



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Georg Václav Potzner

OPTIMALIZACE SBĚRU METEOROLOGICKÝCH DAT
VYSÍLANÝCH Z MÓDU-S LETADEL

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):

Georg Václav Potzner

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Optimalizace sběru meteorologických dat
vysílaných z Modu-S letadel**

Název tématu (anglicky): **Optimization of the collection of meteorological data
broadcasted by Mode-S**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je využít data z laboratoře ATM k sestavení seznamu ICAO adres letadel, která vysílají BDS registry 4.4
- Zprávy ADS-B/Mode-S a jejich obsah
- Meteorologie a data podstatná pro předpověď
- Navrhnout výpočet meteorologických dat z přijatých informací z paluby letadla
- Vytvořit rejstřík letadel vysílajících vhodná meteorologická data
- Diskuze dosažených řešených výstupů



- 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: ICAO Annex 10 Volume IV: Surveillance and Collision Avoidance Systems
ICAO Annex 3: Meteorological Service for International Air Navigation
Bc. TOPKOVÁ, Tereza. Identifikace BDS registrů. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT. Fakulta dopravní.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **6. října 2020**
(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: **1. prosince 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.

Georg Václav Potzner
jméno a podpis studenta

V Praze dne17. srpna 2021

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Jakobovi Hospodkovi, Ph.D., za poskytnutí velmi cenných a odborných rad, cením si trpělivosti a vstřícnosti při konzultacích v celém průběhu tvorby mé práce. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za morální podporu a pomoc, po celou dobu mého studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 01. prosince 2021


.....
Georg Václav Potzner

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

OPTIMALIZACE SBĚRU METEOROLOGICKÝCH DAT VYSÍLANÝCH
Z ODPOVÍDAČE MÓDU-S

Bakalářská práce
Prosinec 2021
Georg Václav Potzner

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je optimalizovat sběr meteorologických dat, která jsou vysílána na dotaz módu S, jde o vyfiltrování a následné dekodování meteorologických dat, a se získanými zkušenostmi vytvořit ICAO seznam letadel, která vysílají ve zprávách BDS registry 4,4 a 4,5.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sekundární přehledový radar. Mód S, ADS-B, BDS registry 4,4 a 4,5, ICAO adresa

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

OPTIMALIZATION OF THE COLLECTION OF METEOROLOGICAL
DATA BROADCASTED BY MODE-S

Bachelor Thesis

December 2021

Georg Václav Potzner

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis is to optimize the collection of meteorological data, which are transmitted on Mode S query. It is about filtering and subsequent decoding of meteorological data. With the obtained experience a ICAO list of airplanes is created which are using the BDS registers 4,4 and 4,5 for transmitting messages.

KEY WORDS

Secondary surveillance radar, mode – S, ADS-B, BDS register, ICAO adress

OBSAH

Seznam použitých zkratk	7
1. Úvod	9
2. ADS-B	11
2.1. ADS-B OUT	12
2.2. ADS-B IN	12
3. Sekundární přehledový radar	13
3.1. Múd S	14
3.1.1. Dotazy módu S	15
3.1.2. Odpověď v módu S	16
3.2. Múd S Elementary Surveillance ELS	17
3.3. Múd S Enhanced Surveillance EHS	17
3.4. MRAR registr	17
3.5. MHR registr	19
4. Struktura zpráv ADS-B a Módu – S	20
4.1. Downlink Format (DF)	21
4.2. ICAO adresa	22
4.3. BDS registry	22
4.4. Schopnost (Capability)	23
5. Meteorologie a data podstatná pro předpověď	24
5.1. Význam meteorologie v letectví	24
5.2. Atmosféra	24
5.3. Vertikální členění atmosféry a jevy ovlivňující let	25
5.4. Aerologie a její základní měření	28
5.5. Praha – Libuš	32
5.6. Vliv letecké dopravy na atmosféru	33
6. Návrh výpočtu metrologických dat přijatých z paluby letadla	34
6.1. Filtrování meteorologických dat	34
6.2. Dekódování meteorologických dat	39
6.2.1. Dekódování BDS registru 4,4	39
6.2.2. Dekódování BDS registru 4,5	41
7. Rejstřík letadel využívající BDS registry 4,4 a 4,5	43

8. Závěr	45
Citovaná literatura	46
Seznam obrázků	49
Seznam tabulek	50
Seznam příloh.....	51

Seznam použitých zkratk

ACAS	Airborne collision avoidance system	Palubní protisrážkový systém
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Automatický závislý přehledový systém – vysílání
AMDAR	Aircraft Meteorological Data Relay	Program Světové meteorologické organizace
ATC	Airtraffic Control	Řízení letového provozu
ATS	Air Traffic Service	Služba letového provozu
BDS	Comm-B Data Selector	
ČHMÚ	Czech Hydrometeorological Institute	Český Hydrometeorologický Ústav
DF	Downlik Format	Formát zprávy
DME	Distance Measuring Equipment	Měřič vzdálenosti
EHS	Enhanced Surveillance	Zlepšený dohled
ELS	Elementary Surveillance	Základní dohled
FL	Flight level	Letová hladina
GNSS	Global navigation satellite systém	Globální navigační družicový systém
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFF	Identification friend or foe	Identifikace přítel/ nepřítel
INS	Inertial Navigation System	Inerční navigační systém
ISLS	Interrogator Side Lobe Suppression	Vylepšené potlačení bočních laloků dotazovače
MF	Medium frequency (300 to 3 000 kHz)	Střední vlny (300 až 3 000 kHz)

MHR	Meteorological Hazard Report	Zpráva o meteorologickém nebezpečí
MRAR	Meteorological Routine Air Report	Rutinní meteorologická zpráva o ovzduší
RSLs	Receiver Side Lobe Suppression	System potlačování asynchronního rušení
SSR	Secondary surveillance radar	Sekundární přehledový radar
UF	Uplink Format	Formát dotazu
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny
VOR	VHF Omnidirectional Radio Range	VKV všesměrový radiomaják
WMO	World meteorological organization	Světová meteorologická organizace

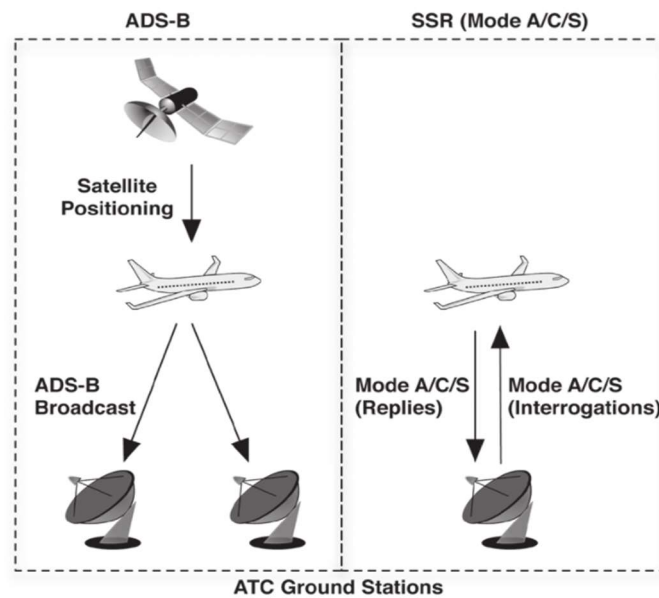
1. Úvod

Cílem mé bakalářské práce je využít data z laboratoře ATM (Air Traffic Management), která byla zřízena jako součást Ústavu letecké dopravy, kde je možné využívat a vyvíjet nástroje pro řešení velmi specifických problémů spojených s oblastí řízení letového provozu a současně zpracovává a uchovává data a softwary, jejichž poskytnutí a užití podléhá jistým pravidlům jejich využití pouze na konkrétní výzkumné projekty v rámci omezené skupiny uživatelů. Laboratoř se především zaměřuje na analýzy, zpracování a prezentování nejrůznějších druhů a formátů přehledových informací získávaných nejrůznějšími kooperativními přehledovými systémy, jako například sekundární přehledový radar (SSR), multilaterace (MLAT), automatické závislé sledování (ADS-B) a podobně, dále pak na způsoby využití těchto dat v systémech řízení letového provozu (ŘLP) a zpracování ICAO seznamu letadel.

K tomu si musíme objasnit několik pojmů, které úzce souvisí s tímto tématem. Aby řízení letového provozu mělo přehled o situaci ve vzdušném prostoru, musí existovat systém, který přenáší tyto informace. Sekundární přehledový radar v Módu – S je tímto systémem. Tento systém se nachází na zemi a vysílá dotaz letadlu. Letadlo po obdržení dotazu automaticky pomocí odpovídače, který se nachází na palubě letadla, odpoví. Mód S umožňuje posílat informace o poloze, rychlosti, meteorologické situaci a podobně. Tyto informace jsou zakódované v takzvaných BDS (Comm-B Data selector) registrech.

Automatické závislé sledování (ADS-B) je druhý systém, který se nachází na palubě letadla. Tento systém byl nově vytvořen z důvodu bezpečnosti letového provozu a kvůli jeho rostoucí hustotě. Je závislý na globálním družicovém polohovém systému (GNSS), ze kterého čerpá navigační veličiny. Palubní část přebere tyto údaje o poloze letadla pomocí navigačního systému GNSS a všesměrově je vyše ostatním letadlům a pozemním stanicím.

Na obrázku číslo 1 můžeme vidět jasný rozdíl mezi komunikací ADS-B systému a komunikací systému sekundárního přehledového systému v Módu S. V levé části vidíme funkci ADS-B, která pomocí globálního družicového polohového systému určí polohu letadla. V pravé části vidíme systém sekundárního přehledového radaru. Pozemní stanice vyšle letadlu dotaz na frekvenci 1030 MHz a letadlo pomocí odpovídače zašle požadovaná data zpět k pozemnímu zařízení na frekvenci 1090 MHz.



Obrázek 1 komunikace systémů ADS-B a SSR [14]

V této bakalářské práci se budu zabývat, jakým způsobem, můžeme rozeznat BDS registry 4,4 a 4,5. Popřípadě jaká letadla tyto registry vysílají a specifikace jednotlivých letadel. Mým hlavním úkolem je vytvořit ICAO seznam letadel, podle toho, jaké BDS registry 4,4 nebo 4,5 vysílají.

BDS registr 4,4 obsahuje informace o směru a rychlosti větru, statické teplotě okolního vzduchu, průměrném statickém tlaku vzduchu, míře turbulencí a vlhkosti vzduchu.

V případě BDS registru 4,5 se jedná o informace jako: turbulence, střih větru, microburst (lokální proud chladného vzduchu, který směřuje k zemi), námraza, turbulence v úplavu, statická teplota okolního vzduchu, průměrný statický tlak okolního vzduchu a výšky měřené radiovým výškoměrem.

