

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jiří Novák

ANALÝZA NESPOLEHLIVÝCH DAT V ADS-B ZPRÁVÁCH

Diplomová práce

**2017**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621**..... **Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Jiří Novák**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Analýza nespolehlivých dat v ADS-B zprávách**

Název tématu (anglicky): Analysis of Unreliable Data in the ADS-B Messages

### **Zásady pro vypracování**

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

- Nalezení vhodných referenčních bodů (referenčních míst) v rámci LKPR pro provádění měření
- Hodnocení polohové chyby na reálných datech v rámci zpráv ADS-B s využitím referenčních míst na LKPR
- Analýza příčin chyb polohových dat ve zprávách ADS-B 1090 ES
- Analýza chyby mag. kurzu (HDG) vlivem neaktuálních tabulek deklinace implementovaných v avionických systémech letade
- Hodnocení chyby HDG na reálných datech v rámci zpráv ADS-B s využitím referenčních míst na LKPR



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: EUROCAE ED-102A, MOPS for 1090ES ADS-B and TIS B ICAO Annex 10, Aeronautical Telecommunication, Vol. IV [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int)

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Stanislav Pleninger, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **29. května 2018**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jiří Novák  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 4. prosince 2017



## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Stanislavu Pleningerovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce.

V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia, zvláště pak při psaní diplomové práce.

## **Čestné prohlášení**

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

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

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

V Praze 25. května 2017

Podpis:



## ***Abstrakt***

Práce v teoretické části seznamuje čtenáře s ADS-B, zejména se strukturou „Surface Position Message“ a „Aircraft Operation Status Message“, která nám poskytuje doplňující informace pro určení parametrů přesnosti a kvality.

Po seznámení s teorií problematiky následuje praktická část, která se skládá z určení referenčních bodů/křivek na letišti Praha, dekodování ADS-B zpráv a následného výpočtu polohové a „Heading“ chyby.

V závěru je odděleně analyzováno několik vybraných letů, které vykazují vyšší polohovou chybu a HDG chybu a probíhá diskuze, z jakého důvodu tyto chyby vznikají, zda existuje spojitost mezi nimi a zda chyby odpovídají parametrům přesnosti a kvality a předpokládané chybě způsobené magnetickou deklinací.

## ***Klíčová slova***

ADS-B, 1090ES, DF17, Letiště Praha, Pojezdová dráha, Polohová data, HDG, WGS84, Surface Position Message, Aircraft Operation Status Message, Polohová chyba, HDG chyba.

## ***Abstract***

In the theoretical section, readers are introduced to the ADS-B systems, especially to the structures "Surface Position Message" and "Aircraft Operation Status Message", which provide us with additional information determining the parameters of accuracy and quality.

The theoretical section is introducing the main themes which are then followed by a practical part. That section includes the determination of reference points/curves at the Prague Airport, decoding of ADS-B messages and subsequent calculation of the position and "Heading" errors.

The conclusion section separately analyses several selected flights, which show a higher position error and HDG error. The discussion dealing with the reasons why these errors arise, whether there is a link between them and if they correspond with the parameters of accuracy and quality and the assumption of magnetic declination error.

## ***Keywords***

ADS-B, 1090ES, DF17. Prague Airport, Taxiway, Positional data, HDG, WGS84, Surface Position Message, Aircraft Operation Status Message, Positional Error, HDG Error.

## Obsah

<b>1</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ADS-B (AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST)</b> .....	<b>10</b>
3.1	1090 ES (1090 Extended Squitter).....	11
3.1.1	Downlink Format (DF) .....	11
3.1.2	Capability Field (CA).....	11
3.1.3	Adress Field (AA) .....	11
3.1.4	Parity (PI).....	12
3.1.5	Message, Extended Squitter (ME) .....	12
3.1.5.1	Surface Position Message.....	12
3.1.5.2	Aircraft Operation Status Message .....	13
3.1.6	Parametry určující kvalitu a přesnost .....	17
3.1.6.1	ICAO Version 0.....	17
3.1.6.2	ICAO Version 1.....	19
3.1.6.3	ICAO Version 2.....	20
<b>4</b>	<b>MAGNETICKÝ KURZ A MAGNETICKÁ DEKLINACE</b> .....	<b>26</b>
4.1	Magnetický kurz (HDG) .....	26
4.2	Magnetická deklinace .....	26
4.2.1	Avionické systémy a deklinace.....	27
4.2.1.1	Inercial Reference Units (IRU) .....	27
4.2.1.2	Flight Managment System (FMS).....	27
<b>5</b>	<b>NALEZENÍ VHODNÝCH REFERENČNÍCH BODŮ</b> .....	<b>28</b>
5.1	Mapa Letiště Praha .....	28
5.2	Výběr referenční části TWY .....	28
5.3	Vytvoření referenčních bodů .....	29
<b>6</b>	<b>HODNOCENÍ POLOHOVÉ CHYBY</b> .....	<b>32</b>
6.1	Filtrování potřebných dat .....	32
6.2	Výpočet polohové chyby .....	34
6.3	Parametry přesnosti a kvality .....	34
6.4	Spárování parametrů kvality a přesnosti .....	35
<b>7</b>	<b>ANALÝZA CHYB POLOHOVÝCH DAT</b> .....	<b>37</b>
7.1	Obecná statistika polohových dat.....	37
7.2	Záznamy s větší polohovou chybou .....	38

7.2.1	<i>EC-JGS – Iberia (A321-200)</i> .....	39
7.2.2	<i>EC-JSY – Vueling (A320-212)</i> .....	40
7.2.3	<i>F-GZHE – Transavia France (B737-800)</i> .....	40
7.2.4	<i>OK-TSN – Smartwings (B737-8KN)</i> .....	40
7.2.5	<i>OK-MEK – Czech Airlines (A319-112)</i> .....	42
7.2.6	<i>D-AEWK – Eurowings (A320-200)</i> .....	42
7.2.7	<i>G-EZAY – EasyJet (A319-100)</i> .....	43
7.2.8	<i>G-EUYD – British Airways (A320-232)</i> .....	43
7.2.9	<i>G-EZRH – EasyJet (A320-214)</i> .....	44
7.2.10	<i>OK-TVE – Travel Service (B737-86Q)</i> .....	44
7.2.11	<i>OK-OER – Czech Airlines (A319-112)</i> .....	46
7.2.12	<i>YR-ASC – TAROM (A318-100)</i> .....	47
7.2.13	<i>TC-JTG – Turkish Airlines (A321-231)</i> .....	47
7.2.14	<i>EI-FZV – Ryanair (B737-8AS)</i> .....	49
7.2.15	<i>A6-FDY – FlyDubai (B737-8KN)</i> .....	49
7.2.16	<i>A6-EOR – Emirates (A380-861)</i> .....	50
7.2.17	<i>N844MH – Delta Air Lines (B767-432)</i> .....	51
7.2.18	<i>C-GPAT – Air Transat (A310-308)</i> .....	52
7.3	<i>Vyhodnocení</i> .....	52
7.3.1	<i>Statistika</i> .....	52
7.3.2	<i>Závěr</i> .....	54
<b>8</b>	<b><i>HODNOCENÍ CHYBY MAGNETICKÉHO KURZU</i></b> .....	<b>55</b>
8.1	<i>Filtrování potřebných dat</i> .....	55
8.2	<i>Výpočet chyby magnetického kurzu</i> .....	55
<b>9</b>	<b><i>ANALÝZA CHYBY MAGNETICKÉHO KURZU</i></b> .....	<b>57</b>
9.1	<i>Obecná statistika dat magnetického kurzu</i> .....	57
9.2	<i>Záznamy s větší chybou „Heading“</i> .....	59
9.2.1	<i>EC-JGS – Iberia (A321-200)</i> .....	59
9.2.2	<i>EC-JSY – Vueling (A320-212)</i> .....	59
9.2.3	<i>F-GZHE – Transavia France (B737-800)</i> .....	59
9.2.4	<i>OK-TSN – Smartwings (B737-8KN)</i> .....	60
9.2.5	<i>D-AEWK – Eurowings (A320-200)</i> .....	60
9.2.6	<i>G-EZAY – EasyJet (A319-100)</i> .....	60
9.2.7	<i>G-EUYD – British Airways (A320-232)</i> .....	61
9.2.8	<i>G-EZRH – EasyJet (A320-214)</i> .....	61
9.2.9	<i>YR-ASC – TAROM (A318-100)</i> .....	61
9.2.10	<i>TC-JTG – Turkish Airlines (A321-231)</i> .....	61
9.2.11	<i>A6-FDY – FlyDubai (B737-8KN)</i> .....	62



9.2.12	<i>N844MH – Delta Air Lines (B767-432)</i> .....	63
9.2.13	<i>C-GPAT – Air Transat (A310-308)</i> .....	63
9.3	<i>Vyhodnocení</i> .....	64
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM LITERATURY A JINÝCH PRAMENŮ</b> .....	<b>66</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>67</b>
<b>13</b>	<b>PŘÍLOHA – DATA VYBRANÝCH LETADEL</b> .....	<b>68</b>

## 1 Seznam zkratek

1090 ES	1090 Extended Squitter	-
AA	Address Field	-
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	-
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
CA	Capability Field	-
CPR	Compact Position Reporting	-
DF	Downling format	-
ECEF	Earth – Centered, Earth – Fixed	-
FIS-B	Flight Information Service Broadcast	-
FMS	Flight Management Systém	-
GNSS	Global Navigation Satellite System	-
GPS	Global Positioning System	-
GVA	Geometric Vertical Accuracy	-
HDG	Heading	Magnetický směr letadla
HPL	Horizontal Protection Limit	-
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IRU	Inercial Reference Units	-
LKPR	Airport ICAO code Prague	ICAO kód letiště Praha
ME	Message, Extender Squitter	-
NAC	Navigation Accuracy Category	-
NIC	Navigation Integrity Category	-
NIC	Navigation Integrity Category	-
NUC	Navigation Uncertainty Category	-
OM	Operation Mode	-
PI	Parity / Identify	-
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
SDA	System Design Assurance	-
SIL	Surveillance Integrity Level/Source Integrity Level	-
S-JTSK	-	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TCAS	Traffic collision avoidance system	-
TIS-B	Traffic Information Service Broadcast	-
TWY	Taxiway	Pojezdová dráha
UAT	Universal Access Transceiver	-
VDL – Mode 4	Very High Frequency Data Link – Mode 4	-
VOR	VHF Omnidirectional Radio Range	-
WGS84	World Geodetic System 1984	-

## 2 Úvod

Tato diplomová práce vznikla jako pokračování mé bakalářské práce, která se zabývala analýzou využitelnosti GNSS polohových dat v ADS-B zprávách. Při této analýze u některých polohových dat byla zaznamenána výrazná chyba a to vedlo k tématu této diplomové práce, tj. Analýza nespolehlivých dat v ADS-B zprávách. Nespolehlivostí je myšlena výrazná polohová chyba a cílem je analyzovat, zda tato chyba odpovídá parametrům přesnosti a kvality a jak se tyto parametry mění v čase se změnou chyby.

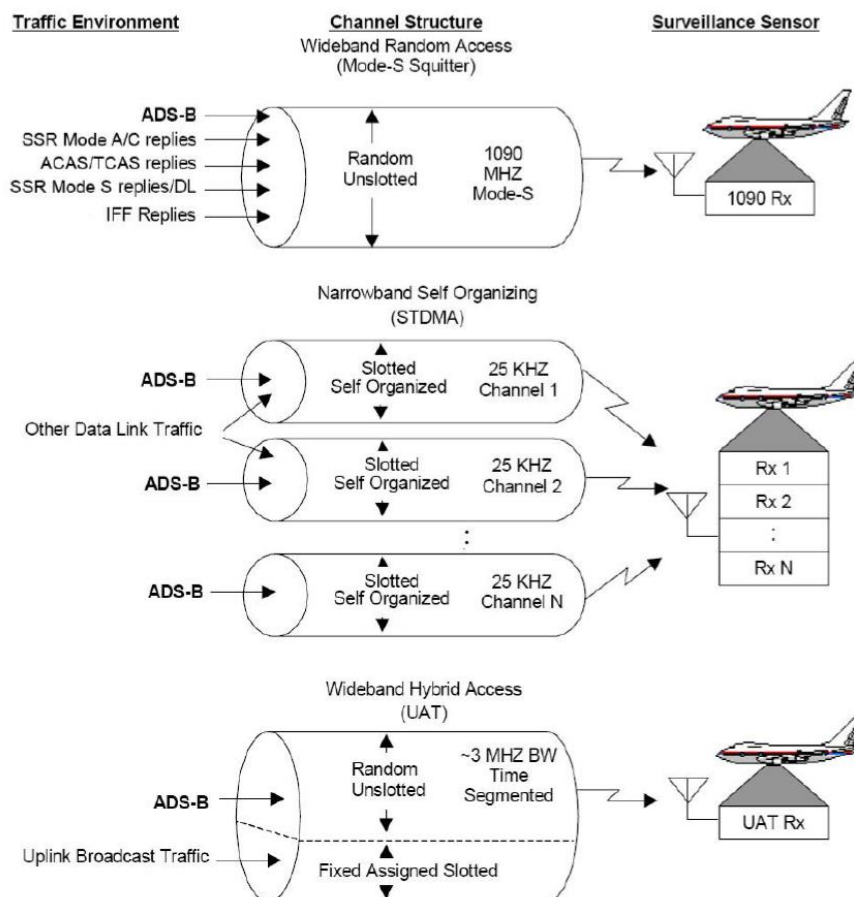
Dalším předpokládaným nespolehlivým údajem je informace o směru pojíždění letadla. Předpokládáme, že informace je brána z inerciálních systémů, a vlivem pohybu magnetického pólu, se tak musí následně přepočítat, aby odpovídala magnetickému směru, který je interpretován posádkou, posílán ADS-B zprávami, atd. K tomuto účelu slouží deklinační tabulky, které nemusí být aktuální a tím ve výsledku vzniká chyba magnetického kurzu. Abychom tuto chybu analyzovali, je v práci srovnáván směr z ADS-B zpráv, kde předpokládáme právě chybný magnetický kurz, a směr pojezdových drah, který přepočítáme pomocí aktuální hodnoty deklinace na magnetický směr. Za předpokladu aktuálních tabulek v inerciálním systému letadla, by takto naměřená chyba měla být nízká.

### 3 ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)

Jedná se o přehledový systém, který vysílá automaticky bez nutnosti dotazu informace o letadle anebo mobilním prostředku do okolí a kdokoli, kdo se nachází v dosahu vysílání, může tuto informaci (zprávu) získat a zpracovat. Podle účelu tedy můžeme ADS-B rozdělit na dvě funkce:

- ADS-B OUT – Funkce na letadle či pozemním mobilním prostředku, která vysílá periodicky zprávu, v níž může být obsažena např. vertikální a horizontální polohová informace, vertikální a horizontální rychlost, magnetický směr pohybu (HDG) a například ICAO adresa (identifikace). (1)
- ADS-B IN – Funkce opačná k ADS-B OUT, slouží k přijímání, zpracování a případnému zobrazení ADS-B zpráv. Opět může být použita na letadle či mobilním pozemním prostředku. (1)

K samotnému přenosu zpráv se počítá se třemi technologiemi:



Obrázek 1: Přehled ADS-B přenosových technologií (2)

- 1090 ES (1090 Extended Squitter) – Tato technologie je rozšíření klasického odpovídače v módu S, pracující na frekvenci 1090 MHz. Jelikož data pro tuto práci jsou získána právě pomocí zpráv 1090 ES, je tomuto typu přenosu věnována následující kapitola. (1) (2)
- VDL – Mode 4 (Very High Frequency Data Link – Mode 4) – Technologie podporující jak sledovací aplikace, tak i komunikační služby. Pro přenos je využíváno pásmo VHF (108 – 137 MHz) s několika 25 kHz komunikačními kanály. (1) (2)
- UAT (Universal Access Transceiver) – Technologie speciálně navržena k podpoře ADS-B, pracující na frekvenci 978 MHz s šířkou pásma 3 MHz. Tuto technologii využívají i jiné systémy poskytující důležité informace, například FIS-B (Flight Information Service Broadcast) a TIS-B (Traffic Information Service Broadcast). (1) (2)

### 3.1 1090 ES (1090 Extended Squitter)

Jak již bylo řečeno, jedná se o rozšíření klasického odpovídače v módu S, pracující na frekvenci 1090 MHz, ve formátu zpráv DF 17. Tento formát byl navržen právě pro využívání systémem ADS-B a je podporován i dalšími systémy jako ACAS, ASAS a jiné. (1)

Informace ve zprávě jsou kódované ve 112 bitech, z čehož v 56 bitech je samotná ADS-B zpráva. Struktura 1090 ES je uvedena v následující tabulce:

Tabulka 1: Struktura zpráv 1090 ES (1)

MSG bit	1 - 5	6 - 8	9 - 32	33 - 88	89 - 112
Field Name	Downlink Format [5]	Capability Field [3]	Adress Field [24]	Message [56]	Parity [24]

#### 3.1.1 Downlink Format (DF)

Pole Downlink Format obsahuje informaci o typu a kódování zprávy. Pro nás jsou podstatné zprávy DF 17, což značí ADS-B zprávy vysílané pomocí rozšířeného módu S. (1)

#### 3.1.2 Capability Field (CA)

Obsahuje ve třech bitech informaci o schopnosti a vlastnosti odpovídače. (1)

#### 3.1.3 Adress Field (AA)

Jedinečná identifikace vysílající stanice (letadlo/vozidlo). U zpráv DF 17 tato identifikace odpovídá ICAO adrese letadla. (1)

### 3.1.4 Parity (PI)

Pole obsahuje data k ověření správnosti zprávy, zda nebyla zpráva při vysílání či přijímání poškozena. Některé chybné zprávy lze na základě tohoto pole opravit a následně použít. (1)

### 3.1.5 Message, Extended Squitter (ME)

V těchto 56 bitech jsou různá data v závislosti na typu ADS-B zprávy. V této práci budou využity Surface Position a Aircraft Operation Status zprávy. (1)

#### 3.1.5.1 Surface Position Message

Zprávy obsahující informace o letadle, které se nachází na zemi. Strukturu je možné vidět v Tabulka 2. (1)

Tabulka 2: Struktura Surface Position Message (1)

MSG Bit	33 - 37	38 - 44	45	46 - 52
"ME" Bit	1 - 5	6 - 12	13	14 - 20
Field Name	Type Code = 5 - 8 [5]	Movement [7]	Heading/Ground Track Status [1]	Heading/Ground Track [7]

MSG Bit	53	54	55 - 71	72 - 88
"ME" Bit	21	22	23 - 39	40 - 56
Field Name	Time (T) [1]	CPR Format (F) [1]	CPR Encoded Latitude [17]	CPR Encoded Longitude [17]

##### 3.1.5.1.1 Type Code

Pro Surface Position zprávy nabývá hodnot 5 až 8. Podle této hodnoty jsou mimo jiné definovány parametry kvality a přesnosti (viz kapitola 3.1.6). (1)

##### 3.1.5.1.2 Movement

Obsahuje informaci o rychlosti pohybu letadla/vozidla na zemi. (1)

##### 3.1.5.1.3 Heading / Ground Track Status (HDG/GRD Track Status)

Je jedno-bitové pole, které udává správnost a použitelnost dat v následujícím poli (HDG/GRD Track). (1)

##### 3.1.5.1.4 Heading / Ground Track

Jedná se o sedmi-bitové pole, ve kterém jsou zakódovány údaje o pohybu na zemi ADS-B přijímače. Respektive směr pohybu. (1)

##### 3.1.5.1.5 Time

„Time“ pole pomocí jednoho bitu určuje, zda je období platnosti horizontální polohy rovno přesně době 0,2s UTC. (1)

### 3.1.5.1.6 Compact Position Reporting Format (CPR Format)

Informaci o typu formátu (EVEN/ODD) kódování polohy (v následujících dvou polích). Jedná se o důležitou informaci při dekódování polohové informace. (1)

### 3.1.5.1.7 Compact Position Encoded Latitude (CPR Encoded Latitude)

Sedmnácti bitové pole, ve kterém je zakódována zeměpisná šířka dle CPR postupů. (1)

### 3.1.5.1.8 Compact Position Encoded Longitude (CPR Encoded Longitude)

Totožné s předchozím (CPR Encoded Latitude), pouze namísto zeměpisné šířky, je zde zakódovaná zeměpisná délka. (1)

## 3.1.5.2 Aircraft Operation Status Message

Zprávy, které dávají informaci o aktuálním statusu letadla. Struktura je naznačena v Tabulka 3. (3)

Tabulka 3: Struktura Aircraft Operation Status Message (3)

<b>MSG Bit</b>	33 - 37	38 - 40	41 - 52	53 - 56	57 - 72	73 - 75
<b>"ME" Bit</b>	1 - 5	6 - 8	9 - 20	21 - 24	25 - 40	41 - 43
<b>Field Name</b>	Type Code = 31 [5]	Subtype Code = 0 [3]	Capability Class (CC) Codes [16]		Operational Mode (OM) Codes [16]	MOPS Version Number [3]
		Subtype Code = 1 [3]	CC Codes [12]	L/W Codes [4]		

<b>MSG Bit</b>	76	77 - 80	81 - 82	83 - 84	85	86	87	88
<b>"ME" Bit</b>	44	45 - 48	49 - 50	51 - 52	53	54	55	56
<b>Field Name</b>	NIC Supplement - A [1]	NAC <sub>P</sub> [4]	GVA [2]	SIL [2]	NIC <sub>BARO</sub> [1]	HRD [1]	SIL <sub>SUPP</sub> [1]	Reserved [1]
			Reserved [2]		TRK/HDG [1]			

#### 3.1.5.2.1 Type Code

Aircraft Operation Status zprávy poznáme tak, že v poli Type Code je hodnota rovná 31. (3)

#### 3.1.5.2.2 Subtype Code

Určuje typ Aircraft Operation Status zprávy (struktura různých typů je vidět v Tabulka 3).

