

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Jiří Provázek

**Zajištění přehledových dat pro realizaci projektu  
výzkumu kondenzačních čar**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2016**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta dopravní  
d ě k a n**

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K621..... Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jiří Provázek**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – PIL – Profesionální pilot**

Název tématu (česky): **Zajištění přehledových dat pro realizaci projektu  
výzkumu kondenzačních čar**

Název tématu (anglicky): Data Processing from School ADS-B Receiver for Research  
of Contrails

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Zhodnocení, jaké přehledové informace budou pro potřeby projektu nezbytné
- Identifikace nejvhodnějších zdrojů přehledových informací
- Analýza využitelnosti školního ADS-B přijímače pro potřeby daného projektu
- Návrh a vytvoření systému, který bude zaznamenávat a archivovat potřebná data z datového toku od školního ADS-B přijímače pro potřeby projektu

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: Aeronautical Telecommunication Systems, Volume IV, Surveillance and Collision Avoidance Systems, 2007

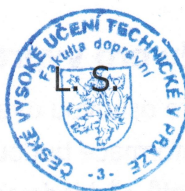
ICAO: Doc 7871 Technical Provision for Mode S Services and Extended Squitter, 2011

<http://wiki.modesbeast.com/Radarcape:Contents>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.**  
**Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **24. října 2014**  
(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: **25. srpna 2016**  
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. Stanislav Szabo, PhD. MBA      prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
vedoucí      děkan fakulty  
Ústavu letecké dopravy

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jiří Provázek  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. prosince 2015

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucím práce Ing. Stanislavu Pleningerovi, PhD. a Ing. Jakubu Hospodkovi, PhD. za rady a pomoc při vypracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval Bc. Michaelou Adamcovi za cenné rady při programování v jazyce JAVA. V neposlední řadě děkuji svým rodičům za poskytnutou materiální podporu, bez které by moje studium nebylo možné.

## Prohlášení

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).“

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.

V Praze dne 23. srpna 2016

.....  
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

ZAJIŠTĚNÍ PŘEHLEDOVÝCH DAT PRO REALIZACI PROJEKTU  
VÝZKUMU KONDENZAČNÍCH ČAR

bakalářská práce  
srpen 2016  
Jiří Provázek

**ABSTRAKT**

Práce se zabývá analýzou potřebných dat pro účely výzkumu kondenzačních stop na Fakultě dopravní. Cílem práce je vytvoření účinného softwarového nástroje, který dekoduje, filtruje a ukládá polohové zprávy ze školního přijímače zpráv módu S. Dále se práce zaměřuje na možnosti zjištění typu a dalších informací o letadlech na základě jejich ICAO adresy. Nástroj se nachází na přiloženém CD.

**Klíčové pojmy**

kondenzační stopy, přehledový systém ADS-B, SSR mód S přijímač, polohové zprávy, ADS-B dekodér

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

DATA PROCESSING FROM SCHOOL ADS-B RECEIVER FOR  
RESEARCH OF CONTRAILS

Bachelor thesis  
August 2016  
Jiří Provázek

**ABSTRACT**

The thesis is focused on analysis of necessary data for the research of contrails at the Faculty of Transport. The main goal is to create an effective software tool which enables automatically to decode, filter and save the position messages from school mode S receiver. The work also deals with determining types of aircraft based on their ICAO addresses. The software tool is attached to this work on a CD.

**Key words**

contrails, ADS-B surveillance system, SSR mode S receiver, position messages, ADS-B decoder tool

# Obsah

<b>Obsah</b> .....	<b>6</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Vliv kondenzačních stop na životní prostředí Země</b> .....	<b>11</b>
2.1 Kondenzační stopy .....	11
2.2 Princip vzniku kondenzačních stop .....	12
2.3 Vliv kondenzačních stop na atmosféru a možnosti jeho omezení .....	15
2.4 Výzkum vlivu kondenzačních stop na ČVUT .....	15
<b>3 Automatické závislé sledování</b> .....	<b>17</b>
3.1 Typy systémů ADS .....	17
3.1.1 ADS-C .....	17
3.1.2 ADS-B .....	18
3.1.2.1 Způsoby přenosu ADS-B zpráv .....	18
3.1.2.1.1 Universal Access Transceiver (UAT) .....	19
3.1.2.1.2 1090 MHz Extended Squitter .....	19
3.1.2.2 Verze „Extended Squitteru“ .....	19
3.2 Struktura zprávy ADS-B .....	19
3.2.1 Downlink format .....	20
3.2.2 Capability .....	20
3.2.3 ICAO aircraft address .....	21
3.2.4 Message .....	21
3.2.5 Parity identifier .....	22
3.3 Struktura zprávy „Airborne position“ .....	22
3.3.1 Format type code .....	25
3.3.2 Surveillance status .....	25
3.3.3 Single antenna flag (SAF) .....	25
3.3.4 Altitude .....	25
3.3.5 Time (T) .....	26
3.3.6 CPR format (F) .....	26
3.3.7 Encoded latitude .....	26
3.3.8 Encoded longitude .....	26
3.4 Compact position reporting (CPR) .....	26
3.4.1 Globálně nezaměnitelná poloha .....	27
3.4.2 Lokálně nezaměnitelná poloha .....	27
3.4.3 Dekódování lokálně nezaměnitelné polohy .....	27
3.4.3.1 Potřebné parametry a konstanty pro dekodování CPR lokálně nezaměnitelné polohy .....	27
3.4.3.2 Postup dekodování CPR lokálně nezaměnitelné polohy .....	28
<b>4 Program ADS-B live area monitor</b> .....	<b>30</b>
4.1 Školní přijímač odpovědí módu S .....	30
4.1.1 Přijímač Radarscope .....	30
4.2 Tvorba programu ADS-B live area monitor .....	32
4.2.1 Volba vhodného programovacího jazyka a IDE .....	32
4.2.2 Struktura programu ADS-B live area monitor .....	32
4.2.2.1 Funkční požadavky .....	32
4.2.2.2 Diagram pracovního cyklu programu .....	33
4.2.2.3 Výstup z programu .....	33
4.2.2.4 Databáze letadel .....	34

4.2.2.5 Webscraping .....	34
4.2.2.5.1 Postup získávání dat o typu letadla.....	35
<b>5 Uživatelský manuál k programu ADS-B live area monitor .....</b>	<b>37</b>
5.1 Úvod.....	37
5.2 GUI.....	38
5.3 Výstup z programu .....	39
<b>6 Přístup k databázi letadel pomocí programu SQuirell SQL client .....</b>	<b>41</b>
6.1 Úvod.....	41
6.2 Nastavení připojení .....	42
6.3 Úprava databáze .....	45
<b>7. Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>8. Použité zdroje .....</b>	<b>48</b>



# Seznam použitých zkratk

ADS	Automatic Dependent Surveillance (automatické závislé sledování)
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (rozhlasové vysílání automatického závislého přehledu)
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance - Contract (automatické závislé sledování typu kontrakt)
CA	Capability (pole schopnosti)
CPR	Compact Position Reporting (kompaktní formát hlášení polohy)
CRC	Cyclic Redundancy Check (cyklický redundantní součet)
DF	Downlink Format (formát zprávy)
DR	Downlink Request (požadavek sestupného spoje)
EASA	European Aviation Safety Agency (Evropská agentura pro bezpečnost letectví)
ES	Extended Squitter (rozšířený dotazovací signál módu S)
FAA	Federal Aviation Administration (Federální letecký úřad)
FIS-B	Flight Information System-Broadcast (rozhlasové vysílání letového informačního systému)
FS	Flight Status (stav letu)
GNSS	Global Navigation Satellite System (globální družicový polohový systém)
GUI	Graphical User Interface (grafické uživatelské rozhraní)

IDE	Integrated Development Environment (integrované vývojové prostředí)
INS	Inertial Navigation System (inerční navigační systém)
KV	Krátké vlny
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar (monopulsní sekundární přehledový radar)
RH <sub>i</sub>	Relative humidity in respect to ice (relativní vlhkost vzhledem ke kondenzaci nad povrchem ledu)
SAF	Single Antenna Flag (indikace jedné antény)
SC	Subtype Code (podtypový kód)
TC	Type Code (typový kód)
TCAS/ACAS	Traffic collision avoidance system (protikolizní a výstražný letadlový systém)
TCP	Transmission Control Protocol (primární přenosový protokol)
TIS-B	Traffic Information System-Broadcast (rozhlasové vysílání služby informace o provozu)
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
UTC	Coordinated Universal Time (koordinovaný světový čas)
VKV	Velmi krátké vlny
VOR/DME	VHF Omnidirectional Range and Distance Measuring Equipment (kombinace všesměrového radiomajáku a zařízení na měření vzdálenosti)

# 1 Úvod

Výzkum kondenzačních stop na ČVUT čerpá informace o jejich vzniku a životnosti z vizuálních dat pocházejících ze série kamer, které monitorují oblohu v určité vymezené oblasti v severních Čechách. Aby bylo možné k jednotlivým kondenzačním stopám přiřadit dané lety a typy letadel, které je tvoří, je potřeba účinného nástroje, který monitoruje a zaznamenává přelety letadel nad sledovanou oblastí. K tomuto účelu je využít školní přijímač zpráv módu S, který umožňuje v určitém dosahu přijmout informaci o poloze u letadel vybavených 1090 MHz ES.

Cílem teoretické části je popsat výzkum kondenzačních stop na Ústavu letecké dopravy a zjistit které informace o letech je pro jeho potřeby nutné monitorovat. Dále je v práci popsán automatický závislý přehledový systém ADS-B, druhy jednotlivých zpráv vysílaných pomocí 1090 MHz ES, se zvláštním důrazem na polohové zprávy a jejich dekódování z CPR formátování. V další části je popsána tvorba programu „ADS-B live area monitor“ a v kapitole 5 je uveden návod k jeho použití. V práci je také řešena problematika automatického získávání informací o typech letadel na základě jejich ICAO adresy a spolupráce programu s databází.

Praktická část zahrnuje návrh a vývoj programu, který umožňuje v reálném čase přijímat, dekódovat a přehledně ukládat polohové zprávy ze školního přijímače módu S. Program se nachází na přiloženém CD.

## 2 Vliv kondenzačních stop na životní prostředí Země

### 2.1 Kondenzační stopy

Kondenzační stopy (viz. obrázek 1) jsou pruhovitá uměle vytvořená oblaka tvořená ledovými krystalky, která jsou pozorovatelná za proudovými letadly. Typicky se nacházejí v horních vrstvách troposféry a spodních vrstvách stratosféry. V závislosti na teplotě a koncentraci vzdušné vlhkosti v dané letové hladině se rychle vypařují nebo jsou trvalejšího rázu a případně i rostou. Dlouhotrvající kondenzační stopy jsou svým vlivem na životní prostředí nejvýznamnější, protože mohou růst a vyvinout se v mohutnější formy oblačnosti a na životní prostředí působí delší dobu. [14]



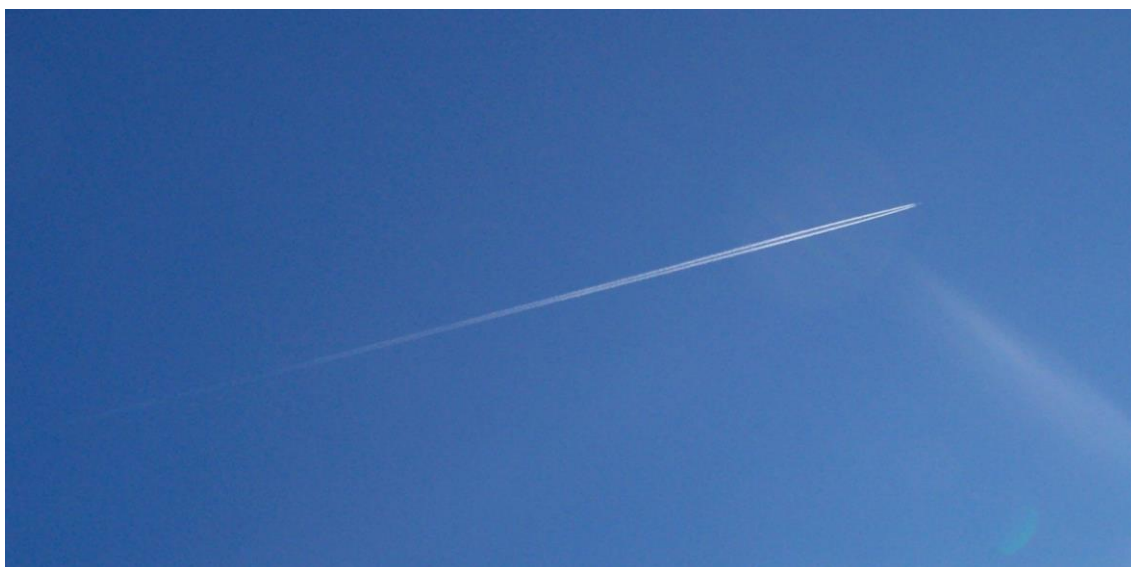
Obrázek 1: kondenzační stopy [12]