2. ADS-B

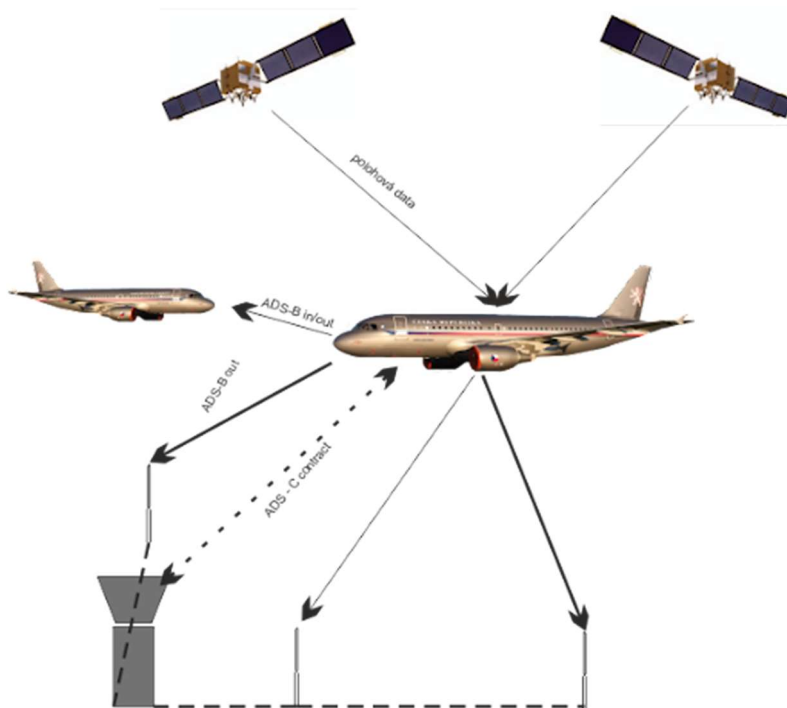
Automatic Dependent Surveillance – Broadcast je systém, který určuje vlastní polohu letadla a automaticky všesměrově odesílá souřadnicovou polohu, identifikaci a další údaje o letadle. Tyto údaje jsou vysílány i když nikdo tyto informace nepřijímá. Tento systém ADS – B je kooperující závislá přehledová technologie a nachází se v palubním vybavení letadla. [1][11]

Automatic (automatický) znamená, že systém automaticky odesílá souřadnicové údaje bez pomoci pilota. Dependent (závislý) je na globálním družicovém polohovém systému (GNSS), od kterého dostává navigační veličiny. Jsou také využívány klasické navigační systémy jako VOR/DME, DME/DME, Inerční navigační systém a další. Surveillance znamená dohled, protože systém slouží k dohlížení na vzdušný prostor a může oznamovat pilotovi polohy ostatních letadel ve vzdušném prostoru, takže pilot má přehled o situaci okolo něj. Broadcast (vysílání) znamená, že vysílá data leteckým i pozemním přijímačům. Tento systém má svou výhodu a to tu, že piloti mají stejný přehled o vzdušném prostoru jako řídicí letového provozu na zemi. [1][15]

Využití ADS-B je vhodné zejména nad oceány a odlehlých oblastech, kde není k dispozici radarové pokrytí. V těchto oblastech jsou polohy letadel oznamovány posádkou letadla pomocí HF rádia. Z důvodu nepřesnosti těchto hlášení je potřeba řídit letový provoz procedurálně, a to vede k velkým rozestupům mezi letadly a tím ke snížení kapacity vzdušného prostoru.

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast ADS-B je systém, se kterým se počítá, že se v příštích letech stane hlavním zdrojem informací pro řízení letového provozu. Jedná se o součást strategie Next Generation Air Transportation System (NextGen) a Single European Sky. Hlavní výhodou systému ADS-B je, že není tak nákladný a není složitý na údržbu a provoz jako sekundární přehledové radary. Například v České republice se v případě poruchy SSR používá jako záložní přehledový systém spolu s multilaterací pro řízení letového provozu. [11]

Na obrázku číslo 2 vidíme základní funkce ADS-B. Mezi ně patří obdržení polohových dat ze satelitů, vysílání dat z paluby letadla, což odpovídá funkci ADS-B Out, přijímání zpráv pomocí funkce ADS-B In a vysílání dat při určité události (contract) odpovídá funkci ASD-C.



Obrázek 2 funkce ADS-B [5]

2.1. ADS-B OUT

Pomocí funkce ADS-B OUT letadlo vysílá svou polohu, kterou získá pomocí GNSS. Výhodou je, že poloha získaná tímto způsobem je přesnější než poloha získaná pomocí sekundárního radaru. Dále letadlo vysílá svou identifikaci, rychlost a výšku přes data link na síť přijímačů ADS-B. Přijímaná data jsou poté dále zpracována pro další použití.[1][11][15]

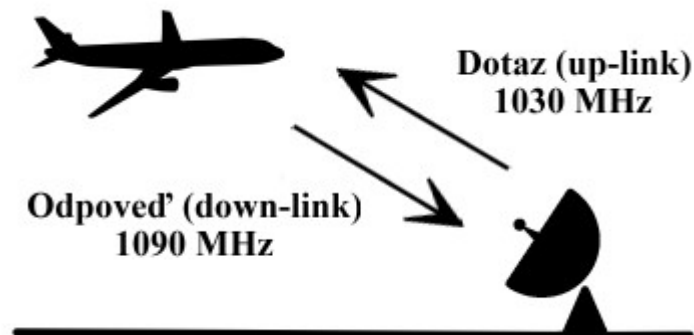
2.2. ADS-B IN

Funkce ADS-B IN umožňuje letadlům přijímat data, jako jsou například data z ADS-B OUT. Je také možné přijímat informace o počasí a NOTAMy. Přijímaná data umožní pilotům zlepšit své situační povědomí tím, že se okolní letadla a počasí zobrazí na navigačních displejích. TCAS je nejznámější využití ADS-B IN v dopravním letectví.[1][15]

3. Sekundární přehledový radar

Sekundární radar funguje na principu vysílání dotazu pomocí několika elektromagnetických vln v podobě pulzu. Pokud odpovídač v přijímaném signálu rozpozná dotaz, automaticky na něj reaguje a odešle požadovaná data. Tyto odpovědi jsou poté pomocí pozemních stanic vyhodnoceny. Na rozdíl od primárního radaru je u sekundárního radaru zvýšený dosah až na 500 km. Sekundární radar má snížený vyzařovací výkon a možnost přenosu informací z paluby letadla na zem. K odstranění odrazů od země nebo také falešných cílů se používají dvě frekvence 1030 MHz a 1090 MHz. Na frekvenci 1030 MHz je vysílán dotaz (UF) a odpověď (DF) je vysílána odpovídačem na frekvenci 1090 MHz. Sekundární přehledové radary se často používají jako doplněk primárních radarů. Jejich anténa bývá často instalována nad zrcadlem antény primárního radaru. Další parametry systému jsou definovány dle předpisu ICAO Annex 10.[1][9]

Na obrázku číslo 2 můžeme vidět přenos vysílaného dotazu a odpovědi mezi palubou letadla a sekundárním přehledovým radarem.



Obrázek 3 Princip činnosti sekundárního přehledového radaru [15]

3.1. M3d S

M3d S je rozšíření staršího přehledového radaru, který používá selektivní adresování a pracuje na stejných frekvencích jako konvenční systémy SSR. To znamená, že m3d S je zpětně kompatibilní se staršími módy SSR, jako jsou m3d A a m3d C. Pomocí funkce odpovídače a odeslaných dat z paluby letadla můžeme m3d S rozdělit na Elementary Surveillance (ELS) a Enhanced Surveillance (EHS).

V módu S se používají dva druhy dotazů a to: All-Call (všeobecný) a Roll-Call (adresný), který je určen pro konkrétní letadlo. Při obdržení všeobecného dotazu odpovídají všechny odpovídače, které se nacházejí v dosahu daného radaru. U adresného dotazu se radar zeptá konkrétního letadla a může také pomocí funkce lockout umožnit, aby toto letadlo již neodpovídalo na všeobecné dotazy po dobu 18 vteřin. Každé letadlo má svou vlastní unikátní ICAO adresu, která se skládá z 24 bitů. To samé platí pro sekundární radar. Radary mají své vlastní identifikační kódy, které se nazývají Interrogator Code (IC). [1][3]

Pro představu zde uvádím formát několika zpráv.

UF – země letadlo

DF – letadlo země

UF/DF	00	přehled, krátký dosah (TCAS)
UF/DF	04	přehled, dotaz /odpověď výška
UF/DF	05	přehled, odpověď/dotaz identita
UF/DF	11	všeobecný dotaz módu S
DF	16	přehled, dlouhý dosah.

[1]

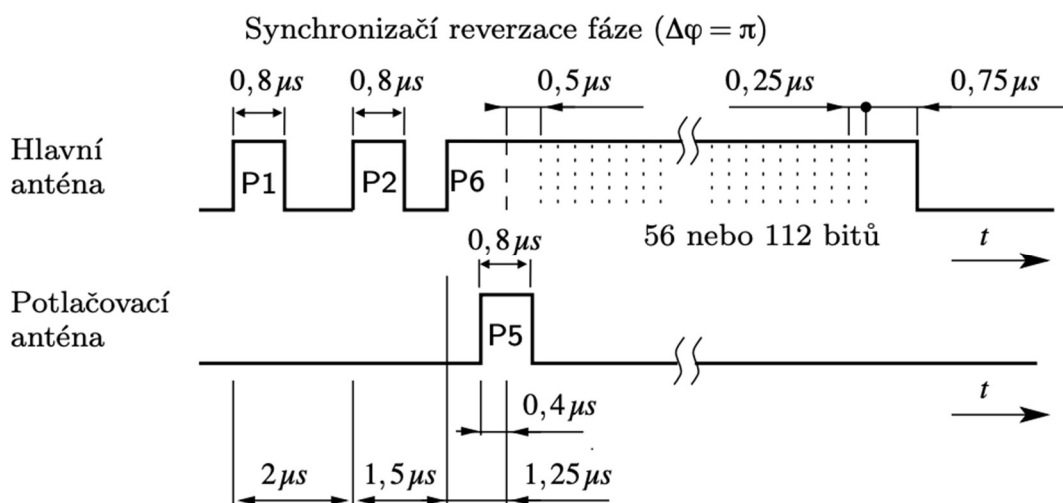
3.1.1. Dotazy módu S

Adresný dotaz

V módu S je dotaz vysílán na stejné frekvenci jako v módu A a C a má charakter datové zprávy a celý jeho průběh je navržen tak, aby jej starší odpovídáče nepodporující mód S vyhodnotily jako neplatný dotaz a ignorovaly. Signál se skládá z preamble a dlouhého pulzu s datovou zprávou kódovanou pomocí binární fázové modulace. Preamble dotazu je tvořena dvojicí pulzů s délkou $0,8 \mu\text{s}$ a vzdáleností $2 \mu\text{s}$. Tato dvojice pulzů je vysílána stejnou anténou a odpovídáče přijmou oba pulzy se stejnou hodnotou amplitudy. Vzdálenost pulzů odpovídá vzdálenosti mezi prvním pulzem vysílaným hlavní anténou a potlačovacím pulzem v módů A a C. Starší odpovídáče tento signál vyhodnotí jako chybný a neodpoví na něj, jelikož pro přijetí signálu musí být druhý pulz ve směru hlavního laloku antény a mít amplitudu alespoň o 9 dB menší než první pulz. [1] [19]

Délka pulzu je $16,25 \mu\text{s}$, nebo $30,25 \mu\text{s}$. Pro synchronizaci odpovídáče je referenční fázová změna ve vzdálenosti $1,25 \mu\text{s}$ od náběžné hrany pulzu P6. Po $0,5 \mu\text{s}$ následují jednotlivé datové bity.[1]

Na obrázku číslo 4 můžeme vidět znázorněný adresný dotaz.