- Subtype Code = 0 – Airborne Participants
- Subtype Code = 1 – Surface Participants (podstatný pro tuto práci)
- Subtype Code = 2 – 7 – Reserved (3)

#### 3.1.5.2.3 Capability Class (CC)

Toto pole se liší podle typu zprávy. Pro naše účely potřebujeme strukturu pro typ „Surface“. Tato struktura je naznačena v Tabulka 4. (3)

Tabulka 4: Capability Class (CC) Structure - Surface Position Message (3)

<b>MSG Bit</b>	41	42	43	44	45	46	47	48	49 - 51	52
<b>"ME" Bit</b>	9	10	11	12	13	14	15	16	17 - 19	20
<b>Content</b>	0	0	POA	1090ES IN	Reserved		B2 Low	UAT IN	NAC <sub>v</sub>	NIC Supplement - C
	0	1	Reserved							
	1	0								
	1	1								

#### 3.1.5.2.3.1 Position Offset Applied

Jedno bitové pole, které ukazuje, zda vysílaná poloha byla upravena k referenční poloze ADS-B letadla/vozidla. (3)

#### 3.1.5.2.3.2 1090 Extended Squitter In (1090ES IN)

Vyjadřuje schopnost letadla přijímat zprávy ADS-B 1090 ES. (3)

#### 3.1.5.2.3.3 B2 Low

Dodatečné informace o vysílání u pozemních vozidel třídy B2. (3)

#### 3.1.5.2.3.4 Universal Access Transceiver In (UAT IN)

Vyjadřuje schopnost letadla přijímat zprávy ADS-B UAT. (3)

#### 3.1.5.2.3.5 Navigation Accuracy Category for Velocity (NAC<sub>v</sub>)

Jeden z parametrů přesnosti, v tomto případě pro rychlost (viz kapitola 3.1.6). (3)

#### 3.1.5.2.3.6 Navigation Integrity Category - Supplement C (NIC – Supplement C)

Parametr integrity, konkrétněji část parametru NIC. Pro „Surface“ zprávy je třeba znát supplement A a C (viz kapitola 3.1.6). (3)

#### 3.1.5.2.4 Aircraft/Vehicle Length and Width Code (L/W Codes)

Charakterizuje velikost letadla/vozidla (šířka a délka) dle kategorie. (3)



### 3.1.5.2.5 Operational Mode (OM)

Další pole, které se liší podle typu zprávy, opět pro naše účely si vystačíme se strukturou pro „Surface“ zprávy (Tabulka 5). (3)

Tabulka 5: Operation Mode (OM) Structure - Surface Position Message (3)

<b>MSG Bit</b>	57	58	59	60	61	62	63 - 64	65 - 72
<b>"ME" Bit</b>	25	26	27	28	29	30	31 - 32	33 - 40
<b>OM Format</b>	0	0	TCAS RA Active	IDENT Switch Active	Reserved for ATC Services	Single Antenna Flag	System Design Assurance	GPS Antenna Offset
	0	1	Reserved					
	1	0						
	1	1						

#### 3.1.5.2.5.1 TCAS/ACAS Resolution Advisory Active (TCAS RA)

Informace o statusu TCAS II nebo ACAS RA. (3)

#### 3.1.5.2.5.2 IDENT Switch Active

Informace o aktivaci IDENT tlačítka. (3)

#### 3.1.5.2.5.3 Reserved for ATC Services

Počítá se s budoucí implementací pro komunikaci s ATC. (3)

#### 3.1.5.2.5.4 Single Antenna Flag

Indikace o používání jedné, nebo dvou antén pro vysílání ADS-B zpráv. (3)

#### 3.1.5.2.5.5 System Design Assurance

Indikace, zda informace vysílané pomocí ADS-B nejsou chybné. (3)

#### 3.1.5.2.5.6 GPS Antenna Offset

Informace o vzdálenosti GPS antény od osy letadla (vpravo/vlevo) a od přídi letadla po ose (viz Tabulka 6). (3)

Tabulka 6: Lateral Axis GPS Antenna Offset Encoding (3)

"ME" Bit (MSG Bit)			Upper Bound of the GPS Antena Offset Along Lateral (Pitch) Axis Left or Right of Longitudinal (Roll) Axis	
33 (65)	34 (66)	35 (67)		
0 = left 1 = right	Encoding		Direction	(meters)
	Bit 1	Bit 0		
0	0	0	LEFT	NO DATA
	0	1		2
	1	0		4
	1	1		6
1	0	0	RIGHT	0
	0	1		2
	1	0		4
	1	1		6

#### **3.1.5.2.6 MOPS Version Number**

Verze ICAO zpráv ADS-B, které letadlo vysílá. Na základě této informace je poté možné dekódovat parametry kvality a přesnosti (viz kapitola 3.1.6) (3)

#### **3.1.5.2.7 Navigation Integrity Category – Supplement A (NIC - Supplement A)**

Parametr integrity, konkrétněji část parametru NIC. Pro „Surface“ zprávy je třeba znát supplement A a C (viz kapitola 3.1.6). (3)

#### **3.1.5.2.8 Navigation Accuracy Category for Position (NAC<sub>P</sub>)**

Jeden z parametrů přesnosti, v tomto případě pro polohu (viz kapitola 3.1.6). (3)

#### **3.1.5.2.9 Geometric Vertical Accuracy (GVA)**

Parametr k dekódování geometrické výšky. Pouze v „Airborne“ zprávách. (3)

#### **3.1.5.2.10 Source/Surveillance Integrity Level (SIL)**

Pravděpodobnostní hodnota, s jakou je letadlo mimo definovanou oblast bez indikace (viz kapitola 3.1.6). (3)

#### **3.1.5.2.11 Barometric Altitude Integrity Code (NIC<sub>BARO</sub>)**

Pole, které říká, zda výška v „Airborne“ zprávě byla překontrolována s výškou z jiného zdroje. (3)

#### **3.1.5.2.12 Track Angle / Heading**

Jedno bitové pole určující, zda reportovaný směr pojiždění je „Track Angle“ nebo „Heading“. (3)

#### **3.1.5.2.13 Horizontal Reference Direction (HRD)**

Jedno bitové pole (podobné předchozímu) určující, zda referenčním směrem je zeměpisný sever nebo magnetický sever. (3)

#### **3.1.5.2.14 Source Integrity Level – Supplement (SIL – Supplement)**

Doplňek pravděpodobnostní hodnoty SIL. (3)

### **3.1.6 Parametry určující kvalitu a přesnost**

Během vývoje ADS-B vznikly tři ICAO verze typů zpráv, které určují parametry kvality a přesnosti dat ze satelitní navigace:

- ICAO version 0: Definovaná DO-260 a DO-242 roku 2000
- ICAO version 1: Definovaná DO-260A a DO-242A roku 2003
- ICAO version 2: Definovaná DO-260B a DO-242B roku 2009 (4)

Informace, o kterou verzi ADS-B zprávy se jedná, je zakódována v „Aircraft Operation Status“ zprávě, která je definována Type Code = 31. (4)

Pokud „Aircraft Operation Status“ zpráva není přijata, ADS-B přijímač předpokládá, že se jedná o ICAO verzi 0. Pokud zpráva je přijata, přijímač nejprve dekóduje ME bity (41-43) s informací, o kterou ICAO verzi se jedná. (4)

#### **3.1.6.1 ICAO Version 0**

##### **3.1.6.1.1 Navigation Uncertainty Category (NUC)**

Pro ICAO verzi 0 je definován jeden parametr NUC (Navigation Uncertainty Category), reprezentující požadavky na přesnost a úroveň integrity.  $NUC_P$  pro polohu a  $NUC_R$  pro rychlost. (4)

Tabulka 7: Parametr NUC v ICAO verzi 0 (4)

Type Code	Format	Horizontal Protection Limit (HPL)	95% Containment Radius, $\mu$ and $v$ , On Horizontal and Vertical Position Error	Altitude Type	NUC <sub>p</sub>
0	No Position Information			Baro Altitude or No altitude Information	0
1	Identification (Category Set D)			Not Applicable	
2	Identification (Category Set C)			Not Applicable	
3	Identification (Category Set B)			Not Applicable	
4	Identification (Category Set A)			Not Applicable	
5	Surface Position	HPL < 7,5 m	$\mu < 3$ m	No Altitude Information	9
6	Surface Position	HPL < 25 m	$3 \text{ m} \leq \mu < 10 \text{ m}$	No Altitude Information	8
7	Surface Position	HPL < 185,2 m (0,1 NM)	$10 \text{ m} \leq \mu < 92,6 \text{ m}$ (0,05 NM)	No Altitude Information	7
8	Surface Position	HPL < 185,2 m (0,1 NM)	$\mu \geq 92,6 \text{ m}$ (0,05 NM)	No Altitude Information	6
9	Airborn Position	HPL < 7,5 m	$\mu < 3$ m	Baro Altitude	9
10	Airborn Position	$7,5 \text{ m} \leq \text{HPL} < 25 \text{ m}$	$3 \text{ m} \leq \mu < 10 \text{ m}$	Baro Altitude	8
11	Airborn Position	$25 \text{ m} \leq \text{HPL} < 185,2 \text{ m}$ (0,1 NM)	$10 \text{ m} \leq \mu < 92,6 \text{ m}$ (0,05 NM)	Baro Altitude	7
12	Airborn Position	$185,2 \text{ m}$ (0,1 NM) $\leq \text{HPL} < 370,4 \text{ m}$ (0,2 NM)	$92,6 \text{ m}$ (0,05 NM) $\leq \mu < 185,2 \text{ m}$ (0,1 NM)	Baro Altitude	6
13	Airborn Position	$370,4 \text{ m}$ (0,2 NM) $\leq \text{HPL} < 926 \text{ m}$ (0,5 NM)	$185,2 \text{ m}$ (0,1 NM) $\leq \mu < 463 \text{ m}$ (0,25 NM)	Baro Altitude	5
14	Airborn Position	$926 \text{ m}$ (0,5 NM) $\leq \text{HPL} < 1852 \text{ m}$ (1,0 NM)	$463 \text{ m}$ (0,25 NM) $\leq \mu < 926 \text{ m}$ (0,5 NM)	Baro Altitude	4
15	Airborn Position	$1852 \text{ m}$ (1,0 NM) $\leq \text{HPL} < 3704 \text{ m}$ (2,0 NM)	$926 \text{ m}$ (0,5 NM) $\leq \mu < 1852 \text{ m}$ (1,0 NM)	Baro Altitude	3
16	Airborn Position	$3704 \text{ m}$ (2,0 NM) $\leq \text{HPL} < 18,52 \text{ km}$ (10 NM)	$1852 \text{ m}$ (1,0 NM) $\leq \mu < 9,26 \text{ km}$ (5,0 NM)	Baro Altitude	2
17	Airborn Position	$18,52 \text{ km}$ (10 NM) $\leq \text{HPL} < 37,04 \text{ km}$ (20 NM)	$9,26 \text{ km}$ (5,0 NM) $\leq \mu < 18,52 \text{ km}$ (10 NM)	Baro Altitude	1
18	Airborn Position	HPL $\geq 37,04 \text{ km}$ (20 NM)	$\mu \geq 18,52 \text{ km}$ (10 NM)	Baro Altitude	0
19	Airborn Velocity	Not Applicable	Not Applicable	Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"	N/A
20	Airborn Position	HPL < 7,5 m	$\mu < 3$ m and $v < 4$ m	GNSS Height (HAE)	9
21	Airborn Position	HPL < 25 m	$\mu < 10$ m and $v < 15$ m	GNSS Height (HAE)	8
22	Airborn Position	HPL $\geq 25$ m	$\mu \geq 10$ m or $v \geq 15$ m	GNSS Height (HAE)	TBD

### 3.1.6.2 ICAO Version 1

V této ICAO verzi je parametr NUC nahrazen novými parametry: NAC (Navigation Accuracy Category), NIC (Navigation Integrity Category), SIL (Surveillance Integrity Level).

Změny se týkají parametru SIL a NIC, které jsou nově závislé na VPL (Vertical Protection Limit). Předtím byl parametr SIL závislý pouze na horizontální integritě. Pokud tedy není možné určit VPL, pak parametr SIL je roven 0. Podobná závislost platí i u hodnot parametru NIC. Pokud není možné určit VPL, pak NIC nemůže nabývat vyšších hodnot než 8, i když jsou dostupné dostatečně přesné informace o horizontální poloze. (4)

#### 3.1.6.2.1 Navigation Accuracy Category (NAC)

Je podobný jako parametr NUC v ICAO verzi 0. Rozděluje se na dva typy,  $NAC_V$  pro přesnost oznamované rychlosti a  $NAC_P$  pro přesnost oznamované polohy. (4)

#### 3.1.6.2.2 Navigation Integrity Category (NIC)

Parametr NIC je definován podle Type Code zprávy a slouží na určení integrity zprávy o poloze. K tomuto účelu slouží indikátor  $R_C$  (Radius of Containment), který značí limitní oblast výskytu. Jinak řečeno, jedná se o oblast kolem oznámené polohy, ve které se nachází letadlo s jistou určitostí. Tuto určitost nám pak definuje parametr SIL. (4)

Tabulka 7: Parametr NIC v ICAO verzi 1 (5)

NIC	Containment Radius ( $R_C$ ) and Vertical Protection Limit (VPL)	Airborne		Surface	
		Airborne Position Type Code	NIC Supplement Code	Surface Position Type Code	NIC Supplement Code
0	$R_C$ - unknown	0, 18 or 22	0	0, 8	0
1	$R_C < 37,04$ km (20 NM)	17	0	N/A	N/A
2	$R_C < 14,816$ km (8 NM)	16	0	N/A	N/A
3	$R_C < 7408$ m (4 NM)	16	1	N/A	N/A
4	$R_C < 3704$ m (2 NM)	15	0	N/A	N/A
5	$R_C < 1852$ m (1 NM)	14	0	N/A	N/A
6	$R_C < 1111,2$ m (0,6 NM)	13	1	N/A	N/A
	$R_C < 926$ m (0,5 NM)	13	0	N/A	N/A
7	$R_C < 370,4$ m (0,2 NM)	12	0	N/A	N/A
8	$R_C < 185,2$ m (0,1 NM)	11	0	7	0
9	$R_C < 75$ m and VPL $< 112$ m	11	1	7	1
10	$R_C < 25$ m and VPL $< 37,5$ m	10 or 21	0	6	0
11	$R_C < 7,5$ m and VPL $< 11$ m	9 or 20	0	5	0

### 3.1.6.2.3 Surveillance Integrity Level (SIL)

Parametr SIL definuje určitost. Jedná se o pravděpodobnostní hodnotu, s jakou se letadlo vyskytuje v oblasti  $R_c$ , definované parametrem NIC. V ICAO verzi 1 parametr SIL určuje také spolehlivost letadlových systémů a úroveň jejich integrity. (4)

Tabulka 8: Parametr SIL v ICAO verzi 1 (5)

SIL	Probability of Exceeding the Horizontal Integrity Containment Radius ( $R_c$ ) without an Indication	Probability of Exceeding the Vertical Integrity Containment Region (VPL) without an Indication	Comment
0	Unknown	Unknown	"No Hazard Level" Navigation Source
1	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample	"Minor Hazard Level" Navigation Source
2	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour or per sample	"Major Hazard Level" Navigation Source
3	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour or per sample	"Severe Hazard Level" Navigation Source

### 3.1.6.3 ICAO Version 2

ICAO verze 2 již definuje více parametrů kvality. Parametr NAC (Navigation Accuracy Category) pro definování přesnosti, parametr NIC (Navigation Integrity Category) pro definování integrity, parametry SIL (Source Integrity Level) a  $SIL_{SUPP}$ , SDA (System Design Assurance), určující pravděpodobnost selhání systému a parametr GVA (Geometric Vertical Accuracy) pro určení přesnosti vertikální polohy. (4)

Největší změnou oproti ICAO verzi 1 je odstranění vertikální závislosti parametrů NAC a NIC, přičemž došlo k předefinování parametru SIL na pravděpodobnost výskytu letadla v oblasti definované parametrem NIC. (4)

#### 3.1.6.3.1 Navigation Accuracy Category (NAC)

Opět je dělen na dva typy,  $NAC_P$ , který určuje přesnost určení polohy a to jak pro „Surface“ zprávy, tak pro „Airborne“ zprávy. Jedná se o určení přesnosti založené na ohraničeném horizontálním prostoru EPU (Estimated Position Uncertainty). EPU je tedy poloměr kružnice, se středem v oznámené poloze letadla, ve které se letadlo nachází s 95% pravděpodobností. (4)

Pokud vysílající zařízení nedostane potřebné údaje maximálně každých 5 sekund, pak parametr  $NAC_P$  pošle s hodnotou rovnou 0, indikující neznámou přesnost. (4)

Tabulka 9: Parametr  $NAC_P$  v ICAO verzi 2 (4)

Coding		Meaning = 95% Horizontal Accuracy Bounds (EPU)
(Binary)	(Decimal)	
0000	0	EPU $\geq$ 18,52 km (10 NM) - Unknown accuracy
0001	1	EPU < 18,52 km (10 NM) - RNP-10 accuracy
0010	2	EPU < 7408 m (4 NM) - RNP-4 accuracy
0011	3	EPU < 3704 m (2 NM) - RNP-2 accuracy
0100	4	EPU < 1852 m (1 NM) - RNP-1 accuracy
0101	5	EPU < 926 m (0,5 NM) - RNP-0,5 accuracy
0110	6	EPU < 555,6 m (0,3 NM) - RNP-0,3 accuracy
0111	7	EPU < 185,2 m (0,1 NM) - RNP-0,1 accuracy
1000	8	EPU < 92,6 m (0,05 NM) - e.g. GPS (with SA)
1001	9	EPU < 30 m - e.g. GPS (SA off)
1010	10	EPU < 10 m - e.g. WAAS
1011	11	EPU < 3 m - e.g. LAAS
1100 - 1111	12 - 15	Reserved

Druhý typ  $NAC_V$  určuje přesnost s jakou je poskytován údaj o rychlosti. Vysílající zařízení určuje parametr  $NAC_V$  ze vstupních dat, která splňují 95% přesnost pro vertikální a horizontální údaj o rychlosti. (4)

Tabulka 10: Parametr  $NAC_V$  horizontální údaj v ICAO verzi 2 (4)

Coding		Horizontal Velocity Error
(Binary)	(Decimal)	
0000	0	$\geq$ 10 m/s
0001	1	< 10 m/s
0010	2	< 3 m/s
0011	3	< 1 m/s
0100	4	< 0,3 m/s

### 3.1.6.3.2 Navigation Integrity Category (NIC)

Parametr NIC určuje hodnotu integrity polohové informace. Je používán aplikacemi k určení, zda přijatá informace o poloze má přijatelnou úroveň integrity pro následné použití. (4)

V porovnání s parametrem NIC v ICAO verzi 1, nemá parametr NIC v ICAO verzi 2 závislost na výšce. (4)

Tabulka 11: Parametr NIC v ICAO verzi 2 (3)

Type Code	Subtype Code	NIC Supplement			Format (Message Type)	Horizontal Containment Radius Limit (R <sub>c</sub> )	Navigation Integrity Category (NIC)	Altitude Type
		A	B	C				
0	Not Present	Not Applicable			Not Position Information (Airborne or Surface Position Message)	R <sub>c</sub> unknown	NIC = 0	Baro Altitude or No Altitude Information
1	Not Present	Not Applicable			Aircraft Identification and Category Message	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable
2								
3								
4								
5	Not Present	0	-	0	Surface Position Message	R <sub>c</sub> < 7,5 m	NIC = 11	No Altitude Information
6		0	-	0		R <sub>c</sub> < 25 m	NIC = 10	
7		1	-	0		R <sub>c</sub> < 75 m	NIC = 9	
		0	-	0		R <sub>c</sub> < 185,2 m (0,1 NM)	NIC = 8	
8		1	-	1		R <sub>c</sub> < 370,4 m (0,2 NM)	NIC = 7	
		1	-	0		R <sub>c</sub> < 555,6 m (0,3 NM)	NIC = 6	
		0	-	1		R <sub>c</sub> < 1111,2 m (0,6 NM)		
		0	-	0		R <sub>c</sub> ≥ 1111,2 m (0,6 NM) or unknown	NIC = 0	
9	Not Present	0	0	-	Airborne Position Message	R <sub>c</sub> < 7,5 m	NIC = 11	Baro Altitude
10		0	0	-		R <sub>c</sub> < 25 m	NIC = 10	
11		1	1	-		R <sub>c</sub> < 75 m	NIC = 9	
		0	0	-		R <sub>c</sub> < 185,2 m (0,1 NM)	NIC = 8	
12		0	0	-		R <sub>c</sub> < 370,4 m (0,2 NM)	NIC = 7	
		0	1	-		R <sub>c</sub> < 555,6 m (0,3 NM)	NIC = 6	
13		0	0	-		R <sub>c</sub> < 925 m (0,5 NM)		
		1	1	-		R <sub>c</sub> < 1111,2 m (0,6 NM)		
14		0	0	-		R <sub>c</sub> < 1852 m (1,0 NM)	NIC = 5	
15		0	0	-		R <sub>c</sub> < 3704 m (2 NM)	NIC = 4	
		1	1	-		R <sub>c</sub> < 7408 m (4 NM)	NIC = 3	
		0	0	-		R <sub>c</sub> < 14,816 km (8 NM)	NIC = 2	
		0	0	-		R <sub>c</sub> < 37,04 km (20 NM)	NIC = 1	
16		0	0	-		R <sub>c</sub> ≥ 37,04 km (20 NM) or unknown	NIC = 0	
17	0	0	-					
18	0	0	-					



Type Code	Subtype Code	NIC Supplement			Format (Message Type)	Horizontal Containment Radius Limit (R <sub>c</sub> )	Navigation Integrity Category (NIC)	Altitude Type
		A	B	C				
19	0	Not Applicable			Reserved	Not Applicable	Not Applicable	Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"
	1 - 4				<b>Airborne Velocity Message</b>			
	5 - 7				Reserved			
20	Not Present	0	0	-	<b>Airborne Position Message</b>	R <sub>c</sub> < 7,5 m	NIC = 11	GNSS Height (HAE)
21		0	0	-		R <sub>c</sub> < 25 m	NIC = 10	
22		0	0	-		R <sub>c</sub> ≥ 25 km or unknown	NIC = 0	
23	0	Not Applicable			<b>Test Message</b>			
	1 - 7				Reserved			
24	0				Reserved			
	1				<b>Surface System Status</b>			
	2 - 7				Reserved			
25 - 26					Reserved			
27					<b>Reserved for Trajectory Change Message</b>			
28	0				Reserved			
	1				<b>Extended Squitter Aircraft Status Message (Emergency/Priority Status)</b>			
	2				<b>Extended Squitter Aircraft Status Message (1090ES TCAS RA Broadcast Message)</b>			
	3 - 7				Reserved			
29	0				<b>Target State and Status Message (ADS-B Version Number = 1, defined in RTCA DO-260A)</b>			
	1				<b>Target State and Status Message (ADS-B Version Number = 2, defined in MOPS, RTCA DO-260B)</b>			
	2 - 3				Reserved			
30	0 - 7				Reserved			
31	0 - 1				<b>Aircraft Operational Status Message</b>			
	2 - 7				Reserved			

### 3.1.6.3.3 Source Integrity Level (SIL)

Parametr SIL určuje pravděpodobnost, s jakou se může letadlo vyskytovat bez upozornění mimo oblast definovanou parametrem NIC. Ačkoliv parametr SIL předpokládá, že systém a přístroje pracují bezchybně, je zohledněno selhání Singal-in-Space, pokud je použitý pro určení polohy. (4)

V porovnání s parametrem SIL, který byl použitý v ICAO verzi 1, byl parametr SIL přejmenován a byly odstraněny charakteristiky, které definovaly například spolehlivost avioniky atd. (4)

Tabulka 12: Parametr SIL v ICAO verzi 2 (4)

SIL		Probability of Exceeding the NIC Containment Radius (Rc)
(Binary)	(Decimal)	
00	0	Unknown or $> 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample
01	1	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample
10	2	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour or per sample
11	3	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour or per sample

Zda se jedná o parametr SIL určení vzhledem k hodině nebo k určitému vzorku, nám definuje parametr SIL<sub>SUPP</sub>. (4)

Tabulka 13: Parametr SIL<sub>SUPP</sub> v ICAO verzi 2 (4)

Coding	Meaning
0	Probability of exceeding NIC radius of containment is based on "per hour"
1	Probability of exceeding NIC radius of containment is based on "per sample"

### 3.1.6.3.4 System Design Assurance (SDA)

Parametr SDA určuje pravděpodobnost selhání ADS-B systému, které by bylo způsobené vysíláním nepravdivých informací. V tomto parametru jsou zahrnuty všechny složky systému, které mohou ovlivnit správnost zprávy (software-ové i hardware-ové části systému). (4)

Tabulka 14: Parametr SDA v ICAO verzi 2 (4)

SDA		Supported Failure Condition	Probability of Undetected Fault causing transmission of False or Misleading Information	Software & Hardware Design Assurance Level
(Binary)	(Decimal)			
00	0	Unknown / No safety effect	$> 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or Unknown	N/A
01	1	Minor	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour	D
10	2	Major	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour	C
11	3	Hazardous	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour	B

### 3.1.6.3.5 Geometric Vertical Accuracy (GVA)

Parametr GVA je určen pomocí charakteristiky VFOM (Vertical Figure of Merit) získané z GNSS polohy, používané v „Airborne“ zprávě k dekodování geometrické výšky. (4)

Tabulka 15: Parametr GVA v ICAO verzi 2 (4)

GVA	Meaning
(Decimal)	
0	Unknown or $> 45$ m
1	$\leq 45$ m
2	Reserved
3	Reserved

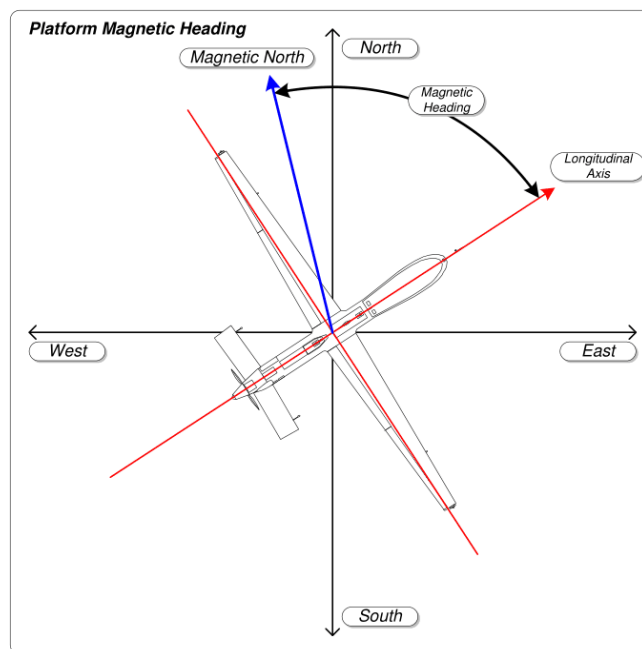
## 4 Magnetický kurz a magnetická deklinace

V této práci budeme také hodnotit a analyzovat chyby magnetického kurzu (HDG) letadla a podíváme se na případnou spojitost s deklinačními tabulkami v avionických systémech.

