha
1	Rakousko	Vídeň Schwechat	4573	ILS/DME	480723N 163436E 480529N 163532E 480529N 163533E
2	Bosna a Hercegovina	Mostar	6544	ILS/DME	431624N 175117E 431624N 175118E
3	Francie	Hyeres	5264	ILS/DME	430624N 060943E 430546N 060847E
4	Finsko	Pori	35445	ILS/DME	612810N 214637E 612730N 214821E
5	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Belfast City	7313	ILS/DME	543736N 055144W 543654N 055244W 543710N 055230W
6	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Belfast City	7314	ILS/DME	543638N 055253W 543724N 055207W 543710N 055230W

7	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Benbecula	3352	ILS/DME	572900N 072300W 572830N 072213W
8	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Benbecula	3353	ILS/DME	572900N 072300W 572830N 072213W
9	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Dundee	5073	ILS/DME	562708N 030043W 562712N 030159W 562706N 030133W
10	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Guernsey	5400	ILS/DME	492607N 023524W 492609N 023635W 492610N 023613W
11	Spojené království Velké Británie a Severního Irska	Guernsey	5401	ILS/DME	492604N 023704W 492610N 023551W 492610N 023613W
12	Itálie	Řím Fiumicino	7293	ILS/DME	414833N 121637E 415037N 121551E
13	Lotyšsko	Riga	6115	ILS/DME	565625N 235826E 565433N 235801E
14	Norsko	Sogndal	2627	ILS/DME	610924N 070835E 610927N 070822E
15	Norsko	Honningsvåg	2551	ILS/DME	710033N 255831E 710100N 255800E 710033N 255830E
16	Polsko	Katowice	57425	ILS/DME	502833N 191637E

17	Polsko	Sczytno Szymany	28351	ILS/DME	532942N 205642E 532828N 205554E
18	Švédsko	Gallivare	2839	ILS/DME	670811N 204741E 670744N 204932E
19	Švédsko	Linköping Saab	74287	ILS/DME	582441N 153922E 582410N 154208E
20	Švédsko	Malmö Sturup	2898	ILS/DME	553302N 132224E 553134N 132250E 553134N 132251E
21	Turecko	Ankara Esenboga	3097	ILS/DME	400640N 325850E 400823N 330022E
22	Turecko	Antalya	5095	ILS/DME	365450N 304842E 365300N 304832E
23	Turecko	Batman	6175	ILS/DME	375643N 410736E 375509N 410634E
24	Turecko	Kutahya	7167	ILS/DME	390605N 300843E 390704N 300709E
25	Turecko	Istanbul Havalimani	67285	ILS/DME	411524N 284830E
26	Arménie	Yerevan Zvartnots	59	ILS	400851N 442527E 400846N 442238E
27	Německo	Ingolstadt	6076	ILS	484211N 113045E 484243N 113309E
28	Německo	Spangdahlem	5216	ILS	495753N 064050E 495905N 064233E
29	Německo	Kassel-Calden	7190	ILS	512511N 092452E 512521N 092247E

30	Francie	Toulouse Enac	1404	ILS	433700N 012200E
31	Francie	Luxeuil St Sauveur	1208	ILS	474653N 062213E 474723N 062013E
32	Rumunsko	Campia Turzii	5470	ILS	463000N 235200E
33	Švédsko	Linköping Saab	2889	ILS	582441N 153922E 582417N 154134E

Z tabulek 3 a 4 vyplývá, že celkem s 35 vysílači je nutné provedení různých opatření. Šedě jsou zvýrazněna zařízení, která se nachází v oblasti Evropské Unie. Tmavou barvou pak zařízení mimo ni. Co se týče kanálu 17X, tak jediné Německo spadá do oblasti letového prostoru v Evropské Unii. Spolková republika tak musí převést veškeré operace z kmitočtu 978 MHz na jiný tak, aby nerušily jiné systémy na novém kmitočtu a aby systém VOR stále splňoval svou funkci. U vysílačů nacházejících se na kanále 18X, z nichž 17 z nich se nachází v oblasti Evropské Unie, je nutné jejich přeladění. Pouze v případě, že přeladění nebude možné, protože by vysílače kolidovali s jinými systémy, bylo by nutné provedení studie a posouzení, zda jednotlivé vysílače nebudou zasahovat do oblasti blízkého výskytu UAT pozemních stanic. Tato operace bude možná, až po zhotovení finálního projektu, kde již veškeré stanice systému UAT budou zhotoveny.