Obrázek 4 průběh adresního dotazu [1]

Všeobecný dotaz

Všeobecný dotaz je odvozen od módu A a C. U těch odpovídačů, které jsou schopné pracovat pouze v módu A a C vytvoří obvyklou odpověď. Pokud odpovídač podporuje mód S, tak po přijetí pulzu P4 dojde k potlačení odpovědi A/C. Módy A/C podporují veškeré odpovídače s módem S. [1]

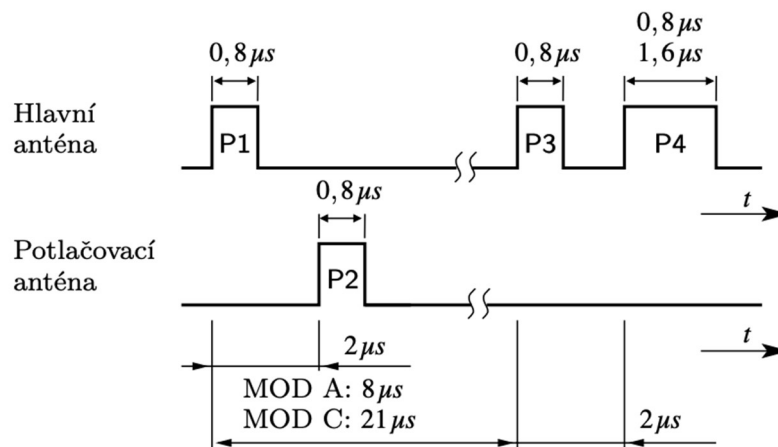
Samostatný všeobecný dotaz se skládá ze dvou podtypů

- První z podtypů se skládá z délky pulzu P4 1,6 μs . Odpovídač módu S na něj odpovídá zprávou se svou adresou. [1]
- Druhý podtyp má délku pulzu P4 0,8 μs a u odpovídače, který podporuje mód S nevyvolá žádnou odezvu. Tento formát dotazu, který je určen pro systém TCAS, může využívat pouze odpovídač v módech A/C. [1]

3.1.2. Odpověď v módu S

Tato odpověď má charakter datové zprávy. U přenosu se používá stejná frekvence jako u módu A a C. Signál se v průběhu skládá z preamble a datové zprávy tvořené bity pulzní polohové modulace. Délka této datové zprávy může být 56, nebo 112 bitů, přičemž posledních 24 bitů je znovu kombinace adresy odpovídače a kontrolního součtu [1]

Na obrázku číslo 5 můžeme vidět průběh všeobecného dotazu.



Obrázek 5 všeobecný dotaz [1]

3.2. M3d S Elementary Surveillance ELS

Abychom mohli ziskávat data z letadel pomocí dotazů M3du S, je potřeba, aby bylo letadlo vybaveno odpovídačem sekundárního radaru. V rámci M3du S ELS, je nutné vysílat BDS registry 1,0; 1,7; 2,0 a 3,0, které jsou popsány v následující tabulce. [13]

V tabulce číslo 1 vidíme označení registrů ELS

Tabulka 1 označení registru ELS [13] [17]

Označení registru	Název registru
BDS1,0	Možnost využití datového spoje
BDS 1,7	Zpráva o schopnosti GICB
BDS 2,0	Identifikace letadla
BDS 3,0	ACAS RA (Active Resolution Advisoty)

Aby odpovídač splňoval požadavky na ELS musí být schopen vysílat ICAO adresu, odpovídat na dotazy tradičních SSR, hlášení výšky v intervalech 25 stop, status letu, hlášení o schopnostech datové linky a aktivní doporučení řešení konfliktu pomocí systému ACAS.

Abychom mohli identifikovat dostupná data informací, která jsou poskytnuta odpovídačem m3du S, je potřeba vysílat registry 1,7 až 1,C. U těchto registrů je nastaven příslušný bit na hodnotu 1. To znamená, že registr obsahuje platná a aktualizovaná data.[1]

3.3. M3d S Enhanced Surveillance EHS

EHS poskytuje řídícímu letového provozu více informací, než je obsaženo v ADS-B nebo ve zprávách M3du S ELS. Důvodem je hlavně rozšíření o další BDS registry. Odpovídač vybavený EHS automaticky zahrnuje i registry vysílané v ELS. Dále také musí vysílat nastavení výšky, rychlost změny traťového úhlu, zeměpisný úhel, magnetický kurz, traťovou rychlost, indikovanou vzdušnou rychlost, nebo Machovo číslo, rychlost stoupání, nebo klesání a také úhel příčného sklonu.[13] [17]

3.4. MRAR registr

Tento registr je pro nás důležitý, protože dva z BDS registrů přenášejí přímo meteorologické informace. Registr 4,4 MRAR a BDS 4,5 MHR. Tyto registry nejsou povinné. Existuje velice malý počet letadel, která jsou vybavena odpovídačem M3du S podporující MRAR technologii.

Registr BDS 4,4 obsahuje meteorologickou zprávu letadla, která obsahuje základní informace o meteorologii. Podle nastavené hodnoty bitu na třináctém místě v BDS registru 1,7 a na čtyřicátém pátém místě v BDS registru 1,9 je možné zjistit, jestli letadlo tento registr vysílá. Velká výhoda této metody je v tom, že tento registr obsahuje již přímé informace o rychlosti a směru větru, teplotě, tlaku, vlhkosti a turbulencích.

Meteorologické informace jsou získávány přímo ze senzorů instalovaných na draku letadla. Tato data jsou velmi blízká informacím, které jsou získané prostřednictvím AMDAR, tj. program iniciovaný Světovou meteorologickou organizací. Ta shromažďuje meteorologická data po celém světě pomocí komerčních letadel. Pomocí jejich navigačních a palubních systémů standardně vybavenými teplotními a statickými tlakovými sondami. [13]

Touto cestou se přenášejí meteorologické informace a není nutné je následně více zpracovávat. Již zmíněná metoda má jednu nevýhodu, kvůli malému počtu letadel, která tuto metodu využívají. Na žádost o výpis z registru BDS 4,4, který je vyhrazen pro meteorologická data, reaguje jen velmi málo letounů. Ke zvýšení tohoto podílu by byla nutná větší spolupráce s provozovateli těchto letadel. Současná konfigurace radarů na území ČR umožňuje dotazování registru BDS 4,4 každou druhou otáčku radaru. Informace obsažené v BDS registru se oddělují statusovými bity. Pokud je statusový bit nastaven na hodnotu jedna, znamená to, že následující datový blok obsahuje informaci. Pokud je statusový bit nastaven na 0, znamená to, že následující blok neobsahuje žádnou informaci a tím pádem jsou všechny bity pro tuto informaci nastaveny na hodnotu 0. [13]

V tabulce číslo 2 jsou vidět statusové bity a datové bloky obsažené v BDS registru 4,4.

Tabulka 2 Obsah BDS registru 4,4 [7]

Bit	Obsah
1-4	FOM/ zdroj
5	Statusový bit
6-14	Rychlost větru
15-23	Směr větru
24	Znaménko
25-34	Statická teplota okolního vzduchu
35	Statusový bit
26-46	Průměrný statický tlak
47	Statusový bit
48-49	Turbulence
50	Statusový bit

51-56	Vlhkost
-------	---------

3.5. MHR registr

Data, která získáme z Meteorological Hazard report (MHR) jsou informace o nebezpečných meteorologických jevech. Pokud letadlo vysílá BDS registr 4,5, tak je nastaven bit na čtrnáctém místě v BDS registru 1,7 na hodnotu jedna a v BDS registru 1,9 na čtyřicátém čtvrtém místě také na hodnotu jedna. Tento BDS registr obsahuje informace o jevech jako jsou turbulence, námraza a microburst. Je zásadní, aby piloti měli znalost o těchto informacích kvůli bezpečnosti letového provozu. Bohužel aktuálně v rámci vzdušného prostoru ČR není registr 4,5 dotazován. [13] [17]

V tabulce číslo 3 vidíme obsah BDS registru 4,5.

Tabulka 3 Obsah BDS registru 4,5 [7]

Bit	Obsah
1	Statusový bit
2-3	Turbulence
4	Statusový bit
5-6	Střih větru
7	Statusový bit
8-9	Microburst
10	Statusový bit
11-12	Námraza
13	Statusový bit
14-15	Turbulence v úplavu
16	Statusový bit
17	Znaménko
18-26	Statická teplota okolního vzduchu
27	Statusový bit
28-38	Průměrný statický tlak
39	Statusový bit
40-51	Výška měřená radio výškoměrem
52-56	Reservované

4. Struktura zpráv ADS-B a Módu – S

Odpovědi Módu S a ADS-B jsou kódovaná u 1090 MHz-ES ve 112 bitech. Datový blok se skládá z 56 impulzů o délce jedné mikrosekundy, nebo 112 pulzů o délce jedné mikrosekundy, což znamená, že se datový blok skládá buď z 56 bitů nebo 112 bitů. Formát krátkých datových bloků je rozdělen na identifikátor sestupného spoje (DF), což odpovídá pěti bitům. Kontrolní slovo se skládá z 27 bitů, z toho 24 bitů je pro jednotlivý kód letounu. Posledních 24 bitů celé zprávy je využito pro paritu. Formát dlouhých datových zpráv se skládá z identifikátoru sestupného spoje (DF) o velikosti pěti bitů, kontrolního slova o velikosti 27 bitů, datového bloku, který má velikost 56 bitů. Závěrečných 24 bitů je použito pro paritu.[1][15]

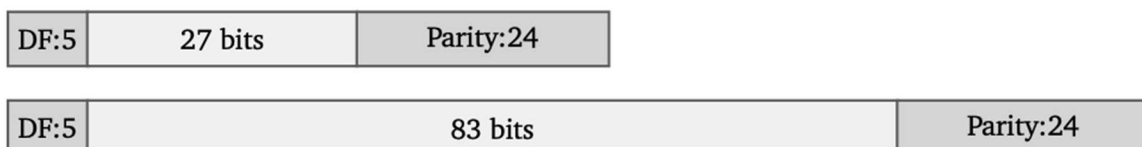
To znamená, že příslušná zpráva je ukončena paritním blokem pro uplink i downlink. Tento paritní blok je vypočítáván a vyslán na odesílající koncové stanici, aby se ověřila kvalita přijímaného signálu a v případě potřeby bylo možné obnovit původní informaci v případě chyby přenosu během výměny dat mezi dotazovačem a dotazovaným transpondérem. Je použit zkrácený kód s cyklickou redundancí, který je popsán následujícím polynomem:

$$G(x) = x^{24} + x^{23} + x^{22} + x^{21} + x^{20} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{10} + x^3 + 1$$

Paritní informace je spojena s individuální 24bitovou identifikací letadla a připojena k datovému poli. Tato parita je také vypočítána na přijímacím terminálu a porovnána s odeslaným blokem parity. V případě rovnosti umožňuje výsledek závěr, že převod proběhl bez chyb.