Obecně určujeme tři druhy směru, „Heading“ – magnetický směr, „Track Angle“ – směr letu a v neposlední řadě směr určený zemskými póly. Protože vyhodnocujeme data, která jsou zaslána v okamžiku, kdy letadlo pojíždí na zemi, dá se předpokládat, že „Heading“ a „Track Angle“ jsou stejné, proto v této práci nebudeme tyto dva směry rozlišovat, ale pouze budeme porovnávat „Heading“ letadla s magnetickým směrem pojezdové dráhy, který vypočteme ze zeměpisného směru podle uvedené magnetické deklinace v ICAO mapě Letiště Praha.

### 4.1 Magnetický kurz (HDG)

Magnetickým kurzem rozumíme úhel mezi přímkou směřující k magnetickému pólu země a přímkou ve směru osy letadla. Jak vidíme na Obrázek 2 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, vlivem magnetické deklinace tento úhel není totožný se zeměpisným směrem osy letadla, a proto je zapotřebí deklinačních tabulek k dané oblasti pro přepočítání mezi nimi.



Obrázek 2: Magnetický kurz (6)

### 4.2 Magnetická deklinace

Magnetickou deklinací je myšlen úhel, který svírá v daném místě poledník (směřující k zeměpisnému pólu) a přímka, která směřuje k magnetickému pólu. Jelikož se magnetický pól s časem přesouvá, magnetická deklinace na daném místě není vždy stejná. To může vést k chybám, které v této práci budeme vyhodnocovat. Aby k těmto chybám nedocházelo,

v avionických systémech jsou implementovány deklinační tabulky, které tuto chybu kompenzují.

Bohužel, v pohybu magnetického pólu se zatím nepodařilo najít systém, proto je magnetické pole Země stále monitorováno a data aktualizována. A vždy jednou za pět let je vytvořen světový magnetický model Země. (7)

V oblasti Prahy se hodnota deklinace mění zhruba jednou za 10 let o 1°. (8)

#### **4.2.1 Avionické systémy a deklinace**

U velkých letadel, mohou být zdrojem výpočtu HDG dva systémy, IRU (Inercial Reference Units) anebo FMS (Flight Management System). Každý z těchto systémů má jiný zdroj dat. (9)

##### **4.2.1.1 Inercial Reference Units (IRU)**

U tohoto systému jsou deklinační tabulky dané výrobcem podle světového magnetického modelu z EPOCHy roku instalace. Jinak řečeno, každých pět let (roky, které jsou dělitelné pěti, 1995, 2000, 2005,...), je určen nový světový magnetický model, pokud tedy budeme mít IRU instalován roku 1999, je možné, že obsahuje deklinační tabulku EPOCHy 2000, ale vzhledem k absenci aktualizace, jsou tato data již 18 let stará. (9)

##### **4.2.1.2 Flight Management System (FMS)**

Na rozdíl od IRU, kde tabulky byly pevně dané, jsou u FMS dva rozdílné zdroje:

- Tabulky nahrané z aktuální EPOCHy
- Data pro konkrétní procedury z navigační databáze (9)

Z navigační databáze jsou data nahrávána a měněna pomocí standardního AIRAC 28 denního cyklu. Tato změna se týká následujících typů dat:

- Magnetické změny na letištích
- Magnetická deklinace pro majáky VOR
- Magnetická změna, která je daná navrhnoutou změnou procedury (9)

## **5 Nalezení vhodných referenčních bodů**

Pro hodnocení polohové chyby v ADS-B zprávách je třeba nalézt vhodné referenční body, u kterých známe reálnou polohu. K tomuto účelu slouží denní značení na provozních plochách letiště, konkrétněji osově značení TWY. Budeme tedy předpokládat, že letadlo se pohybuje po ose TWY a kopíruje tím osově značení. Polohovou informaci o osovém značení zjistíme z mapy letiště, která byla poskytnuta pro bakalářskou práci Analýza využitelnosti GNSS polohových dat pro vedení letadel během pojiždění.

Obdobně budeme postupovat u hodnocení chyby magnetického kurzu, i v tomto případě využijeme osového značení TWY, avšak směr dané TWY budeme muset dopočítat.

### **5.1 Mapa Letiště Praha**

Vznik této mapy byl proveden digitalizací původní analogové mapy v měřítku 1:1000 a nyní je vedena v programovém prostředí Topobase v zobrazovacím systému S-JTSK se vztažným měřítkem 1:500. Digitální forma této mapy je průběžně doplňována z geodetického zaměření skutečného provedení staveb a tím je zajištěna aktuálnost této mapy. (1)

Mapa Letiště Praha byla poskytnuta oddělením geodézie a kartografie Letiště Praha a.s. a převedena do zobrazení systému WGS84 pomocí SW AutoCAD v roce 2013, proto výběr referenčních bodů bude z oblastí, kde za poslední roky nedošlo k žádné významné změně, a tím nedojde ke zkreslení výsledků. (1)

### **5.2 Výběr referenční části TWY**

Referenční body TWY musíme vybírat podle několika pravidel. Vzhledem k počítání odchylky polohy pouze v příčném směru od osového značení (viz. kapitola 6.2), jsme omezeni pouze na rovné úseky. V oblouku by nebylo zřetelné, k jakému referenčnímu bodu TWY máme polohu z ADS-B zprávy přiřadit. Dále je třeba vybírat úseky, které nám nebudou zasahovat do okolí jiných TWY, v tomto případě by mohla nastat situace, že budeme vyhodnocovat polohovou chybu letadla, které se reálně nachází na jiné pojezdové dráze. Proto je snahou mít osově značení, dvou zaměnitelných pojezdových drah, od sebe vzdálené minimálně 100 m (podélné ohraničení úseku TWY bude 50 m na každou stranu od osového značení, viz. kapitola 6.2). Posledním pravidlem by měla být frekventovanost TWY a viditelnost našeho přijímače. Čím více provozu na daném úseku budeme mít, tím více dat.

Za tímto účelem bylo vybráno 9 úseků na třech TWY (A, D a F), které splňují všechny tyto podmínky.

### 5.3 Vytvoření referenčních bodů

Pro vytvoření referenčních bodů TWY postupujeme následovně. Nejprve z dostupné mapy odečteme souřadnice krajních bodů úseku, ve kterém budeme data vyhodnocovat.



Obrázek 3: Odečtení souřadnic prvního krajního bodu TWY



Obrázek 4: Odečtení souřadnic druhého krajního bodu TWY

A následně odečtené souřadnice zapíšeme do matice `gt_twy_wgs84`, kde jeden řádek odpovídá jednomu referenčnímu úseku. Souřadnice zapisujeme v pořadí od východnějšího bodu. V našem příkladu nejdříve druhý krajní bod, následně první krajní bod. To aplikujeme pro výpočet směru TWY, neboť potřebujeme při výpočtu směru počítat konvexní úhel mezi osou směřující na sever a vektorem, určujícím směr TWY.

Jelikož z mapy nejsme schopni vyčíst výšku konkrétního bodu, zvolíme jako odpovídající hodnotu referenční výšku letiště (376 m).

```

%% Definice TWYs
%
A-Zem.Sirka A-Zem.delka A-Vyska
B-Zem.Sirka B-Zem.delka B-Vyska TWY
gt_twy_wgs84 = [50.10177484 14.23359286 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10046022 14.22921528 REF_LKPR_WGS84(1,3) 1 % TWY F1
,50.10306288 14.24290753 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10221234 14.23610717 REF_LKPR_WGS84(1,3) 2 % TWY F2
,50.10408979 14.25112175 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10377631 14.24861437 REF_LKPR_WGS84(1,3) 3 % TWY F3
,50.10468765 14.25590817 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10453175 14.25466096 REF_LKPR_WGS84(1,3) 4 % TWY F4
,50.10601915 14.24359393 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10516649 14.24266569 REF_LKPR_WGS84(1,3) 5 % TWY D1
,50.10496968 14.24964785 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10492978 14.24951481 REF_LKPR_WGS84(1,3) 6 % TWY D2
,50.10597414 14.25459067 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.10570644 14.25244840 REF_LKPR_WGS84(1,3) 7 % TWY D3
,50.11259334 14.26852742 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.11217087 14.26711747 REF_LKPR_WGS84(1,3) 8 % TWY A1
,50.11389302 14.27286546 REF_LKPR_WGS84(1,3)
50.11296055 14.26975303 REF_LKPR_WGS84(1,3) 9]; % TWY A2

```

Jak je vidět, ke každému úseku pojezdové dráhy přiřazujeme identifikátor, pro případ využití při analyzování dat. Úseky je možné vidět naznačené na Obrázek 5.



Obrázek 5: Označení pozorovaných úseků



Pro snadnější výpočet odchylky a směru TWY, souřadnice převedeme pomocí programu Matlab R2016a ze systému WGS84 do souřadnicového systému ENU s referenčním bodem letiště Praha:

- LKPR\_REF\_WGS84: latitude: 50,10083333° longitude: 14,26000000°  
elevation: 376 m

V prvním kroku je třeba souřadnice převést z WGS84 do systému ECEF:

```
%% Prevedeni souradnicoveho systemu z WGS84 do ECEF
function [X,Y,Z] = WGS2ECEF (lat,long,h)
% Parametry elipsoidu pro ECEF
a=6378137; % Hlavni poloosa
f=1/298.257223563; % Zplosteni
% Prevedeni na radiany
fi=lat.*pi./180;
lamda=long.*pi./180;
% Vypocet
b=a-a*f; % Delka vedlejsi poloosy
e2=(a^2-b^2)./a^2; % Excentricita
N=a./(1-e2.*((sin(fi)).^2)); % Polomer krivosti

X=(N+h).*cos(fi).*cos(lamda); % Souradnice X
Y=(N+h).*cos(fi).*sin(lamda); % Souradnice Y
Z=(N.*(1-e2)+h).*sin(fi); % Souradnice Z
end
```

Ve druhém kroku souřadnice převedeme z ECEF do systému ENU s tím, že referenční bod má stále souřadnice v systému WGS84, a tak je pro převod využita předešlá funkce:

```
%% Prevedeni souradnicoveho systemu z ECEF do ENU
function [E,N,U] = ECEF2ENU (reflat,reflong,refh,X,Y,Z)
% Prevedeni referencniho bodu z WGS84 do ECEF
[Xr,Yr,Zr]=WGS2ECEF(reflat, reflat, refh);
% Prevedeni na radiany
reflat=reflat*pi./180;
reflong=reflong*pi./180;
% Vypocet
E=-(X-Xr).*sin(reflong)+(Y-Yr).*cos(reflong); % Souradnice E
N=-(X-Xr).*sin(reflat).*cos(reflong) % Souradnice N
-(Y-Yr).*sin(reflat).*sin(reflong)
+(Z-Zr).*cos(reflat);
U=+(X-Xr).*cos(reflat).*cos(reflong) % Souradnice U
+(Y-Yr).*cos(reflat).*sin(reflong)
+(Z-Zr).*sin(reflat);
end
```

Po tomto převodu dostáváme souřadnice „East, North, Up“.

## 6 Hodnocení polohové chyby

Pro vyhodnocení polohové chyby je nejprve potřeba dekodovat ADS-B zprávy (Surface Position Message), které jsme dostali z větší části pomocí přijímače číslo 3. Jedná se o přijímač Ústavu letecké dopravy umístěný na Pankráci. Následně je třeba vyfiltrovat nežádoucí data a nakonec polohovou chybu spočítat.

Je třeba si uvědomit, že metodou, která byla zvolena, zjišťujeme pouze příčnou polohovou chybu, tzn. pouze v jednom směru od referenční křivky (kolmice). Celková chyba tedy s největší pravděpodobností bude větší. Respektive námi spočítaná chyba je vždy ta nejmenší možná, pokud dojde i k chybě v podélném směru, pak celková velikost výsledné chyby bude rovna velikosti přepony pravoúhlého trojúhelníku, kde jednou odvěsnou je příčná chyba a druhou odvěsnou podélná chyba.

Pro výslednou analýzu pomocí parametrů kvality a přesnosti, je třeba tyto parametry ze zpráv vyhodnotit. Jelikož se část informací nachází v jiném typu zprávy, bude potřeba tyto dvě zprávy pro vyhodnocení spárovat.

### 6.1 Filtrování potřebných dat

Vzhledem k hodnocení polohové chyby na provozních plochách letiště, je nejprve nutno vyfiltrovat zprávy DF17 a následně „Surface Position“ zprávy, které pro hodnocení budeme potřebovat. Tedy potřebujeme, aby „Downlink format“ byl roven 17 a následně „Type Code“ uložený ve zprávě, byl mezi hodnotami 5 až 8.

```
for i=1:m % Prochazeni dat a nasledne filtrovani
    clear ls_poloha;
    lv_df = lt_message_bin(i,1+nn:5+nn); % Ziskani informace o typu DF
    lv_df_dec = polyval(lv_df,2); % DF v dec.
    if lv_df_dec == 17 % Filtrovani pouze DF17 zprav
        lt_df17(i_df17,:) = lt_message_bin(i,1+nn:112+nn); % Odstraneni nul
        lv_type_code = lt_df17(i_df17,33:37); % Ziskani
                                                informace o typu zpravy
        lv_type_code_dec = polyval(lv_type_code,2); % Typ zpravy v dec
        if lv_type_code_dec > 4 && lv_type_code_dec < 9 % filtrace
                                                surface position zprav
            lt_surface_position(i_surface_msg,:) = lt_df17(i_df17,:);
```

Abychom nepočítali stále s velkým množstvím nepotřebných dat, omezíme se pouze na plochu letiště. Záměrně se zde neomezujeme na dané referenční úseky, protože je možné, že v budoucnu se počet referenčních úseků zvětší. Proto omezení na dané úseky provádíme až při výpočtu odchylky.

```
ls_filtr1=[50.08220858 14.21797955]; % "Levy spodni okraj LKPR"
ls_filtr2=[50.12192187 14.29604570]; % "Pravy horni okraj LKPR"
.
.
.
if ls_poloha(1,1) > ls_filtr1(1,1) && ls_poloha(1,2) > ls_filtr1(1,2)
&& ls_poloha(1,1) < ls_filtr2(1,1) && ls_poloha(1,2) < ls_filtr2(1,2)
    lt_surface_data(i_surface_data,1) = polyval(lv_ICAO_adresa,2); %ICAO
                                                                    adresa
    lt_surface_data(i_surface_data,2:3) = ls_poloha(1,1:2); %Poloha
    lt_surface_data(i_surface_data,4) = lv_heading_status; % Heading
                                                                    status
    lt_surface_data(i_surface_data,5) = polyval(lv_heading,2).*2.8125;%Heading
```

Před výpočtem polohové chyby provedeme poslední filtraci dat na oblasti daných referenčních úseků TWY. To provedeme pomocí funkce „Position\_HDG\_Error“, ve které zároveň počítáme polohovou chybu (viz kapitola 6.2) a chybu magnetického kurzu (viz kapitola 8.2). Tato funkce je volána pro každou referenční TWY zvlášť a oblast referenčních úseků je vždy omezena dvěma přímkami kolmými na osové značení (splnění podmínky dvou polorovin) a maximální hodnotou chyby (třetí polorovina).

```
% Vypocet Position Error
function [ev_position_error,ev_hdg_error] = Position_HDG_Error
    (iv_data_e,iv_data_n,iv_data_hs,iv_data_hdg,iv_twy_e1,
    iv_twy_n1,iv_twy_e2,iv_twy_n2)
% Vektor TWY
ls_twy_vector = [(iv_twy_e1 - iv_twy_e2) (iv_twy_n1 - iv_twy_n2)
% Velikost vektoru TWY
lv_twy_length = sqrt(ls_twy_vector(1,1)^2 + ls_twy_vector(1,2)^2)
% Jednotkovy vektor TWY
ls_twy_one_vector = [(ls_twy_vector(1,1) / lv_twy_length)
    (ls_twy_vector(1,2) / lv_twy_length)];
% Vypocet konstant kolme primky k TWY
lv_c1 = -(ls_twy_one_vector(1,1) * iv_twy_e1
    + ls_twy_one_vector(1,2) * iv_twy_n1);
lv_c2 = -(ls_twy_one_vector(1,1) * iv_twy_e2
    + ls_twy_one_vector(1,2) * iv_twy_n2);
% Vypocet pricne hranice sledovaneho useku v okoli TWY
lv_border1 = (abs(ls_twy_one_vector(1,1) * iv_data_e
    + ls_twy_one_vector(1,2) * iv_data_n+lv_c1))
    / (sqrt(ls_twy_one_vector(1,1)^2 + ls_twy_one_vector(1,2)^2));
lv_border2 = (abs(ls_twy_one_vector(1,1) * iv_data_e
    +ls_twy_one_vector(1,2) * iv_data_n+lv_c2))
    / (sqrt(ls_twy_one_vector(1,1)^2+ls_twy_one_vector(1,2)^2));
% Vypocet Position Error v pripade splnenych podminek hranice sektoru
if lv_border1<lv_twy_length && lv_border2<lv_twy_length % Pricna hranice
.
.
```

```

.
.
if ev_position_error > 50 % Podelna hranice
    ev_position_error = 99999; % Priradime 99999
    (vime, ze s takovouto odchylkou neni ve sledovanem useku)
end
else
    ev_position_error = 99999; % Priradime 99999
    (vime, ze s takovouto odchylkou neni ve sledovanem useku)
end
end

```

Data, která nevyhovují ani jedné oblasti referenčních TWY, mají chybu stanovenou na hodnotu „99999“. Takováto chyba se nemůže reálně v žádném úseku objevit, a tato data můžeme separovat pro další výpočty.

## 6.2 Výpočet polohové chyby

Samotný výpočet chyby převedeme pomocí analytické geometrie na úlohu výpočtu vzdálenosti bodu od přímky v rovině. Bodem je poloha získaná z ADS-B a přímku tvoří osové značení TWY.

```

% Vypocet Position Error v pripade splnenych podminek hranice sektoru
if lv_border1<lv_twy_length && lv_border2<lv_twy_length % Pricna hranice
    ls_norm(1,1) = +(iv_twy_n1 - iv_twy_n2);
    ls_norm(1,2) = -(iv_twy_e1 - iv_twy_e2);
    lv_c3 = -(ls_norm(1,1) * iv_twy_e1 + ls_norm(1,2) * iv_twy_n1);

    ev_position_error = (abs(ls_norm(1,1) * iv_data_e
        + ls_norm(1,2) * iv_data_n + lv_c3))
        / sqrt(ls_norm(1,1)^2 + ls_norm(1,2)^2);

```

## 6.3 Parametry přesnosti a kvality

Parametry přesnosti a kvality se liší na základě ICAO verze zprávy. Tuto informaci jsme schopni získat u „Surface Position“ zpráv pouze ve zprávě „Aircraft Operation Status“, jak již bylo uvedeno v teoretické části.

Nejdříve je tedy nutné vyfiltrovat „Aircraft Operation Status“ zprávy (Type Code = 31) a z nich pouze „Surface“ zprávy (Subtype Code = 1). Ty dále nelze filtrovat pouze na zprávy v oblasti letiště, jelikož neobsahují polohovou informaci. Je tedy zřejmé, že pro následnou analýzu budeme mít k dispozici zprávy i mimo námi zvolené úseky TWY.

„Aircraft Operation“ zprávy nám nicméně nesou i další potřebné doplňující informace (např. NACP, NIC, atd.). Struktura zprávy je naznačena v teoretické části a podle ní je upraven script na dekódování.

```
elseif lv_type_code_dec == 31;           % Filtrace Aircraft Operation Message
    lv_subtype_code = lt_df17(i_df17,38:40);
    lv_subtype_code_dec = polyval(lv_subtype_code,2);
    if lv_subtype_code_dec == 1;         % Filtrace Surface AO MSG
        % Uložení zprávy
        lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,:) = lt_df17(i_df17,:);
        %ICAO adresa
        lv_ICAO_adress = lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,9:32);
        %ICAO Version
        lv_ICAO_version = lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,73:75);
        % NAC P
        lv_NACP = lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,77:80);
        % NIC A
        lv_NICA = lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,76);
        % NIC C
        lv_NICC = lt_aircraft_operation_surface(i_acrf_op_msg,52);

        lt_operation_data(i_op_data,1) = polyval(lv_ICAO_adress,2); % ICAO adresa
        lt_operation_data(i_op_data,2) = polyval(lv_ICAO_version,2); % ICAO version
        lt_operation_data(i_op_data,3) = lv_NICA; % NIC - A
        lt_operation_data(i_op_data,4) = lv_NICC; % NIC - C
        lt_operation_data(i_op_data,5) = polyval(lv_NACP,2); % NAC Position
    end;
end;
```

#### **6.4 Spárování parametrů kvality a přesnosti**

Párování parametrů kvality a přesnosti děláme až při analýze konkrétního letadla. Je potřeba jednotlivě, případ od případu, citlivě posoudit a zhodnotit, zda „Aircraft Operation Status“ zprávu použít či ne. Při párování nastává situace, kdy máme jednu „Aircraft Operation Status“ zprávu, následně například čtyři „Surface Position“ zprávy a poté další „Aircraft Operation Status“ zprávu. Vzhledem k možné ztrátě (nezachycení) dalších zpráv je třeba vyhodnotit obě „Aircraft Operation Status“ zprávy a celkové výsledky chyb porovnat s výslednými parametry.

Samotné párování probíhá pomocí filtrace dat k danému letadlu (podle ICAO adresy) a následné seřazení časových značek (UNIX Time) jak z „Aircraft Operation Status“ zprávy, tak z „Surface Position“ zprávy. Tím dostaneme seznam okolních „Aircraft Operation Status“ zpráv, které je potřeba zhodnotit (viz Tabulka 16).

Tabulka 16: Časová posloupnost Surface Position Messge a Alrcraft Operation Status Message

ICAO Adress	Typ zprávy	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
12610648	Operation	1504857196605	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867738766	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867768147	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867768361	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867772739	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	150486777872	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867781067	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867799937	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867799937	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867800458	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867828307	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867833979	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867844068	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Position	1504867866519	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867884025	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867884025	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504867934082	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504868079648	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504868079648	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504868680165	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504868899019	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504869378513	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	Operation	1504869994086	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7

## 7 Analýza chyb polohových dat

### 7.1 Obecná statistika polohových dat

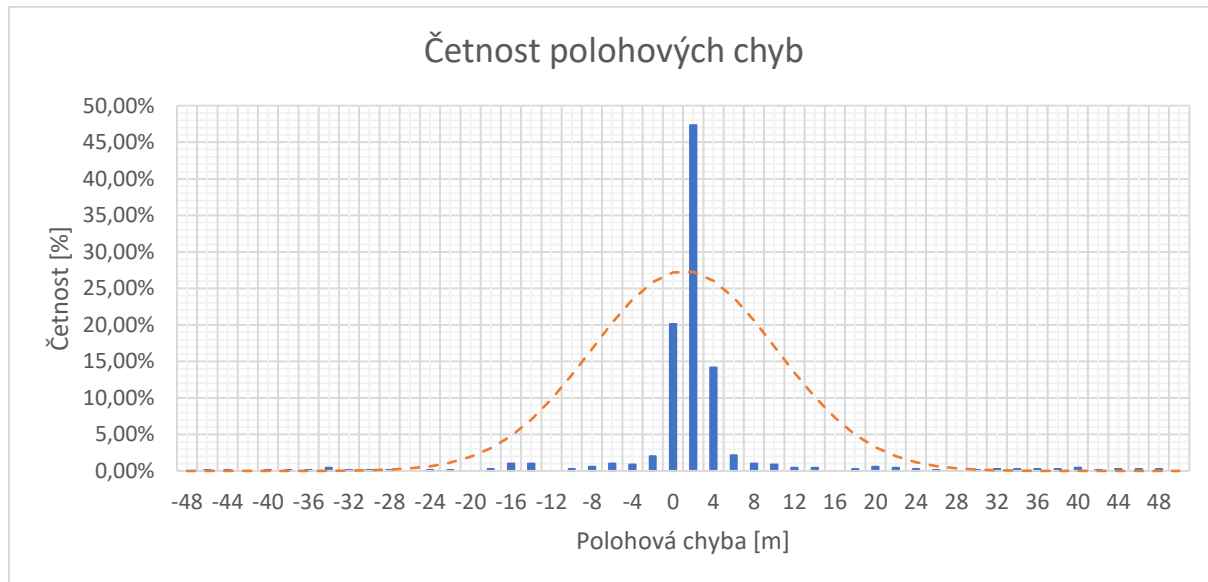
K analýze máme k dispozici 9988 „Surface Position“ zpráv. Z toho 705 zpráv se 180 různými ICAO adresami (zahrnuje i případně poškozená data) odpovídá námi vybraným úsekům pro výpočet polohové chyby. V následující Tabulka 17 vidíme základní statistické údaje absolutních hodnot polohových chyb.