4.4 Průběh implementace

K implementačnímu návrhu byly předkládány datумы, ke kterým by měly být zavedeny jednotlivé části mandátu. Ty však bude možné splnit v případě, že by prováděcí nařízení na zavádění systému UAT bylo schváleno do konce roku 2021.

Na samotném počátku zavádění UAT technologie je potřeba připravit frekvenci 978 MHz pro výhradní použití pro systém UAT. To znamená vytvoření studie na přeladění nejen systémů na kanálu 17X, ale i na kanálu 18X a následné přeladění systémů DME/TACAN, DME/VOR a DME/ILS. To vše je nutné provést do 31. prosince 2026 včetně. Následující den totiž vstoupí v platnost nařízení, které přenechá tuto frekvenci pouze pro užívání přes přenosovou technologii UAT.

Mezitím je nutné zahájit přípravu plánování a výstavby pozemních stanic systému UAT. Plán, který je prvotním krokem k úspěšnému pokračování, bude mít za úkol zjistit a navrhnout takové

uspořádání stanic, aby nejdříve pokryl část řízených oblastí u letišť, tedy CTR a TMA. Ve vzdušných prostorech těchto letišť, konkrétně třídách C a D, se spustí pozemní stanice jako první. Zároveň se nesmí zapomenout na integraci těchto stanic napříč jednotlivými ANSP a zajistit systémy pro zpracování UAT dat pro vysílání TIS-B a FIS-B zpráv. To vše musí být zhotoveno do 31. prosince 2027. Další rozšíření pokrytí, a to pro oblast vzdušného prostoru třídy E, musí být provedena do 31. prosince 2030, aby splňovala podmínku, že rok před zavedením povinností být vybaven UAT palubním zařízením, bude UAT v příslušných vzdušných oblastech funkční.

Poslední implementační částí je zajistit, aby veškerá letadla, která se budou účastnit letového provozu ve třídách B, C a D byla vybavena palubním zařízením systému UAT, a to, pokud nesplňují podmínky stanovené EU č. 2018/1139 a nepoužívají již přenosovou technologii 1090ES nebo nejsou vybavena odpovídacem SSR módu S s funkcí Elementary Surveillance. Tato letadla však musí splňovat podmínku, že mají na palubě elektronický systém zaznamenávající data o letu. Jestliže ne, mandát se na ně nevztahuje. Implementace se u letadel rozdělí na dvě vlny. V té první se musí vybavit do 31.12.2028 všechna letadla výše vymezených kategorií (kapitola 4.3.2) letící jak dle pravidel VFR, tak IFR. Ve druhé vlně se rozšíří tato část o účastníky provozu i ve třídě E vzdušného provozu a to od 31. prosince 2031.

Pokud letadlo překročí nižší vzdušný prostor a vstoupí do vyššího vzdušného prostoru, popřípadě výšky FL195, budou muset být vybavena přenosovou technikou 1090ES, jelikož nad hladinou FL195 je stanoveno, že ve vyšších sférách FIR bude v užívání pouze 1090ES z toho důvodu, že ve vyšších letových oblastech létají stroje, které svými kritérii často splňují podmínky ohledně implementace 1090ES a létají převážně IFR lety. Pro všechna ostatní letadla platí, že 31. prosince 2028 musí mít nainstalována systém UAT na palubě letadla, a to samé platí i pro třídu vzdušného prostoru E, akorát s datem platnosti 31. prosince 2031.

Implementace UAT má vést k lepšímu přehledu letového provozu i v neřízených oblastech a nabízí provozovatelům využití levnější technologie, která navíc zajišťuje služby TIS-B a FIS-B a umožňuje uživatelům získávat další informace o aktuální provozní situaci. Graf níže představuje schéma implementačních datumů a zvýrazňuje tak důležité termíny, které nesmí být překročeny. Jedinci, kteří nebudou splňovat tyto normy hrozí, že jim nebude povolen provoz v evropském vzdušném prostoru.