Použitý polynom $G(x)$ umožňuje jak detekci chyb, tak opravu chyb. U uplinku se však používá pouze detekce chyb, aby bylo přepínání transpondéru co nejjednodušší. [20]

Na obrázku číslo 6 můžeme vidět formát krátkých a dlouhých zpráv.



Obrázek 6 formát krátkých a dlouhých zpráv [14]

4.1. Downlink Format (DF)

DF je formát sestupného spoje, jehož pole má velikost 5 bitů a který se nachází na začátku každé zprávy. Obsah tohoto pole uchovává informaci o typu zprávy a kódování. Delší formáty downlinku využívající 112 bitovou délku datového bloku mohou vykazovat další pole zprávy o 56 bitech, nebo pole zprávy s prodlouženou délkou 80 bitů. Všechny zprávy obsahují identifikační číslo letounu (ICAO adresa letadla), včetně paritních informací ve spolupráci s communication control word. [1] [20]

Číslo DF definuje 25 formátů kódování. Každý downlink formát Modu S má určitý účel. V civilním letectví se v současnosti používají formáty DF0, DF4, DF5, DF11, DF16, DF17, DF18, DF19, DF20, DF21 a DF24.

Na tabulce číslo 4 vidíme seznam downlink formátů.

Tabulka 4 Seznam downlink formátů [15]

DF	Počet bitů	Druh Downlinku
0	56	Short air-air surveillance (ACAS)
4	56	Surveillance, altitude reply
5	56	Surveillance, identity reply
11	56	All-Call reply
16	112	Long air-air surveillance (ACAS)
17	112	Extended squitter
18	112	Extended squitter/non transponder
19	112	Military extended squitter
20	112	Comm-B, altitude reply
21	112	Comm-B, identity reply
24	112	Comm-D (ELM)

- Formát DF0 poskytuje informace pro Airborne Collision Avoidance system (ACAS).
- Pro systém ADS-B se používá formát DF17.
- Odpovědi ve formátu DF0 jsou odpovědi na dotazy ACAS nebo TCAS.
- Downlink formát 16 jsou přenosy, které používají jednotky ACAS nebo TCAS ke komunikaci mezi letadly.
- Odpovědi na pozemní dotazy mají formát DF4. Formáty DF11 a DF17 jsou „umlčeny“ transpondéry módu S při nominální frekvenci 1 Hz. [9]

4.2. ICAO adresa

Toto pole má 24 bitů, které zajistí jednoznačnou identifikaci letadla. Adresy letadel se používají v aplikacích, které vyžadují směrování informací k nebo od jednotlivých letadel k tomu patřičně vybavených. Příklady takových aplikací jsou letecká telekomunikační síť (ATN), mód S sekundárního radiolokátoru a palubní protisrážkový systém (ACAS). [9] [10]

Podle ICAO Annex 10 se nevylučuje přidělení ICAO adres zvláštním aplikacím, jako jsou letištní pozemní vozidla na pohybové ploše. Příkladem takových aplikací je využití 24 bitových adres v pseudoletecké pozemní stanici určené pro monitorování pozemní stanice letecké pohyblivé služby v pevných odpovídacích módu S udávajících pozemní statut, určených pro monitorování činnosti pozemních stanic módu S. Přidělení letadlových adres zvláštním aplikacím se provádí v souladu s postupy pro přidělování 24 bitových adres letadlům zavedenými daným státem. V žádné aplikaci se adresa tvořená 24 nulami nesmí použít. [9] [10]

4.3. BDS registry

Díky odpovídačům se na palubě letadla uchovávají data z avioniky, to je souhrnný název pro vybavení letadel elektrickými a elektronickými přístroji. V avionice v tzv. binárním úložišti dat (BDS – Comm B Data Selector), o kapacitě 56 bitů, se ukládají data pro různé registry z odpovídače. Nyní již existuje 256 registrů. Tato data jsou zakódovaná v binárním tvaru a jsou dotazována prostřednictvím sekundárních radarů Módu S. Registry BDS bývají označovány jako registry GICB, protože jsou propojeny prostřednictvím „Ground Initiated Comm-B“. Registry, které nejsou v určitém časovém úseku aktualizovány jsou odpovídačem smazány za účelem zachování jen aktuálních dat. Registry se identifikují pomocí dvoumístného hexadecimálního čísla například BDS 0,5. ADS-B a Mód S zprávám jsou přiřazeny jednotlivé BDS registry. Když se sekundární radar dotazuje letadla, tak do zprávy o požadavku (UF) zahrne i BDS kód, který následně odpovídač daného letadla využije k tomu, aby rozpoznal zprávy, které vyžaduje radar. Když se zpráva přenáší zpět v downlink formátu (DF), není zde již obsažen BDS kód, protože sekundární radar ví, jaký druh zprávy požadoval. [17]

4.4. Schopnost (Capability)

Letadlo, které je vybaveno odpovídačem módu S, může oznamovat polohu na zemi kódováním pole schopnosti (Capability field) CA v přenosovém formátu DF11 nebo DF17, nebo kódováním pole vertikálního statusu (VS) v přenosovém formátu DF0. Stání na zemi lze stanovit monitorováním pole statusu letu (FS), které se přenáší ve formátech sestupného spoje DF4, 5, 20 nebo 21. [9]

Potencionální možnosti: pole 3 bitů (6–8) sestupného spoje musí předávat informace o úrovni odpovídače a další níže uvedené informace. Tyto informace musí být použity ve formátech DF11 a DF17. [9]

V tabulce číslo 5 vidíme od

Tabulka 5 odpovídače a jejich kódy [8]

Kód	Význam
0	odpovídač úrovně 1 (pouze sledování) a nastavení kódu 7 CA, letadlo se nachází ve vzduchu nebo na zemi
1	Rezervováno
2	Rezervováno
3	Rezervováno
4	odpovídač úrovně 2 a vyšší a nastavení kódu 7 CA, letadlo se nachází na zemi
5	odpovídač úrovně 2 a vyšší a nastavení kódu 7 CA, letadlo se nachází ve vzduchu
6	odpovídač úrovně 2 a vyšší a nastavení kódu 7 CA, letadlo se nachází ve vzduchu nebo na zemi
7	pole DR = 0 nebo pole FS = 2, 3, 4 nebo 5, letadlo se nachází ve vzduchu nebo na zemi

5. Meteorologie a data podstatná pro předpověď

5.1. Význam meteorologie v letectví

Let se odehrává v atmosféře, který je přímo závislý na počasí. Let je proces, který je ovlivňován mnoha faktory v atmosférickém prostředí, jako jsou například: vítr, který ovlivní délku letu, vlhkost, která může způsobit námrazu, podmínky pro vzlet a přistání jako je dohlednost, turbulence, tlak, teplota vzduchu a rizikové počasí jako jsou bouřky, vánice nebo kroupy. [8][4]

5.2. Atmosféra

Atmosféra je plynný obal Země, který sahá od povrchu země až do několika desítek tisíc kilometrů. Atmosféra odděluje zemský povrch od meziplanetárního prostoru. V nejnižších vrstvách atmosféry se odehrávají meteorologické jevy jako je vítr, déšť, tlakové podmínky atd. Atmosféra je zdrojem kyslíku, chrání zemský povrch před kosmickým zářením, slunečním ultrafialovým zářením i před silnými výkyvy teploty vzduchu. Kdyby na Zemi nebyla atmosféra, nešířil by se ani zvuk a přechod mezi dnem a nocí by byl okamžitý. Teplota vzduchu by se pohybovala mezi +100 °C ve dne a -100°C v noci. [8][19]

Složení atmosféry

Zemská atmosféra je tvořena ze směsí různých plynů, vodních par a pevných a kapalných částic. Konkrétně se skládá z 78,09 % dusíku, 20,95 % kyslíku a zbytek tvoří ostatní plyny a částice, které mají zastoupení méně než 1 %. Mezi ně patří například neon, helium, metan, krypton a vodík. Ve vzduchu je množství vodní páry, která je soustředěna především ve spodních 10 km atmosféry. Její množství se mění od 0,2 % do 4 %, proto je vzduch někdy více a někdy méně vlhký. Obsahuje také produkty kondenzace vodní páry neboli oblačnost. Sublimace jsou vodní kapičky a ledové krystalky, které se ve vzduchu vznášejí. [8][19]

5.3. Vertikální členění atmosféry a jevy ovlivňující let

Zemskou atmosféru můžeme dělit na vrstvy, které se liší svými fyzikálními nebo chemickými vlastnostmi. [8]

V tabulce číslo 4 je popsáno vertikální členění atmosféry jako jsou vrstvy, střední výšky a přechodné vrstvy v atmosféře.