Tabulka 17: Základní statistické údaje hodnoceného souboru polohových chyb

<b>Celkový počet zpráv:</b>	705
<b>Střední hodnota polohových chyb:</b>	1,07 m
<b>Směrodatná odchylka</b>	8,35 m
<b>Průměrná hodnota polohové chyby:</b>	3,86 m
<b>Největší hodnota polohové chyby:</b>	47,69 m
<b>Nejmenší hodnota polohové chyby:</b>	0,01 m

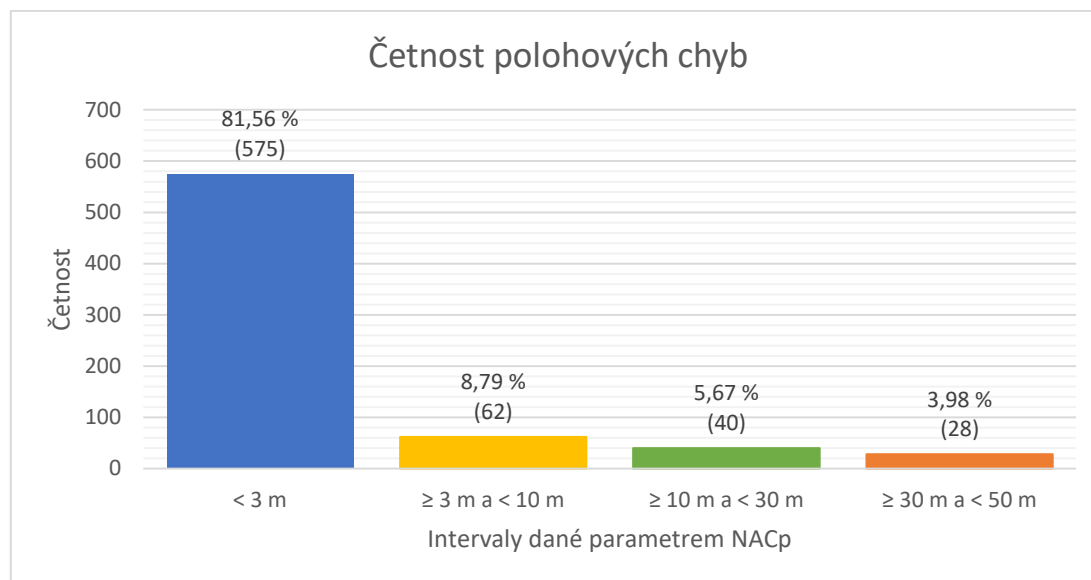
Rozdělení hodnot odpovídá normálnímu rozdělení, jak je vidět na následujícím grafu.

Graf 1: Četnost polohových chyb



Data jsou rozdělena podle velikosti polohové chyby do čtyř intervalů podle možných hodnot EPU (Estimated Position Uncertainty) odpovídajících parametru  $NAC_P$  (3 m, 10 m, 30 m a námi definovaná horní hranice 50 m) Z nich je vypočtena četnost, kterou můžete vidět v Graf 2.

Graf 2: Četnost absolutních hodnot polohových chyb



Jak je vidět, je zde kolem 18,5 % záznamů, které mají chybu větší než 3 m. U těchto záznamů provedeme podrobnější analýzu.

## 7.2 Záznamy s větší polohovou chybou

V této kapitole se detailněji zaměříme na záznamy, které vykazují větší chybu jak 3 m. Tyto záznamy můžeme dělit do tří kategorií. Jedná se o zprávy, kde indikujeme větší polohovou chybu a minimální chybu v HDG. Druhým typem jsou zprávy, u kterých indikujeme větší polohovou chybu a s ní i velkou chybu HDG. V těchto případech se snažíme zaměřit na případnou spojitost. Poslední kategorií jsou záznamy, které obsahují velkou polohovou chybu, ale neobsahují žádné informace o HDG.

Tabulka 18 ukazuje, kolik zpráv s větší polohovou chybou jsme zaznamenali a zda je s nimi výrazněji vázaná chyba HDG.

Tabulka 18: Záznamy k detailnější analýze a kategorie v závislosti na chybě HDG

<b>Celkový počet zpráv:</b>	130	
<b>Polohová chyba bez informace HDG</b>	5	3,84%
<b>Polohová chyba s malou chybou HDG</b>	42	32,31%
<b>Polohová chyba s velkou chybou HDG</b>	83	63,85%



Jak si můžeme všimnout, ze dvou třetin je s polohovou chybou vázána chyba HDG, což může být způsobené více faktory (neirelevantnost celé zprávy, reálná poloha v místě, kde HDG by byl již v pořádku, atd.), kterými se budeme zabývat dále.

Může se ale také stát, že jedno letadlo vykazuje chybový záznam ve všech třech kategoriích. Například letadlo SmartWings (OK-TSA) viz Tabulka 19.

Tabulka 19: Záznamy OK-TSA - SmartWings

ICAO Adress	Latitude [°]	Longitude [°]	HDG Status	Pos. Error [m]	HDG Error [°]	TWY ID	REQ	Type A/C	Operator	Age
4838139	50,11327744	14,26986694	1	-28,56646727	0,32	9	OK-TSA	B737-800	SmartWings	17,2
4838139	50,10419083	14,24856286	0	-46,0560468	-	3				
4838139	50,10366149	14,24893353	1	16,92844352	39,12	3				
4838139	50,10349856	14,24943460	1	41,60886821	25,05	3				

Proto budeme analyzovat chyby u jednotlivých letadel. Vybereme jen ta letadla, která mají více záznamů (krom dvou případů, jsme vybrali letadla, které mají více jak 10 zpráv), a která nám přijdou svým chováním zajímavá. Tabulky dat k těmto letadlům najdeme v příloze s vyznačenými chybovými záznamy. Větší chyby, u polohy myslíme nad 3 m a u HDG nad 4°, jsou zvýrazněny tučně. U polohových dat, která odpovídají parametru, a nezjistili jsme jiný nesoulad, jsou chyby označeny zeleně. Data, která nesplňují parametr, nebo z jiného důvodu nám nepřipadají v pořádku, jsou označena červeně. Pro lepší orientaci v čase, je UNIX Time odlišen barevně, žlutě pro letadla po přiletu a modře letadla pojíždějící na odlet. U vybraných letadel je vidět graf, který znázorňuje vývoj polohové chyby v čase.

### 7.2.1 EC-JGS – Iberia (A321-200)

Letadlo Iberia s ICAO Adresou (dec): 3416592, stáří: 13,1 roku. V tomto případě můžeme v příloze pozorovat žlutě označené záznamy, které vykazují jak polohovou chybu, tak HDG chybu. Růžově označené záznamy vykazují pouze polohovou chybu. (9)

Protože máme k dispozici pouze jednu „Aircraft Operation Status“ zprávu a v ní informaci o ICAO verzi na hodnotě 5. která se zatím nepoužívá, budeme předpokládat ICAO verzi 0. Tam máme jediný parametr NUC, takže přesnost určujeme pouze dle „Type Codu“, který má hodnotu 8. To znamená nejnižší přesnost, kde „Horizontal Protection Limit“ je menší než 185,2 m a poloměr oblasti, kde se s 95% nachází cíl, je větší nebo roven 92,6 m. Z toho plyne, že všechny hodnoty „Position Error“ tento parametr splňují.

Zprávy, které vykazují obě chyby, jsou ve stejný čas a navíc, jsou po stání letadla (turn around). Poloha se „náhodně“ trefila do sektoru „3“, což je jeden z úseků TWY F, který je od polohy

možného výskytu v té době, vzdálen cca 600 m. Uvažujeme dle dat dráhu v používání RWY 24, možnou nejbližší polohu letadla TWY H.

### **7.2.2 EC-JSY – Vueling (A320-212)**

Další je opět letadlo španělské společnosti, tentokrát Vueling s ICAO Adresou (dec): 3416982, stářím 12,1 roku. V tomto případě můžeme pozorovat pouze polohové chyby. Ovšem co je zajímavé, jsou tři časy zpráv, jednou příletový a dvakrát odletový. Vzhledem k tomu, že mezi jedním odletovým a druhým jsou zhruba 4h, je pravděpodobné, že se nejedná o chybu (Vueling tou dobou létal i linku z Prahy do Curychu, což časově vychází). Další zajímavostí je, že u jedné z chyb můžeme pozorovat dvě zprávy ve stejný čas. Další neobvyklý jev, který můžeme spatřit, u jedné z velkých polohových chyb máme HDG chybu malou, nicméně pokud se podíváme na HDG, který letadlo poslalo, je otočený o 180° od přechozích zpráv, tedy proti směru pojíždění letadla viz 9.2.2. (9)

A opět jsme obdrželi pouze jednu „Aircraft Operation Status“ zprávu a to s hodnotou pro ICAO verzi 0. „Type Code“ u chyb měl hodnotu 7, to znamená oblast pro 95% polohu s poloměrem mezi 10 m až 92,6 m a HPL menší než 185,2 m. Z tohoto hlediska chyby odpovídají parametru NUC.

### **7.2.3 F-GZHE – Transavia France (B737-800)**

Letadlo společnosti Transavia France s ICAO Adresou (dec): 3761380 a stářím 10 let. Má kombinaci všech typů chyb. Dva záznamy mají stejnou HDG chybu, ale polohová chyba se mění. UNIX Time pole u těchto dvou zpráv má stejnou hodnotu. (9)

Pro toto letadlo nebyla nalezena žádná „Aircraft Operation Status“ zpráva, předpokládáme tedy ICAO Verzi 0. „Type Code“ u všech zpráv nabývá hodnotu 8, to znamená poloměr větší nebo roven 92,6 m a „Horizontal Protection Limit“ (HPL) menší než 185,2 m. Veškeré větší chyby odpovídají výslednému parametru. V námi zkoumaném úseku by mohl být parametr i nižší ( $NUC_P = 7$ ), který odpovídá Type Codu = 7.

### **7.2.4 OK-TSN – Smartwings (B737-8KN)**

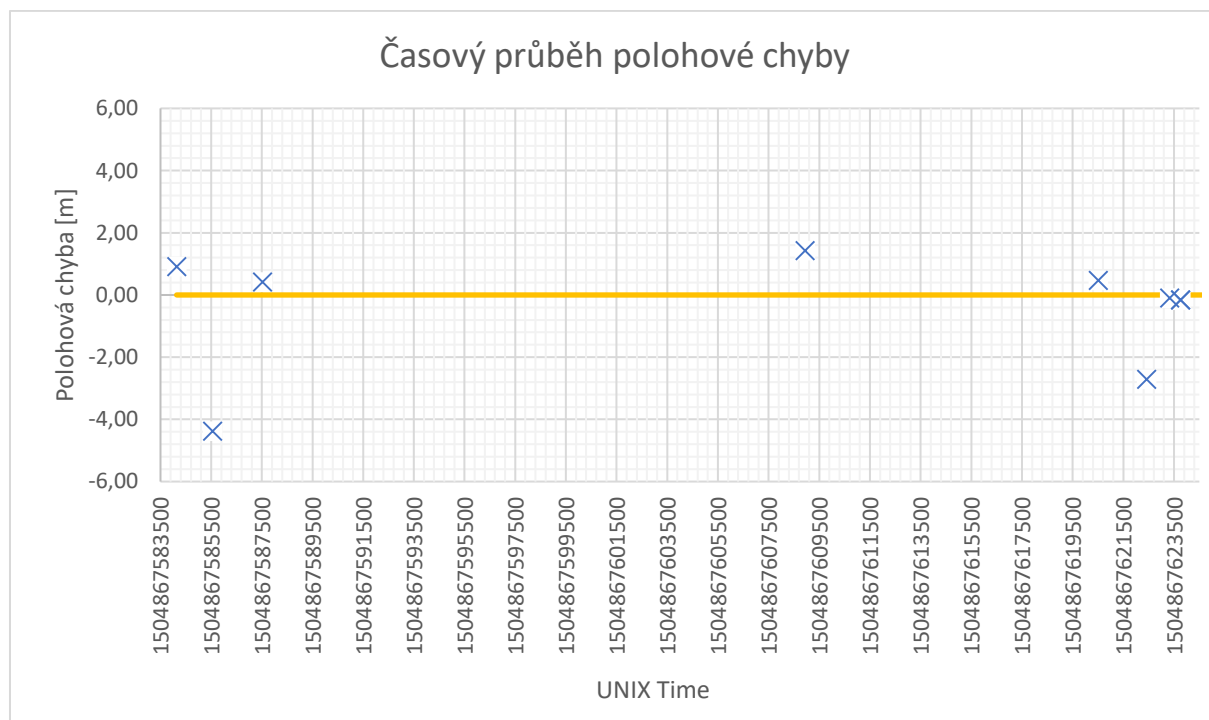
U dat letadla OK-TSN s ICAO adresou (dec): 4837434 pozorujeme u dvou zpráv vyšší polohovou chybu. V prvním případě se jedná o druhou zprávu po najetí na úsek TWY A1(8) a mohlo tak dojít k mírnému vyjetí z osy TWY. Ve druhém případě vidíme velkou polohovou chybu u poslední zprávy úseku TWY A2(9), v tomto případě není jasné, jak k této velké chybě může docházet, zvláště pokud nezaznamenáváme větší chybu HDG (0,32°). (9)

Ani v tomto případě jsme nenalezli „Aircraft Operation Status“ zprávu a tak musíme předpokládat ICAO verzi 0. Veškeré „Surface Position“ zprávy mají hodnotu „Type Codu“ rovnou 7, z toho plyne hodnota parametru  $NUC_P = 7$ . Při detailnějším pohledu na parametr dostáváme poloměr v rozmezí hodnot  $10 \text{ m} \leq \mu < 92,6 \text{ m}$  a s tím spojený  $HPL < 185,2 \text{ m}$ .

Můžeme tedy konstatovat, že všechny chyby naměřené pro letadlo Smartwings jsou v souladu s parametrem  $NUC_P$ . Nicméně, u většiny zpráv by parametr mohl mít lepší hodnotu, protože chyba nedosahuje takových rozměrů.

Při pohledu na průběh polohových chyb v čase na následujícím grafu (neobsahuje poslední zprávu s polohovou chybou +38,19 m), vidíme velký rozptyl chybových hodnot a také polohu na různých stranách osy TWY.

Graf 3: OK-TSN - časový průběh polohové chyby



### **7.2.5 OK-MEK – Czech Airlines (A319-112)**

Airbus Českých Aerolinií, starý 11,2 s ICAO Adresou (dec): 4837461. Data jsme získali z TWY A při poježdění na odlet. Po celou dobu je vidět polohová chyba, která v průměru dosahuje 2,72 m, střední hodnotou 2,94 m. Některé zprávy překračují hodnotu chyby 3 m, nicméně všechny na jedné straně od osy pojezdové dráhy a vypadají konzistentní. (9)

Mezi zprávami „Aircraft Operation Status“ žádná tomuto letadlu neodpovídala. Proto budeme předpokládat u zprávy ICAO Verzi 0. U všech dostupných zpráv byl „Type Code“ roven 7, a tudíž parametr  $NUC_P = 7$ , poloměr 95% oblasti výskytu je větší nebo roven 10 m a zároveň menší než 96,2 m. HPL je menší než 185,2 m. Pro tento případ by bylo možné, aby parametr  $NUC_P$  byl roven 8, tedy poloměr větší nebo roven 3 m a zároveň menší než 10 m. Chyby jsou konzistentní a dá se předpokládat, že by hodnotu 10 m nikdy nepřesáhly.

### **7.2.6 D-AEWK – Eurowings (A320-200)**

Letadlo Eurowings, ICAO Adresa (dec): 3954411 a stáří 1,9 roku. S polohovou chybou se vždy objevuje i HDG chyba. (9)

V jednom případě je však zpráva po odbavení a letadlo by se v ten daný okamžik vůbec nemělo nacházet v úseku, ve kterém nám zpráva ukazuje. Nejbližší možná poloha je stejně jako u letadla Iberie na TWY H, což v tomto případě nejbližší bod je vzdálen cca 160 m. Je velmi zajímavé, že poloha téměř souhlasí s TWY F. Chyba kolem 6 m není v tomto případě až tak mnoho.

V tomto případě vidíme více „Aircraft Operation Status“ zpráv, avšak v okolí „Surface Position“ zpráv jsou parametry neměnné. ICAO verze 2, NIC Suplementy rovny 0 a  $NAC_P$  rovno 9. „Type Code“ roven 7, pouze v jednom případě nabývá hodnoty 5. Z těchto údajů plyne, že pro většinu dat celkový parametr  $NIC = 8$ , pro který platí, že poloměr  $R_C < 185,2$  m.  $NAC_P$  nám naopak ukazuje vyšší přesnost. Konkrétně oblast s poloměrem  $EPU < 30$  m. Pro případ, kdy zpráva má „Type Code“ = 5, máme nejlepší možný parametr  $NIC = 11$ , tím je dán poloměr  $R_C < 7,5$  m.

Všechny polohové chyby odpovídají parametru  $NIC$ , ale jedna chyba nedopovídá parametru  $NAC_P$ . Ovšem na patnácti zprávách odpovídá 93,3%. To můžeme, vzhledem k malému množství zpráv, označit za splněné. Je také potřeba si všimnout případu, kdy chyba klesla na hodnotu 0,09 m a změnil se tím i parametr  $NIC$ . Ačkoliv u ostatních zpráv by mohl být tento parametr také lepší ( $NIC = 9$ ) a i tak by pokryl veškeré naměřené chyby.

### **7.2.7 G-EZAY – EasyJet (A319-100)**

EasyJet s ICAO Adresou (dec): 4197979 a stářím 11,9 let. Celkem jsme naměřili patnáct zpráv, z toho jedenáct je po přeletu a čtyři před odletem. U jedné zprávy po přeletu se vyskytuje výraznější polohová chyba, doprovázená menší chybou HDG. Všechny čtyři zprávy před odletem vykazují velkou polohovou i HDG chybu a polohou se nachází na úsecích, které neodpovídají standartním postupům, pokud je v používání RWY 24. Nejbližší možná reálná poloha (TWY H) se od té ve zprávách liší cca o 220 m. V tomto případě můžeme tyto zprávy počítat za nekorektní s poškozenými daty. (9)

Pro toto letadlo jsme našli dvě Aircraft Operation Status zprávy. Ani jedna časově neodpovídala námi vyhodnocovaným zprávám. Proto musíme předpokládat ICAO verzi 0. S Type Codem, který je roven 7 dostáváme parametr  $NUC_P = 7$ . To znamená poloměr  $\mu < 92,6$  m a zároveň  $\mu \geq 10$  m. HPL je menší jak 185,2 m. S takovou hodnotou parametru se nevyskytuje chyba, která by nevyhovovala a to i ve chvíli, pokud bychom brali v úvahu chybu naměřenou u čtyř posledních zpráv. Pokud bychom ovšem u těchto zpráv brali jako chybu 220 m, pak by parametr nevyhovoval.

Vynecháme-li extrémní polohové chyby, dosahuje v prvních deseti zprávách průměr chyby 0,67 m. Ovšem ani u těchto deseti zpráv nebyl parametr  $NUC_P$  lepší, ačkoliv by mohl nabývat i hodnoty 8.

### **7.2.8 G-EUYD – British Airways (A320-232)**

Devět a půl roku staré letadlo společnosti British Airways s ICAO Adresou (dec): 4218593. Zaznamenány dvě zprávy ve stejný čas a stejnou Position Error. Ze sedmnácti zpráv máme dvě špatné, to znamená, přesnost do 3 m u 88,24%. (9)

Je zajímavé, že zvýšená chyba (nad 1 m) se objevila ve zprávách, které byly vygenerovány za sebou a jsou v okolí dvou chybových zpráv. Tyto zprávy začaly až po zprávách s větší chybou HDG. To může znamenat reálnou korekci pojíždění po TWY, jelikož se nadále tato HDG chyba nevyskytuje a polohová chyba zůstává více méně konstantní.

Za zmínku stojí také počet zpráv po přeletu. To jsme zaznamenali pouze jednu na TWY D cca v čase 10:55. Data však máme spojitě v časovém období 10:40 až 12:40 a po TWY D úseku č.5 máme následující sledované úseky (D2(6) a F3(3)). Došlo tedy k velké ztrátě zpráv, která mohla být způsobena nejspíše přijímačem, nebo poškozením.

K letadlu British Airway bohužel nebyla nalezena ani jedna zpráva Aircraft Operation Status. Musíme tak pro parametr přesnosti předpokládat ICAO Verzi 0. U chyby převyšující 3 m, máme

Type Code roven hodnotě 7. Z toho plyne parametr  $NUC_P$  roven také 7. Podle Tabulka 28 tak vidíme, že chyba 39 m je v rámci parametru korektní.

### **7.2.9 G-EZRH – EasyJet (A320-214)**

Další letadlo z mladé flotily společnosti EasyJet, ICAO adresa (dec): 4223682 a stáří 0,9 roku. V tomto případě jsme zaznamenali data jak z přiletu tak odletu. Na přiletu jsou data velmi přesná a nepozorujeme žádnou větší chybu. U odletových dat můžeme vidět jednu HDG a jednu polohovou nepřesnost. Větší polohová chyba je ojedinělá, v průběhu následujícího pohybu se již neopakuje, naopak průměrně dosahuje hodnoty 0,51 m. (9)

Všechny zprávy mají Type Code 7 a pro všechny jsme našli Aircraft Operation Status zprávy v podobném časovém okamžiku. Pro všechny tyto zprávy platí ICAO verze 2 a až na jeden případ jsou suplementy NIC rovny 0 a  $NAC_P$  má hodnotu 9. To odpovídá poloměru  $R_C < 185,2$  m a  $EPU < 30$  m. V jednom případě se objevuje NIC Supplement A roven 1 a  $NAC_P$  roven 13, což je zatím nevyužívaná hodnota tohoto parametru. Pro NIC parametr je odpovídající hodnota této kombinace NIC = 9, což značí poloměr  $R_C < 75$  m.

Ve všech případech polohové chyby vyhovují zjištěným parametrům a to i v případě, kdy jsme použili jeden záznam s přísnější hodnotou NIC. Ve výsledku pro polohovou chybu by mohl být parametr NIC o stupeň lepší (NIC = 10), i tak by naměřené hodnoty polohové chyby splňovaly hodnotu  $R_C$ .

### **7.2.10 OK-TVE – Travel Service (B737-86Q)**

Boeing 738 společnosti Travel Service, stáří 14,2 roku, ICAO Adresa (dec): 4837519. U tohoto letadla máme zprávy z dvou odletů. Výrazné chyby se objevily pouze u prvního, ovšem v celkovém průměru chyba dosahuje hodnoty 2,37 m. V cca 90% případů je chyba větší jak 1 m (konstantní chyba). V jednom případě (budeme-li počítat změnu chyby, tak ve dvou případech), chyba znatelně skočila z jedné strany osy TWY na druhou. V tom znatelnějším případě je náhlá změna rovna 9,02 m, v tom méně znatelném případě se ovšem dostáváme lehce přes 3 m. (9)

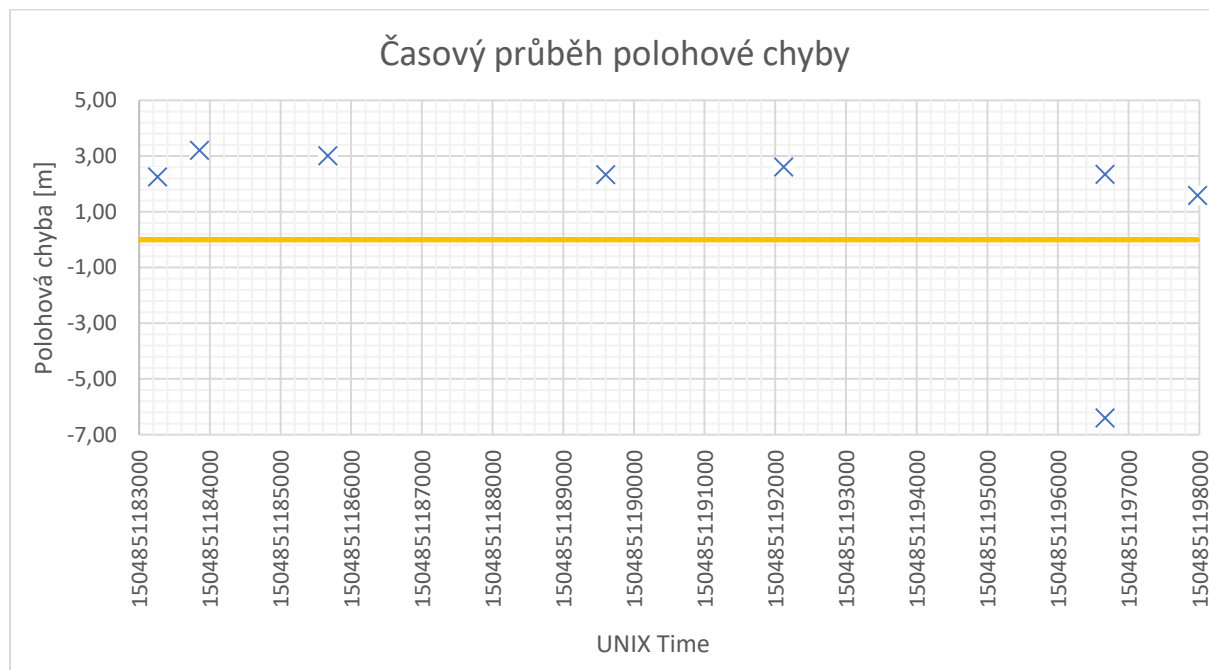
Zajímavá je také náhlá změna HDG chyby v poslední zprávě. Protože nemáme k dispozici následující zprávy, je těžké zjistit, proč tato chyba nastala. Nedosahuje však více jak  $4^\circ$ , a proto se jí dále detailněji zabývat nebudeme.