## 2.2 Princip vzniku kondenzačních stop

Kondenzační stopy vzniká termodynamicky při smíšení horkých a vlhkých výfukových plynů z motoru se sušším a studenějším okolním vzduchem. Důvodem je překročení mezního nasycení atmosféry vzhledem k vlhkosti. Podstatné je, že musí jít o vlhkost, tedy vodní páru z kondenzovanou do vodních kapiček, nikoliv o ledové krystaly. Těsně za letadlem je teplota výfukových plynů stále vysoká a vzduch tak dokáže udržet větší množství páry, v rostoucí vzdálenosti od letadla teplota rychle klesá, vzduch nedokáže udržet všechnu vodní páru v plynném skupenství a začíná proces kondenzace. Proto se v závislosti na okolních podmínkách kondenzační stopa tvoří většinou až několik vteřin po průletu letadla. [4] S tím jak se výfukové plyny rychle ochlazují mísením s chladným okolním vzduchem, nově vytvořené vodní kapky mrznou a tvoří ledové krystalky. Vlastnosti okolní atmosféry zásadně ovlivňují tvorbu a trvání kondenzačních stop po průletu letadla. Díky tomu je možné, na základě známé atmosférické teploty a vlhkosti, poměrně přesně odhadnout místa jejich tvorby.

Vznik kondenzačních stop, kromě termodynamického efektu ovlivňují také některé aerosoly obsažené ve výfukových plynech letadel. Tyto aerosoly významně zvyšují počet kondenzačních jader v daném místě atmosféry a podporují tak vznik kondenzačních stop.

Kondenzační stopy mohou být krátkodobé (viz. obrázek 2) a dlouhotrvající (viz. obrázek 3).



Obrázek 2: krátkodobá kondenzační stopa [9]



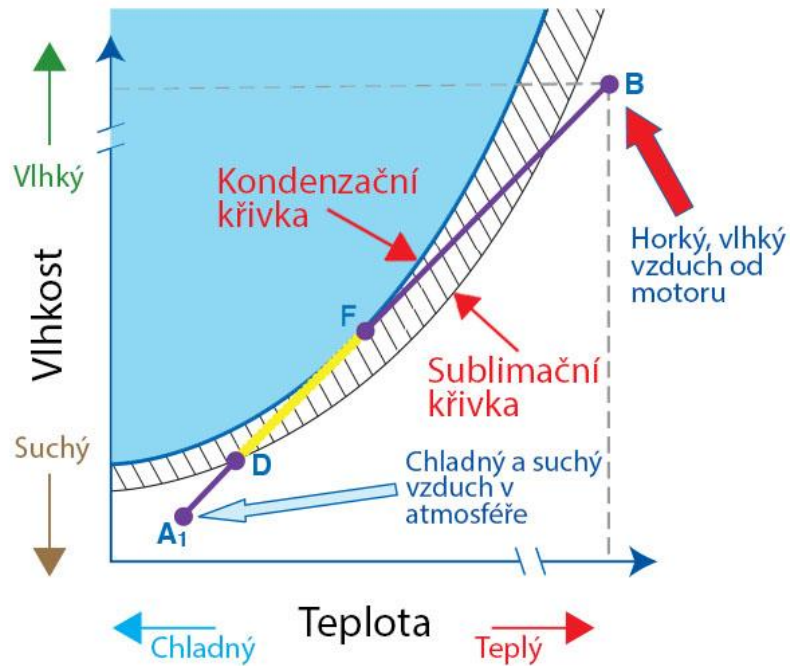
**Obrázek 3: dlouhotrvající kondenzační stopa [9]**

Na grafech 1 a 2 je znázorněn vznik obou typů kondenzačních stop. Modrá oblast grafu značí podmínky, při kterých probíhá kondenzace vodních par v atmosféře a je zprava omezena kondenzační křivkou. Zkondenzované kapky v atmosféře rychle mrznou na ledové krystalky, které v modré a šrafované oblasti grafu přetrvávají, ale při překročení sublimační křivky zaniknou sublimací ledu do atmosféry.

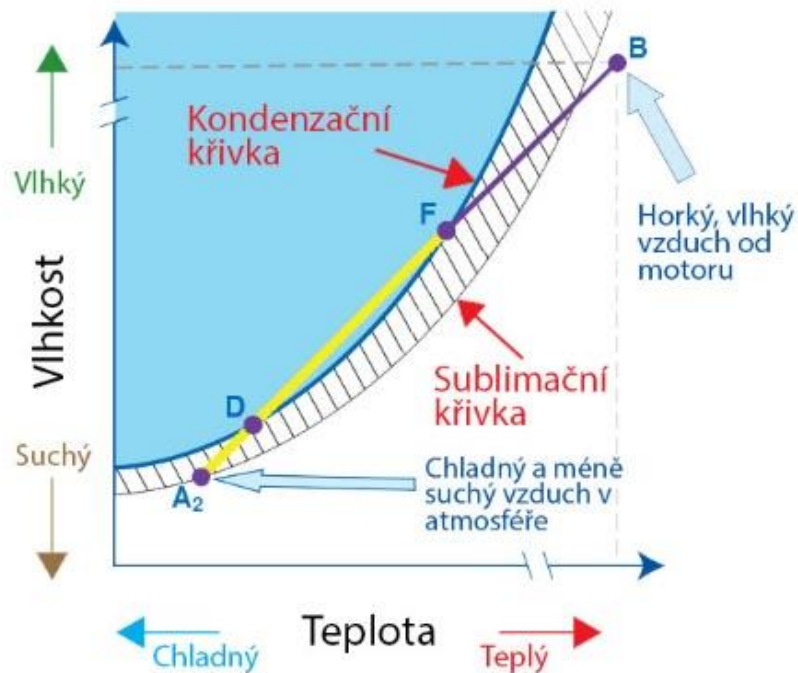
Na grafu 1 se horký a vlhký vzduch od motoru (B) smíchá se studeným a suchým vzduchem v atmosféře ( $A_1$ ). V bodě F je vzduch vodní párou nasycen a kondenzuje v kapky, které mrznou na ledové krystalky – vzniká kondenzační stopa, která vydrží až do bodu D. Po jeho překročení led sublimuje a kondenzační stopa zaniká, protože relativní vlhkosti vzhledem ke kondenzaci nad povrchem ledu ( $RH_i$ ) je menší než 100%.

Na grafu 2 se horký a vlhký vzduch od motoru (B) smíchá se studeným a oproti předchozímu případu vlhčím vzduchem v atmosféře ( $A_2$ ). V bodě F je vzduch vodní párou nasycen a kondenzuje v kapky, které mrznou na ledové krystalky – vzniká kondenzační stopa, která se tvoří až do překročení bodu D. Vznikne dlouhotrvající kondenzační stopa, která hned nesublimes, jelikož bod  $A_2$  se nachází nad sublimační křivkou. Její  $RH_i$  je větší než 100% a stopa vydrží tak dlouho, dokud je okolní atmosféra supersaturovaná vzhledem k ledu.

Graf 1: vznik krátkodobé kondenzační stopy [9]



Graf 2: vznik dlouhotrvající kondenzační stopy [9]



Z dlouhotrvajících kondenzačních stop se dále může vyvíjet cirrovitá oblačnost. Na rozdíl od dlouhotrvajících kondenzačních stop, kterým pro vznik stačí i lehce supersaturovaný vzduch vzhledem k ledu, cirry se formují až při větších hodnotách  $RH_i$ . Pro homogenní nukleaci

ledových krystalků je zapotřebí hodnot RH<sub>i</sub> mezi 145 – 165% a více. Pro heterogenní nukleaci obvykle stačí RH<sub>i</sub> 110% a více. Často je RH<sub>i</sub> dostatečně vysoká, aby se zformovala dlouhotrvající kondenzační stopa a vyvinula se v cirrus, ale ne dostatečně vysoká, aby se cirrovitý oblak zformoval přírodně. To může způsobovat velký počet kondenzačních jader emitovaných ve výfukových plynech letadla (v poměru s obsahem atmosférických jader (cca 1 000 000 x více), které nastartují heterogenní nukleaci ledových částic. [9]

## **2.3 Vliv kondenzačních stop na atmosféru a možnosti jeho omezení**

Největší dopad na životní prostředí mají dlouhotrvající kondenzační stopy a jimi indukované cirry. Tato antropogenní oblaka, stejně jako jejich přírodní protějšky ovlivňují radiační působení. Velký vliv v míře tohoto vlivu hrají hlavně jejich plošné rozsahy a optická tloušťka. Z toho důvodu je velmi obtížné stanovit jejich vliv na globální oteplování, ale podle některých modelů by při 1% zvýšení pokrytí cirrovitou oblačností stoupla teplota o jednu až několik desetin stupňů Celsia.

Dalším významným vlivem může být vysoký obsah aerosolů ve výfukových plynech leteckých motorů. Ty velmi zvyšují počet kondenzačních jader v atmosféře a tím se mohou podílet na tvorbě oblačnosti případně přímo ovlivňovat radiační působení jako skleníkové plyny.

Omezení vlivu kondenzačních stop a jimi indukované cirrovité oblačnosti je možné uskutečnit operačními a technickými změnami. Počet ledových částic zformovaných v kondenzačních stopách může být omezen snižováním obsahu sazí a dalších aerosolů v leteckých palivech a zvyšováním účinnosti motorů. Vzhledem k tomu, že trvalé kondenzační stopy (ze kterých se pravděpodobně tvoří indukované cirry) se vyvíjejí v oblastech vzduchu s RH<sub>i</sub> vyšším než 100%, je možné při přesném stanovení těchto oblastí vyřešit problém vedením letů mimo tyto prostory. Počet letů uskutečněných v oblastech s RH<sub>i</sub> vyšším než 100% se odhaduje na 15%. [4]

## **2.4 Výzkum vlivu kondenzačních stop na ČVUT**

Cílem výzkumu kondenzačních stop na ČVUT je zhodnotit jak letecká doprava zasahuje do celkového klimatu Země.



Výzkum na ČVUT je založen na optickém sběru dat z několika kamerových stanic, které monitorují určitou část oblohy a zaznamenávají její stav. Pomocí programu Matlab se bude hodnotit tvorba a procento pokrytí oblohy kondenzačními stopami a přibližný odhad jejich optické tloušťky. Dále bude hodnocena tvorba cirrovité oblačnosti, zde je nutné správně odlišit přírodní a indukovaná oblaka. Výstupem výzkumu má být krátkodobá předpověď tvorby kondenzačních stop a případně i cirrovité oblačnosti.

Mimo jiné se bude hodnotit korelace mezi typem letounu a vlastnostmi kondenzačních stop jím tvořených. K tomu bude potřeba účinného nástroje, který bude monitorovat lety nad sledovanou oblastí, aby bylo možné k pozorování přiřazovat jednotlivé lety a typy. Tvorbě tohoto nástroje se věnuje následující část mé práce. [15]

## 3 Automatické závislé sledování

Automatické závislé sledování (ADS – Automatic Dependent Surveillance) je kooperující závislá přehledová technologie, při které letadlo určuje a poskytuje svojí polohu z palubních navigačních systémů, včetně identifikace letadla, čtyřrozměrné polohy (poloha v prostoru spolu s informací o čase) a dalších dat.

Poloha u ADS je zjišťována automaticky z přístrojů, které se nachází výhradně na palubě letadla, je tedy plně závislá na systémech letounu. Základní technologií o poskytující informaci o poloze je GNSS (GPS, GLONASS, Galileo), přesto jsou využívány i klasické navigační systémy typu VOR/DME, INS atd.