Tabulka 6 Vertikální členění atmosféry [8]

Vrstva (sféra)	Střední výška spodní a horní hranice	Přechodná vrstva
Troposféra	0 km – 11 km	Tropopauza
Stratosféra	11 km – 50 km	Stratopauza
Mezosféra	50 km – 80 km	Mezopauza
Termosféra	80 km – 800 km	Termopauza
Exosféra	>800 km	

Troposféra

Troposféra je nejspodnější částí atmosféry, která sahá průměrně do výšky 11 km nad zemí. Nad oblastí rovníku sahá do výšky až 16–18 km, nad jižním a severním pólem sahá do výšky 7–8 km. Ve středních zeměpisných šířkách se její výška mění v závislosti na ročním období. Jeden z charakteristických znaků troposféry je ubývání teploty průměrně o 0,65 °C na 100 m výšky. [8][19]

V troposféře se objevují vertikálně tenké vrstvy, v nichž je teplota vzduchu stejná, tento jev se nazývá izotermie. [8]

Tropopauza

Je nazvaná přechodná vrstva mezi troposférou a stratosférou. Zde dochází k všeobecnému poklesu teplot s výškou a ustávají zde vertikální pohyby vzduchu. [8]

Pro leteckou dopravu má tropopauza význam nejen jako přibližná horní hranice oblačnosti, ale především jako turbulentní vrstva zvláště ve spojení s tryskovým prouděním, také nazvaným jako jet stream. Jeho rychlost se uvádí až 500 km/h, nad našim územím až 300 km/h. [8][19]

Stratosféra

Sahá do výšky maximálně 55 km nad zemským povrchem. Charakteristické je, že v ní proudí převážně horizontální proudění vzduchu. Ve spodní části v průměru do výšky 20–25 km se teplota nemění, což se nazývá izotermie, odtud výše roste až k 0 °C v blízkosti stratopauzy. S výškou rostoucí teplotu nazýváme inverzí.[8][19]

Vzestup teploty je ovlivněn zvýšenou koncentrací ozonu, který pohlcuje ultrafialové sluneční záření. Ozonoférou je označena vrstva 25–30 km nad zemí. Stratosférický ozon je produktem fotochemické reakce, která je vyvolaná ultrafialovým zářením na molekuly O₂. Rychlost větru ve stratosféře s výškou nejprve klesá a od 25 km a výš zase roste. Perleťová oblaka neboli polární stratosférická oblaka, která se vyskytují nad polárními oblastmi se objevují kolem 25. km výšky a pravděpodobně jsou složena z ledových krystalků. Tato oblaka jsou výjimečná, jelikož k jejich vzniku musí být přesné podmínky ve stratosféře. [8][19]

Stratopauza

Se nachází ve výšce okolo 50 km nad zemí. Jedná se o přechodnou vrstvu mezi stratosférou a mezoférou v níž se vyskytuje nejvyšší teplota. Tlak je zde na tisícíně tlaku vzduchu u mořské hladiny. Stratopauza se vyskytuje nejen v Zemské atmosféře.[8]

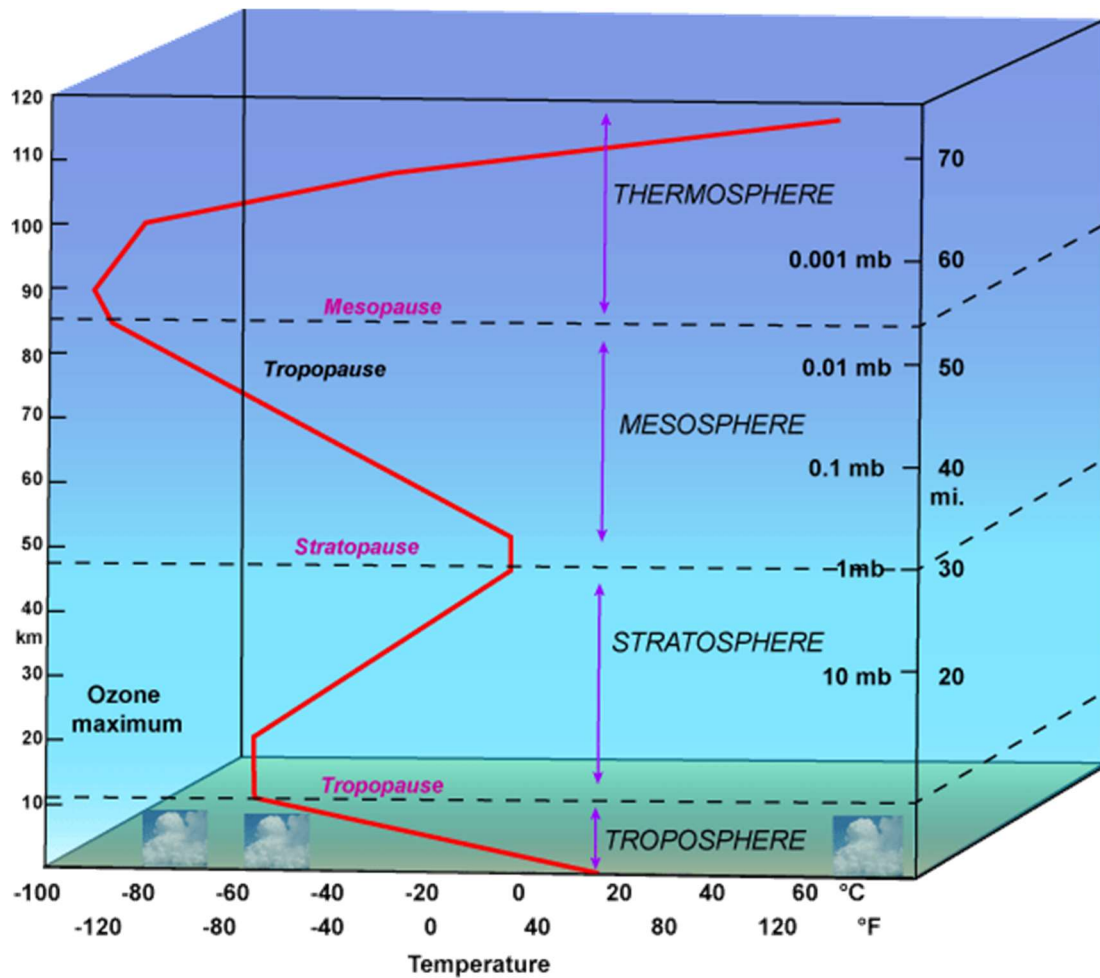
Mezoféra

Mezoféra je vrstva ve výšce 50–80 km nad zemí. Nad výškou 50 km teplota vzduchu klesá a na horní hranici mezoféry v oblasti mezopauzy dosahuje ve vysokých zeměpisných šířkách v létě hodnot -80 °C až -90 °C a v zimě až -50°C. Proudění v mezoféře je značně proměnlivé.[7]

Mezopauza

V oblasti mezopauzy se v létě objevují tzv. světélkující nebo stříbřitá oblaka s velmi jemnou strukturou, která jsou tvořena kosmickým, nebo vulkanickým prachem a ledovými krystalky. Objevují se v severní části horizontu a pohybují se od východu na západ. [8][19]

Na obrázku číslo 7 můžeme vidět oddělené jednotlivé vrstvy atmosféry s uvedením jejich tlaku na pravé straně a jejich výšce v kilometrech na levé straně. Červená křivka ukazuje vývoj teploty v jednotlivých vrstvách atmosféry.



Obrázek 7 Vertikální členění atmosféry [18]

5.4. Aerologie a její základní měření

Aerologie je meteorologickou disciplínou, která se zabývá výzkumem a pozorováním atmosféry pomocí meteorologických balonů, radiosond a letadel. Zkoumá zejména vertikální průběh teploty, vlhkost a tlak vzduchu, popřípadě i proudění větru v různých výškových hladinách. [2]

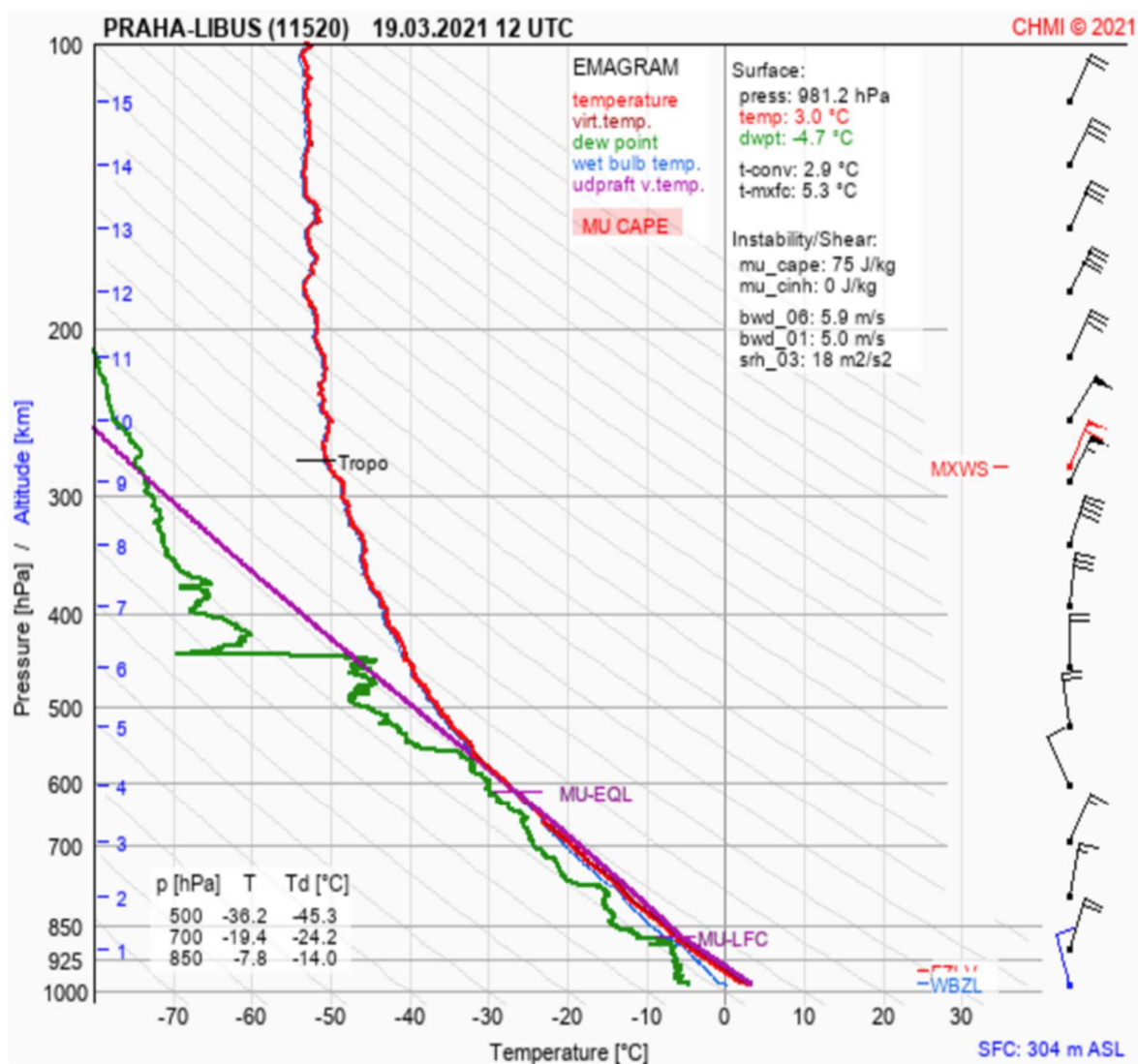
Základní měření

Sonda funguje tak, že stoupá pomocí balonu, který je naplněný vodíkem do výšky okolo 30–35 km, kde poté balon praskne. Vzestup balónu do této výšky trvá přibližně 90 minut. Při tomto výstupu radiosonda zaznamenává již zmíněné hodnoty a na základě lokalizace pomocí družicového navigačního systému GNSS je určován směr a rychlost větru v jednotlivých výškách s přesností 0,15 m/s při intervalu měření 10 s. Sonda snímá hodnoty v následujícím rozmezí: [2]

- tlak v rozsahu od 3 hPa do 1080 hPa s přesností 0,4 hPa
- teplotu v rozsahu od +60 °C do -90 °C s přesností 0,1 °C
- vlhkost v rozsahu od 0 až 100 % RH s přesností 2 %