Z „Aircraft Operation Status“ zpráv, žádná neodpovídá tomuto letadlu. Počítáme tedy s ICAO verzí 0. V námi zaznamenaných „Surface Position“ zprávách je „Type Code“ roven 8 pro první odlet a 7 pro druhý odlet, můžeme tedy říci, že parametr  $NUC_P = 6$  a 7, poloměr 95% oblasti výskytu je tedy pro první případ větší nebo roven 92,6 m a ve druhém případě větší nebo roven

10 m a menší než 92,6 m. HPL je menší než 185,2 m pro oba případy. Z tohoto hlediska všechny chyby odpovídají parametru. Nicméně parametr by mohl být roven 8, tedy pro „Type Code“ v hodnotě 6 (oblast s poloměrem menším 10 m), možná pro první odlet by mohl být roven 7, abychom zachovali rezervu.

Časový vývoj chyby, krom prvních dvou záznamů, vidíme na následujícím grafu.

Graf 4: OK-TVE - časový průběh polohové chyby



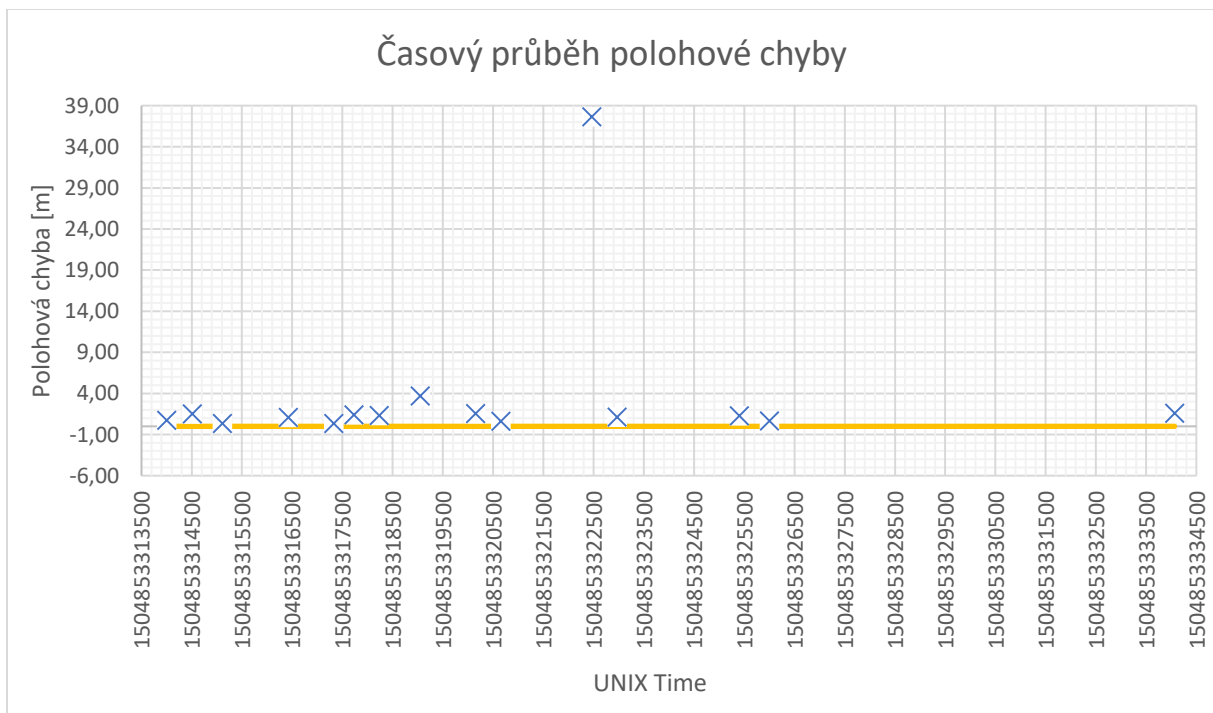
### 7.2.11 OK-OER – Czech Airlines (A319-112)

Další letadlo Českých Aerolinií, staré 9,1 roku s ICAO adresou (dec): 4837565. Velmi netypickým jevem je téměř nulová chyba HDG, zatímco polohová chyba konstantně nabývá hodnot kolem 1-1,5 m, stále na jedné straně od osy TWY. Mezi daty lze najít také jeden velký extrém (37,61 m) a jednu chybu převyšující 3 m. Celý měřený pohyb je realizován na úseku TWY A2(9). (9)

Mezi „Aircraft Operation Status“ zprávami žádná neodpovídá zprávám OK-OER, předpokládáme tedy ICAO verzi zpráv 0. Všechny „Surface Position“ zprávy mají hodnotu Type Codu 8, což definuje parametr  $NUC_P$  na hodnotu 6, proto oblast 95% výskytu letadla má poloměr větší nebo roven 92,6 m a „Horizontal Protection Limit“ je menší než 185,2 m. Naměřené chyby nepřekračují tyto limity parametru  $NUC_P$  a nepřekračovaly by je ani v případě, že parametr by byl o jeden stupeň vyšší (hodnota 7).

Průběh vývoje polohové chyby v čase vidíme v následujícím grafu.

Graf 5: OK-OER - časový průběh polohové chyby





### **7.2.12 YR-ASC – TAROM (A318-100)**

U letadla starého 10,6 let rumunského dopravce TAROM s ICAO adresou (dec): 4851299 jsou čtyři zprávy s polohovou chybou, jedna s HDG chybou a jedna s oběma chybami. Na řádku se společnými chybami je vidět, že obě dvě zprávy byly poslány ve stejný čas a u jedné zůstává pouze HDG chyba a polohová je minimální. V tomto případě mohla být data zřejmě poškozena. K případům, kdy máme pouze polohovou chybu, dochází velmi náhodně a nelze z dat vyvodit závěr, proč tomu tak vzniká. Pouze je možné chybu zhodnotit s parametrem. (9)

K zhodnocení parametru jsme nenalezli odpovídající Aircraft Operation Status zprávu. Proto musíme počítat s ICAO verzí 0 a typem Surface Position zprávy 8. Tím dostáváme nejhorší hodnotu parametru  $NUC_P = 6$ , pro který platí  $\mu \geq 92,6$  m a  $HPL < 185,2$  m. Ačkoliv by výsledky měření odpovídaly i přísnějšímu  $NUC_P$ , je v tomto případě pochopitelné, že byla zvolena nejhorší hodnota. Výraznější chyba nevznikla u pouhých 77% zpráv.

### **7.2.13 TC-JTG – Turkish Airlines (A321-231)**

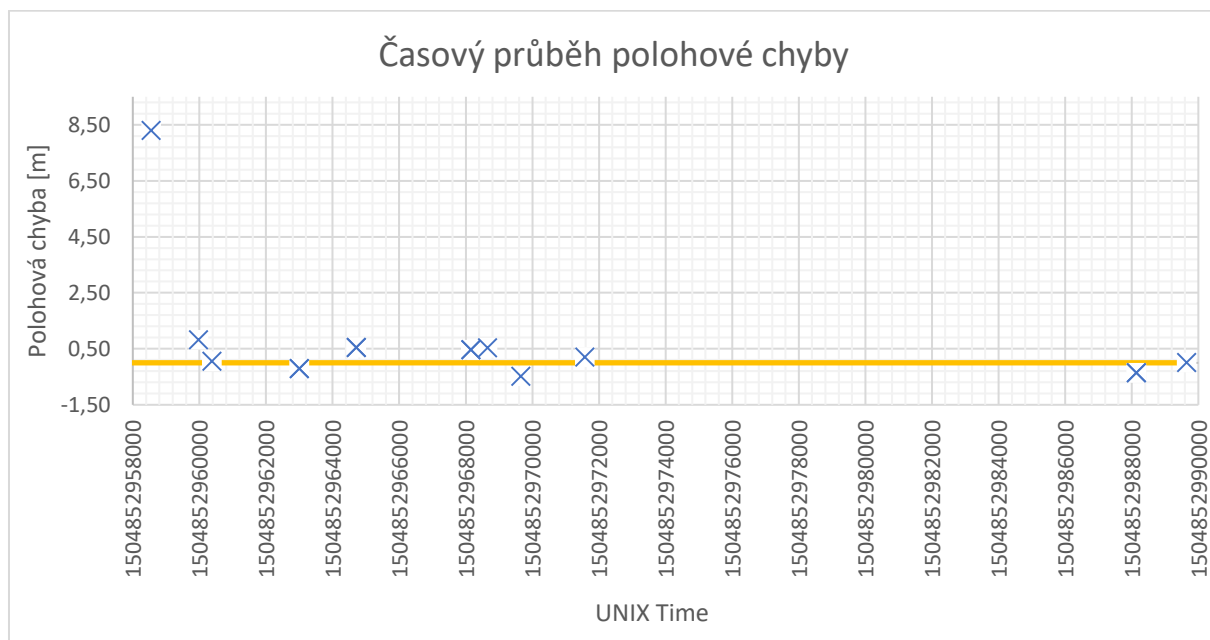
Lehce přes dva roky starý airbus společnosti Turkish Airlines s ICAO adresou (dec): 4958855. Při analýze jsme našli z celkového počtu 32 zpráv, pouze dvě, které vykazují větší polohovou chybu. V obou případech chyba nepřekročila hranici 10 m a nebyla zaznamenána větší chyba směru pojiždění. (9)

Pro letadlo Turkish Airlines jsme nenalezli žádné Aircraft Operation Status zprávy, budeme tedy předpokládat ICAO verzi 0. U chybových zpráv je pole Type Code naplněno hodnotou 7, to nám udává parametr  $NIC = 7$ . Naměřené chyby tedy nepřekračují daný parametr.

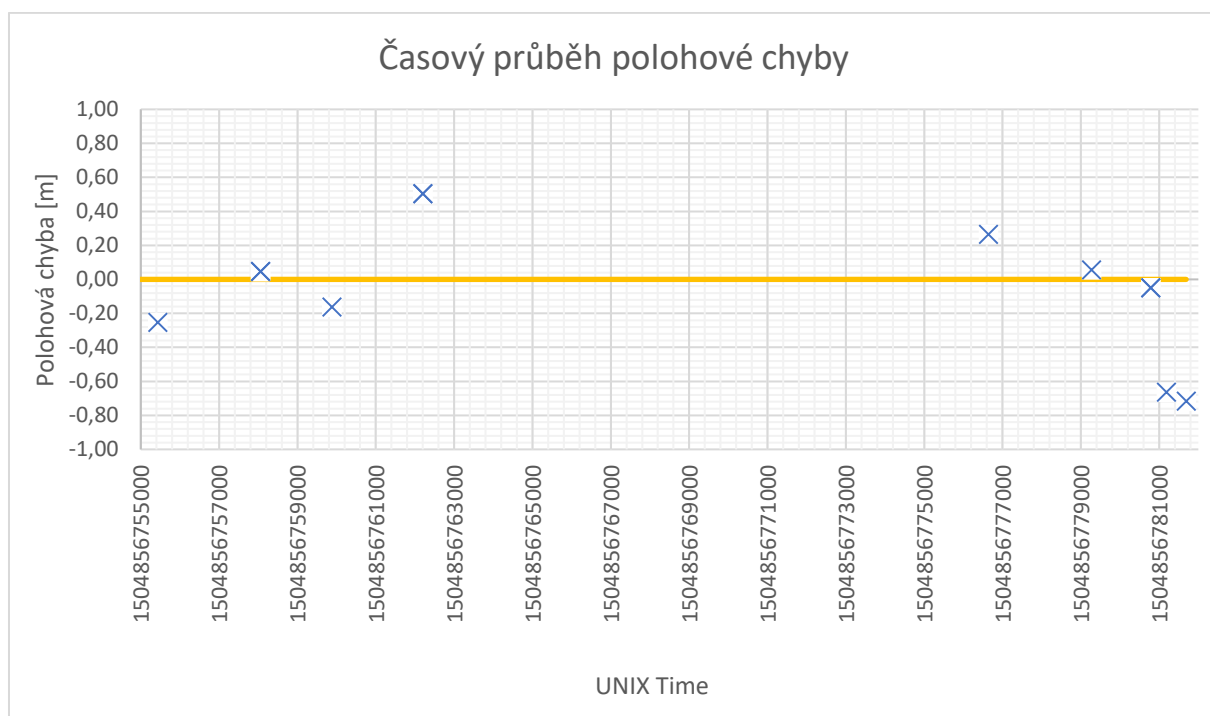
Vynecháme-li první čtyři zprávy, které obsahují dvě velké chyby a dvě menší (1 – 3 m), ve zbylých zprávách polohová chyba nepřekračuje hodnotu 1 m a průměr těchto zbylých 28 zpráv je 0,32 m. S takovou přesností by ohodnocení parametrem  $NIC$  mohlo být lepší. Parametr tedy nekoresponduje s vývojem chyby v čase.

Vývoj chyby v čase vidíme na následujících grafech, jeden pro přilet (bez prvních dvou chyb) a jeden pro odlet (bez prvních dvou chyb).

Graf 6: TC-JTG - časový průběh polohové chyby - přilet



Graf 7: TC-JTG - časový průběh polohové chyby - odlet



### **7.2.14 EI-FZV – Ryanair (B737-8AS)**

ICAO adresa (dec): 5024685, stáří letadla 1 rok. V naměřených datech vidíme dva pohyby, oba jsou pohyby po přeletu s odstupem cca 4 hodin. U prvního přeletu nevidujeme výraznější chybu, hodnoty se pohybují kolem mezi 0,5 – 1,5 m. U druhého přeletu jsou hodnoty zajímavější, za prvé z důvodu jedné zprávy s poměrně velkou chybou (13,31 m) a za druhé ostatní zprávy vykazují větší chybu, hodnoty se zde pohybují mezi 2 – 3 m. (9)

Pokud se podíváme na zprávy Aircraft Operation Status, ty k tomuto letadlu byly nalezeny dvě. Ovšem obě nevyhovovaly časem (rozdíl 12 minut) a v poli ICAO verze měly hodnotu 3 a 5, což neodpovídá žádné aktuálně používané verzi. Proto budeme uvažovat ICAO verzi 0 s Type Codem 8 pro první pohyb a Type Codem 7 pro druhý pohyb. Pro první pohyb nám tedy vychází parametr  $NUC_P = 6$  a pro druhý  $NUC_P = 7$ .

Veškeré chyby v obou pohybech odpovídají parametru, nicméně je zajímavé sledovat odlišnost parametrů a odlišnost naměřených chyb. U prvního pohybu máme horší parametr, ale lepší výsledky, naopak u druhého pohybu máme lepší parametr a horší výsledky. V tomto případě změna parametru  $NUC_P$  nám vůbec nekorresponduje s naměřenými hodnotami.

### **7.2.15 A6-FDY – FlyDubai (B737-8KN)**

Letadlo společnosti FlyDubai s ICAO adresou (dec): 9003824 a stářím 6,3 let. Můžeme zde sledovat data z jednoho průletu a v nich dva typy chyb: čistě polohovou chybu a polohovou s HDG chybou. Po přeletu je největší polohová chyba zaznamenána až u posledních dvou zpráv. V jednom případě je velká chyba HDG a v druhém není dostupná informace o směru. U fáze pojiždění na odlet je u jedné polohové chyby správný HDG, ale v témže čase jsou k dispozici další dvě zprávy. Ty ale již takovou chybu nemají. U druhé polohové chyby je opět i velká chyba HDG. Po ní jsou však další dvě opět korektní. Dalo by se tedy předpokládat, že tato data jsou poškozena. Pokud vynecháme extrémy, je obecně polohová chyba mezi 1 – 2 m. (9)

Ani k jedné zprávě nebylo možné dohledat ICAO verzi, a tak předpokládáme, že se jedná o verzi 0. Type Code nese hodnotu 7. Z toho určíme parametr  $NUC_P$ , který udává poloměr oblasti s 95% polohou letadla, v tomto případě  $10 \text{ m} \leq \mu < 92,6 \text{ m}$ , a  $HPL < 185,2 \text{ m}$ . Všechny chyby tak vyhovují tomuto parametru.

### 7.2.16 A6-EOR – Emirates (A380-861)

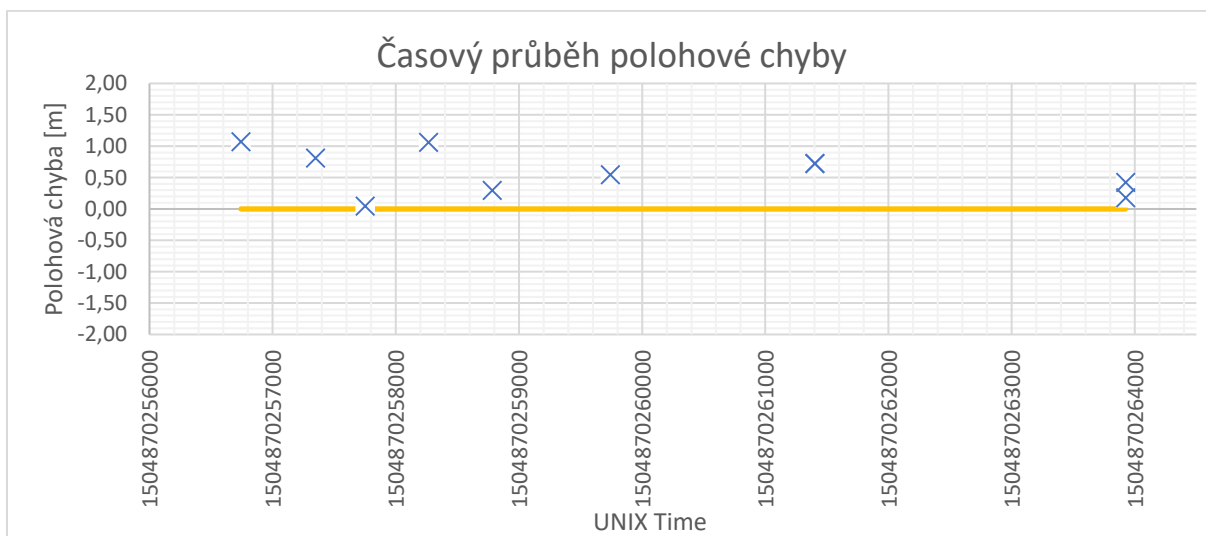
Největší dopravní letadlo, které se pohybuje pravidelně na Letišti Praha. Airbus A380, v tomto případě A6-EOR s ICAO adresou 9004015 a stářím 2,9 roku. V celkovém počtu třinácti dostupných zpráv se nachází tři, které vykazují vyšší polohovou chybu než 3 m. Zajímavé je, že všechny tyto zprávy náleží jinému úseku, nežli zbytek dat. Můžeme si u těchto zpráv také povšimnout vyšší chyby HDG. Pomineme-li tyto zprávy, tak maximální polohová chyba v ostatních případech dosahuje cca 1 m, ale v průměru 0,59 m. (9)

Pro všechny Surface zprávy jsme našli k nim odpovídající informace z Operation Status zpráv a pro všechny platí ICAO verze 2. U zpráv s malou polohovou chybou je hodnota NIC suplementů rovna 0 a parametr  $NAC_P$  roven 10. To v souvislosti s Type Codem = 7 znamená hodnotu poloměru  $R_C < 185,2$  m a hodnotu  $EPU < 10$  m. Se zprávami s větší chybou je to obtížnější, jelikož časově před nimi (28 s), dostáváme NIC suplementy = 0 a  $NAC_P = 8$ . Časově po (7s) dostáváme dvě zprávy se stejnou časovou značkou. U první NIC suplementy = 0 a  $NAC_P = 2$  a u druhé NIC Supplement A = 0, NIC Supplement C = 1 a  $NAC_P = 10$ . V druhém případě v kombinaci s Type Codem neexistuje výsledný parametr NIC, proto tuto zprávu nepovažujeme za relevantní. Pro zbylé dvě zprávy platí hodnota parametru  $R_C < 185,2$  m, ale liší se poloměr EPU. Pro  $NAC_P = 8$  je  $EPU < 92,6$  m a pro  $NAC_P = 10$  je  $EPU < 10$  m.

Veškeré chyby korespondují s parametrem NIC, ovšem s parametrem  $NAC_P$ , v případě první zprávy a pokud budeme brát v potaz  $EPU < 10$  m, je chyba 19,94 m o mnoho vyšší. Na druhou stranu se jedná o jednu zprávu z třinácti, což je splnění u 92,3%. Důležité je také poznamenat, že parametr se v případě vyšší polohové chyby změnil a snažil se chybu relevantně ohodnotit.

Průběh polohové chyby, bez prvních tří, v čase vidíme na následujícím grafu.

Graf 8: A6-EOR - časový průběh polohové chyby



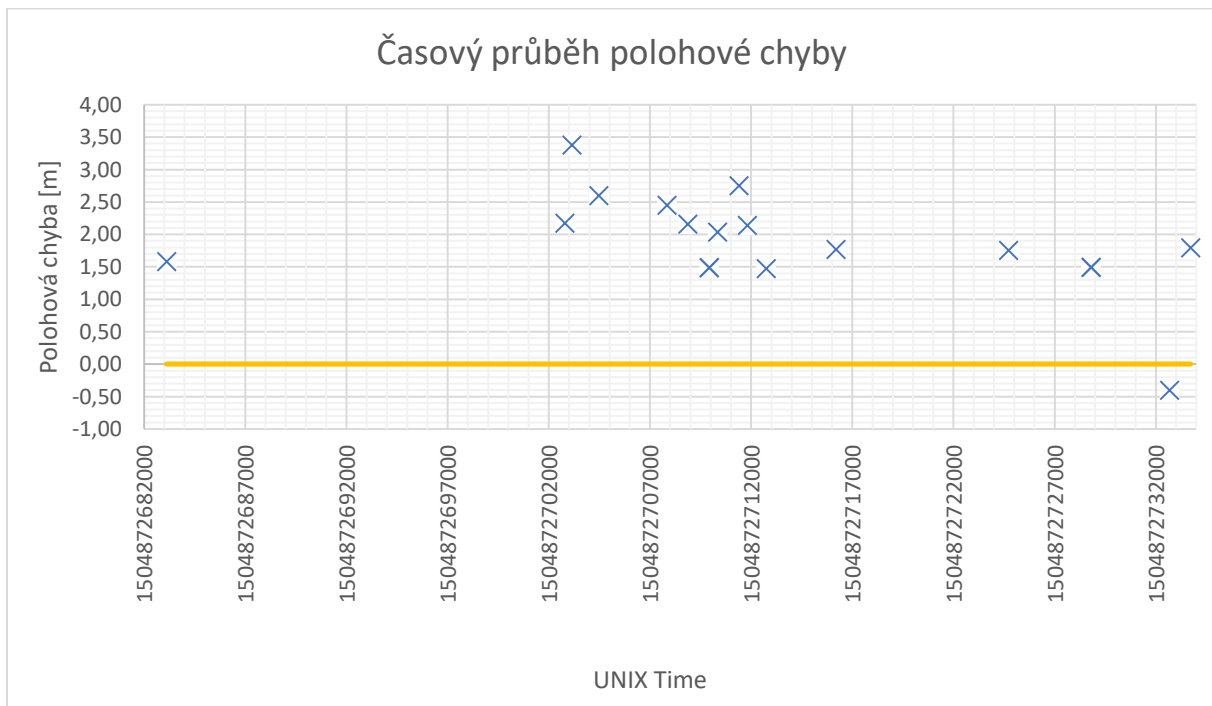
### 7.2.17 N844MH – Delta Air Lines (B767-432)

Jedním z posledních je letadlo společnosti Delta Air Lines, s ICAO Adresou (dec): 11243472 a stářím 16,2 roku. Zde jsme našli pouze jednu zprávu, která obsahuje mírně větší „Position“ chybu, konkrétně 3,38 m. Naopak obsahuje mnoho zpráv s HDG chybou a proto tomuto letadlu se budeme plně věnovat v kapitole 9.2.12. (9)

Pro toto letadlo se nepodařilo zachytit žádnou Aircraft Operation Status zprávu, budeme tedy předpokládat ICAO Verzi 0. Type Code je pro Deltu roven 7, kterému odpovídá parametr  $NUC_p$  rovno také 7. Poloměr 95% oblasti vychází dle parametru na rozmezí mezi 10 m včetně a 92,6 m. Tomu odpovídá HPL hodnotou menší než 185,2 m. Polohové chyby ve výsledku odpovídají parametru, dokonce parametr je zbytečně nízký. Námí naměřené chyby by odpovídaly spíše  $NUC_p = 8$  ( $3 \text{ m} \leq \mu < 10 \text{ m}$ ;  $HPL < 25 \text{ m}$ ).