Tato metoda sledování mění roli radarových a dalších přehledových zařízení na zemi z měřících systémů na komunikační systémy pro přenos dat. Její využití je výhodné zejména nad oceány nebo v odlehlých oblastech bez radarového krytí, kde jsou polohy letadel oznamovány hlášením posádek. V takových oblastech je nutné řídit letový provoz procedurálně, což vede k velkým rozestupům a tudíž ke snížení kapacity letových tratí.

Vzhledem k tomu, že technologie ADS jsou poměrně nenákladné a zdaleka ne tak složité na údržbu a provoz jako radary, je možné, že jejich využití službami řízení letového provozu se bude v budoucnosti zvyšovat. V České republice například fungují spolu s multilaterací, v případě poruchy MSSR jako záložní přehledový systém pro řízení letového provozu.

### 3.1 Typy systémů ADS

Systémy ADS dělíme na dva typy se stejnými požadavky na navigační systém, které se liší způsobem šíření zpráv: ADS-C a ADS-B.

#### 3.1.1 ADS-C

ADS-C (Contract) je založený na přenosu informací jednomu nebo více konkrétním pozemním příjemcům. Poskytnutí přehledových informací funguje na principu kontraktu ustanoveného pozemní stanicí – tudíž je možné specifikovat typy dat a podmínky pro odeslání informací z letadla na zem. Letadlo také může na zem odeslat předem nevyžádané hlášení o stavu nouze. Hlavním rozdílem od ADS-B je to, že funguje na principu přenosu „point to point“, tedy že se jedná o přenos mezi dvěma předem určenými body.

Existují tři typy kontraktů mezi pozemní stanicí a letadlem:

- Pravidelný – hlášení jsou odesílána v pravidelných intervalech
- Na požádání – jedno hlášení je odesláno vždy v reakci na konkrétní dotaz
- Při události – pozemní stanice může vyžádat odeslání hlášení vždy při určité události během letu (např. změna letové hladiny nebo vertikální rychlosti atd.)

[10]

### 3.1.2 ADS-B

ADS-B (Broadcast) je založen na pravidelném vysílání informací o poloze a dalších informací (např. ICAO adresa), které mohou být zachyceny, na rozdíl od ADS-C, všemi stanicemi v dosahu vysílání, které jsou vybaveny pro to vhodným přijímačem. Na toto vysílání není vyžadována žádná odpověď.

Co se týče zařízení na palubě letadla, je možné je rozdělit na dva základní typy podle jednotlivých schopností vysílání/přijímání zpráv. Jedná se o ADS-B Out a ADS-B In.

ADS-B Out umožňuje vysílat zprávy ADS-B pomocí jedné z technologií šíření zpráv ADS-B (viz. 3.1.2.1). Pomocí takového zařízení ale není možné přijímat jakékoliv zprávy z ostatních jednotek vybavených ADS-B. Tímto systémem jsou obvykle vybaveny letadlové stanice, případně vozidla na letištních plochách.

ADS-B In, označuje funkci systému přijímat a dekódovat zprávy vyslané stanicemi v dosahu přijímače. Pro samotné letadlové stanice to znamená, že mohou získat informace o okolním provozu a nemusí se spoléhat jen na systémy typu TCAS/ACAS, či na vizuální kontakt.

#### 3.1.2.1 Způsoby přenosu ADS-B zpráv

Existují dvě základní technologie, které se dnes používají k šíření zpráv ADS-B. Jedná se o:

- Universal Access Transceiver (UAT)
- 1090 MHz Extended Squitter

### **3.1.2.1.1 Universal Access Transceiver (UAT)**

Jedná se o specificky vytvořený „data link“ systém pro účely šíření zpráv ADS-B. Je používán zejména v USA, od roku 2001 je pomocí něj řízena separace na letových tratích na Aljašce. Podporuje obousměrný přenos dat a pilotům tak umožňuje přijímat zprávy FIS-B (Flight Information Service Broadcast) a TIS-B (Traffic Information Service Broadcast). Letadla vybavená UAT se také mohou „sledovat“ navzájem s minimálním zpožděním a velkou přesností. Systém je navržen zejména pro využití ve všeobecném letectví.

### **3.1.2.1.2 1090 MHz Extended Squitter**

Jedná se o systém založený na sekundárním odpovídači, je dnes nejrozšířenějším způsobem přenosu zpráv ADS-B schválený jak organizacemi FAA, tak EASA. Jedná se o upgrade existujícího odpovídače módu S, který podporuje vysílání takzvaných „Extended Squitter“ zpráv, které obsahují 112 bitů, z nichž 56 obsahuje samotnou zprávu ADS-B. Hlavní výhodou tohoto systému tkví právě v možnosti jednoduše modifikovat stávající odpovídače a tím významně redukovat cenu vybavení všech letadlových stanic tímto systémem. Vzhledem k tomu, že tento systém přenosu je využit i u mého programu, budu se dále zabývat pouze tímto způsobem přenosu zpráv ADS-B.

### **3.1.2.2 Verze „Extended Squitteru“**

V současnosti existují 3 základní verze ES, které se liší specifikací přenášených informací a další parametry zpráv ADS-B, které obsahují. Jak se tento systém vyvíjel, vznikly 3 certifikace (verze 0,1 a 2).

*\*Informace, o kterou verzi se jedná je zakódována ve zprávě DF = 17, pod TC = 31 (Aircraft Operational Status) v ME bitech 41-43. Pokud informace o verzi chybí, systém předpokládá, že se jedná o nejstarší standard – verzi 0.*

## **3.2 Struktura zprávy ADS-B**

U 1090 MHz ES je zpráva ADS-B kódována ve 112 bitech odpovědi módu S formátu zprávy 17. V tabulce 1 je znázorněno rozdělení jednotlivých částí odpovědi.

**Tabulka 1: Rozdělení jednotlivých úseků dlouhého datového bloku odpovědi  
odpovědače módu S formátu DF 17 [5]**

<b>Bity (od - do)</b>	1-5	6-8	9-32	33-88	89-112
<b>Název pole</b>	Downlink format	Capability	ICAO aircraft address	Message	Parity identifier

### 3.2.1 Downlink format

Prvních pět bitů datového bloku odpovědi značí tzv. „Downlink format“ (DF), ten označuje typ odpovědi. Pro 1090 MHz ES je vyhrazen DF = 17, případně - v případě vojenského využití též DF = 19.

### 3.2.2 Capability

Zprávy DF = 11 a 17 obsahují v bitech 6-8 zakódované pole Capability (CA). To obsahuje informace o úrovni a schopnostech odpovídače. V tabulce 2 je výpis možných kódů užitých v poli CA.

**Tabulka 2: Kódy pole CA [5]**

<b>Kód</b>	<b>Význam</b>
0	Značí odpovídač první úrovně a není možné nastavit kód CA na hodnotu 7 a ani na stav „na zemi“ nebo „ve vzduchu“
1	Rezervováno
2	Rezervováno
3	Rezervováno
4	Značí odpovídač druhé úrovně a schopnost nastavit kód CA na hodnotu 7 a stav „na zemi“
5	Značí odpovídač druhé úrovně a schopnost nastavit kód CA na hodnotu 7 a stav „ve vzduchu“

6	Značí odpovídač druhé úrovně a schopnost nastavit kód CA na hodnotu 7 a stav „na zemi“ nebo „ve vzduchu“
7	Značí, že pole DR není rovno 0 nebo že pole FS má hodnotu 2, 3, 4 nebo 5. Stav může být „na zemi“ nebo „ve vzduchu“

Když nejsou splněny podmínky pro CA kód 7, letadla s odpovídačem úrovně 2 a vyšší:

- a) Ta, která nemají automatické prostředky pro nastavení stavu „na zemi“ musí použít kód CA 6
- b) Ta s automatickým určením stavu „na zemi“ musí užít CA kód 4 v poloze na zemi a 5 ve vzduchu

Pro schopnost odpovídače odesílat odpověď DF = 17 je nutné vybavení odpovídačem 2. úrovně a vyšším, tyto odpovídače podporují schopnost „datalinku“ a minimálně odesílání standardních datalinkových zpráv (úroveň 2).

### 3.2.3 ICAO aircraft address

Toto 24-bitové pole obsahuje ICAO adresu letadla, která je unikátní pro každé letadlo. Adresa je obvykle uváděna v hexadecimálním formátu a je součástí národní registrace a osvědčení o registraci letadla. Obvykle je pro každé letadlo neměnná, ale při přesunu odpovídačů z jednoho letadla do druhého je možné ji v daném odpovídači přeprogramovat.

Existuje 16 777 214 unikátních ICAO 24-bitových adres, poskytují unikátní identitu každému letadlu, vybaveného odpovídačem módu S. Každý stát má přidělen určitý počet adres z tohoto balíku.

### 3.2.4 Message

Toto 56-bitové pole obsahuje samotnou zprávu ADS-B. Jeho obsah je definován prvními 5 bity, které obsahují tzv. Type Code (TC), ten určuje o jaký typ zprávy ADS-B se jedná. V následující tabulce 3 je rozdělení typů zpráv ADS-B podle TC. Další 3 bity po TC obsahují tzv. Subtype Code (SC), ten je definovaný jen u některých TC a dále dělí formát zpráv.

**Tabulka 3: Rozdělení zpráv ADS-B podle TC [6]**

Type Code (TC)	Typ zprávy ADS-B
0	„Airborne position“ nebo „Surface position“ bez polohového údaje
1-4	„Aircraft identification and category“
5-8	„Surface position“
9-18	„Airborne position“
19	„Airborne velocity“
20-22	„Airborne position“
23	„Test message“
24	Rezervované pro „Surface system status“
25-26	Rezervované
27	Rezervované pro „Trajectory change“
28	„Emergency/priority status“ a „ACAS RA broadcast“
29	„Target state and status information“
30	Rezervované
31	„Aircraft operational status“

Vzhledem k tomu, že mě v souladu s mojí prací zajímal jen typ zprávy o poloze ve vzduchu (Airborne position) budu se v další části práce věnovat jen struktuře a problematice této zprávy (3.3).

### 3.2.5 Parity identifier

Toto 24-bitové pole slouží k ověření správnosti přijaté zprávy. Díky tomuto poli je možné odhalit poškozené zprávy. Co se týče zpráv datového formátu 17, po postupu ověření správnosti zprávy by měla vyjít nulová hodnota celého pole.

## 3.3 Struktura zprávy „Airborne position“

Jedná se o zprávu o poloze letadla, které je ve vzduchu. Zpráva obsahuje informace o zeměpisné délce a šířce (polohové souřadnice) zakódovaných metodou CPR (Compact

position reporting). Kromě zakódované polohové informace obsahuje také výšku, která je udána buď ve formě hustotní výšky z barometrického výškoměru nebo jako výška udaná GNSS systémy nad geometrickým modelem Země (elipsoidem).

Vysílání polohové zprávy je vysíláno v náhodných intervalech mezi 0,4 a 0,6 sekundami.

Zpráva Airborne position je vysílána pod TC 9-18 a 20-22. Jednotlivé kódy odlišují zprávy v jejich polohové přesnosti, ochranných limitech a způsobem udání výšky (viz. Tabulka 4).