Pomocí anténního systému přijme pozemní zařízení automaticky data PTU vysílaná z radiosondy, která jsou frekvenčně modulovaná na rádiové vlny v pásmu 400 MHz. Z přijatých informací jsou na zemi dopočítány hodnoty rosného bodu, výška, směr a rychlost větru. Veškeré zprávy jsou posílány pomocí FTP protokolu do regionálního telekomunikačního centra a jsou využity pro meteorologické účely. Data ve standardních tlakových hladinách jsou vyhodnocována pomocí programu MetGRAPH, který vlastní firma VAISALA. Tento program z naměřených dat určí vlhkost vzduchu a význačnou hladinu výškového profilu teploty. [2]

Emagram na obrázku číslo 8 obsahuje několik křivek. Tlustá červená křivka značí naměřenou teplotu. Tenká hnědá křivka, která se překrývá se s tlustou červenou křivkou, značí virtuální teplotu a tlustá zelená křivka ukazuje teplotu rosného bodu. Tlustá a tenká fialová křivka značí virtuální teplotu adiabatického výstupu (nejprve nenasycený, nad kondenzační hladinou nasycený). Tlustě se vykresluje jen při nenulové hodnotě MU CAPE. Světle červená stínovaná plocha představuje energii MU CAPE, pouze pokud je nenulová. [2]



Obrázek 8 Emagram 100 hPa [2]

Další údaje u grafů do 100 hPa:

- t-conv je konvektivní teplota, pro průměrný směšovací poměr ve spodních 50 hPa.
- t-mxcf je pro odhad denního maxima teploty na základě teplotního zvrstvení.
- Údaje u grafů do 100 hPa, které se vypisují jen u nenulové CAPE (tzn. dostupná konvektivní potenciální energie)

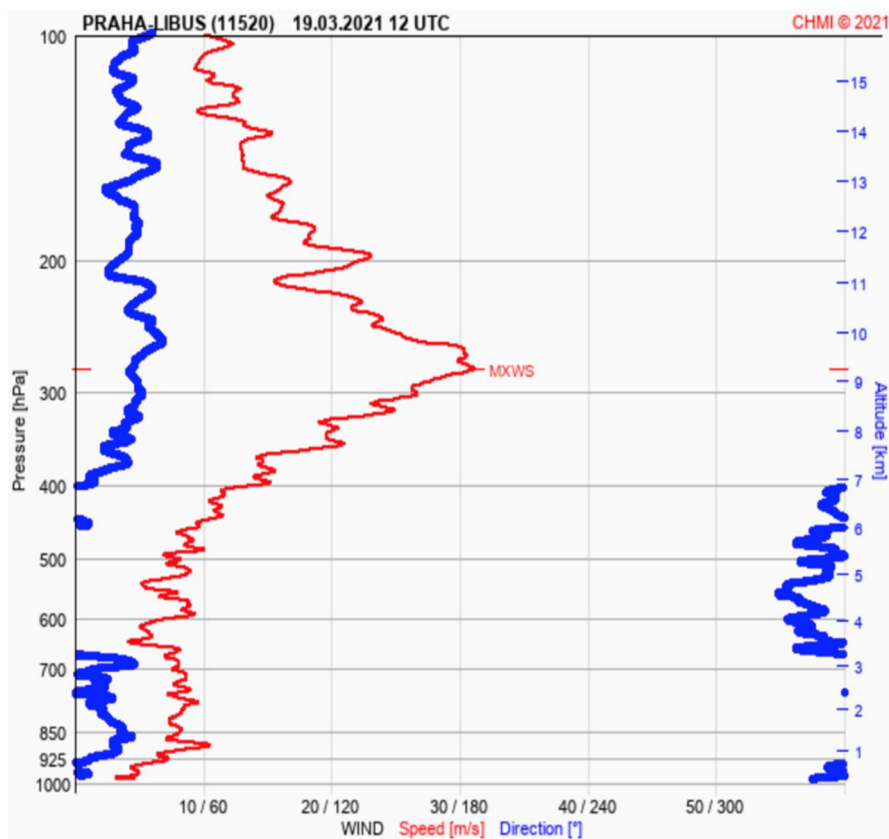
- CAPE pro vzduch vystupující z hladiny s největší ekvivalentní potenciální teplotou ve spodních 300 hPa se označuje MU CAPE.
- Další hodnota CIN (energie nutná k překonání zádržné vrstvy) se označuje MU CINH. bwd_06 je velikost vektorového rozdílu větru při zemi a v 6 km nad zemí, hovorově nazývaná stříh větru.
- bwd_01 je velikost vektorového rozdílu větru při zemi a v 1 km nad zemí.
- srh_03 je helicity ve spodních 3 km. [2]

Hladiny, které se označují u pravého okraje grafů jsou následovné:

1. MXWS – označení pro hladinu maximální rychlosti větru
2. MU EQL – hladina nulového vztlaku
3. FZLV – hladina nulové izotermy
4. WBZL – hladina nulové izotermy vlhké teploty
5. MU LFC – hladina volné konvekce počítaná pro stejný výstup jako MU CAPE [2]

Na obrázku číslo 9 můžeme vidět graf rychlosti a směru větru.

- Pro profil směru a rychlosti větru je použita stejná vertikální osa jako v případě předchozích grafů – tlak v logaritmické škále.
- Na křivce větru je označena hladina maximální rychlosti větru MXWS.
- Červeně označená křivka značí rychlost větru v m/s.
- Modrá křivka označuje směr větru ve stupních. [2]



Obrázek 9 Graf rychlosti a směru větru [2]

5.5. Praha – Libuš

Stanice Praha-Libuš je součástí sítě aerologických stanic Světové meteorologické organizace – World meteorological organization (WMO). [2]

Číslo stanice: 11520

Jméno: Praha-Libuš

Zeměpisná šířka: 50°01' N

Zeměpisná délka: 14°27' E

Nadmořská výška: 304,24 m

Český Hydrometeorologický Ústav (ČHMÚ) je ústav se sídlem v Praze – Libuši, který využívá k provedení některých atmosférických měření radiosondu, přijímací a vyhodnocovací pozemní zařízení. Radiosonda se skládá z křemíkových mikročipových čidel, které umožňují měření tlaku, teploty a vlhkosti vzduchu (PTU). Konkrétním druhem radiosondy je RS92-SGP od finské firmy VAISALA, která je zobrazena na následujícím obrázku číslo 10. [2]



Obrázek 10 Radiosonda RS92-SGP [2]

5.6. Vliv letecké dopravy na atmosféru

Činnost v oblasti letectví a leteckého průmyslu má negativní dopad na životní prostředí a klima Země. Jedná se o hlukové znečištění, spotřebu vody, produkci odpadu a v neposlední řadě o produkci skleníkového plynu kterým je oxid uhličitý.

Za poslední desetiletí se letecká doprava rozrostla, což vede ke stálému nárůstu emisí. Dalším faktorem je rychlý nárůst obchodu a rozvíjející se ekonomiky, které obnáší nárůst přepravy. Nepříznivé účinky změny klimatu jsou takové změny, které mají výrazně škodlivé účinky na složení, regenerační schopnosti a produktivitu přirozených a řízených ekosystémů. Tyto systémy mají vliv na lidské zdraví a činnost sociálně – ekonomických systémů. [6][5]

Emise leteckých motorů

Emise, které produkují letecké motory jsou podobné emisím ostatních motorů, které spalují fosilní palivo složené z ropy. Největší procento z emisí tvoří CO_2 . Letecké proudové motory produkují hlavně částice aerosolů a kondenzující plyny, ze kterých následně vznikají nové kapalné částice. Další sloučenina, která je obsažena ve výfukových plynech je do jisté míry například kyselina sírová (H_2SO_4), ze které vznikají kyselá deště poškozující zejména zemský povrch, hlavně lesy. Proto používání paliva s nízkým obsahem síry je dobrý způsob, jak snížit vliv letecké dopravy na klima. [12]

6. Návrh výpočtu metrologických dat přijatých z paluby letadla

Data, která jsem použil ke zpracování do své bakalářské práce jsou z laboratoře systémů ATM na Katedře letecké dopravy na fakultě dopravní ČVUT v Praze. Laboratoř disponuje čtyřmi přijímači ADS-B. Tyto přijímače jsou vybaveny pasivní anténou s příslušným frekvenčním rozsahem 1090 MHz pro příjem odpovědí odpovídáče módu S.

Pro zpracování celého programu jsem používal Visual Basic v Excelu od firmy Microsoft.

6.1. Filtrování meteorologických dat

Data pro filtrování jsem použil z laboratoře ATM FD ČVUT v Praze. Vytvořil jsem skript pod názvem „dekodovanibdsregistru44_45“

Při spuštění programu se otevře okno, kde si uživatel vybere složku, ve které se nacházejí data, která bude následně zpracovávat.

Po načtení souboru program vytvoří nový sešit s dvěma listy „FourFour“ a „FourFive“. Následně program vypíše do příslušných listů hlavy jednotlivých položek, které jsou obsažené v BDS registrech. Jako první věc zkontrolujeme, jestli přijímaná zpráva má správnou délku 28 hexadecimálních znaků.

```
If Len(poleRet(UBound(poleRet))) = 28 Then

    FailFourFour = AlphaTestFourFour(poleRet(UBound(poleRet)))
    FailFourFive = AlphaTestFourFive(poleRet(UBound(poleRet)))
    FailOneSeven = AlphaTestOneSeven(poleRet(UBound(poleRet)))
    FailFourZero = AlphaTestFourZero(poleRet(UBound(poleRet)))

Else

    lengthFail = 1

End If
```

Obrázek 11 Alphatesty

Zbylé zprávy, které této délce nevyhovují se z procesu vyřazují. Pro určení, jestli se jedná o registr 4,4 nebo 4,5 jsem použil funkce s názvem „AlphaTestFourFour“ a „AlphaTestFourFive“. V těchto testech se dále zpracovávají zprávy v hexadecimálním formátu.

```

Function AlphaTestFourFour(hexaMessage As String) As Integer
Dim partStr As String
Dim partValStr As String
Dim failureCount As Integer

failureCount = 0

partStr = Right(Left(hexaMessage, 10), 1)
If partStr = "0" Or partStr = "1" Or partStr = "2" Or partStr = "3" Or partStr = "4" Or
partValStr = Right(Left(hexaMessage, 14), 5)
If partValStr = "00000" Or partValStr = "00001" Then
Else
failureCount = failureCount + 1
End If
End If

```

Obrázek 12 Alphatest 4,4

V těchto Alpha testech prověřujeme, zda jsou statusové bity, které jsou obsažené v jednotlivých BDS registrech nula a jejich následující blok obsahující data je také nastaven na hodnotu nula. Pokud je statusový bit nastaven na hodnotu nula a následující datový blok má hodnotu jinou než nula, zpráva se z dalšího procesu pomocí přičtení hodnoty k proměnné FailureCount vyřazuje z dalšího zpracování nevhodné zprávy. Podle řazení registrů se určují statusové bity, které se rovnají nule.

V následující tabulce vidíme nastavení hexadecimálních znaků.

Nulový statusový bit určuje následný datový blok na hodnotu nula.