Implementace UAT přispěje k zabezpečení letového provozu a zařízení jak nainstalovaná na palubách letadel, tak i pozemní stanice na zemi, budou fungovat a přispívat k větší spolehlivosti a dostupnosti přehledových dat. Do budoucna by se mohlo přemýšlet nad dalším rozšířením provozu UAT nejen do dalších zemí, ale např. i pro další typy letadel či třídy

vzdušného prostoru a následně by mohli zprávy typu ADS-B a jejich přenosové technologie přebírat a postupně nahrazovat dnešní technologie, jako např. SSR.

Pro pozemní stanice UAT by to znamenalo např. rozšíření pokrytí služeb do nových oblastí, případně i zahuštění sítě z důvodů pokrývání nových vzdušných prostorů. Dále by pozemní stanice mohly využít potenciál hustoty sítě jako možnosti pasivního sledování letadel pomocí možného využití určení polohy multilaterací. Určitým přínosem by bylo postupné přecházení ze systému SSR módu S na ADS-B a uvolňování frekvencí 1 030 a 1 090 MHz. Dále by ATC mohlo získávat více přehledových dat a mít tak větší přehled o leteckém provozu.

V neposlední řadě má tato implementace velkou výhodu pro piloty, kteří při zavedení těchto systémů do letadel budou moci ze získávaných informací o provozu nejen od pozemních stanic, ale i od okolních letadel získávat přehledová data, která jim poslouží k získání většího přehledu o okolním dění a v případě služby FIS-B o meteorologických podmínkách. Technologie UAT může své využití najít také ve vybavení bezpilotních systémů. Ty by přinesly výhody jak dálkově řídicím pilotům, díky získání většího přehledu o okolním provozu a totéž by platilo i pro řídicí letového provozu.

Závěr

V úvodu práce se pojednává o samotném systému UAT. Specifikuje se, jakým způsobem funguje, jaké zprávy přenáší, jaké jsou další možnosti přenosu zpráv a jaké jsou potřeba zařízení, aby technologie vůbec mohla fungovat. Popisuje, jak vypadá datová zpráva, která je přenášena a jak funguje pozemní stanice, která přijímá a vysílá jednotlivé zprávy. V rámci problematiky systému UAT je popsáno aktuální využití technologie a další místa, kde je systém provozován ve fázi testování. Třetí kapitola hovoří o pásmu, kde se přehledové systémy provozují. V tomto pásmu se přenáší i signály radionavigačních systémů, které využívají stejné pásmo jako systém UAT, konkrétně systémy DME/TACAN. Pojednává se zde o vzájemné kompatibilitě systémů a dalším možném postupu, jak omezit jejich vzájemné rušení. V závěrečné části je popsán přehled využití technologie UAT a následně implementační mandáty vysílání ADS-B zpráv v regionu USA, kde UAT již funguje, a v Evropě, kde by se mohlo zavádět. Dále je zpracován samotný návrh implementace. Návrh je rozdělen na popis implementace pro palubní zařízení, který se zabývá specifikováním oblastí, ve kterých se bude muset UAT užívat, a poté určuje letadla, která budou muset být přenosovou technologií UAT vybavena. Další částí implementačního návrhu je zajištění pozemní infrastruktury UAT stanic. Nakonec je návrh implementace znázorněn na časové ose a jsou uvedeny možnosti dalšího využití UAT do budoucna.

Implementační návrh má za cíl rozšířit působení přehledových dat v řízených vzdušných prostorech z několika důvodů. Jedním z nich je získání více přehledových dat z letadel, která používají pro přenos přehledových dat odpovídače módu S Elementary Surveillance nebo dokonce v odpovídač módu S v módu A/C, jako je tomu v případě VFR traťových letů. Zároveň počítá s výstavbou sítě UAT pozemních stanic, která tato data budou přijímat a dále zpracovávat a posílat dalším subjektům. Později může následovat další rozšiřování sítě UAT i do okolních zemí, které patří mezi členské státy EUROCONTROLu

Díky implementaci UAT bude muset být zajištěno, aby frekvence 978 a 979 MHz byla uvolněna výhradně pro používání této přenosové technologie a veškeré systémy, které tyto kmitočty do té doby používaly budou muset být přeladěny na jiné, aby nedocházelo k vzájemnému rušení signálů.

Implementací UAT a přechodu z frekvencí 1 030 a 1 090 MHz na 978 MHz se zpočátku ulehčí částečně těmto frekvencím, avšak do budoucna může mít tato operace veliký význam. Nejen že se může dále rozšiřovat vzdušný prostor, kam bude UAT zavedeno, ale zároveň se může přestat využívat odpovídač módu S, jelikož UAT bude schopna tyto odpovídače zcela nahradit

a přejít tak výhradně na přehledový systém, který vysílá informace sám, bez nutnosti nejprve odeslat dotaz.