**Tabulka 4: Rozdělení zpráv Airborne position podle TC [6]**

<i>TYPE Code</i>	<i>Format</i>	<i>Horizontal protection limit (HPL)</i>	<i>95% Containment radius, <math>\mu</math> and <math>\nu</math>, on horizontal and vertical position error</i>	<i>Altitude type (see §A.2.3.2.4)</i>	<i>NUC<sub>P</sub></i>
9	Airborne position	HPL < 7.5 m	$\mu < 3$ m	Barometric altitude	9
10	Airborne position	7.5 m $\leq$ HPL < 25 m	3 m $\leq \mu < 10$ m	Barometric altitude	8
11	Airborne position	25 m $\leq$ HPL < 185.2 m (0.1 NM)	10 m $\leq \mu < 92.6$ m (0.05 NM)	Barometric altitude	7
12	Airborne position	185.2 m (0.1 NM) $\leq$ HPL < 370.4 m (0.2 NM)	92.6 m (0.05 NM) $\leq \mu < 185.2$ m (0.1 NM)	Barometric altitude	6
13	Airborne position	370.4 m (0.2 NM) $\leq$ HPL < 926 m (0.5 NM)	185.2 m (0.1 NM) $\leq \mu < 463$ m (0.25 NM)	Barometric altitude	5
14	Airborne position	926 m (0.5 NM) $\leq$ HPL < 1 852 m (1.0 NM)	463 m (0.25 NM) $\leq \mu < 926$ m (0.5 NM)	Barometric altitude	4
15	Airborne position	1 852 m (1.0 NM) $\leq$ HPL < 3 704 m (2.0 NM)	926 m (0.5 NM) $\leq \mu < 1 852$ m (1.0 NM)	Barometric altitude	3
16	Airborne position	3.704 km (2.0 NM) $\leq$ HPL < 18.52 km (10 NM)	1.852 km (1.0 NM) $\leq \mu < 9.26$ km (5.0 NM)	Barometric altitude	2
17	Airborne position	18.52 km (10 NM) $\leq$ HPL < 37.04 km (20 NM)	9.26 km (5.0 NM) $\leq \mu < 18.52$ km (10.0 NM)	Barometric altitude	1
18	Airborne position	HPL $\geq 37.04$ km (20 NM)	18.52 km (10.0 NM) $\leq \mu$	Barometric altitude	0
20	Airborne position	HPL < 7.5 m	$\mu < 3$ m and $\nu < 4$ m	GNSS height (HAE)	9
21	Airborne position	HPL < 25 m	$\mu < 10$ m and $\nu < 15$ m	GNSS height (HAE)	8
22	Airborne position	HPL $\geq 25$ m	$\mu > 10$ m or $\nu \geq 15$ m	GNSS height (HAE)	0

V tabulce 5 je ukázána bitová struktura zprávy Airborne position. Jednotlivá pole jsou popsána v kapitolách 3.3.1 – 3.3.8.



**Tabulka 5: Bitová struktura zprávy Airborne position [6]**

1	MSB	
2		FORMAT TYPE CODE
3		(specified in §A.2.3.1)
4		
5	LSB	
6	MSB	SURVEILLANCE STATUS
7	LSB	(specified in §A.2.3.2.6)
8	SINGLE ANTENNA FLAG (SAF) (specified in §A.2.3.2.5)	
9	MSB	
10		
11		
12		ALTITUDE
13		(specified by the FORMAT TYPE CODE)
14		
15		
16	This is (1) the altitude code (AC) as specified in	
17	§3.1.2.6.5.4 of Annex 10, Volume IV, but with the	
18	M-bit removed, or (2) the GNSS height (HAE)	
19		
20	LSB	
21	TIME (T) (specified in §A.2.3.2.2)	
22	CPR FORMAT (F) (specified in §A.2.3.2.1)	
23	MSB	
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		ENCODED LATITUDE
31		(CPR airborne format specified in §A.2.6)
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39	LSB	
40	MSB	
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		ENCODED LONGITUDE
48		(CPR airborne format specified in §A.2.6)
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56	LSB	

### 3.3.1 Format type code

Type code (TC) rozděluje zprávy ADS-B do různých tříd, podle informací které obsahují (momentálně 33). Blíže je popsán v kapitole 3.2.4. V případě, že není k dispozici horizontální informace o poloze TC = 0.

### 3.3.2 Surveillance status

V tomto 2-bitovém poli je obsažen status odpovídače, pole může nabývat 4 hodnot od 0 do 3.

- Kód 0 značí žádnou informaci o statusu
- Kód 1 značí, že odpovídač je v permanentní pohotovostní situaci (Pokud je mód A nastaven na nouzový kód 7500, 7600 nebo 7700)
- Kód 2 značí dočasnou pohotovostní situaci
- Kód 3 značí speciální polohovou identifikaci (SPI)

### 3.3.3 Single antenna flag (SAF)

Toto 1-bitové pole indikuje typ anténového systému, který je použit pro vysílání zpráv Extended squitter. SAF=1 značí jednu vysílací anténu, zatímco SAF=2 značí duální anténní systém.

### 3.3.4 Altitude

Toto 12-bitové pole obsahuje výšku letadla. V závislosti na TC obsahuje buď:

- 1) Barometrickou výšku zakódovanou v násobcích 25 nebo 100 stop. V jakých násobcích je výška zakódována, záleží na tzv. Q bitu v tomto poli, který v případě že nabývá hodnoty 1 je výška kódována v násobcích 25 stop, v případě Q bitu = 0 je výška kódována v násobcích 100 stop.

Zakódovaná barometrická výška je vždy vztažena k standardnímu tlaku 1013,25 hPA. Tuto metodu lze použít pro výšku od -1000 do 50 175 stop.

Pro TC = 9 až 18.

- 2) GNSS výšku nad geometrickým modelem země (elipsoidem), konkrétně se jedná o model WGS-84. Obvykle je použita, když barometrická výška není k dispozici.  
Pro TC = 20 až 22.

### **3.3.5 Time (T)**

Toto 1-bitové pole indikuje, zdali je čas použitelnosti polohové informace synchronizovaný s časem UTC. T=0 značí nesynchronizaci s časem UTC. T=1 značí, že zpráva je synchronizovaná s UTC.

### **3.3.6 CPR format (F)**

Z důvodu jednoznačnosti udání polohových informací po celém světě je nutné rozdělit formát kódování polohy CPR do dvou typů – sudého a lichého. Toto 1-bitové pole udává typ tohoto formátu. Pro F=0 je kódování sudé, zatímco pro F=1 se jedná o lichý formát kódování.

### **3.3.7 Encoded latitude**

V tomto 17-bitovém poli je zakódována pomocí algoritmu CPR souřadnice zeměpisné šířky. CPR algoritmus je popsán v podkapitole 3.4.

### **3.3.8 Encoded longitude**

V tomto 17-bitovém poli je zakódována pomocí algoritmu CPR souřadnice zeměpisné délky. CPR algoritmus je popsán v podkapitole 3.4.

## **3.4 Compact position reporting (CPR)**

Polohové zprávy ADS-B používají CPR pro efektivní zakódování zeměpisné šířky a délky. Zprávy jsou kompaktní, protože některé z prvních bitů zprávy, které jsou obvykle konstantní po dlouhou dobu, nejsou vysílány v každé zprávě. Například v každé zprávě v části zeměpisné šířky by musel být bit značící, jestli se letadlo nachází na severní nebo jižní polokouli. Jelikož tento bit může být dlouhodobě neměnný, potažmo i po celou dobu životnosti letadla, tak by jeho vysílání v každé zprávě bylo značně neefektivní.

### 3.4.1 Globálně nezaměnitelná poloha

Protože některé z těchto dlouhodobě neměnných bitů nejsou vysílány, vede to to k tomu, že z jedné přijaté polohové zprávy by nebylo možné určit globálně nezaměnitelnou polohu stroje. Toto je vyřešeno stanovením dvou tzv. CPR formátů – sudého a lichého. Ty se mírně liší obsahem a jsou každý vysílány 50% času. Při přijetí obou formátů v rámci cca 10 sekund je možné stanovit kombinací dat z obou zpráv globálně nezaměnitelnou polohu letounu.

### 3.4.2 Lokálně nezaměnitelná poloha

Existuje způsob jak získat nezaměnitelnou polohu letadla i z pouhé jedné přijaté polohové zprávy sudého nebo lichého formátu. Tento způsob dekódování je založen na faktu, že jednotlivé polohy dekódované z jedné zprávy jsou od sebe vzdálené minimálně 360 NM na všechny světové strany. Pro tento způsob určení polohy je nutné znát místo v jehož okruhu o poloměru maximálně 180 NM se letadlo nachází – toto místo se nazývá referenční poloha.

Protože je nám známá poloha oblasti, kde probíhá monitorování kondenzačních stop – a tato oblast je mnohem menší než rádius 180 NM je výhodné použít pro výsledný program tento způsob dekódování polohy. Proto se budu dále věnovat pouze lokálně nezaměnitelnému CPR dekódování polohy.

### 3.4.3 Dekódování lokálně nezaměnitelné polohy

#### 3.4.3.1 Potřebné parametry a konstanty pro dekódování CPR lokálně nezaměnitelné polohy

- **Dlat<sub>i</sub>** udává velikost zóny zeměpisné šířky ve směru od severu k jihu
- **Dlon<sub>i</sub>** udává velikost zóny zeměpisné délky ve směru od východu k západu
- **NZ** udává počet zón zeměpisné šířky mezi rovníkem a pólem, je jich 15
- **NL** udává počet zón zeměpisné délky
- **i** udává, jestli se jedná o sudý nebo lichý CPR formát – pro sudý je 0 a pro lichý 1 (bit č. 22 pole ME)
- **j** jedná se o tzv. „latitude zone index“
- **lat<sub>s</sub>** zeměpisná šířka referenční polohy
- **lon<sub>s</sub>** zeměpisná délka referenční polohy
- **XZ<sub>i</sub>** zakódovaná zeměpisná délka (bity 23 až 39 pole ME)
- **YZ<sub>i</sub>** zakódovaná zeměpisná šířka (bity 40 až 56 pole ME)

- $N_b$  udává počet bitů použitých pro zakódování souřadnice, v případě airborne position zprávy nabývá hodnotu 17
- $Rlat_i$  je dekódovaná zeměpisná šířka
- $Rlon_i$  je dekódovaná zeměpisná délka
- $m$  jedná se o tzv. „longitude zone coordinate“

[5, 6, 16]

### 3.4.3.2 Postup dekódování CPR lokálně nezaměnitelné polohy

Následující sekvence výpočtů musí být vykonána k získání zeměpisných souřadnic polohy letadla.

- 1) Vypočítáme  $Dlat_i$ :

$$Dlat_i = \frac{360^\circ}{4 \cdot NZ - i}$$

[6]

- 2) Z hodnot  $lat_s$ ,  $N_b$ ,  $Dlat_i$  a  $YZ_i$  vypočítáme parametr  $j$ :

$$j = \text{floor}\left(\frac{lat_s}{Dlat_i}\right) + \text{floor}\left(\frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lat_s, Dlat_i)}{Dlat_i} - \frac{YZ_i}{2^{N_b}}\right)$$

[6]

\*Funkce  $\text{floor}(x)$  zaokrouhluje číslo  $x$  dolů na nejbližší celé číslo

\*Funkce  $\text{MOD}(x, y)$  udává zbytek po dělení  $x$  parametrem  $y$

- 3) Výsledná zeměpisná šířka  $Rlat_i$  je vypočtena z hodnot parametrů  $j$ ,  $N_b$ ,  $Dlat_i$  a  $YZ_i$ :

$$Rlat_i = Dlat_i \cdot \left(j + \frac{YZ_i}{2^{N_b}}\right)$$

[6]

- 4) Dále je nutné vypočítat parametr NL, může nabývat hodnot od 1 do 59 a je definován rovnicí, kde lat je vyjádřeno ve stupních. Za lat dosadíme hodnotu Rlat<sub>i</sub>.

$$NL(lat) = \text{floor} \left( 2\pi \cdot \left[ \arccos \left( 1 - \frac{1 - \cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot NZ}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi}{180^\circ} \cdot |lat|\right)} \right) \right]^{-1} \right)$$

[6]

*\*Pro zeměpisné šířky blízko pólů a na rovníku jsou definovány tyto hodnoty NL:*

- lat = 0 (rovník), NL = 59
- lat = +-87°, NL = 2
- lat > +87° nebo lat < -87°, NL = 1

- 5) Vypočteme Dlon<sub>i</sub> pomocí hodnot NL, i a Rlat<sub>i</sub>:

$$Dlon_i = \begin{cases} \frac{360^\circ}{NL(Rlat_i) - i}, & \text{when } NL(Rlat_i) - i > 0 \\ 360^\circ, & \text{when } NL(Rlat_i) - i = 0 \end{cases}$$

[6]

- 6) Vypočteme parametr m:

$$m = \text{floor} \left( \frac{lon_s}{Dlon_i} \right) + \text{floor} \left( \frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lon_s, Dlon_i)}{Dlon_i} - \frac{XZ_i}{2^{Nb}} \right)$$

[6]

- 7) Vypočteme výslednou zeměpisnou délku Rlon<sub>i</sub>:

$$Rlon_i = Dlon_i \cdot \left( m + \frac{XZ_i}{2^{Nb}} \right)$$

[6]

## 4 Program ADS-B live area monitor

Program ADS-B live area monitor má za účel identifikovat a určit polohu letadel v oblasti, kde jsou monitorovány kondenzační stopy systémem kamer Ústavu letecké dopravy ČVUT. K tomu využívá data ze školního přijímače zpráv módu S. Je schopen identifikovat letadla vysílající polohové zprávy ADS-B, která jsou v dosahu přijímače a filtrovat je podle polohy a ukládat informace jen o letadlech v rámci předem zvolené oblasti. Informace o letadlech je schopný - podle jejich unikátní ICAO 24-bitové adresy - získat z tzv. „embedded“ databáze, která je součástí programu nebo automaticky z internetového zdroje.