Sloupec „položky = 0“ vidíme jaké hexadecimální znaky mají být nastavené na hodnotu nula.

Sloupec „Možnosti“ nám ukazuje jaké hexadecimální hodnoty může mít znak, který je uveden ve sloupci „Položka“.

Datový blok 4,4

Tabulka 7 datový blok 4,4

Datový Blok	POLOŽKY = 0	POLOŽKA	MOŽNOSTI -> 0
WIND	10 AŽ 13	14	0, 1
TEMP	15 A 16	14	0, 2, 4, 6, 8, A, C, E
		17	0 AŽ 3
PRESS	18 A 19	17	0, 4, 8, C
TURB		20	0, 4, 8, C
HUM	22	21	0, 8

Pokud zpráva prošla prvotním Alpha testem pro registr 4,4 a nebyla detekována žádná chyba, pak pokračujeme ve zpracovávání zprávy v alpha testech „alphatestoneseven“ a „alphatestfourzero“.

U registru 1.7 se kontroluje pomocí funkce „AlphaTestOneSeven“ rezervovaný blok, který musí obsahovat nuly a kontroluje počet nul v celkové zprávě.

```

poczn = pocetznaku(binarymessage, "0")
If poczn >= 40 Then
Else
    failureCountOS = failureCountOS + 1
End If

partStOS = Right(Left(hexaMessage, 22), 7)
If partStOS = "0000000" Or partStOS = "8000000" Then
Else
    failureCountOS = failureCountOS + 1
End If

```

Obrázek 13 Alphatest 1,7

Pokud u těchto dvou testů zjistíme, že se zpráva neshoduje s BDS registry 1.7, nebo 4.0, pokračujeme v dekódování zprávy podle BDS registru 4.4.

Tabulka pro datový blok 4,5 je postavena na stejném principu jako tabulka pro datový blok 4,4.

Tabulka 8 datový blok 4,5

	POLOŽKY = 0	POLOŽKA	MOŽNOSTI -> 0
TURB		9	0, 1
W/S		10	0 AŽ 3
MB		10	0, 4, 8, C
		11	0 AŽ 7
ICING		11	0, 8
VORT		12	0, 1
TEMP	13 A 14	12	0, 2, 4, 6, 8, A, C, E
		15	0 AŽ 3
PRESS	16 A 17	15	0, 4, 8, C
		18	0 AŽ 3
HEIGHT + RES	19 AŽ 22	18	0, 4, 8, C
RES	22	21	0, 2, 4, 6, 8, A, C, E

Pokud zpráva prošla prvotním Alpha testem a nebyla detekována žádná chyba, pak se zpráva převede z hexadecimální do binární soustavy a pokračuje se ve zpracování ve funkci DecodingFourFour, nebo DecodingFourFive podle toho, ke které byla přiřazena při předchozím Alpha testu.

```

If FailFourFour = 0 And FailOneSeven <> 0 Then
  If FailFourZero = 0 Then
    FailFourZeroDecoding = DecodingFourZero(partMessage56)
    If FailFourZero <> 0 Or FailFourZeroDecoding <> 0 Then
      Call DecodingFourFour(partMessage56, ICAOHex, oDate)
    End If
  Else
    Call DecodingFourFour(partMessage56, ICAOHex, oDate)
  End If
Else
  If FailFourFive = 0 Then
    Call DecodingFourFive(partMessage56, ICAOHex, oDate)
  End If
End If

```

Obrázek 14 podmínky pro decoding 4,4 a 4,5

V procesu dekódování rozdělujeme zprávu na jednotlivé datové bloky. Pokud je statusový bit nastaven na hodnotu jedna, pak následující datový blok obsahuje informační hodnotu.

Tyto hodnoty se poté převádí z binární do decimální soustavy a porovnávají se s maximálně možnou hodnotou.

Rozsah teploty vzduchu je stanoven v technických ustanoveních pro mód S. Rychlost větru byla upravena podle skutečných provozních dat. Datové bloky pro tlak a vlhkost málokdy obsahují informace.

```

If failureCountFFD = 0 Then
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 1) = "" & ICAOH
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 2) = "" & FOMValue
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 3) = "" & windSpeedIn
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 4) = "" & windDirect
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 5) = "" & staticAirTemp
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 6) = "" & averStatPress
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 7) = "" & TURValue
  ActiveSheet.Cells(RowCountFoFo, 8) = "" & humidity
End If

```

Obrázek 15 výpis hodnot BDS registru 4,4

6.2. Dekódování meteorologických dat

Následně se testují pomocí funkce „AlphaTestFourZero“ statusové bity a datové bloky pro BDS registr 4.0. Pokud tento test proběhne bez chyby, pokračuje se s dekódováním pro BDS registr 4.0. Testování probíhá stejně jako u registru 4,4. Pokud zpráva nesplňuje podmínky pro BDS registry 1.7 a 4.0, tak se zpráva považuje jako zpráva BDS registru 4,4.

6.2.1. Dekódování BDS registru 4,4

BDS registr 4,4 obsahuje 7 polí, která jsou charakteristická podle jejich první a poslední pozice. Každé pole s výjimkou FOM/SOURCE je určeno pomocí statusového bitu. Statusový bit určuje název a v následujícím poli se nachází informace o obsažených datech.

V tabulce máme přehled čísel polí, pozic bitů a obsažených dat.

Tabulka 9 informace pro dekódování BDS 4,4 [7]

Číslo pole	Pozice bitu	Obsažená data
1	1-4	FOM/SOURCE
2	6-14	Rychlost větru
3	15-23	Směr větru
4	25-34	Statická teplota
5	36-46	Průměrný statický tlak
6	48-49	Turbulence
7	51-56	Vlhkost

Na obrázku vidíme rozdělení jednotlivých polí dle předchozí tabulky a dekodování prvního pole FOM/SOURCE. V tomto poli se vybírá systém, ze kterého letadlo zjišťuje svou polohu v prostoru. Mezi tyto systémy patří Inerciální navigační systém (INS), Globální satelitní navigační systém (GNSS) a pozemní stanice na zjišťování polohy jako DME/DME a VOR/DME.

```
failureCountFFD = 0

FOM = Right(Left(messageFoFo, 4), 4)
windSpeed = Right(Left(messageFoFo, 14), 9)
windDir = Right(Left(messageFoFo, 23), 9)
statAirTempSign = Int(Right(Left(messageFoFo, 25), 1))
statAirTemp = Right(Left(messageFoFo, 34), 10)
averStatPress = Right(Left(messageFoFo, 46), 11)
turbulence = Right(Left(messageFoFo, 49), 2)
humid = Right(Left(messageFoFo, 56), 6)

FOMInt = Int(Bin2Dec(FOM))

Select Case FOMInt
  Case 0
    FOMValue = "Invalid"
  Case 1
    FOMValue = "INS"
  Case 2
    FOMValue = "GNSS"
  Case 3
    FOMValue = "DME/DME"
  Case 4
    FOMValue = "VOR"
  Case Else
    FOMValue = "Reserved"
    failureCountFFD = failureCountFFD + 1
End Select
```

Obrázek 16 decoding 4,4

6.2.2. Dekódování BDS registru 4,5

BDS registr 4,5 se skládá z 9 polí, která obsahují 8 různých meteorologických dat. Poslední pole je rezervováno a neobsahuje žádná data.

Každé pole je určeno pomocí statusového bitu, podle kterého poznáme, zda pole obsahuje danou informaci.

Tabulka 10 informace pro dekódování BDS 4,5 [7]

Číslo pole	Pozice bitu	Obsažená data
1	2-3	Turbulence
2	5-6	Střih větru
3	8-9	Microburst
4	11-12	Námraza
5	14-15	Turbulence v uplavu
6	18-26	Statická teplota vzduchu
7	28-38	Průměrný statický tlak
8	40-51	Výška naměřená rádio výškoměrem
9	52-56	Reservované

V následující tabulce můžeme vidět slovní hodnoty, které popisují jednotlivé hazardní fenomény jako například turbulence a námrazu.

Tabulka 11 slovní hodnoty pro MHZ [7]

Nastavení bitů	hodnota
0 0	NIL
0 1	Lehká
1 0	Střední
1 1	silná

Obrázek nám ukazuje, jak v průběhu testování jsou zprávy rozdělené na jednotlivé datové bloky a následně jsou dekodovány jednotlivé hodnoty, které jsou obsaženy v těchto datových blocích.

```
turb = Right(Left(messageFoFi, 3), 2)
windShear = Right(Left(messageFoFi, 6), 2)
microburst = Right(Left(messageFoFi, 9), 2)
icing = Right(Left(messageFoFi, 12), 2)
wakeVortex = Right(Left(messageFoFi, 15), 2)
stAirTempSign = Int(Right(Left(messageFoFi, 17), 1))
stAirTemp = Right(Left(messageFoFi, 26), 10)
avStatPre = Right(Left(messageFoFi, 38), 11)
radioHeight = Right(Left(messageFoFi, 51), 12)

TURBInt = Int(Bin2Dec(turb))

Select Case TURBInt
  Case 0
    TURBValue = "Nil"
  Case 1
    TURBValue = "Light"
  Case 2
    TURBValue = "Moderate"
  Case Else
    TURBValue = "Severe"
End Select
```

Obrázek 17 dekodování BDS registru 4,5

7. Rejstřík letadel využívající BDS registry 4,4 a 4,5

Po dekódování přijatých zpráv a následného vyhodnocení tabulek s výsledky jsem vytvořil rejstřík letadel, které vysílají BDS registry 4,4. Letadla, která vysílají BDS registry 4,5 nebylo možné najít, protože radary v ČR se na tyto registry nedotazují.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TIME	ICAO ADR	FOM/Source	WIND SPEED	WIND DIRECTION	STAT AIR TEMP	AV STAT PRESSURE	TURBULENCE	HUMIDITY
2	03.10.2015	3C4DD4	INS	75	330	-31	0	Nil	0
3	04.10.2015	3C4DD4	INS	39	296	-19,5	0	Nil	0
4	04.10.2015	3C4DD4	INS	41	290	-26,25	0	Nil	0
5	04.10.2015	3C4DD4	INS	32	288	-37	0	Nil	0
6	04.10.2015	3C4DD4	INS	33	280	-20,5	0	Nil	0
7	04.10.2015	3C4DD4	INS	6	240	-13	0	Nil	0
8	04.10.2015	3C4DD4	INS	26	282	-23	0	Nil	0
9	04.10.2015	3C4DD4	INS	37	288	-35,5	0	Nil	0
10	04.10.2015	3C4DD4	INS	40	286	-36,25	0	Nil	0
11	04.10.2015	3C4DD4	INS	29	269	-29,75	0	Nil	0
12	04.10.2015	3C4DD4	INS	11	238	-7,75	0	Nil	0
13	04.10.2015	3C4DD4	INS	44	272	-43,75	0	Nil	0
14	04.10.2015	3C4DD4	INS	29	272	-36,25	0	Nil	0
15	04.10.2015	3C4DD4	INS	38	320	-45,5	0	Nil	0
16	04.10.2015	3C4DD4	INS	38	284	-39,75	0	Nil	0
17	04.10.2015	3C4DD4	INS	39	283	-39,75	0	Nil	0
18	04.10.2015	3C4DD4	INS	40	284	-39,75	0	Nil	0
19	04.10.2015	3C4DD4	INS	28	280	-48,5	0	Nil	0
20	04.10.2015	3C4DD4	INS	24	276	-49	0	Nil	0
21	04.10.2015	3C4DD4	INS	41	276	-48,5	0	Nil	0
22	04.10.2015	3C4DD4	INS	50	282	-49,75	0	Nil	0
23	04.10.2015	3C4DD4	INS	42	289	-48,5	0	Nil	0
24	04.10.2015	3C4DD4	INS	70	292	-43,25	0	Nil	0

Obrázek 18 Výsledek dekódovaných zpráv

Následující tabulka udává ICAO adresy letadel, která vysílají BDS registry 4,4.