Tento návrh, ačkoliv je jeho realizace velmi náročná, může pomoci v provozu CNS/ATM systémů a do budoucna tak pracovat nejen s komunikací mezi ATC, popřípadě ADNS, převážně přes přenosy založené na módu S, ale i na dalších technologiích, které ulehčí provoz jako poskytovatelům letových služeb, tak samotným uživatelům.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Then and now: visualizing COVID-19's impact on air traffic. Flightradar24: Live Flight Tracker - Real-Time Flight Tracker Map* [online]. 2020 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.flightradar24.com/blog/then-and-now-visualizing-covid-19s-impact-on-air-traffic/>
- [2] ICAO Doc 9861, Manual on the Universal Access Transceiver (UAT). Second edition. Montréal: ICAO, 2012. ISBN 978-92-9249-127-7.
- [3] Huang Fei, Zhang Jun, Zhu Yanbo and Liu Wei, "Modeling and simulation of an aeronautical subnetwork based on universal access transceiver," 2008 Asia Simulation Conference - 7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing, 2008, pp. 541-544, doi: 10.1109/ASC-ICSC.2008.4675419.
- [4] ICAO doc 9816, Manual on VHF Digital Link (VDL) Mode 4. ICAO, 2004.
- [5] *ADS-B - ADS-B In Pilot Applications* [online]. 2020 [cit. 2021-3-18]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/pilot/>
- [6] EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance (Volume 1): EUROCONTROL Specification SPEC-0147. EUROCONTROL, 2015. ISBN 978-2-87497-022-1.
- [7] CNS SG/8-WP/11, APPENDIX A, MID Surveillance Plan. ICAO MID OFFICE, 2018.
- [8] *Implementation Manual for the Universal Access Transceiver (UAT)* [online]. Montréal: ICAO, 2005 [cit. 2021-4-3]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/acp/ACPWGF/ACP-WG-W-1/ACP-WGW01-Report%20on%20A.I.1-Appendix%20D%20-%20UAT%20Imp%20Manual.pdf>
- [9] *Mode S Elementary Surveillance (ELS) Operations Manual* [online]. Brusel: EUROCONTROL, 2011 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-04/surveillance-mode-s-els-ops-manual-ed-1.0-20110102.pdf>
- [10] *Advisory Circular AC91-24: Automatic Dependent Surveillance — Broadcast (ADS-B) Systems* [online]. Wellington: Civil Aviation Authority, 2021 [cit. 2021-4-7]. Dostupné z: <https://www.aviation.govt.nz/assets/rules/advisory-circulars/AC091-24.pdf>

- [11] *Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast OUT Systems: Advisory Circular 20-165B* [online]. Washington: FAA, 2015 [cit. 2021-4-14]. Dostupné z: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_20-165b.pdf
- [12] Abdulaziz, Abdulrazaq & Shehu, Yaro & Adam Ahmad, Ashraf & Kabir, Mahmoud & Bello Salau, Habeeb. (2015). Optimum Receiver for Decoding Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) Signals. *American Journal of Signal Processing*. 5. 23-31. 10.5923/j.ajsp.20150502.01.
- [13] T. Li, Q. Sun and J. Li, "A Research on the Applicability of ADS-B Data Links in Near Space Environment," 2012 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2012, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCVE.2012.9.
- [14] D. M. Akos, M. From, M. Karlsson and K. Larsson, "Receiver measured time in the VDL Mode 4 system," *IEEE 2000. Position Location and Navigation Symposium (Cat. No.00CH37062)*, 2000, pp. 309-316, doi: 10.1109/PLANS.2000.838319.
- [15] *Håkan Lans – Navigeringssystemet STDMA* [online]. Stockholm: Tekniska Museet, 2019 [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://www.tekniskamuseet.se/lar-dig-mer/svenska-uppfinnare-och-innovatorer/hakan-lans-navigeringssystemet-stdma/>
- [16] SUN, Junzi. *ADS-B Basics: The 1090 Megahertz Riddle, A Guide to Decoding Mode S and ADS-B Signals* [online]. 2011 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://mode-s.org/decode/content/ads-b/1-basics.html>
- [17] Stamper, W. (2004), "Understanding Mode S technology – a discussion about Mode S basic, elementary and enhanced surveillance, DF17 extended squitter and ADS-B", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 76 No. 3. <https://doi.org/10.1108/aeat.2004.12776caf.002>
- [18] Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services Broadcast (TIS-B): RTCA DO-260B. In: . Washington: RTCA, 2009.
- [19] ICAO Doc 9871, Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter. Montréal: ICAO, 2008. ISBN 978-92-9231-117-9.
- [20] *Installation: Federal Aviation Administration* [online]. Washington: FAA, 2021 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/installation/>