V první části této kapitoly je popsán školní přijímač zpráv módu S, který poskytuje programu nezbytný datový tok, dále se tato kapitola zabývá procesem tvorby a samotné funkce programu a problematikou získávání informací o typech letadel z ICAO adresy. Uživatelský manuál k programu se nachází v kapitole 5. Samotný program se nachází na přiloženém CD.

### 4.1 Školní přijímač odpovědí módu S

Pro fungování programu je nezbytné mít vstupní zdroj zpráv módu S. Ústav letecké dopravy provozuje přijímač Radarcape, který je schopen přijímat zprávy módu S a A/C.

#### 4.1.1 Přijímač Radarcape

Pasivní přijímač Radarcape (Obrázek 4) je dalším vývojovým stupněm amatérské stavebnice Mode-S Beast. Jedná se v podstatě o Mode-S Beast vylepšený vloženým minipočítačem s operačním systémem Linux. Na rozdíl od Mode-S Beast je schopný samostatně pracovat, zpracovávat data a pomocí připojení k síti je „streamovat“ dále. Obsahuje internetové uživatelské prostředí, přes které je možné přistupovat k datům z přijímače a konfigurovat jeho nastavení. Podporuje síťový protokol TCP.



**Obrázek 4: Přijímač Radarcape s 1090 MHz anténou [7]**

Pro uživatele nabízí velké množství uživatelských prostředí bez nutnosti použití speciálního ADS-B softwaru. Nabízí například 2D mapový výstup pro sledování letadel na mapě, KML výstup pro použití ve 3D zobrazení atd. Důležité nicméně je, že Radarcape je schopný poskytovat tzv. „raw data“ tedy neupravená data přímo z přijímače v různých kvalitách vhodná pro další zpracování specializovaným softwarem. Pro účely mé práce je důležité, že je schopný do sítě dodávat pomocí protokolu TCP/IP CRC zkontrolované rámce dat DF 17 v hexadecimálním formátu (AVR formát), která obsahují také polohové zprávy ADS-B.

Raw data obsahují 56-bitové a 112-bitové rámce odpovědi módu S v hexadecimálním formátu (AVR formát). Na začátku každého rámce je časová informace pro MLAT. Příklad výstupu raw dat je na obrázku 5. [8]

```
@30E31C450723A8000800FFF00132BFF4D30767DC;  
@30E31C61987E07B35A443A21CA;  
@30E31C6639BCA0000F18E7B87731BE59D5AAB72D;  
@30E31C7C15122727FF9CD14423;  
@30E31C7C2118A8008A0E803619393FFCE68A211F;  
@30E31C823B98A8000A8EC84800311C000091C86C;
```

**Obrázek 5: Příklad výstupních rámců „raw“ dat z Radarscape v AVR formátu [9]**



## **4.2 Tvorba programu ADS-B live area monitor**

### **4.2.1 Volba vhodného programovacího jazyka a IDE**

V průběhu řešení jaký programovací jazyk zvolit jsem se rozhodoval převážně na základě svých zkušeností s programováním a potřeb samotného programu. Vzhledem k tomu, že mé předešlé zkušenosti s programováním zahrnovaly jen kusé znalosti jazyka PHP a C++ moji prioritou byl jednoduchý intuitivní jazyk vysoké úrovně se silnou abstraktností. Co se týče požadavků programu, bylo důležité, aby jazyk obsahoval nezbytné knihovny pro matematické výpočty při dekódování lokálně nezaměnitelné polohy.

Zvolil jsem jazyk programovací jazyk JAVA, jedná se o objektově orientovaný jazyk, který vyniká svou jednoduchostí a multiplatformností. Oproti jazykům C a C++ ze kterých vychází, je jednodušší a obsahuje například automatickou správu operační paměti, což se mi velmi hodilo, jelikož program ji využívá ve velkém množství, když zpracovává veškerá data z přijímače módu S. Obsahuje též matematické knihovny, které zjednodušují psaní zdrojového kódu při dekódování polohových zpráv.

Jako IDE (integrované vývojové prostředí) jsem zvolil program NetBeans, který je primárně určený pro vývoj v programovacím jazyce JAVA. Zároveň se jedná o freeware, takže jsem nemusel do IDE investovat žádné finanční prostředky.

### **4.2.2 Struktura programu ADS-B live area monitor**

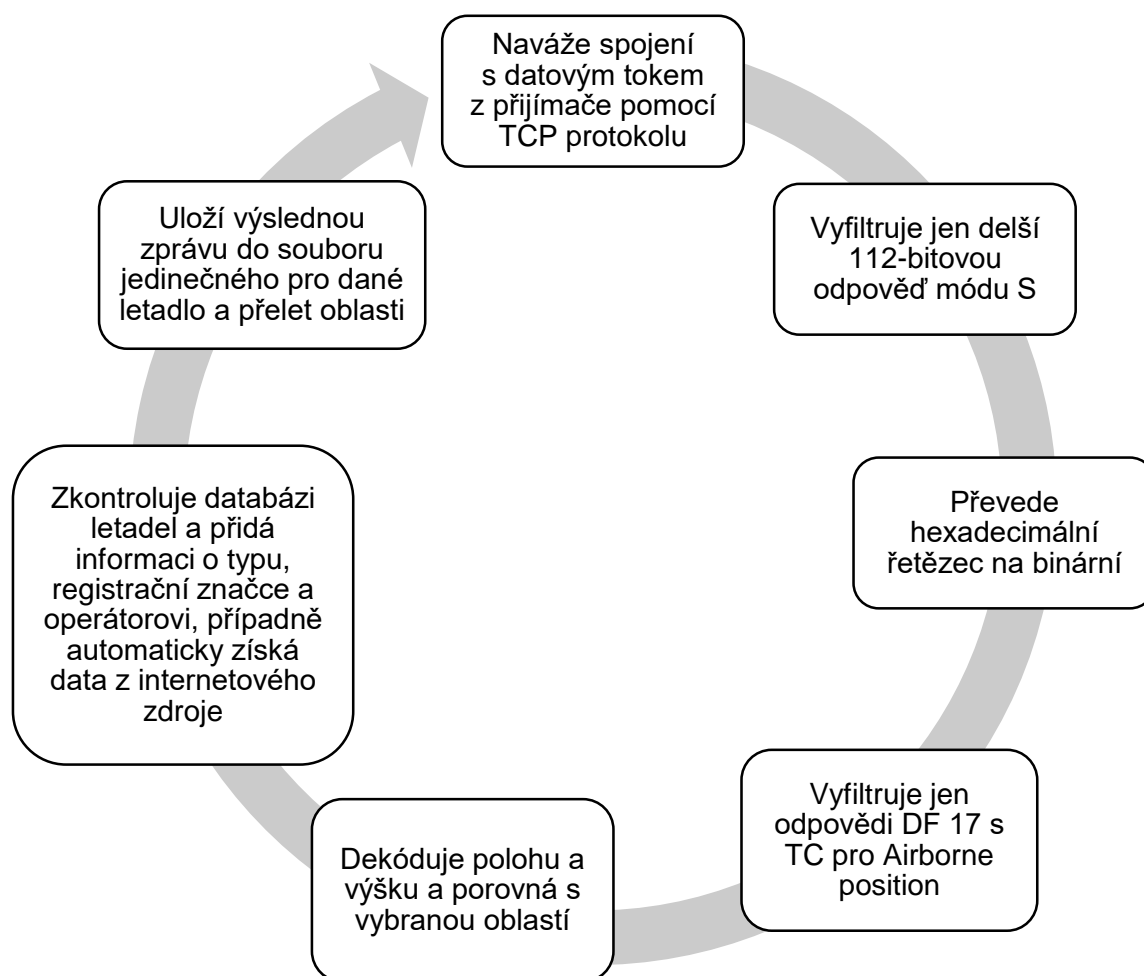
#### **4.2.2.1 Funkční požadavky**

- Načítat data z přijímače pomocí protokolu TCP
- Správně dekódovat polohové zprávy ADS-B
- Porovnat přijaté zprávy s databází letadel a přiřadit k nim informace z ní
- V případě, že databáze neobsahuje data o letadle, získat je z internetového zdroje
- Uložit vyfiltrované zprávy ADS-B na vybrané místo na disku
- Schopnost pracovat „24/7“
- Vytvořit GUI (grafické uživatelské rozhraní) pro snadné ovládání programu

#### 4.2.2.2 Diagram pracovního cyklu programu

Na grafu 3 se nachází zjednodušený diagram pracovního cyklu programu. Nejedná se o vývojový diagram, ale čistě o jednoduché schéma, na základě kterého celý program funguje. Program je koncipován jako nekonečný cyklus, který vždy načte jeden řádek (rámeček) dat z výstupu odpovídače, vyfiltruje/dekóduje potřebná data, načte další atd.

**Graf 3: diagram pracovního cyklu programu**



#### 4.2.2.3 Výstup z programu

Výstupem z programu je pro každý let/průlet letadla sledovanou oblastí vlastní soubor typu „.log“. Výstup obsahuje datum a čas, původní zprávu v hexadecimálním formátu, ICAO adresu letadla, dekódovanou informaci o poloze, barometrické výšce, typu, registrační značce a operátorovi letadla.

Více informací o struktuře výstupu a konkrétní příklady obsahuje uživatelský manuál k programu v kapitole 5, části 5.3.

#### **4.2.2.4 Databáze letadel**

Problém při zjišťování typu letadel, který je potřeba znát pro výzkum kondenzačních stop, je ten, že letadla ho v rámci svých odpovědí módu S nevysílají. Typ letadla je obvykle vyplněn v letovém plánu případně je možné ho najít v registrech jednotlivých států (u nás ho spravuje ÚCL).

Jiný způsob, jak si ověřit typ a další informace o letounu je přes neoficiální databáze na internetu, které shromažďují informace ze všech státních rejstříků (např. Gatwick Aviation Society nebo Airframes.org).

Součástí mého programu je lokální databáze typu „Apache Derby Embedded“, která obsahuje jednu tabulku se čtyřmi sloupci – ICAO (adresa letadla), REGISTRATION (poznávací značka letadla), TYPE (typ letadla) a OPERATOR (společnost provozující letadlo). Do té je možné přistupovat a upravovat její obsah například pomocí programu SQuirell SQL client [1] (viz. návod v kapitole 6).

Problém s lokální databází letadel, která je součástí programu, je ten, že je prázdná. Lze ji samozřejmě sledovanými letadly naplnit „ručně“, případně sehnat nějaký větší zdroj dat a ten do databáze nahrát. Jak už ale bylo zmíněno v kapitole 4.2.2.4, zdroje jsou obvykle státní a je složité shromažďovat data z různých států a nahrávat je do databáze a zároveň je udržet aktuální. Proto jsem se rozhodl data o letadlech získávat automaticky pomocí metody „Webscraping“ (viz. 4.2.2.5).

#### **4.2.2.5 Webscraping**

Webscraping je softwarová technika, která umožňuje extrahování dat z internetových stránek. Pomocí knihovny Jsoup, která je součástí mého programu je možné „parsovat“ internetové stránky do řetězců použitelných programem.

V mém konkrétním případě potřebuji získat data o typu prolétávajícího letadla ze stránek, které tuto databázi zveřejňují. V kapitole 4.2.2.4 jsem se zmínil, že existují internetové stránky, které shromažďují informace z jednotlivých státních rejstříků, díky tomu je na nich podle ICAO

adresy možné vyhledat informace téměř o jakémkoli letadle. Rozhodl jsem se stahovat informace ze stránky Gatwick Aviation Society [3].