Tabulka 12 Seznam letadel, která vysílají BDS registry 4,4

ICAO adresa	Provozovatel	Typ letadla	Imatrikulace
3C4DCA	LUFTHANSA CITYLINE	BOMBARDIER CRJ 900	D-ACNJ
3C4DD4	LUFTHANSA CITYLINE	BOMBARDIER CRJ 900	D-ACNT
3E350B	EUROPEAN FLIGHT ACCADEMY	CESSNA 525 CJ1	D-ILHB
49D009	ČSA	ATR-72	OK-MFT
49D019	ČSA	ATR-42	OK-KFN
49D2A8	TIME AIR	NEXTANT 400XT	OK-ESC
49D2CE	ČSA	ATR-72	OK-GFS
49D2D0	ČSA	ATR-72	OK-GFR
49D3AD	ČSA	ATR-72	OK-NFU
4C49E2	PRINCE AVIATION	CESSNA 560XL	YU-SPC

8. Závěr

Na závěr jsem pomocí filtrování a dekodování dat z laboratoře ATM na ČVUT v Praze úspěšně vytvořil program, pomocí kterého jsem vyfiltroval data z ATM a následně jsem je dekoval a vytvořil tak rejstřík ICAO kódů letadel, která vysílají meteorologická data pomocí BDS registrů 4,4 a 4,5. Bohužel registry 4,5 jsem nevyhledal žádné, protože na území ČR nejsou dotazovány sekundárními přehledovými radary. BDS registry 4,4 jsou letadly velmi málo vysílány.

V mém programu jsem používal k počátečnímu filtrování dat funkce Alphatest. Zde bylo patrné, zda data obsahují nulové statusové bity a zda následující datový blok je také nastaven na hodnotu nula. Filtrování jsem mnohokrát opakoval. Výsledná data zjištěna filtrováním, byla vhodná pro další zpracování, následné dekodování a vytvoření seznamu letadel.

Při dekodování byly automaticky vyřazeny všechny zprávy v datových blocích, které nesplňovaly rozmezí hodnot, které lze dosáhnout za normálního provozu letounu.

Data, která z dekodování vyšla v rozmezí normálního provozu, byla uložena do tabulky a obdržel jsem šestimístný hexadecimální kód ICAO adresy. Tento kód jsem zadal na plansepotters.net, který vyhodnotil typ letadla, název provozovatele a imatrikulaci jednotlivých letounů. Celkem bylo nalezeno deset letadel, která vysílají BDS registry 4,4 a pohybují se nad územím České republiky viz tabulka číslo 11.

Má bakalářská práce částečně vysvětluje, jak přistupovat k programování, filtrování a dekodování dat k získání ICAO adres letadel, která vysílají BDS registry 4,4 a možná v budoucnu i registry 4,5.

Pro další optimalizaci sběru meteorologických dat je možné využít ICAO rejstřík letadel a použít k vyhledání konkrétních letadel, která vysílají BDS registry 4,4 a 4,5, a tím zrychlit další zpracovávání nově přijatých dat.

Citovaná literatura

- [1] Bezoušek, Pavel a Šedivý, Pavel. Sekundární přehledový radar SSR, secondary. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2004. 80-.
- [2] Český Hydrometeorologický Ústav. Základní aerologické měření. [Online] https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/sondaz_PTU_vitr.html, 2010-2011. [Citace: 19. 03. 2021.] https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/sondaz_PTU_vitr.html.
- [3] DECMA/CMC/CNS. Management of Flights by Mode S and ADS-B OUT: Eurocontrol, 03-12-2020. 20/12/03-48.
- [4] RNDr. Dvořák, Petr. Letecká meteorologie. Cheb: Svět křídel, 2017. ISBN 978-80-7573-014-5.
- [5] Emise z letecké a vodní dopravy. Evropská agentura pro život prostředí [online]. European Environment Agency Toggle navigation, 2018 [citace. 21.10.2021]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/articles/emise-z-letecke-a-vodni-dopravy>
- [6] HOSPODKA, Jakub a PLENINGER Stanislav. Vliv letecké dopravy na atmosféru. Praha: ČVUT Praha, 2015. ISBN 978-80-01-05824-4.
- [7] ICAO, Doc. 9871: Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter, AN/460, 2nd ed. 2012, ISBN 987-92-9249-042-3
- [8] RNDr. Krška, Karel. *Meteorologie (050 00)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 80-7204-447-8.
- [9] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. *Předpis o civilní letecké telekomunikační službě, svazek IV – Přehledový radar a protisrážkový systém*. [Online] 1999. [Citace: 06. 05. 2021.] https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-10/L-10iv/data/effective/uvodni_strany.pdf.

- [10] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Letecký Předpis. O CIVILNÍ LETECKÉ TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBĚ SVAZEK III – KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY L 10/III. [Online] 18. 11. 2010. [Citace: 05. 04. 2021.] <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-10/L-10iii/index.htm>. 1285/2003-220-SP/1.
- [11] MODERNÍ LETECKÁ NAVIGACE. Moderní Letecká navigace. ADS-B. [Online] [Citace: 06. 04. 2021.] <http://www.airnav.eu/index.php?stranka=adsben>
- [12] NGUYEN, THI KIM MAI. VLIV LETECKÉ DOPRAVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Marie Dvořáčková, Ph. D.
- [13] Bc. Palečková, Lucie. ANALÝZA KONDENZAČNÍCH STOP PROSTŘEDNICTVÍM DAT VYSÍLANÝCH LETADLY. [Diplomová práce] Praha: ČVUT, 2018.
- [14] STROHMEIER, Martin, Matt SMITH, Matthias SCHÄFER, Vincent LENDERS a Ivan MARTINOVIC. Crowdsourcing Security for Wireless Air Traffic Communications. Oxford, United Kingdom, 2017. University of Oxford.
- [15] Sun, Junzi. The 1090 Megahertz Riddle: A Guide to Decoding Mode S and ADS-B Signals. s.l. : TU Delft OPEN Publishing, 2021. 978-94-6366-402-8.
- [16] Techniky prehľadovej rádiolokácie lietadiel vo vzdušnom priestore II. [online]. Bratislava: airliners.sk, 2017 [citace. 01.11.2021]. Dostupné z: <https://www.airliners.sk/techniky-prehľadovej-radiolokacie-lietadiel-vo-vzdusnom-priestore-ii/>
- [17] Ing. Topková, Tereza. IDENTIFICATION OF BDS REGISTERS, Master's Thesis. Praha: ČVUT, 2017.
- [18] VODIČKOVÁ, Kateřina. Náhlé stratosférické oteplení [online]. Praha: Meteopress, 2019 [citace. 15.10.2021]. Dostupné z: <https://www.meteopress.cz/vysvetleni/nahle-stratosfericke-otepleni/>

- [19] VYSOUDIL, Miroslav. Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 2013. ISBN 978-80-244-3892-4.
- [20] WOLF, Christian. Radar Basic [online]. [citace. 14.10.2021]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu>
- [21] World meteorological organization. AMDAR Observing system. [Online] 2021. [Citace: 04. 04. 2021.] <https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system/amdar-observing-system>.

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 KOMUNIKACE SYSTÉMŮ ADS-B A SSR [13].....	10
OBRÁZEK 2 FUNKCE ADS-B [5]	12
OBRÁZEK 3 PRINCIP ČINNOSTI SEKUNDÁRNÍHO PŘEHLEDOVÉHO RADARU [15]	13
OBRÁZEK 4 PRŮBĚH ADRESNÍHO DOTAZU [1]	15
OBRÁZEK 5 VŠEOBECNÝ DOTAZ [1]	16
OBRÁZEK 6 FORMÁT KRÁTKÝCH A DLOUHÝCH ZPRÁV [14]	20
OBRÁZEK 7 VERTIKÁLNÍ ČLENĚNÍ ATMOSFÉRY [17]	27
OBRÁZEK 8 EMAGRAM 100 HPA [2].....	29
OBRÁZEK 9 GRAF RYCHLOSTI A SMĚRU VĚTRU [2]	31
OBRÁZEK 10 RADIOSONDA RS92-SGP [2]	32
OBRÁZEK 11 ALPHATESTY	34
OBRÁZEK 12 ALPHATEST 4,4	35
OBRÁZEK 13 ALPHATEST 1,7	36
OBRÁZEK 14 PODMÍNKY PRO DECODING 4,4 A 4,5	38
OBRÁZEK 15 VÝPIS HODNOT BDS REGISTRU 4,4.....	38
OBRÁZEK 16 DECODING 4,4	40
OBRÁZEK 17 DEKÓDOVÁNÍ BDS REGISTRU 4,5	42
OBRÁZEK 18 VÝSLEDEK DEKÓDOVANÝCH ZPRÁV	43

Seznam tabulek

TABULKA 1 OZNAČENÍ REGISTRU ELS [12] [16].....	17
TABULKA 2 OBSAH BDS REGISTRU 4,4	18
TABULKA 3 OBSAH BDS REGISTRU 4,5	19
TABULKA 4 SEZNAM DOWNLINK FORMÁTŮ [14]	21
TABULKA 5 ODPOVÍDAČE A JEJICH KÓDY [8]	23
TABULKA 6 VERTIKÁLNÍ ČLENĚNÍ ATMOSFÉRY [7]	25
TABULKA 7 DATOVÝ BLOK 4,4	36
TABULKA 8 DATOVÝ BLOK 4,5	37
TABULKA 9 INFORMACE PRO DEKÓDOVÁNÍ BDS 4,4.....	39
TABULKA 10 INFORMACE PRO DEKÓDOVÁNÍ BDS 4,5.....	41
TABULKA 11 SLOVNI HODNOTY PRO MHZ	42
TABULKA 12 SEZNAM LETADEL, KTERÁ VYSÍLAJÍ BDS REGISTRY 4,4	44

Seznam příloh

Příloha 1 Filtrování a dekodování	52
Příloha 2 Struktura BDS registru 4,4 [7].....	76
Příloha 3 Struktura BDS registru 4,5 [7].....	77