- [21] *ADS-B in Europe* [online]. France: Aopa France, 2020 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://www.iaopa.eu/static/CKFinderJava/userfiles/files/news/2017/RM-Madrid/ADS-b-in-Europe.pdf>
- [22] *UAT in the UK, Part III: UAT in the UK* [online]. uAvionix, 2018 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://uavionix.com/uat-in-the-uk-part-iii/>
- [23] *Danish UAT Weather & Traffic Trial: UAT* [online]. Denmark: Aopa DMU, 2019 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.motorflyvning.dk/uat>
- [24] TOPKOVÁ, Tereza, Tomáš PUSTINA, Kmitočty v prvním leteckém pásmu a novela ZCL (drony): Seminář všeobecného letectví 2021. Praha: Ministerstvo dopravy, 2021. Prezentace.
- [25] *MODE S DOWNLINK AIRCRAFT PARAMETERS IMPLEMENTATION AND OPERATIONS GUIDANCE DOCUMENT: CNS SG/23 Appendix K to the Report*. ICAO, 2019.
- [26] Doc 9718, Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation: Volume I, ICAO spectrum strategy, policy statements and related information. Second edition. Montréal: ICAO, 2018. ISBN 978-92-9258-364-4.
- [27] NATO, STANAG 5516. 4th Edition. 2008: NATO, 2008
- [28] *Aviation Usages of Frequency Spectrum* [online]. Montréal: IATA, 2017 [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: <https://www.iata.org/contentassets/d7e421981aa64169af1a8d6b37438d4d/aviation20usages20of20frequency20spectrum20-2020170726.pdf>
- [29] E. A. El-Badawy, W. A. EL-Masry, M. A. Mokhtar and A. S. Hafez, "A secured chaos encrypted mode-S aircraft identification friend or foe (IFF) system," 2010 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, 2010, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICSPCS.2010.5709756.
- [30] *How can the military help alleviate radio frequency congestion: 1030/1090 MHz radio frequency mitigation and monitoring* [online]. Brusel: EUROCONTROL, 2019 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/update/how-can-military-help-alleviate-radio-frequency-congestion>

- [31] *Communications, navigation and surveillance* [online]. Brusel: EUROCONTROL, 2021 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/communications-navigation-and-surveillance>
- [32] *LETECKÝ PŘEDPIS: LETOVÁ ZPŮSOBILOST LETADEL L 8*. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, 2018.
- [33] MICALLEF, John a HELIOS. Deliverable C2: Compatibility Criteria and Test Specification for UAT. Farnborough: EUROCONTROL, 2009.
- [34] TAFFNER, Thomas, Helmut GÜNZEL a Dr. Armin SCHLERETH. *UAT impact on DME - compatibility measurement description and results: Information paper*. Germany: ICAO, 2004.
- [35] *LETECKÝ PŘEDPIS O CIVILNÍ LETECKÉ TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBĚ SVAZEK I - RADIONAVIGAČNÍ PROSTŘEDKY L 10/I*. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY: Úřad pro civilní letectví, 2013, ročník 13. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-10/L-10i/index.htm>
- [36] *ICAO doc 7754, EUROPEAN REGION AIR NAVIGATION PLAN: eANP Vol II, part III, Supplements*. Second edition. 2010: ICAO, 2021.
- [37] *Letecká navigace: DME* [online]. Praha: Moderní letecká navigace [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=DME>
- [38] WOLLWEBER, Joachim. *PROPOSED REVISION OF DME SARPS AS A CONSEQUENCE OF UAT STANDARDIZATION*. Bangkok: ICAO, 2005.
- [39] *Wide Area Multilateration Wide Area Multilateration Report on EATMP TRS 131/04* [online]. Brusel: EUROCONTROL, 2005 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-05/surveillance-report-wide-area-multilateration-200508.pdf>
- [40] *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast* [online]. SESAR, 2020 [cit. 2021-6-3]. Dostupné z: <https://ads-b-europe.eu/>
- [41] *PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2020/587*. In: . Brusel: Evropská Komise, 2020, ročník 2020, číslo 587. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0587&from=CS>