Program funguje tím způsobem, že nejprve zkontroluje vlastní databázi, která je součástí programu a pokud pro danou ICAO adresu právě dekodovaného letadla nemá informaci o typu, použije metodu webscrapingu. Připojí se na stránku Gatwick Aviation Society s formulářem, kde automaticky zadá hledanou ICAO adresu a stáhne pro ní informace o poznávací značce, typu a operátorovi letadla. Tyto informace poté uloží do vlastní databáze, to má dva důvody:

- 1) První důvod je ten, že se při příštím dekodování polohové zprávy od stejného letadla nemusí znovu dotazovat internetové stránky a tím šetří její kapacitu a eliminuje riziko toho, že Gatwick Aviation Society zablokuje IP adresu uživatele pro časté dotazování databáze (proto doporučuji menší rozsah dekodované oblasti, tak aby se v něm naráz nenacházely desítky a stovky letadel – to se školou monitorované oblasti netýká).
- 2) Druhý důvod je ten, že díky tomu naplníme jednoduše databázi letadel, která je součástí programu.


#### **4.2.2.5.1 Postup získávání dat o typu letadla**

Na stránce Gatwick Aviation Society v záložce „mode S code lookup“ se nachází formulář který při vyplnění 24-bitové unikátní ICAO adresy letadla zobrazí informace jako typ letadla, poznávací značka a operátor – viz. obrázek 6. Aby bylo možné zautomatizovat proces získávání dat z této stránky bylo nezbytné do programu implementovat algoritmus, který bude vyplňovat data o ICAO adrese do formuláře a brát z ní zobrazené informace o letadle.

Nejprve bylo nutné projít zdrojový kód stránky Gatwick Aviation Society a určit identifikační znaky jednotlivých polí, kam se zadává ICAO adresa letadel a také polí ze kterých následně program bere zobrazené informace. Poté jsem vytvořil v programu samostatnou třídu, která se pomocí knihovny Jsoup připojí ke stránce Gatwick Aviation Society.

Knihovna Jsoup je open-source knihovna napsaná na platformě Java, která obsahuje metody, pomocí kterých lze jednoduše extrahovat a manipulovat s daty, která jsou uložena v HTML dokumentech na internetu. Díky ní lze relativně snadno přistupovat k datům, která se nacházejí na internetu a zpracovat je dále programem.

Program se tedy připojí ke stránce a už při připojení pomocí metody „post()“ vyplní pole do kterého se ve formuláři vyplňuje ICAO adresa. Vyplní ho adresou z ADS-B zprávy, kterou program zrovna dekóduje. Díky tomu se na stránce ve formuláři automaticky doplní informace o typu atd., které program stáhne a uloží do interní databáze popsané v kapitole 4.2.2.4. Takto při každém dekódovacím cyklu programu dekodér nejprve dotáže svoji interní databázi a v případě, že neobsahuje informace pro danou ICAO adresu, znovu dotáže pomocí knihovny Jsoup stránku Gatwick Aviation Society.



The screenshot shows the website for Gatwick Aviation Society. At the top, there is a navigation menu with links: gatwick info, movements, events, publications, archives, hawkeye, new photos, membership, Annual Reviews, viscount, registers, mode s, links, and home. Below the menu, it says "Logged Out". The main heading is "Mode S Codes". A red banner below the heading reads: "Complete Current Online Registers - Australia, Canada, Netherlands, Switzerland, US and UK(ModeS only) (with some exceptions of balloons, gliders and microlights)". The search form contains the following fields: Mode S Code, Registration, ICAO Type, Type, Serial Number, Operator, ICAO Operator, and Operator Sub Operator. There are "Find" and "Clear" buttons at the bottom of the form. A note next to the Registration field says: "If searching by Registration leave ModeS Code field blank".

**Obrázek 6: Stránka Gatwick Aviation Society, s formulářem ze kterého program bere data o letounech**

Z výše uvedeného postupu vyplývá, že není možné jednoduše měnit stránku, ze které program bere data. Proto v případě, že by uživatel programu chtěl využít nějakou jinou online databázi letadel (např. Airframes.org), musí upravit i zdrojový kód programu a přizpůsobit ho nové stránce. Díky tomu, že program je uspořádán poměrně přehledně do tříd a jeho složka projektu je uvedena na přiloženém CD, je celkem jednoduché tyto úpravy udělat.

# 5 Uživatelský manuál k programu ADS-B live area monitor

## 5.1 Úvod

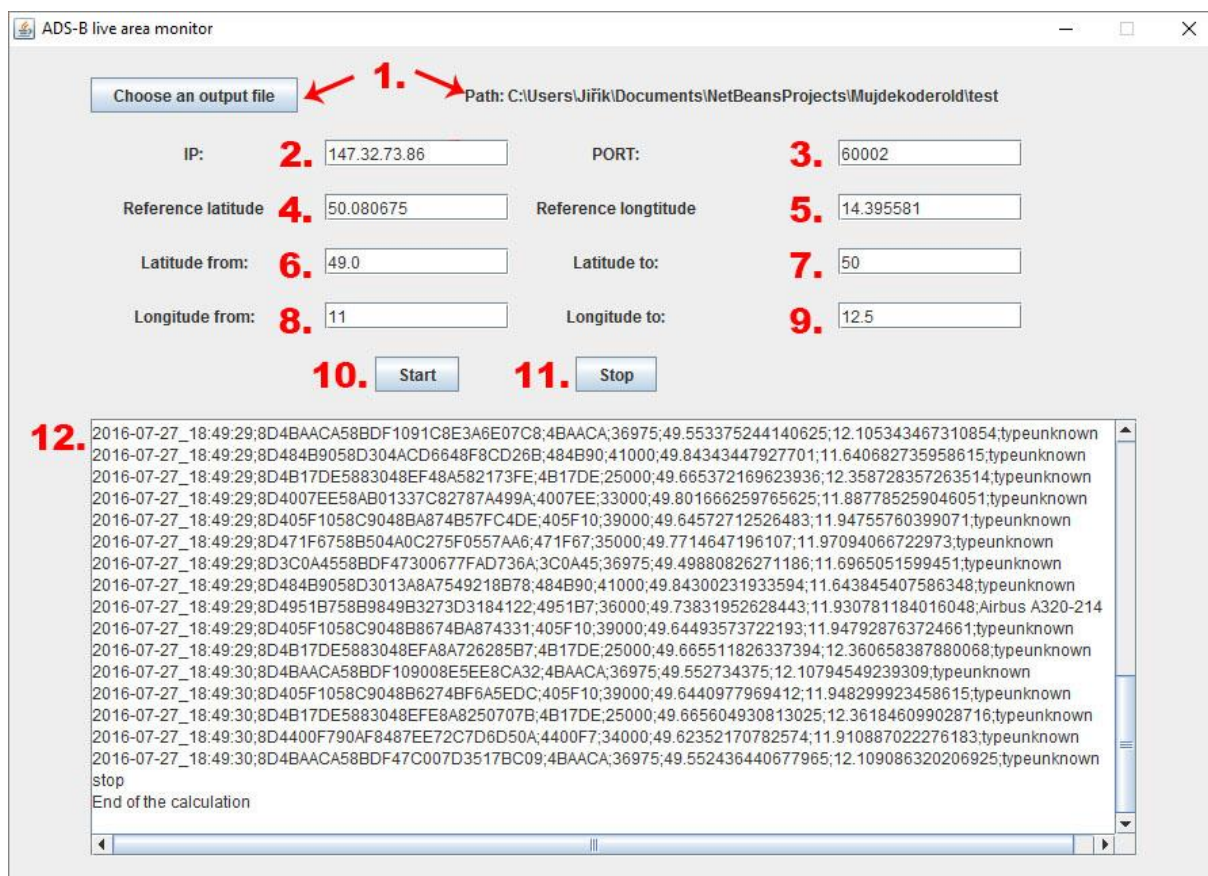
ADS-B live area monitor je program dekódující polohové zprávy ADS-B pomocí TCP protokolu. Je schopný pracovat neustále a načítat tok dat z přijímače. Zpracovává tzv. „Raw“ data od přijímače a dekóduje je. Program filtruje zprávy DF 17 s TC 9 - 18 a 20 - 22 (Airborne position). Pomocí CPR lokálně nezaměnitelné polohy dekóduje polohovou informaci letadel, dále dekóduje výšku a ICAO adresu. ICAO adresu porovnává se záznamy v databázi letadel, která je součástí programu a přiřazuje k dekódovaným zprávám poznávací značky, typy letadel a operátory dle databáze. Pokud databáze, která je součástí programu neobsahuje dané informace, program automaticky stáhne informace z internetové databáze Gatwick Aviation Society.

Program obsahuje filtr, který umožňuje uživateli nastavit pomocí zeměpisných šířek a délek libovolnou oblast a filtrovat polohové zprávy od letadel v dané oblasti. Metoda výpočtu polohy nicméně limituje uživatele k použití oblasti v rádiu maximálně 180 NM od polohy přijímače zpráv módu S. Doporučuji sledovanou oblast takové velikosti, aby naráz nebylo sledováno více než 10-20 letadel.

Program je pomocí TCP protokolu schopen pracovat s jakýmkoliv přijímačem, který poskytuje „Raw“ data s MLAT časovou informací ve stejném formátu jako Radarscape. Měli bychom se vyvarovat použití programu v blízkosti rovníku a pólů, kde nemusí vykazovat správnou funkčnost.

## 5.2 GUI

Na Obrázku 7 je možné vidět základní grafické uživatelské rozhraní programu. Jednotlivá pole a tlačítka programu jsou červeně očíslována a níže popsána.



Obrázek 7 – GUI programu ADS-B live area monitor

### Popis jednotlivých polí:

- 1) Tlačítko výběru složky do které se ukládají výstupní logy z programu (více viz. 5.3 Výstup z programu). Napravo je zobrazena cesta k vybrané složce.
- 2) IP adresa výstupu z přijímače – je přednastavena na hodnotu 147.32.73.86
- 3) PORT výstupu z přijímače – je přednastaven na hodnotu 60001
- 4) Referenční zeměpisná šířka – přednastavena na polohu školního přijímače na Strahově
- 5) Referenční zeměpisná délka – přednastavena na polohu školního přijímače na Strahově

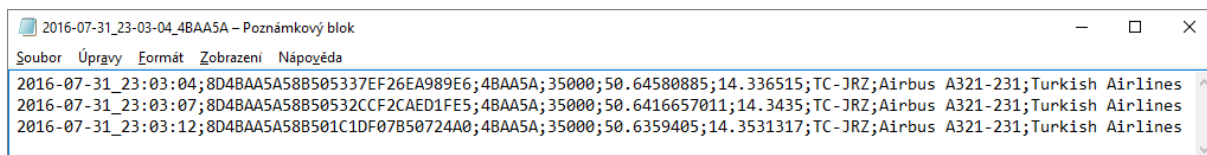
- 6) Zeměpisná šířka vybrané oblasti od – jižní hranice vybraného prostoru pro monitorování letadel, při desetinných hodnotách nutno používat desetinou tečku
- 7) Zeměpisná šířka vybrané oblasti do – severní hranice vybraného prostoru pro monitorování letadel, při desetinných hodnotách nutno používat desetinou tečku
- 8) Zeměpisná délka vybrané oblasti od – západní hranice vybraného prostoru pro monitorování letadel, při desetinných hodnotách nutno používat desetinou tečku
- 9) Zeměpisná délka vybrané oblasti do – východní hranice vybraného prostoru pro monitorování letadel, při desetinných hodnotách nutno používat desetinou tečku
- 10) Tlačítko START spustí výpočetní cyklus programu
- 11) Tlačítko STOP ukončí výpočetní cyklus programu
- 12) Výstup z konzole – zobrazuje některé informace o chodu programu (včetně chybových hlášek) a běží v něm samotné dekódované vyfiltrované řádky před uložením do jednotlivých výstupních logů

Pro správný chod programu musí být všechna pole správně vyplněna (pozor je nutné používat desetinou tečku) a musí být vybrána výstupní složka úložiště logů.

## 5.3 Výstup z programu

Do cílové složky, která byla vybrána uživatelem v uživatelském rozhraní jsou ukládány k jednotlivým letům soubory logů (ve formátu .log) obsahující jednotlivé dekódované polohové zprávy. V názvu souboru je vždy na prvním místě datum a čas vytvoření (vstupu letadla do oblasti) a ICAO adresa letadla.

Pokud není od letadla přijata polohová zpráva více než 5 minut od posledního záznamu, je vytvořen nový soubor logu a systém předpokládá, že se jedná o nový let/průlet sledovanou oblastí. Na Obrázku 8 je ukázkový obsah výstupního logu pro jeden let sledovanou oblastí.