Pokud se ovšem podíváme na polohové chyby celkově, je vidět, že se po většinu času drží v rozmezí 1,5 m až 2,5 m. Změna na námí analyzovanou chybu přes 3 m je 1,21 m, což je velmi dobré. Pokud by reálná poloha letadla byla lehce vedle námí předpokládané polohy, k žádné větší chybě by nedošlo. Celkový průměr nám vychází na 1,91 m. V jednom případě se však chyba, byť malá, objeví na druhé straně od osy pojezdové dráhy. Samotná změna chyby v tomto případě je o 1,89 m. Průběh chyby v čase vidíme na následujícím grafu.

Graf 9: N844MH - časový průběh polohové chyby



### 7.2.18 C-GPAT – Air Transat (A310-308)

Posledním hodnoceným letadlem je Airbus společnosti Air Transat, který je starý 26,7 roku s ICAO adresou (dec): 12610648. V příloze v Tabulka 38 jsou dvě zprávy, které mají stejný UNIX Time, s lehce větší polohovou chybou. Vzhledem k okolním zprávám s podobnou chybou a stejným směrem chyby (vlevo od osy TWY ve směru poježdění), se jedná o pravidelnou chybu. Celkový průměr těchto zpráv s podobnou chybou činí 1,93 m. V jednom případě je však velká polohová i HDG chyba. (9)

Pro Air Transat jsme našli zprávy, které nám určují ICAO verzi 1. Při pohledu na parametr NIC pro tuto verzi a vyhodnotíme na základě Type Codu 8, zjistíme, že přesnost není známá. Pokud bychom uvažovali ICAO verzi 0, parametr  $NUC_P$  by odpovídal poloměru  $\mu \geq 92,6$  m s  $HPL < 185,2$  m. Tomuto parametru by vyhovovaly veškeré chyby.

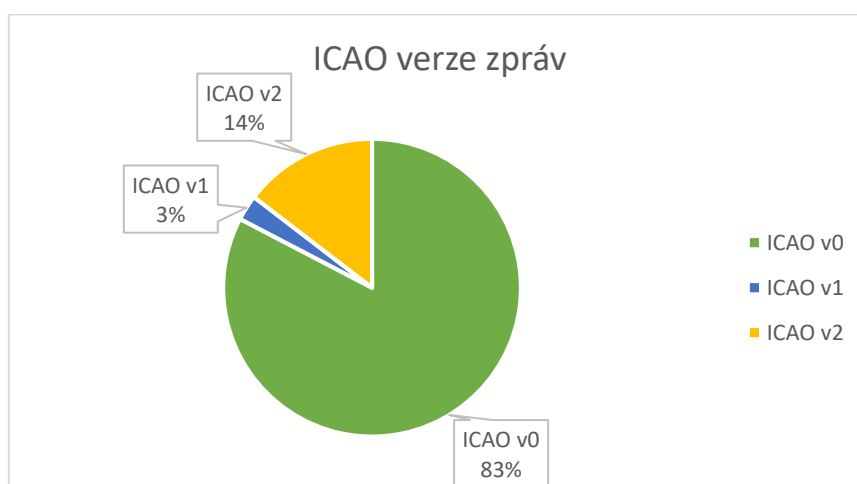
## 7.3 Vyhodnocení

V rámci zhodnocení polohové chyby si nejdříve popíšeme pár obecných dat a následně slovně shrneme výsledky detailní analýzy.

### 7.3.1 Statistika

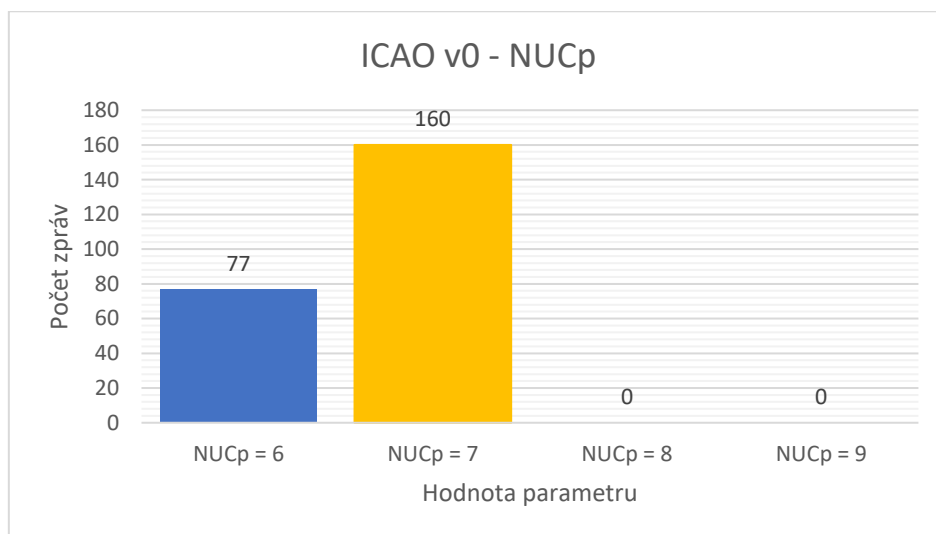
Nakonec jsme polohovou chybu prozkoumali u osmnácti letadel, z čehož většina, měla minimálně 10 zpráv (ve dvou případech 8 a 9 zpráv). Celkem jsme zhodnotili 288 „Surface Position“ zpráv a k nim u čtyř letadel přiřadili 30 „Aircraft Operation Status“ zpráv, na základě kterých jsme definovali ICAO verzi, rozložení je vidět na Graf 10.

Graf 10: Četnost ICAO verzí zpráv



Pro ICAO verzi 0 jsme mohli definovat pouze parametr  $NUC_p$ , jehož výsledné hodnoty vidíme na Graf 11.

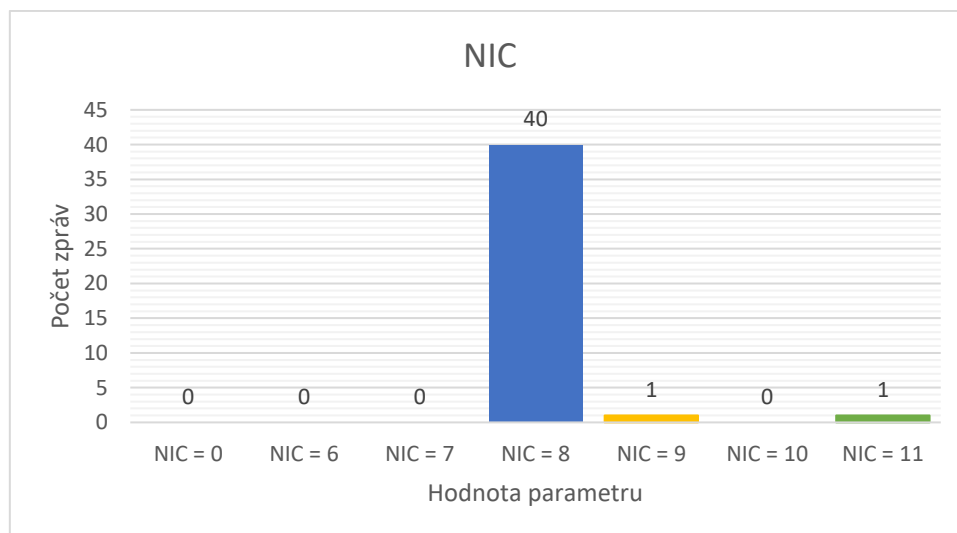
Graf 11: Hodnoty parametru  $NUC_p$



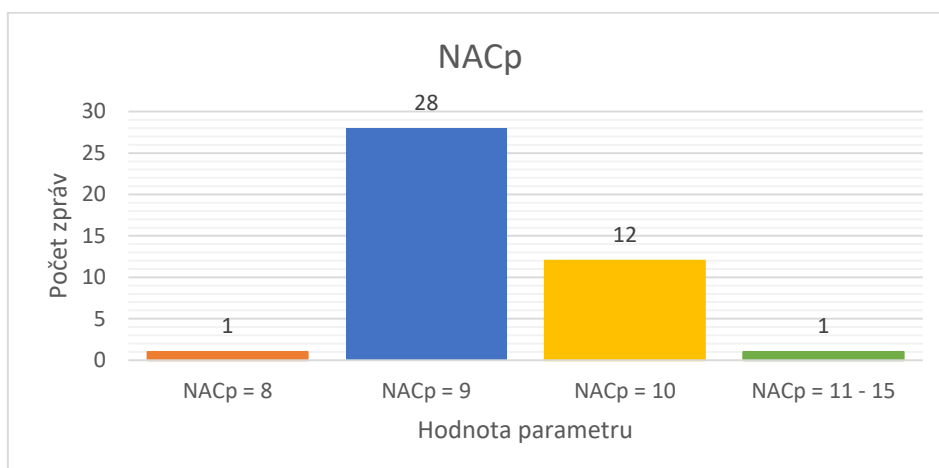
U dat ICAO verze 1 (pouze jedno letadlo), byl parametr  $NIC = 0$  u 8 zpráv.

ICAO verzi dva mělo 42 zpráv, následující grafy zobrazují četnost hodnot parametru  $NIC$  a  $NAC_p$ .

Graf 12: Hodnoty parametru  $NIC$



Graf 13: Hodnoty parametru NAC<sub>p</sub>



### 7.3.2 Závěr

V mnoha případech došlo po stání letadla (určeno z UNIX Time), k výrazné polohové a HDG chybě. Obvykle chyba byla zaznamenána na TWY F, úseku F3 a F4, ačkoliv reálně letadlo mohlo být nejbližší na TWY H. To s nejmenší možnou chybou odpovídá vzdálenosti cca 150 – 160 m. K této chybě by mohlo docházet při opětovném startu některých systémů, respektive odpovídáče v módu S (po většinu doby stání nejsou k dispozici ADS-B zprávy – vyzozorováno).

V několika případech se objevila výrazná polohová chyba v oblasti TWY A2. Většinou v poslední zprávě a často doprovázená výraznou HDG chybou. Proč tato chyba vzniká, se nám nepodařilo z dostupných dat zjistit.

Z pohledu na ostatní polohové chyby a v případech, kdy jsme nenašli „Aircraft Operation Status“ zprávu (nebo z jiného důvodu) a proto jsme použili ICAO verzi 0, byl parametr v souladu s chybou. V průběhu času, kdy chyba nedosahovala vysokých hodnot, se hodnota parametru neměnila. Parametr tedy nekopíroval hodnoty polohových chyb a ve většině případů by mohl být „lepší“ z hlediska přesnosti.

Bohužel ani u zpráv, které odpovídaly ICAO verzi 2, jsme (až na jeden případ) pozorovali, že nedochází ke změně parametru v závislosti na velikosti polohové chyby. Ve většině případů by parametr NIC mohl být vyšší a určovat tak menší poloměr pro 95% výskytu letadla.

V neposlední řadě by bylo dobré zmínit množství letadel, u kterých jsme nenalezli Aircraft Operation Status zprávy, ačkoliv pro analýzu jsme měli k dispozici data z celého letiště (Aircraft Operation Status zprávy nebyly filtrovány na základě polohy). To by mohlo vést k závěru, že některá letadla přes celou dobu pojiždění tyto zprávy nejspíše vůbec neposílají a tím omezují počet informací o daném letu.



## 8 Hodnocení chyby magnetického kurzu

Hodnocení chyby magnetického kurzu budeme vyhodnocovat pomocí dat obsažených v Surface Position Message. Jedná se o informaci HDG a informaci, zda jsou data o magnetickém kurzu letadla relevantní, HDG Status. Z teoretické části víme, že pole HDG Status se nachází na 45 bitu zprávy a samotný HDG na 46-52 bitu.

```
lv_heading_status = lt_surface_position(i_surface_msg,45); % Heading status
lv_heading        = lt_surface_position(i_surface_msg,46:52); % Heading
```

### 8.1 Filtrování potřebných dat

Filtrování je v podstatě stejné, jako u hodnocení polohové chyby. Jedná se tedy o vyfiltrování zpráv DF17, Surface Position zpráv, následně zprávy, které se nachází v oblasti letiště a v neposlední řadě zprávy, které spadají do oblastí referenčních TWY. Pak je dále třeba zprávy filtrovat podle HDG statusu, tzn. zprávy se statusem rovno „1“ zahrnout (obsahují informaci o HDG). U dat, která nesplňují podmínku oblasti referenční TWY a HDG statusu, mají nastaveno HDG Error na hodnotu „999“.

```
if iv_data_hs == 1;          % HDG Status
    .
    .
else;
    ev_hdg_error = 999;      % Nesplnene podminky, dosadime hodnotu,
                            ktera nemuze nastat
end;
```

### 8.2 Výpočet chyby magnetického kurzu

Abychom mohli počítat chybu magnetického kurzu, je třeba nejdříve vypočítat směr (HDG) TWY. Ten vypočteme za pomoci směrového vektoru, který je vždy určený tak, aby směřoval na východ, a osou N (North), tedy vektorem „(0,1)“. Přičemž počítáme konvexní úhel mezi nimi.

Tím jsme získali jeden směr TWY. Proto je nutné vytvoření další proměnné, která bude mít hodnotu o 180° vyšší, než námi prvně vypočítaná. Pokud tato nová hodnota překročí 360°, začínáme od nuly, Tato situace by však neměla nastat, vzhledem k prvotní podmínce určování směru vektoru TWY.

```

% vektor TWY
ls_twy_vector = [(iv_twy_e1 - iv_twy_e2) (iv_twy_n1 - iv_twy_n2)];
% velikost vektoru TWY
lv_twy_length = sqrt(ls_twy_vector(1,1)^2 + ls_twy_vector(1,2)^2);
.
.
lv_twy_hdg = (ls_twy_vector(1,1) * 0 + ls_twy_vector(1,2) * 1)
            / (lv_twy_length * 1);
lv_twy_hdg1 = acosd(lv_twy_hdg);           % HDG1 TWY
lv_twy_hdg2 = lv_twy_hdg1 + 180;         % HDG2 TWY
.
.

```

Nakonec zbývá už jen porovnat HDG a vypočtený směr TWY. Vždy porovnáme s oběma hodnotami směru TWY. Jako výsledný rozdíl zvolíme menší odchylku. I proto počítáme odchylku jako absolutní hodnotu. Později i pro lepší zpracování statistik (pro které není nutné zjišťovat, jakým směrem chyba vznikla).

```

iv_hdg_error1 = abs(lv_twy_hdg1 - iv_data_hdg);           % HDG1 Error
iv_hdg_error2 = abs(lv_twy_hdg2 - iv_data_hdg);           % HDG2 Error
if iv_hdg_error1 < iv_hdg_error2;
    ev_hdg_error = iv_hdg_error1;
else;
    ev_hdg_error = iv_hdg_error2;
end;

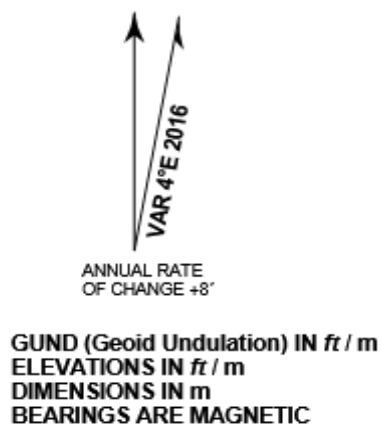
```

Celý výpočet je prováděn pomocí funkce „Position\_HDG\_Error pro každý referenční úsek zvlášť.

## 9 Analýza chyby magnetického kurzu

Na mapě letiště Praha, která je k dispozici na stránkách letecké informační služby, je k dispozici informace o magnetické deklinaci k roku 2016.

Obrázek 6: Informace o magnetické deklinaci na LKPR (11)



Vzhledem k tomu, že porovnáváme směr TWY vypočtený ze souřadnic WGS84, u kterých jsme nezapočítali deklinaci, a HDG letadla, dá se předpokládat, že bude docházet k minimální chybě kolem 4°.

### 9.1 Obecná statistika dat magnetického kurzu

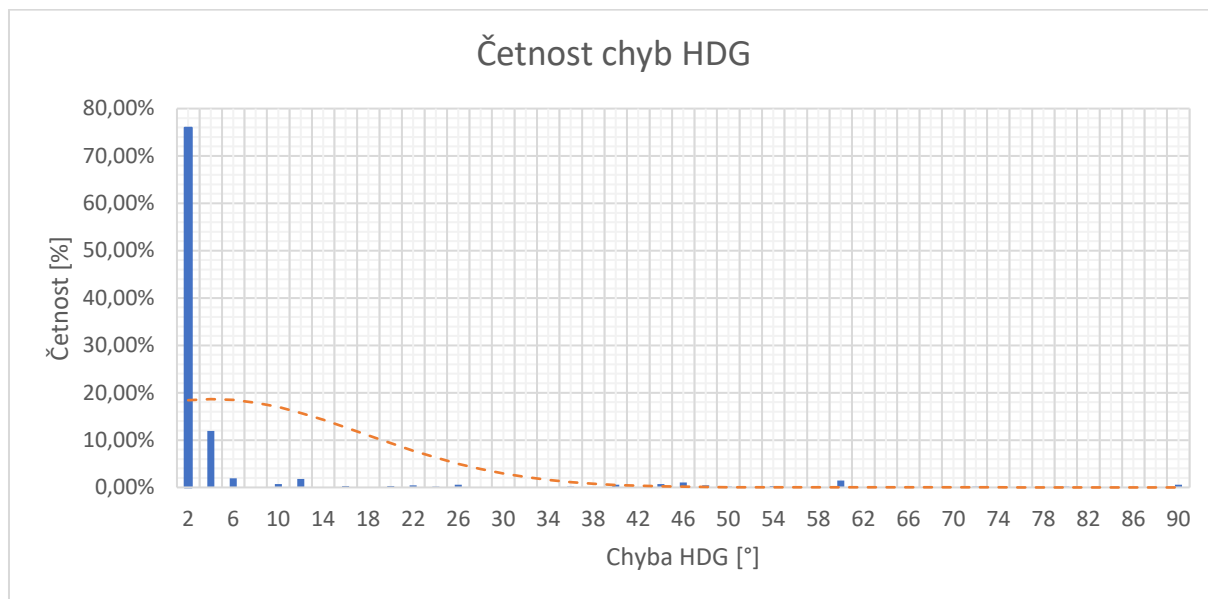
Stejně jak již bylo zmíněno v kapitole 7.1, 705 zpráv odpovídá námi vybraným úsekům, ale pouze 692 z nich obsahuje informaci pro výpočet HDG chyby. V následující tabulce uvádíme základní statistické údaje absolutních hodnot HDG chyb.

Tabulka. 20: Základní statistické údaje hodnoceného souboru HDG chyb

<b>Celkový počet zpráv:</b>	692
<b>Střední hodnota HDG chyb:</b>	0,32°
<b>Směrodatná odchylka HDG chyb:</b>	13,44°
<b>Průměrná hodnota HDG chyby:</b>	4,84°
<b>Největší hodnota HDG chyby:</b>	89,67°
<b>Nejmenší hodnota HDG chyby:</b>	0,26°

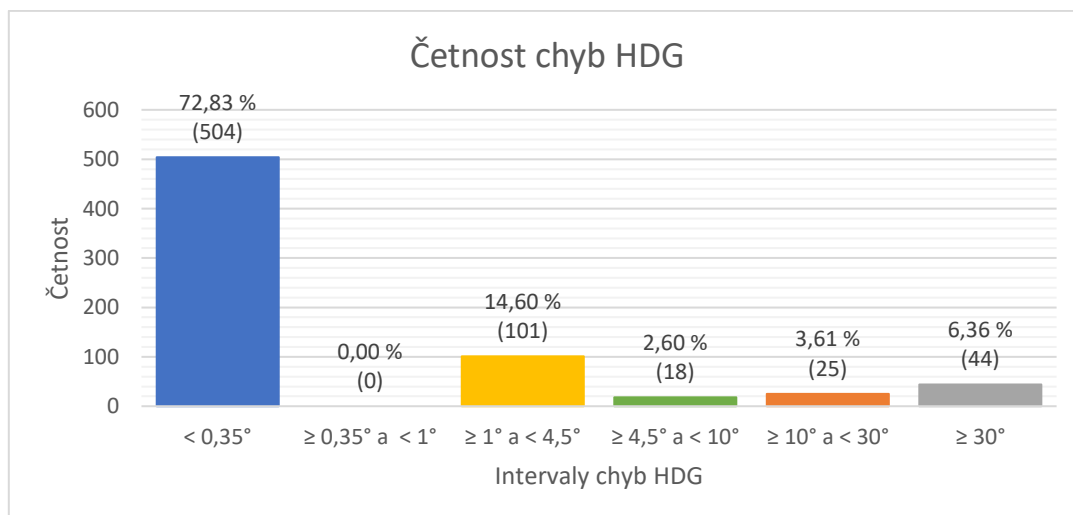
Rozdělení hodnot chyb HDG znázorňuje následující graf s naznačením normálního rozdělení.

Graf 14: Četnost chyb „Heading“



Data jsme si rozdělili dle velikosti chyby HDG do šesti kategorií a vypočítali četnost, kterou můžete vidět na Graf 15. První hraniční hodnotu jsme zvolili v blízkosti střední hodnoty ( $0,35^\circ$ ). Druhou hranicí byla hodnota  $1^\circ$ , následně hodnota  $4,5^\circ$ , což je hodnota mezi průměrem a deklinací uvedené v ICAO mapě letiště Praha. Další tři kategorie jsou do  $10^\circ$ , do  $30^\circ$  a nad  $30^\circ$ .

Graf 15: Četnost hodnot chyb "Heading"



Jak je vidět z grafu, většina zpráv měla chybu menší jak  $0,35^\circ$ . Což je vzhledem k deklinaci  $4^\circ$  a srovnáváním zeměpisného směru TWY s HDG letadla, velmi zajímavé. Ovšem objevuje se nám i výrazná složka zpráv, které vykazují chybu podobné hodnotě deklinace.

K detailnějšímu zpracování využijeme zprávy, které jsme analyzovali v kapitole 7.2. Můžeme tak více porovnávat vzájemnou závislost polohové a HDG chyby.

## **9.2 Záznamy s větší chybou „Heading“**

### **9.2.1 EC-JGS – Iberia (A321-200)**

Iberii jsme již řešili v kapitole s polohovými chybami (viz kapitola 7.2.1). Tam jsme zjistili, že u dvou zpráv k polohové chybě se váže i chyba HDG, nicméně jsme také poukázali na ne relevanci těchto dvou zpráv, které vykazují extrémní hodnoty. Proto v tomto případě nemá cenu se více chybou HDG zabývat.

### **9.2.2 EC-JSY – Vueling (A320-212)**

U Vuelingu EC-JSY, jak již bylo zmíněno v kapitole 7.2.2, jsme zaznamenali chybu v HDG, který byl o 180° odlišný od ostatních a tedy v proti směru pojíždění letadla. Všechny zprávy jsou zaznamenány ze stejného úseku TWY A, největší chyba je zaznamenána až o zhruba 5 minut po předchozí zprávě.

V jednom případě zpráva obsahovala relevantní informaci o HDG, avšak status HDG byl nastaven na hodnotu 0, tedy bez platnosti.

### **9.2.3 F-GZHE – Transavia France (B737-800)**

Kromě dvou zpráv s větší chybou HDG, jsou ostatní ve stejném úseku v pořádku. Obě tyto zprávy mají stejný UNIX Time a jedna z nich obsahuje zároveň polohovou chybu. V průměru je chyba HDG rovna 2,72°, a to je stále pod 4° deklinace.