- [42] *Handling non ADS-B State aircraft in European airspace: Information for State Aircraft Operators* [online]. Brusel: EUROCONTROL, 2020 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/eurocontrol-cmac-cns-technical-leaflet-13.pdf>
- [43] §91.225. *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out equipment and use*. Washington: FAA, 2021.
- [44] *Airspace* [online]. Washington: FAA, 2020 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/research/airspace/>
- [45] *VFR Příručka: Vzdušný prostor České republiky* [online]. Praha: Řízení letového provozu České republiky, 2021 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/enr_1_cz.html
- [46] *MILITARY AERONAUTICAL INFORMATION PUBLICATION GERMANY: Air Traffic Services Airspace, FIR, UIR, Airspace Classification*. 04/16. Germany: ZENTRUM LUFTOPERATIONEN, 2016.
- [47] *ENR 1.4 ATS AIRSPACE CLASSIFICATION AND DESCRIPTION* [online]. Netherland: LVNL, 2021 [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.lvnl.nl/eaip/2019-08-01-AIRAC/html/eAIP/EH-ENR-1.4-en-GB.html>
- [48] *LSSIP 2019 - ITALY: LOCAL SINGLE SKY IMPLEMENTATION*. Italy: EUROCONTROL, 2019.
- [49] Odborná konzultace s paní Ing. Terezou Topkovou. [Online přes MS Teams], 12.05.2021.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Formát ADS-B zprávy [12].....	20
Obrázek 2: Přehled fungování VDL Mode 4 [2].....	21
Obrázek 3: Schéma přenosové technologie 1090ES [18]	23
Obrázek 4: Schématický popis UAT datové zprávy [3].....	25
Obrázek 5: Pozemní segment UAT datové zprávy [3].....	26
Obrázek 6: Schéma UAT přenosů [8]	27
Obrázek 7: Procesy probíhající v pozemní stanici UAT [2].....	28
Obrázek 8: Dosah první testované pozemní stanice UAT v Britském Milborne Port [22].....	30
Obrázek 9: Přehled dosahu pěti testovacích pozemních stanic UAT v jižní Anglii [22].....	31
Obrázek 10: Přehled dánského pokrytí službou UAT [23]	32
Obrázek 11: Dosah testovacích pozemních stanic UAT v České republice [24].....	32
Obrázek 12: Přehled leteckých systémů operujících na pásmech 1 030 a 1 090 MHz [30].....	37
Obrázek 13: Četnost zachycených Mode S odpovědí nad Evropou [31]	38
Obrázek 14: Kanály systému DME a přehled kmitočtů u dotazů a odpovědí [37].....	42
Obrázek 15: Rušení na frekvenci 978 MHz [34].....	43
Obrázek 16: Rušení na frekvenci 979 MHz [34].....	44
Obrázek 17: Výhody a nevýhody implementace systému UAT [autor]	47
Obrázek 18: Graf zavedení ADS-B v Evropě [40]	49
Obrázek 19: Obrázek znázorňující třídy vzdušného prostoru Spojených států amerických a povinnosti spojené s vybavením ADS-B transpondéru [44].....	50
Obrázek 20: Třídy vzdušných prostorů spolu s oblastmi CTR a TMA nad Itálií [48]	54
Obrázek 21: Časové schéma implementačního mandátu pro palubní zařízení UAT [autor] .	57
Obrázek 22: Přehled implementačních mandátů pro UAT pozemní infrastrukturu [autor]	59

Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Výňatek z tabulky ukazující přehled DME kanálů [35].....	40
Tabulka 2: Tabulka zobrazující výškové rozdělení v řízených vzdušných prostorech v ČR [45]	52
Tabulka 3: Tabulka povinného vybavení pro jednotlivé typy letů [autor]	56
Tabulka 4: Seznam všech zařízení vysílajících na kanále 17X ve členských státech EUROCONTROLu [36]	60
Tabulka 5: Seznam všech zařízení vysílajících na kanále 18X ve členských státech EUROCONTROLu [36]	61