**Obrázek 8 – příklad obsahu výstupního logu**



Záznamy jednotlivých dekodovaných zpráv jsou ukládány v následujícím formátu:

*[datum a čas přijetí];[originální zpráva v hexadecimálním formátu];[ICAO adresa letadla];[\*barometrická výška];[zeměpisná šířka];[zeměpisná délka];[\*\*poznávací značka];[\*\*typ letadla];[\*\*operátor]*

\*Výška je dekodována pouze pro zprávy TC 9 – 18 s q kódem rovným jedné. V jiném případě je na tomto místě vypsáno „noaltitudeinf“.

\*\*V případě, že se nepodařilo z databáze ani z internetu zjistit dané informace vypíše v tomto poli hlášku „null“

## 6 Přístup k databázi letadel pomocí programu Squirell SQL client

### 6.1 Úvod

Pro přístup k „Apache Derby Embedded“ databázi, která je součástí programu je zapotřebí externího programu. Zde uvádím zjednodušený návod, jak se k databázi připojit a pomocí tohoto programu upravit její obsah. Databáze zatím obsahuje dva sloupce – ICAO adresu letadla a typ letadla. Není problém přidat další sloupce obsahující další informace o letadlech pomocí úpravy databáze v klientu Squirell a jednoduché úpravy zdrojového kódu programu.

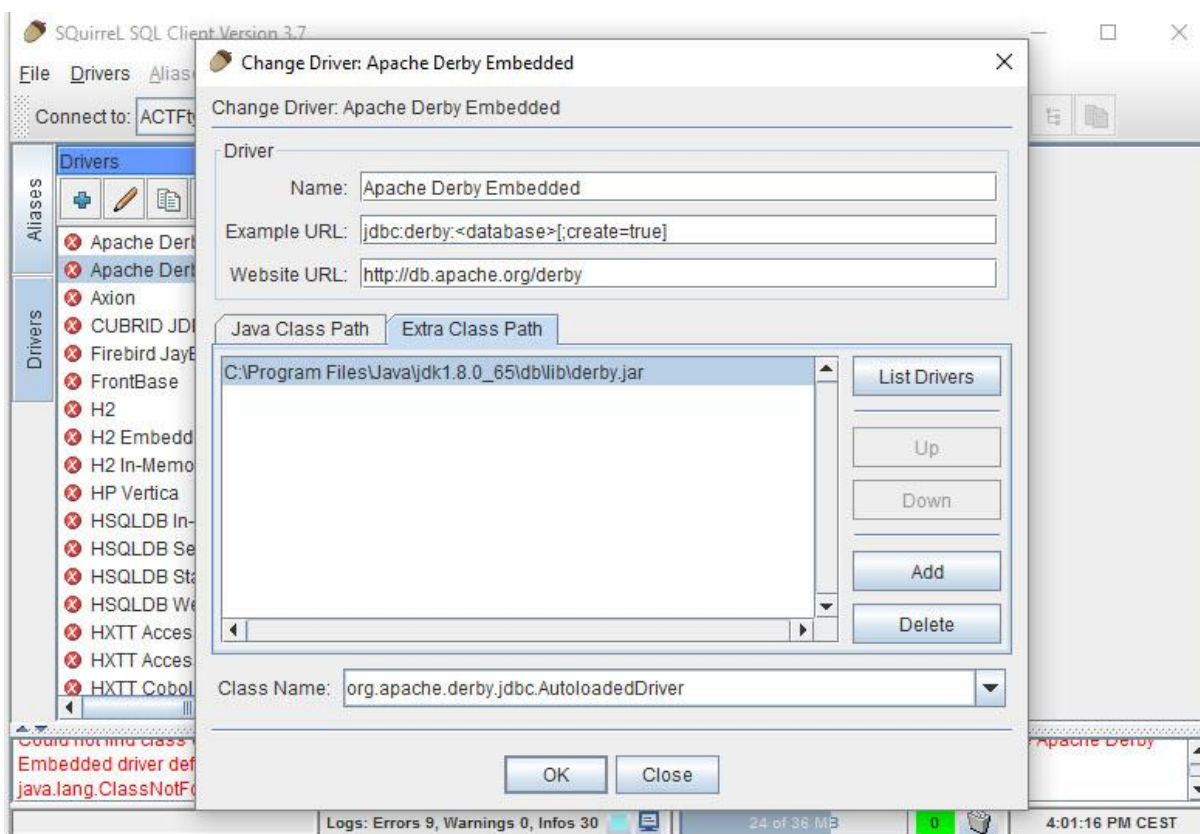
Tento návod je poměrně stručný, pro detailnější popis programu Squirell SQL client a nastavení připojení k databázi navštivte odkaz:

*[https://db.apache.org/derby/integrate/SQuirreL\\_Derby.html](https://db.apache.org/derby/integrate/SQuirreL_Derby.html)*

Kromě Squirell SQL klientu je nutné stáhnout a nainstalovat také programy Java JRE, JDK nebo SDK (verze 1.4 a vyšší) a Apache derby (verze 10.1 a vyšší). Na odkazu výše se nachází odkazy na stažení všech potřebných programů a jejich instalaci.

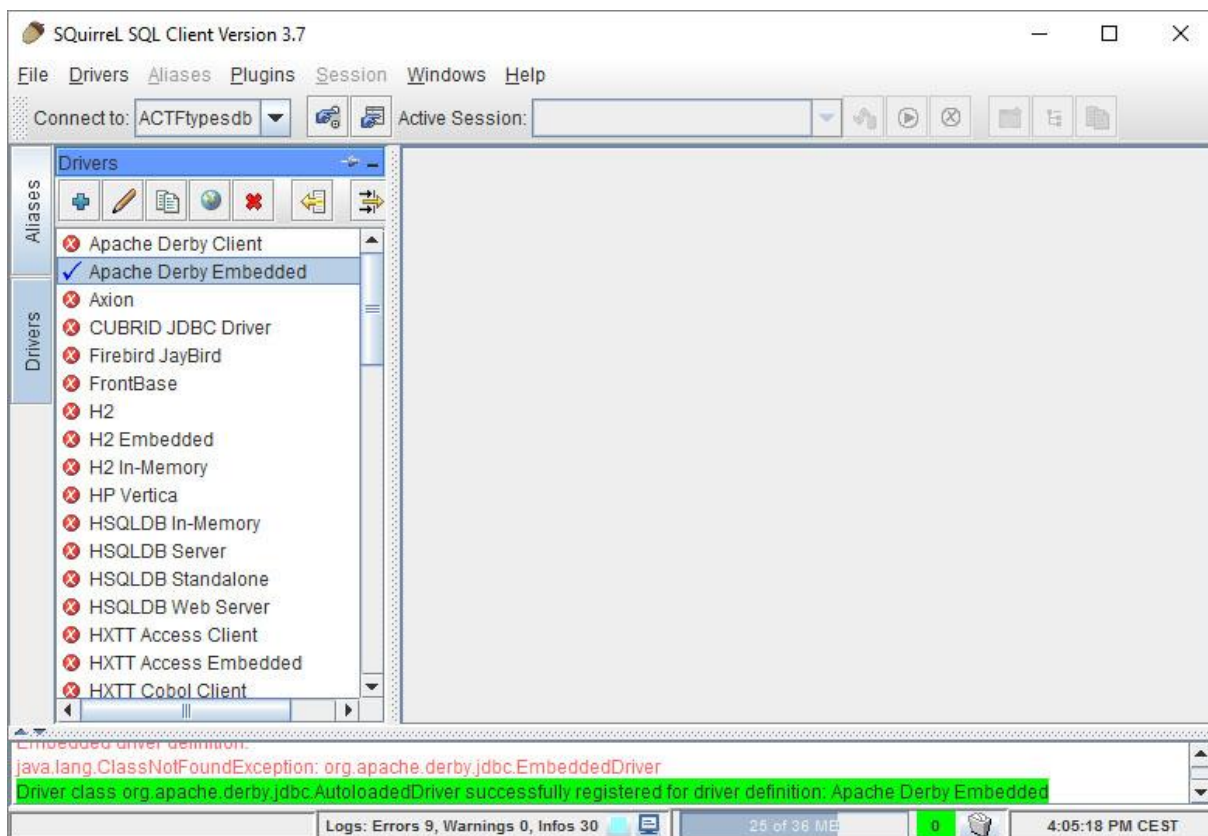
## 6.2 Nastavení připojení

Po spuštění programu je nejprve nutné nakonfigurovat ovladač *Apache Derby Embedded*. V horní nabídce vybereme nabídku *Windows > View Drivers* mezi ovladači označíme *Apache Derby Embedded* a klikneme na ikonu tužky. Ve vyskakovacím okně vybereme pole *Extra Class Path* a klikneme na *Add*. Vybereme URL k souboru *derby.jar* - ten se nachází ve složce programu ADS-B live area monitor v souboru *lib*. Poté klikneme na pole *List Drivers* a stiskneme OK. Náhled na obrázku 9.



Obrázek 9 – konfigurace ovladače v Squirrel SQL client [1]

Po úspěšném dokončení konfigurace ovladače by se u něj měla objevit modrá fajfka (Obrázek 10).

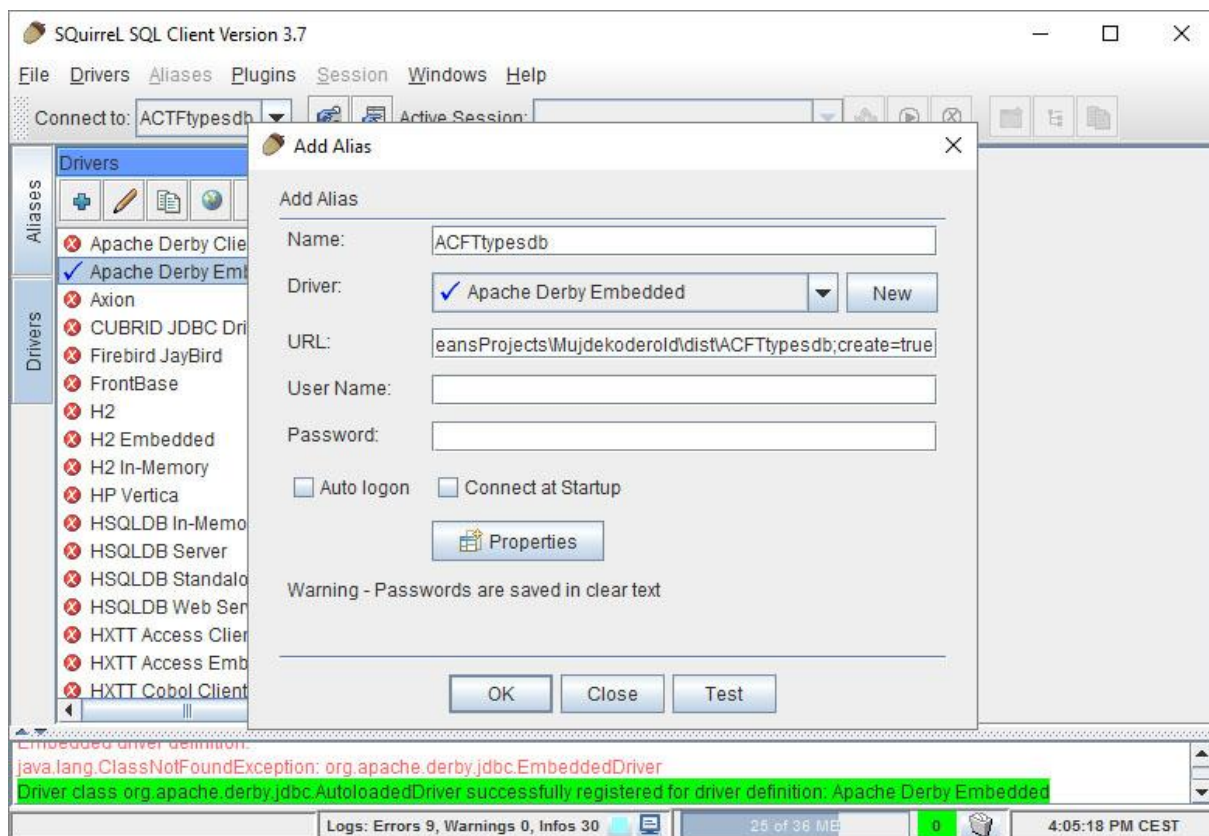


**Obrázek 10 – správně nakonfigurovaný ovladač Apache Derby Embedded [1]**

Nyní můžeme přejít k vytvoření Aliasu a připojení se k samotné databázi. Klikneme na záložku *Alias* a vybereme modré plus. Vyplníme podle obrázku 11. Do pole URL vyplníme následující (místo červeně označené části vyplníme cestu k souboru databáze ACFTtypesdb, nachází se ve složce programu):