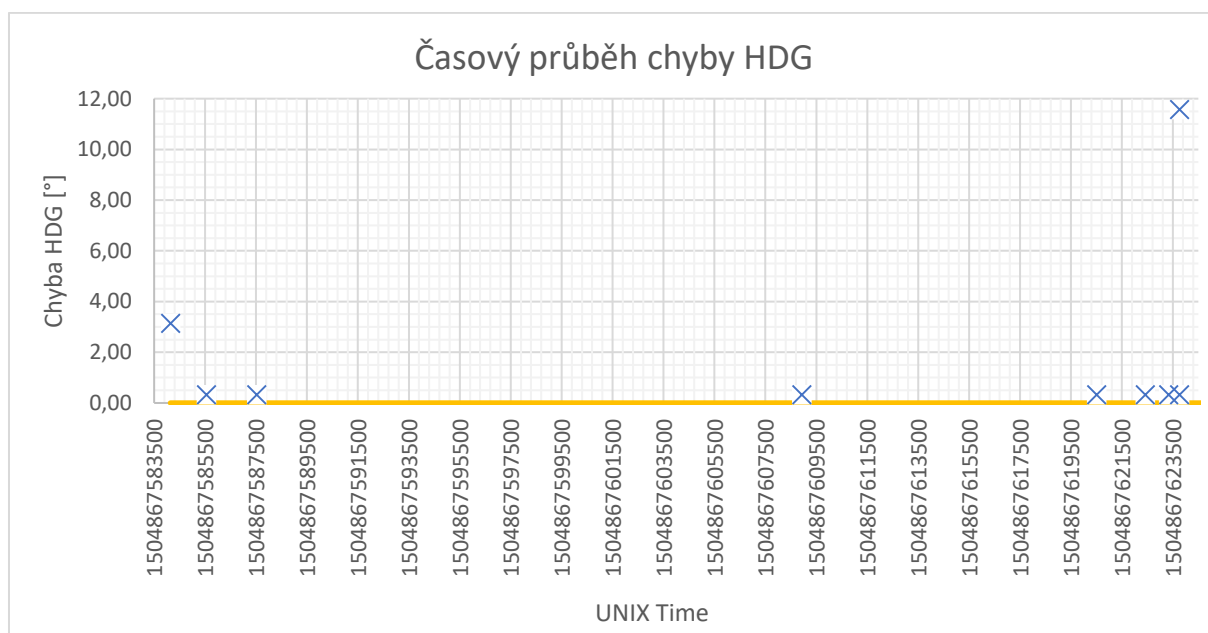
### 9.2.4 OK-TSN – Smartwings (B737-8KN)

U tohoto letadla jsme zaznamenali pouze jednu zprávu, která má větší chybu HDG než 4°. Vzhledem k okolním zprávám, které mají naopak minimální chybu (0,32°), je možné brát tuto chybu za náhodnou, bez zřejmých příčin.

Chyba v první zprávě (ačkoliv není velká, 3,14°), vznikla s největší pravděpodobností najížděním z křížení pojízděcích drah, kde letadlo ještě nestačilo dorovnat směr s aktuální TWY.

Časový průběh chyby HDG vidíme na následujícím grafu.

Graf 16: OK-TSN - časový průběh chyby HDG



### 9.2.5 D-AEWK – Eurowings (A320-200)

Ve více případech si můžeme všimnout náhlého uskočení HDG v jedné zprávě. V jednom případě se nejspíše jedná o dotáčení na TWY A (chyba 8,76°). I tak v průměru (nepočítáme nerelevantní zprávu, která polohou neodpovídá reálnému dění) chyba dosahuje 3,47°, což je pod námi stanovenou hranicí 4°. Pokud bychom odfiltrovali jednotlivé vadné zprávy (chyba je náhlá, nekontinuální), byla by informace o směru v ostatních zprávách velice přesná.

### 9.2.6 G-EZAY – EasyJet (A319-100)

Největší chyba HDG se vyskytuje u zpráv, které jsme již v kapitole 7.2.7 označili za nerelevantní. Ovšem i tak je zajímavé zvýšení chyby u zprávy s vysokou polohovou chybou.

Pokud vynecháme nerelevantní zprávy, pak průměr chyby HDG je v 11 zprávách roven 0,56°.

### **9.2.7 G-EUYD – British Airways (A320-232)**

V jednom případě je chyba HDG větší než  $4^\circ$ , ne však příliš, dosahovala k  $6^\circ$ , I tak průměr HDG chyby u tohoto letadla činil  $1,09^\circ$  a to je v toleranci s magnetickou deklinací uvedené v ICAO mapě.

Jak jsme již uvedli v kapitole 7.2.8, větší chyba mohla být způsobena korekcí pojiždění po TWY A. Nasvědčují tomu následné polohové chyby, které zůstávají zhruba po celou dobu stejně a také skutečnost, že se již další chyba HDG neobjevila.

### **9.2.8 G-EZRH – EasyJet (A320-214)**

U letadla EasyJet je pouze jedna výraznější chyba HDG a to ve fázi pojiždění na odlet. Jedná se o polohu, kde letadlo najíždí na daný úsek TWY A1(8) a s největší pravděpodobností zde dochází k srovnání letadla do směru TWY. Při pohledu na záznamy, vyjma této chyby, je průměr hodnot je ve výsledku  $0,31^\circ$  a to naši domněnku více potvrzuje.

### **9.2.9 YR-ASC – TAROM (A318-100)**

Pouze dvě zprávy vykazují extrémní chybu HDG. Jedná se o zprávy se stejnou časovou značkou UNIX Time. U jedné se vyskytuje také polohová chyba. Ve zbývajících zprávách je chyba už velmi malá, většinou  $0,32^\circ$ . Občas se objeví hodnota lehce přes  $3^\circ$ . Průměr, vyjma dvou uvedených extrémů, má pak hodnotu  $0,57^\circ$ .

U jedné zprávy, kde chyba je velmi malá (obvyklých  $0,32^\circ$ ), jsme stejně jako u jiných analyzovaných letadel, zaznamenali otočení směru o  $180^\circ$ .

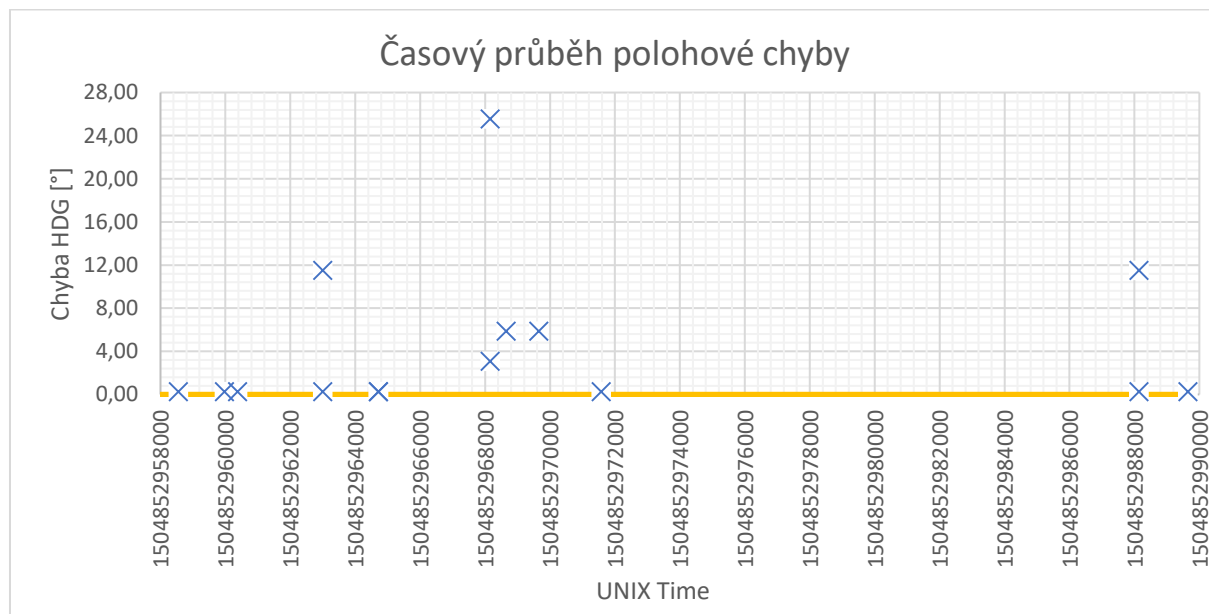
### **9.2.10 TC-JTG – Turkish Airlines (A321-231)**

Ačkoliv letadlo Turkish Airlines nemá mimořádně velké polohové chyby, u chyby HDG je tomu trochu jinak. Chybu nad  $4^\circ$  pozorujeme u šesti zpráv, maximální chyba dosáhla hodnoty  $25,57^\circ$  a u dvou zpráv došlo k otočení směru o  $180^\circ$  (chyba malá  $1,55^\circ$ , nicméně HDG odlišný od okolních zpráv a možnosti pohybu – výjezd z RWY24).

Bohužel není znatelný důvod těchto chyb, objevují se více méně náhodně, krom jedné (u první zprávy pojíždění na odlet – chyba 5,95°), která může být způsobena dotáčením letadla na směr TWY A, ačkoliv poloha je od křížení vzdálena cca 30 m.

Na následujícím grafu vidíme časový průběh vývoje chyby HDG po přeletu a bez prvních dvou zpráv.

Graf 17: TC-JTG - časový průběh chyby HDG - přilet



### 9.2.11 A6-FDY – FlyDubai (B737-8KN)

Pokud se na tento průlet podíváme se zaměřením na HDG. Pak vidíme první větší chybu po sérii zpráv, které informaci o HDG vůbec neobsahovaly. Nicméně nám chybí data z úseku mezi TWY D1(4) a TWY D3(7). Ovšem obě chyby jsou spojené s polohovou chybou, tak je možné předpokládat špatné vyhodnocení, případně poškození dat, neboť například v okolí druhé chyby je HDG jinak velmi přesný.



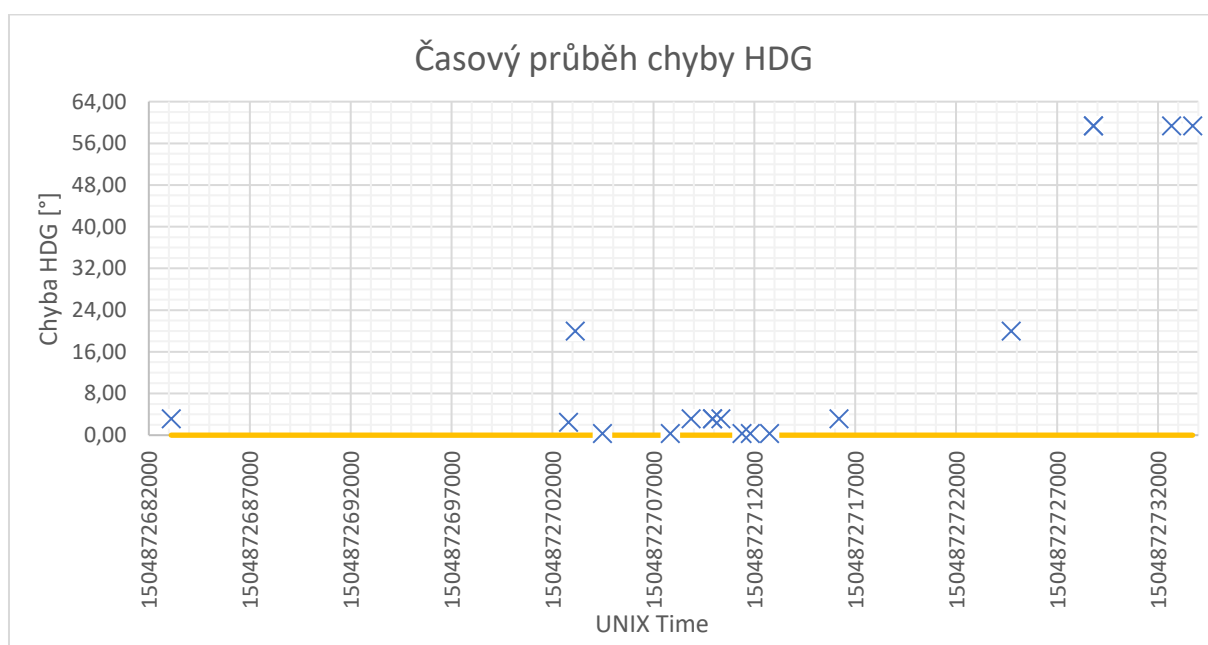
### 9.2.12 N844MH – Delta Air Lines (B767-432)

Oproti polohové chybě je u Dely zaznamenána vysoká chybovost HDG. Nejprve můžeme sledovat vcelku přesné informace, až na jednu výjimku, ale posledních pět zpráv nám náhle vykazují velkou chybovost. Pokud se kpodíváme na polohu, jedná se o konec úseku TWY A2(9), nicméně ani v tomto bodě by nemělo docházet ke změně a už vůbec ne směrem na sever. Nejbližší možné místo, kdy letadlo by mohlo měnit takto směr, je vzdáleno cca 150 m a takovouto podélnou polohovou chybu nelze předpokládat.

Nejpravděpodobnější je varianta poškozených dat, ačkoliv polohová data tomu neodpovídají.

V následujícím grafu vidíme vývoj chyby HDG v čase.

Graf 18: N844MH - časový průběh chyby HDG



### 9.2.13 C-GPAT – Air Transat (A310-308)

Můžeme zde pozorovat dvě zprávy s větší HDG chybou, v prvním případě se jedná o zprávu z počátku úseku TWY A1(8), kde jsme již zaznamenali mnohokrát podobnou chybu a s největší pravděpodobností se jedná o chybu způsobenou nedotočením letadla do správného směru TWY při najíždění z křížení.

V druhém případě, jak jsme již zmínili v kapitole 7.2.18, vidíme s velkou HDG chybou také polohovou chybu. Je tedy velmi pravděpodobné, že se jedná o zprávu, která obsahuje poškozená data. Je ovšem zajímavé všimnout si zprávy před, kde HDG chyba již lehce narostla oproti ostatním zprávám. Pokud bychom brali v úvahu, že se jedná již o najíždění na RWY 24, pak by polohová chyba v podélném směru představovala hodnotu cca 130 m.

### 9.3 Vyhodnocení

Po celkovém zhodnocení nevidím problematiku HDG s možnou chybou z důvodu neaktuálních tabulek deklinace. Ve většině případů dochází k chybě „náhle“, bez námi zjištěných příčin, což dokládají data před a po chybě, která jsou ve stejném měřeném úseku a ve stejný čas a vykazují minimální chybu (i do 1°). U „Surface Position“ zpráv, ke kterým jsme spárovali „Aircraft Operation Status“ zprávy, jsme zahrnuli do zhodnocení pole HDR (rozlišení zeměpisného kurzu a magnetického kurzu). To ve všech případech ukazovalo na zeměpisný kurz.

V několika případech kdy byla chyba HDG společně s polohovou chybou, jsme označili danou zprávu za nerelevantní, neboť polohou zcela neodpovídala reálnému dění (poloha na TWY, která nemohla být v té době využita).

Objevily se také případy, obzvláště v úseku TWY A1(8), které vykazovaly HDG chybu, ale po bližším zkoumání přesné polohy a situaci, jsme došli k závěru, že tato chyba byla vyvolána dotáčením letadla do směru TWY A.

Dalším zajímavým úkazem bylo několik zpráv (maximálně jedna pro konkrétní letadlo), kde samotná chyba byla velmi malá, nicméně HDG jako takový se změnil o 180°. Spojitost vidím s polohou u „stop příček“, kde letadlo mohlo být nuceno zastavit a při samotném zastavení došlo ke zpětnému pohybu letadla.

Po celkovém zhodnocení se můžeme domnívat, že ve většině zpráv se jedná o zeměpisný kurz. K tomuto zjištění vedou malé hodnoty chyb kurzu letadla, vůči zeměpisnému směru pojezdové dráhy a potvrzení této teorie u zpráv, ke kterým jsme dohledali informaci z „Aircraft Operation Status“ zpráv. Z tohoto důvodu nejsme schopni vyvodit jasný závěr původního předpokladu aktuálnosti deklinačních tabulek v systémech letadla.

## 10 Závěr

Cílem práce bylo analyzovat nespolehlivá data v ADS-B zprávách (v době pojiždění letadla po provozních plochách letiště), zejména v oblasti polohy a magnetického kurzu. K tomu bylo nezbytné seznámit se podrobně s ADS-B zprávami (Surface Position Message a Aircraft Operation Status Message).

Na základě těchto získaných teoretických poznatků je v další části práce pracováno s daty, která byla získána pomocí přijímače ČVUT Fakulty dopravní, Ústavu letecké dopravy, pomocí scriptů vytvořených v programu Matlab2016a, kde většina tvoří vlastní přínos.

V poslední části práce jsou data analyzována podrobněji, letadlo po letadle, aby bylo možné posoudit, co se v daný okamžik děje a proč se data chovají určitým způsobem. V této části bylo nalezeno mnoho zajímavých úkazů, které by stálo za to detailněji prozkoumat. Zejména v oblasti HDG, kde z neznámých příčin dochází například k otočení o 180°, možnou teorií může být při zastavení letadla zpětný pohyb. Ovšem bylo by třeba důkladnějšího pozorování.

V oblasti HDG jsme také narazili na problematiku srovnání magnetického kurzu letadla s magnetickým směrem pojezdové dráhy či zeměpisným kurzem letadla se zeměpisným směrem pojezdové dráhy. U většiny zpráv jsme nebyli schopni rozlišit, o jaký kurz letadla se jedná a tak jsme posuzovali podle naměřené chyby. Ve většině případů by chyba ve srovnání s magnetickým směrem dráhy dosahovala hodnoty magnetické deklinace, a proto jsme usoudili, že se jedná o zeměpisný směr letadla. Tuto teorii podporují zprávy, u kterých jsme mohli na základě Airport Operation Status zprávy rozlišit, o jaký směr se jedná.

V problematice polohových chyb jsme došli k závěru, že s daty ve většině případů souhlasí parametry přesnosti a kvality, ale je tomu docíleno nízkými hodnotami těchto parametrů. Také jsme vyzorovali, že tyto parametry se v čase nemění v závislosti na změně polohové chyby. To znamená, že i v případě velmi přesné informace o poloze nám stále parametry zůstávají na nízké hodnotě.

Závažným zjištěním je velká absence „Aircraft Operation Status“ zpráv. Z jednadvaceti letadel je měla jen čtyři. Přestože vyfiltrovány byly pouze zprávy typu „Surface“, nedošlo k omezení polohou, bylo tak možné hodnotit i zprávy mimo pozorované úseky měření.

Práce tak splnila zadání. Přináší nové poznatky o závislosti polohových dat a parametrů přesnosti a také závislosti informace o směru pojiždění na hodnotě magnetické deklinace. Tyto výsledky mohou být novým podkladem a motivací pro detailnější přístup ke konkrétním vzniklým situacím, které jsme v rámci práce vyzorovali, ale které by potřebovaly jinou

metodikou měření. Například sledování jednoho letadla po celou dobu poježdění a tento pohyb zanalyzovat.

## **11 Seznam literatury a jiných pramenů**

1. **Jiří, Novák.** Analýza využitelnosti GNSS polohových dat pro vedení letadel během poježdění. *Bakalářská práce*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2015.
2. **Ph.D., Ing. Stanislav Pleninger.** Systémy CNS - ADS 1.9. *Prezentace*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2014/2015.
3. **SC-186.** Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B). *DO-260B*. Washington, DC : RTCA, Inc., 2009.
4. **Tési, Somin.** Nástroj na dekódování zpráv 1090 ES. *Bakalářská práce*. Praha : ČVUT Fakulta dopravní, 2014.
5. **SAMIG, SAM Implementation group** -. Guide on technical and operational considerations for the implementation of ADS-B in the SAM region. Lima : International Civil Aviation Organization - South American regional office, 2013.
6. **Wikiwand.** [Online] [Citace: 20. květen 2018.] [http://www.wikiwand.com/en/Course\\_\(navigation\)](http://www.wikiwand.com/en/Course_(navigation)).
7. **P., Blahák.** Algoritmus automatické kompenzace leteckého magnetického kompasu. *Bakalářská práce*. Brno : VUT Fakulta elektroniky a komunikačních technologií, 2008.
8. **NOAA.** National Centers for Environmental Information. [Online] [Citace: 20. květen 2018.] [https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical\\_declination/](https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/).
9. **MacKay, Anthony.** Which Way is North? [Online] [Citace: 15. květen 2018.] <https://www.pacificflying.com/sites/default/files/Magnetic%20Variation%20and%20Modern%20Avionics.pdf>.
10. **Noack, Thomas.** Planespotters.net. [Online] [Citace: 5. Duben 2018.] <https://www.planespotters.net/>.
11. **Řízení Letového Provozu a.s.** AIP. *LKPR - Aerodrome chart - ICAO*. 2018.
12. **Sun, Junzi.** The 1090MHz Riddle. [Online] [Citace: 20. Zářij 2017.] <http://mode-s.org/decode/index.html>.

## **12 Seznam příloh**

1. Příloha – data vybraných letadel
2. Data.xls (dekódovaná data)
3. LKPR\_WGS84.dwg (mapa Letiště Praha)
4. DF\_poloha\_surface.m
5. ECEF2ENU.m
6. Final\_Output.m
7. Get\_data.m
8. Graph\_Output.m
9. Operation\_all.m
10. Position\_HDG\_Error.m
11. Surface\_all.m
12. WGS2ECEF.m

### 13 Příloha – data vybraných letadel

Tabulka 21: EC-JGS - Iberia - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
3416592	8	50,104557	14,254941	1	78,75	1,07	1,07	0,26	4	3	1504869363488	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,104569	14,255021	1	78,75	0,81	0,81	0,26	4	3	1504869363992	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,104603	14,255249	1	78,75	0,26	0,26	0,26	4	3	1504869365533	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,104569	14,255336	1	78,75	5,13	5,13	0,26	4	3	1504869366040	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,104627	14,255410	1	78,75	-0,22	0,22	0,26	4	3	1504869366546	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,103573	14,250153	1	306,56	43,31	43,31	47,55	3	3	1504872803185	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,103573	14,250153	1	306,56	43,31	43,31	47,55	3	3	1504872803185	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,112305	14,267662	1	67,50	2,98	2,98	2,49	8	3	1504873229736	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,113392	14,271258	1	64,69	1,99	1,99	0,32	9	3	1504873256882	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,113838	14,272722	1	64,69	1,20	1,20	0,32	9	3	1504873271215	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,113856	14,272799	1	64,69	1,69	1,69	0,32	9	3	1504873272227	EC-JGS	A321-200	Iberia	13
3416592	8	50,113496	14,273115	1	64,69	47,69	47,69	0,32	9	3	1504873272633	EC-JGS	A321-200	Iberia	13

Tabulka 22: EC-JSY - Vueling - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
3416982	7	50,104616	14,255206	1	78,75	-1,74	1,74	0,26	4	3	1504852816076	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,104627	14,255299	1	78,75	-1,75	1,75	0,26	4	3	1504852816965	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,104694	14,255845	0	78,75	-1,60	1,60	-	4	3	1504852819889	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,112297	14,267492	1	64,69	-1,41	1,41	0,32	8	3	1504855640188	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113275	14,270795	1	64,69	-0,19	0,19	0,32	9	3	1504855665321	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113346	14,271060	1	64,69	0,59	0,59	0,32	9	3	1504855667126	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113368	14,271129	1	64,69	0,52	0,52	0,32	9	3	1504855667735	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113391	14,271185	1	64,69	-0,15	0,15	0,32	9	3	1504855668246	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113403	14,271258	1	64,69	0,83	0,83	0,32	9	3	1504855668846	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113724	14,271258	1	64,69	-31,54	31,54	0,32	9	3	1504855668846	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113472	14,271457	1	64,69	-0,09	0,09	0,32	9	3	1504855670359	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113484	14,271537	1	64,69	1,12	1,12	0,32	9	3	1504855670870	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113507	14,271574	1	64,69	-0,11	0,11	0,32	9	3	1504855671470	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113507	14,271574	1	64,69	-0,11	0,11	0,32	9	3	1504855671470	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113518	14,271638	1	64,69	0,75	0,75	0,32	9	3	1504855671981	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113542	14,271704	1	64,69	0,29	0,29	0,32	9	3	1504855672583	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113554	14,271741	1	64,69	0,24	0,24	0,32	9	3	1504855672988	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113575	14,271818	1	64,69	0,44	0,44	0,32	9	3	1504855673588	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113589	14,271871	1	64,69	0,65	0,65	0,32	9	3	1504855674102	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113705	14,272261	1	64,69	0,68	0,68	0,32	9	3	1504855678949	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113346	14,271023	1	64,69	-0,50	0,50	0,32	9	3	1504870611267	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113368	14,271110	1	64,69	-0,04	0,04	0,32	9	3	1504870611770	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113449	14,271367	1	64,69	-0,51	0,51	0,32	9	3	1504870613684	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113472	14,271444	1	64,69	-0,51	0,51	0,32	9	3	1504870614086	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113518	14,271602	1	64,69	-0,34	0,34	0,32	9	3	1504870615097	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113682	14,272131	1	64,69	-0,90	0,90	0,32	9	3	1504870618900	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113414	14,272818	1	64,69	46,93	46,93	0,32	9	3	1504870625420	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1
3416982	7	50,113996	14,271834	1	244,69	-41,63	41,63	0,32	9	3	1504870999453	EC-JSY	A320-214	Vueling	12,1