*jdbc:derby:C:\...ACFTtypesdb;create=true*

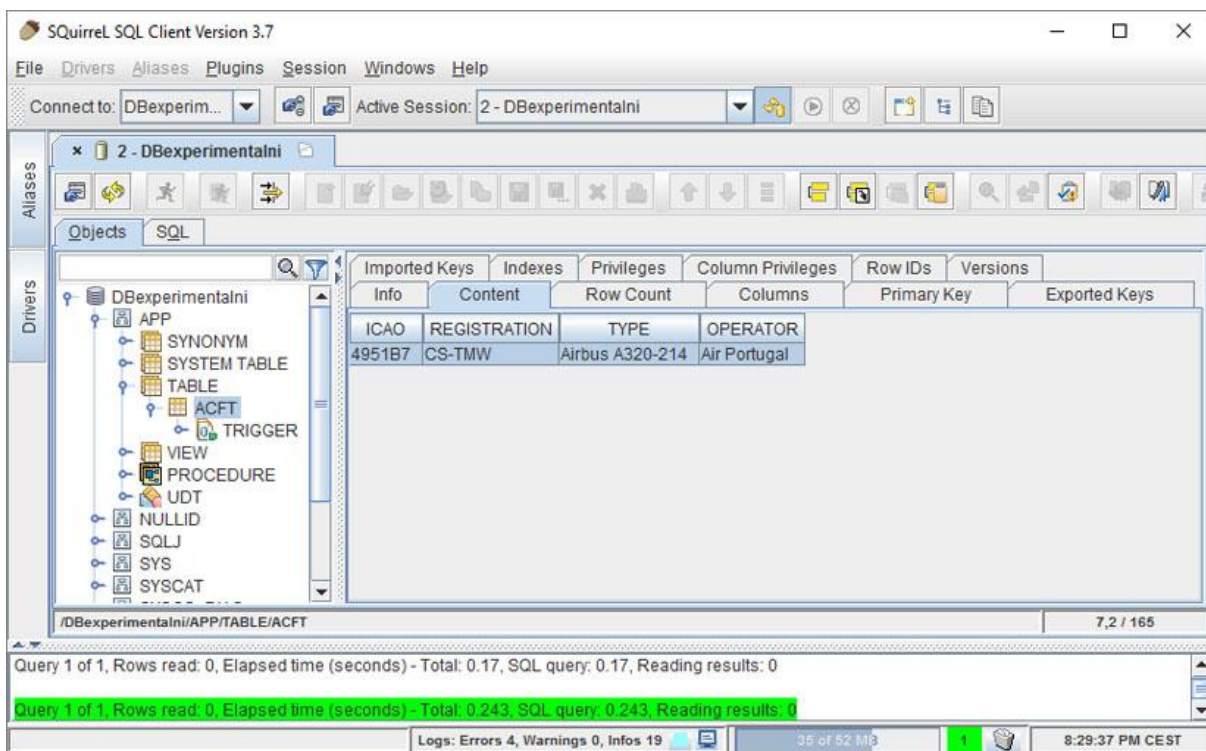
Přihlašovací jméno ani heslo nevyplňujeme. Vyzkoušíme funkčnost připojení přes tlačítko *Test* a stiskneme *OK*.



Obrázek 11 – vytvoření Aliasu [1]

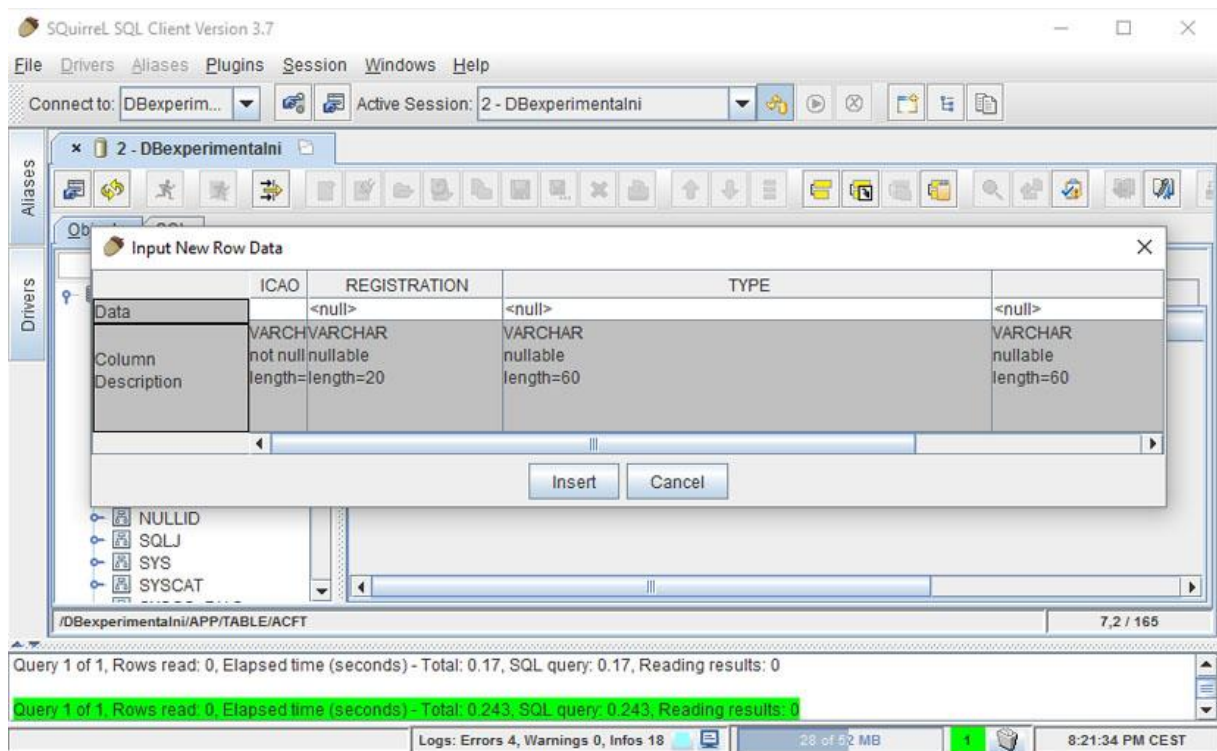
## 6.3 Úprava databáze

Po splnění předcházejících kroků jsme připojeni k databázi ACFTtypesdb. Pro náhled obsahu databáze vybereme vlevo záložku *APP > TABLE > ACFTTP* a vybereme záložku *Content* (viz. Obrázek 12).



Obrázek 12 – náhled obsahu databáze [1]

Databáze obsahuje jednu tabulku s ICAO kódem, poznávací značkou, typem letadla a operátorem. Pro přidání nového řádku do tabulky klikněte pravým tlačítkem myši na tabulku a vyberte volbu *Insert Row* (viz. Obrázek 13).



**Obrázek 13 – Přidání nového řádku do databáze [1]**

Tento program nabízí mnoho uživatelských možností jak exportovat a importovat data ve větších objemech do a z databáze, to bude vhodné při plnění databáze mnoha sledovanými letadly a jejich typy.

## 7. Závěr

V teoretické části práce jsem se zabýval popsáním problematiky výzkumu vlivu kondenzačních stop na životní prostředí a hlavně dekodováním polohových zpráv ADS-B, jehož pochopení je nezbytné pro vytvoření programu, který je hlavním úkolem této práce.

V rámci své práce jsem vytvořil program ADS-B live area monitor, který je schopný přijímat a dekodovat polohové zprávy ADS-B ze školního přijímače zpráv módu S. Je využitelný jako účinný nástroj při výzkumu kondenzačních stop kamerovým systémem ÚLD ČVUT. V rámci sledované oblasti shromažďuje data o polohových zprávách a typech letadel, která se v ní nachází a uchovává je pro další analýzu. Doufám, že program pomůže při výzkumu kondenzačních stop a osvědčí se jako užitečný pomocník. Snažil jsem se u programu odstranit všechny bugy a nedokonalosti, ale vzhledem k tomu, že každý složitější program je mnohokrát upravován i po jeho dokončení, je možné, že se v průběhu jeho využití objeví chyby, které bude nutné opravit. Proto v příloze kromě samotného programu zveřejňuji také složku projektu mého programu pro vývojový software Netbeans [11] tak, aby kdykoliv v budoucnu šel jednoduše upravit. Přes mé nulové počáteční zkušenosti s programováním, jsem se snažil, aby byl zdrojový kód přehledný a objektové uspořádání jasné i pro případné úpravy třetí stranou.

Při tvorbě programu jsem se inspiroval bakalářskou prací pana Tési [13] na kterou moje práce logicky navazuje a použil jsem část zdrojového kódu jeho programu, který se shodoval s mými potřebami. Dále jsem při hledání způsobů, jak automaticky zjišťovat typy letadel pomocí ICAO adresy čerpal znalosti z práce pana Coote [2].

Program se nachází na přiloženém CD. V závěrečných dvou kapitolách uvádím jednoduchý uživatelský manuál k mému programu a návod jak zobrazit a případně upravit databázi letadel, která je součástí mého programu pomocí softwaru SQuirell SQL Client.



## 8. Použité zdroje

- [1] BELL, Colin et al. *Squirell SQL Client* [software]. © 2016
- [2] COOTE, James. *Mapping planes using ADS-B*. [Sussex], 2012. Dissertation submitted in partial fulfilment for the degree of Bachelor in Science in Computer Science. University of Sussex. Department of Informatics.
- [3] GATWICK AVIATION SOCIETY. *Mode S Code Lookup* [online]. [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: <http://www.gatwickaviationsociety.org.uk/modeslookup.asp>
- [4] HOSPODKA, Jakub a Stanislav PLENINGER. *Vliv letecké dopravy na atmosféru: problematika začlenění leteckých společností do EU ETS*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, © 2015. ISBN 978-80-01-05824-4.
- [5] ICAO: *ANNEX 10. Aeronautical Telecommunications. Volume IV – Surveillance and Collision Avoidance Systems. Fifth Edition*. Montreal: ICAO, © 2014. ISBN 978-92-9249-537-4
- [6] ICAO: *Document 9871. Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter*. Montreal: ICAO, © 2008. ISBN 978-92-9231-117-9
- [7] Jetvision.de. *BUNDLE: Radarcape + "Active Diapason" Antenna (1090 MHz)+ 20 m Antenna Cable* [online]. Dostupné z: [http://shop.jetvision.de/epages/64807909.sf/en\\_GB/?ObjectPath=/Shops/64807909/Products/66077](http://shop.jetvision.de/epages/64807909.sf/en_GB/?ObjectPath=/Shops/64807909/Products/66077)
- [8] KÖLLNER, Günter. *Modesbeast.com. WIKI. Radarcape* [online]. 2016 [cit. 2016-07-20]. Dostupné z: <http://wiki.modesbeast.com/Radarcape:Contents>
- [9] NASA. *The Contrail Education Project* [online]. 2015 [cit. 2016-02-01]. Dostupné z: <http://science-edu.larc.nasa.gov/contrail-edu/>
- [10] NOVÁK, Andrej a Branislav KANDERA. *Moderní sledovací systémy v letecké dopravě*. Brno: CERM, © 2010. ISBN 978-80-7204-699-7.

- [11] Oracle Corporation. *Netbeans IDE 8.1* [software]. © 2015
- [12] Pixabay.com [online]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/contrail-leteck%C3%A1-doprava-nebe-670296/>
- [13] TĚSI, Simon. *Nástroj na dekódovanie správ 1090 ES*. Praha, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta dopravní.
- [14] United States Environmental Protection Agency. *Aircraft Contrails Factsheet* [online]. 2000 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/contrails.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/contrails.pdf)
- [15] VORÁČEK, Martin, *Vliv kondenzačních čar na životní prostředí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Ústav letecké dopravy
- [16] WOLF, Christian. *Mode S Reply Encoding* [online]. [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr24.en.html>