Tabulka 23: F-GZHE - Transavia France - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
3761380	8	50,112293	14,267500	1	67,50	-0,79	0,79	2,49	8	3	1504855617795	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,112305	14,267554	1	67,50	-0,30	0,30	2,49	8	3	1504855618210	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,112350	14,267717	1	67,50	-0,01	0,01	2,49	8	3	1504855619722	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,112367	14,267770	1	67,50	-0,04	0,04	2,49	8	3	1504855620330	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113403	14,271222	1	64,69	-0,26	0,26	0,32	9	3	1504855652506	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113437	14,270739	1	64,69	-18,33	18,33	0,32	9	3	1504855653510	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113495	14,271511	1	64,69	-0,76	0,76	0,32	9	3	1504855654929	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113541	14,271674	1	64,69	-0,46	0,46	0,32	9	3	1504855656240	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113541	14,271674	1	64,69	-0,46	0,46	0,32	9	3	1504855656240	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113484	14,271797	1	53,44	8,98	8,98	11,57	9	3	1504855657147	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113577	14,271797	1	53,44	-0,42	0,42	11,57	9	3	1504855657147	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113787	14,272502	1	64,69	-0,24	0,24	0,32	9	3	1504855662892	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10
3761380	8	50,113856	14,272725	1	64,69	-0,56	0,56	0,32	9	3	1504855664912	F-GZHE	B737-800	Transavia France	10

Tabulka 24: OK-MEK - Czech Airlines - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4837461	7	50,112167	14,267175	1	61,88	2,08	2,08	3,14	8	3	1504870173424	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,112367	14,267844	1	64,69	2,21	2,21	0,32	8	3	1504870182320	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,112367	14,267844	1	64,69	2,21	2,21	0,32	8	3	1504870182320	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,112390	14,267937	1	64,69	2,66	2,66	0,32	8	3	1504870183639	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,113018	14,270053	1	67,50	3,21	3,21	2,49	9	3	1504870213518	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,113472	14,271584	1	64,69	3,74	3,74	0,32	9	3	1504870230164	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,113495	14,271620	1	64,69	2,52	2,52	0,32	9	3	1504870230686	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11
4837461	7	50,113507	14,271686	1	64,69	3,26	3,26	0,32	9	3	1504870231124	OK-MEK	A319-112	Czech Airlines	11



Tabulka 25: OK-TSN - Smartwings - data

ICAO Adres	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4837434	7	50,112282	14,267518	1	61,88	0,91	0,91	3,14	8	3	1504867584138	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,112332	14,267510	1	64,69	-4,38	4,38	0,32	8	3	1504867585550	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,112390	14,267863	1	64,69	0,42	0,42	0,32	8	3	1504867587523	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,112991	14,269903	1	64,69	1,43	1,43	0,32	9	3	1504867608933	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113369	14,271132	1	64,69	0,47	0,47	0,32	9	3	1504867620503	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113461	14,271333	1	64,69	-2,71	2,71	0,32	9	3	1504867622418	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113472	14,271457	1	64,69	-0,09	0,09	0,32	9	3	1504867623330	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113483	14,271493	1	53,44	-0,15	0,15	11,57	9	3	1504867623756	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113483	14,271493	1	64,69	-0,15	0,15	0,32	9	3	1504867623756	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2
4837434	7	50,113484	14,272762	1	64,69	38,19	38,19	0,32	9	3	1504867636328	OK-TSN	B737-8KN	SmartWings	8,2

Tabulka 26: D-AEWK - Eurowings - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
3954411	7	50,103394	14,248804	1	104,06	44,44	44,44	25,05	3	3	1504852464855	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104546	14,254797	1	78,75	0,34	0,34	0,26	4	3	1504852535780	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104569	14,254983	1	78,75	0,31	0,31	0,26	4	3	1504852536887	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104569	14,254983	1	78,75	0,31	0,31	0,26	4	3	1504852536887	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104580	14,255068	1	78,75	0,30	0,30	0,26	4	3	1504852537391	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104671	14,255827	1	78,75	0,66	0,66	0,26	4	3	1504852542043	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,104616	14,255800	1	36,56	6,38	6,38	42,44	4	3	1504854710717	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,112181	14,267157	1	56,25	0,23	0,23	8,76	8	3	1504855092657	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,112332	14,267640	1	64,69	-0,45	0,45	0,32	8	3	1504855097503	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,112332	14,267640	1	64,69	-0,45	0,45	0,32	8	3	1504855097503	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,113507	14,271593	1	53,44	0,45	0,45	11,57	9	3	1504855134068	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,113552	14,271746	1	64,69	0,57	0,57	0,32	9	3	1504855135073	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,113810	14,272595	1	64,69	0,21	0,21	0,32	9	3	1504855142021	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	5	50,113873	14,272794	1	64,69	-0,09	0,09	0,32	9	3	1504855144036	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9
3954411	7	50,113884	14,272830	1	64,69	-0,15	0,15	0,32	9	3	1504855144441	D-AEWK	A320-200	Eurowings	1,9

Tabulka 27: G-EZAY - EasyJet - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4197979	7	50,105198	14,242735	1	213,75	2,08	2,08	1,26	5	3	1504850899787	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104568	14,254996	1	78,75	0,56	0,56	0,26	4	3	1504851028358	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104568	14,254996	1	78,75	0,56	0,56	0,26	4	3	1504851028358	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104603	14,255122	1	78,75	-1,47	1,47	0,26	4	3	1504851030375	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104603	14,255267	1	78,75	0,51	0,51	0,26	4	3	1504851030375	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104627	14,255447	1	78,75	0,29	0,29	0,26	4	3	1504851031781	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104639	14,255503	1	78,75	-0,23	0,23	0,26	4	3	1504851032181	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104639	14,255540	1	78,75	0,28	0,28	0,26	4	3	1504851032593	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104651	14,255577	1	78,75	-0,48	0,48	0,26	4	3	1504851032998	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104686	14,255874	1	78,75	-0,24	0,24	0,26	4	3	1504851035010	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104499	14,255874	1	81,56	20,13	20,13	2,56	4	3	1504851035010	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,103561	14,248762	1	64,69	25,53	25,53	14,32	3	3	1504854764708	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,103584	14,248762	1	64,69	23,02	23,02	14,32	3	3	1504854764708	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104351	14,255520	1	312,19	31,51	31,51	53,18	4	3	1504855017294	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9
4197979	7	50,104351	14,255538	1	312,19	31,76	31,76	53,18	4	3	1504855017294	G-EZAY	A319-100	EasyJet	11,9

Tabulka 28: G-EUYD - British Airways - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4218593	7	50,105518	14,243070	1	213,75	1,23	1,23	1,26	5	3	1504868144674	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113014	14,269921	1	67,50	-0,33	0,33	2,49	9	3	1504872425908	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113014	14,269921	1	67,50	-0,33	0,33	2,49	9	3	1504872425908	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113014	14,269939	1	67,50	0,21	0,21	2,49	9	3	1504872426311	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113014	14,269957	1	64,69	0,76	0,76	0,32	9	3	1504872426716	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113026	14,269975	1	64,69	0,15	0,15	0,32	9	3	1504872427120	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113026	14,269993	1	64,69	0,70	0,70	0,32	9	3	1504872427526	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113037	14,270012	1	64,69	0,09	0,09	0,32	9	3	1504872428042	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113042	14,270034	1	64,69	0,30	0,30	0,32	9	3	1504872428561	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113368	14,271185	1	59,06	2,20	2,20	5,95	9	3	1504872483755	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113461	14,271481	1	64,69	1,79	1,79	0,32	9	3	1504872487303	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113323	14,272252	1	64,69	39,00	39,00	0,32	9	3	1504872497217	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113323	14,272252	1	64,69	39,00	39,00	0,32	9	3	1504872497217	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113822	14,272688	1	64,69	1,85	1,85	0,32	9	3	1504872505380	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113827	14,272704	1	64,69	1,80	1,80	0,32	9	3	1504872505904	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113827	14,272704	1	64,69	1,80	1,80	0,32	9	3	1504872505904	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5
4218593	7	50,113861	14,272830	1	64,69	2,16	2,16	0,32	9	3	1504872509480	G-EUYD	A320-232	British Airways	9,5

Tabulka 29: G-EZRH - EasyJet - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4223682	7	50,104580	14,255068	1	78,75	0,30	0,30	0,26	4	3	1504854457006	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,104637	14,255538	1	78,75	0,46	0,46	0,26	4	3	1504854460340	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,104686	14,255893	1	78,75	0,01	0,01	0,26	4	3	1504854463151	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,112181	14,267139	1	56,25	-0,33	0,33	8,76	8	3	1504857033779	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,112350	14,267428	1	64,69	-8,76	8,76	0,32	8	3	1504857039635	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,112367	14,267770	1	64,69	-0,04	0,04	0,32	8	3	1504857040240	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,112385	14,267825	1	64,69	-0,19	0,19	0,32	8	3	1504857040745	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113030	14,270015	1	64,69	0,91	0,91	0,32	9	3	1504857062662	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113053	14,270053	1	64,69	-0,32	0,32	0,32	9	3	1504857063169	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113507	14,271593	1	64,69	0,45	0,45	0,32	9	3	1504857076190	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113552	14,271692	1	64,69	-1,07	1,07	0,32	9	3	1504857077407	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113552	14,271764	1	64,69	1,11	1,11	0,32	9	3	1504857077407	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113827	14,272632	1	64,69	-0,38	0,38	0,32	9	3	1504857084271	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9
4223682	7	50,113838	14,272686	1	64,69	0,10	0,10	0,32	9	3	1504857084675	G-EZRH	A320-214	EasyJet	0,9

Tabulka 30: OK-TVE - Travel Service - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4837519	8	50,112282	14,267518	1	64,69	0,91	0,91	0,32	8	3	1504851147435	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,112309	14,267621	1	64,69	1,34	1,34	0,32	8	3	1504851148444	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113356	14,271147	1	64,69	2,26	2,26	0,32	9	3	1504851183257	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113369	14,271222	1	64,69	3,20	3,20	0,32	9	3	1504851183853	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113437	14,271444	1	64,69	3,01	3,01	0,32	9	3	1504851185670	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113589	14,271927	1	64,69	2,33	2,33	0,32	9	3	1504851189599	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113678	14,272234	1	64,69	2,62	2,62	0,32	9	3	1504851192115	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113827	14,272433	1	64,69	-6,40	6,40	0,32	9	3	1504851196663	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113827	14,272722	1	64,69	2,35	2,35	0,32	9	3	1504851196663	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	8	50,113880	14,272873	1	64,69	1,58	1,58	0,32	9	3	1504851197971	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113472	14,271511	1	64,69	1,55	1,55	0,32	9	3	1504870690217	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113483	14,271565	1	64,69	2,03	2,03	0,32	9	3	1504870690734	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113542	14,271760	1	64,69	1,98	1,98	0,32	9	3	1504870692202	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113655	14,272035	1	64,69	-1,09	1,09	0,32	9	3	1504870695093	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113804	14,272650	1	64,69	2,48	2,48	0,32	9	3	1504870698337	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2
4837519	7	50,113856	14,272836	1	67,50	2,81	2,81	2,49	9	3	1504870699792	OK-TVE	B737-86Q	Travel Service	14,2

Tabulka 31: OK-OER - Czech Airlines - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG HDG	Pos. Error Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4837565	8	50,113321	14,270980	1	64,69	0,73	0,73	0,32	9	3	1504853313998	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113380	14,271204	1	64,69	1,50	1,50	0,32	9	3	1504853314512	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113414	14,271277	1	64,69	0,31	0,31	0,32	9	3	1504853315107	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113461	14,271457	1	64,69	1,07	1,07	0,32	9	3	1504853316423	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113495	14,271547	1	64,69	0,33	0,33	0,32	9	3	1504853317323	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113506	14,271620	1	64,69	1,36	1,36	0,32	9	3	1504853317726	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113518	14,271656	1	64,69	1,30	1,30	0,32	9	3	1504853318234	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113542	14,271816	1	64,69	3,67	3,67	0,32	9	3	1504853319044	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113575	14,271855	1	64,69	1,54	1,54	0,32	9	3	1504853320146	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113600	14,271908	1	64,69	0,59	0,59	0,32	9	3	1504853320650	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113277	14,272053	1	64,69	37,61	37,61	0,32	9	3	1504853322465	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113655	14,272108	1	64,69	1,10	1,10	0,32	9	3	1504853322963	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113705	14,272279	1	64,69	1,25	1,25	0,32	9	3	1504853325398	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113717	14,272298	1	64,69	0,63	0,63	0,32	9	3	1504853325999	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1
4837565	8	50,113873	14,272848	1	64,69	1,55	1,55	0,32	9	3	1504853334066	OK-OER	A319-112	Czech Airlines	9,1

Tabulka 32: YR-ASC - TAROM - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4851299	8	50,112339	14,267699	1	64,69	0,60	0,60	0,32	8	3	1504867966896	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,112373	14,267807	1	22,50	0,42	0,42	42,51	8	3	1504867968123	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,112740	14,267807	1	22,50	-36,58	36,58	42,51	8	3	1504867968123	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,112385	14,267843	1	67,50	0,36	0,36	2,49	8	3	1504867968541	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113037	14,270030	1	64,69	0,64	0,64	0,32	9	3	1504867992019	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113426	14,270758	1	64,69	-16,59	16,59	0,32	9	3	1504868004520	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113507	14,271593	1	64,69	0,45	0,45	0,32	9	3	1504868008504	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113368	14,271723	1	64,69	18,49	18,49	0,32	9	3	1504868010577	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113564	14,271746	1	61,88	-0,59	0,59	3,14	9	3	1504868011003	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113810	14,272576	1	244,69	-0,35	0,35	0,32	9	3	1504868030391	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113810	14,272576	1	64,69	-0,35	0,35	0,32	9	3	1504868030391	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113833	14,272094	1	64,69	-17,30	17,30	0,32	9	3	1504868039415	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113833	14,272688	1	64,69	0,67	0,67	0,32	9	3	1504868039415	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113845	14,272706	1	64,69	0,06	0,06	0,32	9	3	1504868040875	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113827	14,272686	1	64,69	1,26	1,26	0,32	9	3	1504868041294	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113792	14,272686	1	64,69	4,73	4,73	0,32	9	3	1504868042673	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113833	14,272688	1	64,69	0,67	0,67	0,32	9	3	1504868046130	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113838	14,272686	1	64,69	0,10	0,10	0,32	9	3	1504868047268	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113838	14,272686	1	64,69	0,10	0,10	0,32	9	3	1504868047268	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113884	14,272830	1	64,69	-0,15	0,15	0,32	9	3	1504868100967	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113884	14,272830	1	64,69	-0,15	0,15	0,32	9	3	1504868100967	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6
4851299	8	50,113895	14,272848	1	64,69	-0,76	0,76	0,32	9	3	1504868102429	YR-ASC	A318-100	TAROM	10,6



Tabulka 33: TC-JTG - Turkish Airlines – data A

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4958855	7	50,105221	14,242853	1	36,56	7,52	7,52	1,55	5	3	1504852835325	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,105312	14,242853	1	36,56	1,67	1,67	1,55	5	3	1504852835325	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,105163	14,242698	1	213,75	2,14	2,14	1,26	5	3	1504852842284	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104511	14,255104	1	78,75	8,30	8,30	0,26	4	3	1504852958549	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104534	14,254742	1	78,75	0,83	0,83	0,26	4	3	1504852959970	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104546	14,254779	1	78,75	0,06	0,06	0,26	4	3	1504852960374	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104581	14,255039	1	78,75	-0,21	0,21	0,26	4	3	1504852962997	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104581	14,255039	1	67,50	-0,21	0,21	11,51	4	3	1504852962997	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104593	14,255188	1	78,75	0,55	0,55	0,26	4	3	1504852964705	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104593	14,255188	1	78,75	0,55	0,55	0,26	4	3	1504852964705	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104626	14,255447	1	53,44	0,48	0,48	25,57	4	3	1504852968147	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104626	14,255447	1	75,94	0,48	0,48	3,07	4	3	1504852968147	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104627	14,255466	1	73,13	0,54	0,54	5,88	4	3	1504852968645	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104639	14,255485	1	73,13	-0,48	0,48	5,88	4	3	1504852969649	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104637	14,255520	1	78,75	0,21	0,21	0,26	4	3	1504852971568	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104683	14,255845	1	67,50	-0,35	0,35	11,51	4	3	1504852988135	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104683	14,255845	1	78,75	-0,35	0,35	0,26	4	3	1504852988135	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,104686	14,255893	1	78,75	0,01	0,01	0,26	4	3	1504852989648	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3

Tabulka 34: TC-JTG - Turkish Airlines – data B

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
4958855	7	50,112285	14,267492	1	59,06	-0,24	0,24	5,95	8	3	1504856715459	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,112328	14,267644	1	64,69	0,12	0,12	0,32	8	3	1504856716772	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113414	14,271259	1	64,69	-0,25	0,25	0,32	9	3	1504856755428	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113472	14,271463	1	64,69	0,05	0,05	0,32	9	3	1504856758054	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113472	14,271463	1	64,69	0,05	0,05	0,32	9	3	1504856758054	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113519	14,271611	1	64,69	-0,16	0,16	0,32	9	3	1504856759874	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113564	14,271782	1	64,69	0,50	0,50	0,32	9	3	1504856762196	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113564	14,271782	1	64,69	0,50	0,50	0,32	9	3	1504856762196	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113798	14,272558	1	64,69	0,27	0,27	0,32	9	3	1504856776641	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113845	14,272706	1	64,69	0,06	0,06	0,32	9	3	1504856779268	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113868	14,272781	1	64,69	-0,05	0,05	0,32	9	3	1504856780779	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113868	14,272781	1	64,69	-0,05	0,05	0,32	9	3	1504856780779	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113880	14,272799	1	64,69	-0,66	0,66	0,32	9	3	1504856781183	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3
4958855	7	50,113891	14,272836	1	64,69	-0,72	0,72	0,32	9	3	1504856781688	TC-JTG	A321-231	Turkish Airlines	2,3

Tabulka 35:EI-FZV - Ryanair - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
5024685	8	50,104568	14,255014	1	78,75	0,81	0,81	0,26	4	3	1504855979844	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	8	50,104614	14,255393	1	78,75	0,99	0,99	0,26	4	3	1504855982270	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	8	50,104627	14,255485	1	78,75	0,79	0,79	0,26	4	3	1504855982676	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	8	50,104662	14,255819	1	78,75	1,54	1,54	0,26	4	3	1504855985202	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	8	50,104674	14,255819	1	78,75	0,27	0,27	0,26	4	3	1504855985202	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	7	50,104465	14,255104	1	78,75	13,31	13,31	0,26	4	3	1504869638939	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	7	50,104569	14,255169	1	78,75	2,84	2,84	0,26	4	3	1504869639961	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	7	50,104580	14,255231	1	78,75	2,52	2,52	0,26	4	3	1504869640574	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	7	50,104580	14,255231	1	78,75	2,52	2,52	0,26	4	3	1504869640574	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1
5024685	7	50,104660	14,255845	1	78,75	2,16	2,16	0,26	4	3	1504869646936	EI-FZV	B737-8AS	Ryanair	1

Tabulka 36: A6-FDY - FlyDubai - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
9003824	7	50,104558	14,254946	1	78,75	1,07	1,07	0,26	4	3	1504867601730	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104580	14,255086	1	78,75	0,54	0,54	0,26	4	3	1504867603160	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104593	14,255225	1	78,75	1,06	1,06	0,26	4	3	1504867604572	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104593	14,255225	1	78,75	1,06	1,06	0,26	4	3	1504867604572	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104651	14,255614	1	78,75	0,02	0,02	0,26	4	3	1504867609457	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104651	14,255689	1	78,75	1,04	1,04	0,26	4	3	1504867610495	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104683	14,255899	0	0,00	0,39	0,39	-	4	3	1504867614880	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104683	14,255827	0	0,00	-0,59	0,59	-	4	3	1504867614880	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,104706	14,254941	0	0,00	-15,21	15,21	-	4	3	1504867622418	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,105675	14,252812	1	33,75	8,43	8,43	45,26	7	3	1504867654634	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,112262	14,267473	1	64,69	1,55	1,55	0,32	8	3	1504872165445	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,112362	14,267771	1	64,69	0,48	0,48	0,32	8	3	1504872169124	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,112865	14,270644	1	64,69	36,58	36,58	0,32	9	3	1504872194447	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113369	14,271150	1	64,69	1,02	1,02	0,32	9	3	1504872216447	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113369	14,271150	1	64,69	1,02	1,02	0,32	9	3	1504872216447	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113437	14,271407	1	64,69	1,89	1,89	0,32	9	3	1504872219478	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113472	14,271493	1	64,69	1,00	1,00	0,32	9	3	1504872220485	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113484	14,271556	1	64,69	1,68	1,68	0,32	9	3	1504872220990	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113186	14,271638	1	199,69	34,28	34,28	45,32	9	3	1504872223700	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113856	14,272781	1	64,69	1,13	1,13	0,32	9	3	1504872235766	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3
9003824	7	50,113880	14,272873	1	64,69	1,58	1,58	0,32	9	3	1504872237336	A6-FDY	B737-8KN	FlyDubai	6,3

Tabulka 37: N844MH - Delta Air Lines - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
11243472	7	50,113007	14,269960	1	61,88	1,58	1,58	3,14	9	3	1504872683110	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113358	14,271150	1	67,50	2,17	2,17	2,49	9	3	1504872702784	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113356	14,271185	1	45,00	3,38	3,38	20,01	9	3	1504872703128	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113380	14,271240	1	64,69	2,60	2,60	0,32	9	3	1504872704466	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113437	14,271426	1	64,69	2,45	2,45	0,32	9	3	1504872707837	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113461	14,271493	1	61,88	2,16	2,16	3,14	9	3	1504872708867	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113483	14,271547	1	61,88	1,49	1,49	3,14	9	3	1504872709917	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113483	14,271547	1	61,88	1,49	1,49	3,14	9	3	1504872709917	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113483	14,271565	1	61,88	2,03	2,03	3,14	9	3	1504872710335	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113496	14,271630	1	64,69	2,75	2,75	0,32	9	3	1504872711391	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113507	14,271649	1	64,69	2,14	2,14	0,32	9	3	1504872711801	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113531	14,271704	1	64,69	1,47	1,47	0,32	9	3	1504872712744	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113589	14,271908	1	61,88	1,77	1,77	3,14	9	3	1504872716186	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113717	14,272335	1	45,00	1,76	1,76	20,01	9	3	1504872724717	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113775	14,272521	1	5,63	1,49	1,49	59,39	9	3	1504872728800	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113775	14,272521	1	5,63	1,49	1,49	59,39	9	3	1504872728800	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113822	14,272614	1	5,63	-0,40	0,40	59,39	9	3	1504872732674	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2
11243472	7	50,113833	14,272725	1	5,63	1,79	1,79	59,39	9	3	1504872733714	N844MH	B767-432	Delta Air Lines	16,2

Tabulka 38: C-GPAT - Air Transat - data

ICAO Adress	Type Code	Latitude	Longitude	HDG Status	HDG	Pos. Error	Pos. Error (Abs)	HDG Error	TWY ID	Prijimac	UNIX Time	Registrace	Typ A/C	Operator	Age
12610648	8	50,112204	14,267176	1	56,25	-1,56	1,56	8,76	8	3	1504867768361	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,112320	14,267547	1	64,69	-2,08	2,08	0,32	8	3	1504867772739	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,112465	14,268006	1	64,69	-2,82	2,82	0,32	8	3	1504867777872	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,112541	14,268271	1	64,69	-2,51	2,51	0,32	8	3	1504867781067	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,113037	14,269903	1	64,69	-3,19	3,19	0,32	9	3	1504867799937	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,113037	14,269903	1	64,69	-3,19	3,19	0,32	9	3	1504867799937	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,113042	14,269997	1	64,69	-0,82	0,82	0,32	9	3	1504867800458	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,113822	14,272651	1	67,50	0,72	0,72	2,49	9	3	1504867828307	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7
12610648	8	50,114147	14,272539	1	53,44	35,57	35,57	11,57	9	3	1504867866519	C-GPAT	A310-308	Air Transat	26,7