



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÁ

Bc. Simon Tési

Analýza indikátorov kvality v ADS-B správach

Diplomová práca

2016



K621..... Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Simon Tési

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Analýza indikátorů kvality v ADS-B zprávách**

Název tématu (anglicky): Analysis of Quality Indicators in ADS-B Messages

Zásady pro vypracování

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

- Popis indikátorů kvality užívaných v 1090ES ADS-B zprávách
- Vytvoření softwarového nástroje pro statistické sledování hodnot indikátorů kvality
- Implementace nástroje na platformě ATM laboratoře ÚLD
- Statistické vyhodnocení reálných hodnot indikátorů kvality v prostoru ČR
- Zhodnocení minimálních požadavků ATM aplikací na kvalitu užívaných ADS-B dat z hlediska hodnot indikátorů kvality

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

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

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2015**
(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: **30. listopadu 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




.....
doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy


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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



.....
Bc. Simon Tési
jméno a podpis studenta

V Praze dne 1. července 2016

Čestné prehlásenie

Nemám závažný dôvod proti užívaniu tohto školného diela v zmysle § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne, a že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o etickej príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dňa 24. 11. 2016

Podpis 

Pod'akovanie

Týmto by som rád poďakoval vedúcemu práce Ing. Stanislavovi Pleningerovi, PhD. za cenné rady, pomoc a vedenie práce.

Abstrakt

Autor: Simon Tési

Názov diplomovej práce: Analýza indikátorov kvality v ADS-B správach

Škola: České vysoké učenie technické v Prahe, Fakulta dopravná

Rok vydania: Praha 2016

Počet strán: 76

Počet príloh: 1 (CD)

Kľúčové pojmy: prehľadový systém ADS-B, ICAO verzia certifikácie, ukazovatele kvality

Diplomová práca približuje parametre kvality, ktoré sú získavané z ADS-B správ, poskytuje prierez verziami certifikácie ADS-B správ. Porovnáva rozdiely medzi verziami a ukazuje vývoj ADS-B správ. K dosiahnutiu hlavného cieľa práce bolo potreba vytvoriť nástroj na príjem a analýzu ADS-B dát. Ten je priložený v prílohe. Vývoj nástroja a návod k nemu je súčasťou práce. Hlavným cieľom je štatistické vyhodnotenie dát a ich porovnanie s požiadavkami na kvalitu v Európe. Práca sa venuje výsledkom štatistiky a zhodnoteniu úrovne kvality.

Abstract

Author: Simon Tési

Name of diploma thesis: Analysis of Quality Indicators in ADS-B Messages

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Year of issue: Prague 2016

Number of pages: 76

Number of inserts: 1 (CD)

Key terms: Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B), ICAO Version of Certification, Quality Indicators

Diploma thesis informs about quality indicators, which are received in ADS-B messages, provides a review of the ADS-B versions of certification. Thesis compares differences among the versions and shows the development of the ADS-B messages. It was necessary to create a receiving and analyzing tool of the ADS-B messages to achieve the main objective. The tool is attached. The development of the tool and a user manual for it are parts of the thesis. The main objective is a statistical evaluation and a comparison of the statistics with quality requirements in Europe. The thesis is focused on the statistics results and reviewing the quality level of the ADS-B messages.

.

Obsah

1	Úvod	9
2	Určenie kvality polohových informácií	10
2.1	Presnosť	10
2.2	Integrita	10
3	Vývoj ADS-B správ	11
3.1	ICAO verzie certifikácie	12
3.1.1	ICAO Version 0	13
3.1.2	ICAO Version 1	14
3.1.3	ICAO Version 2	19
3.2	Rozdiely v ICAO verziách	23
3.2.1	NIC nahradzuje NUC	23
3.2.2	SIL ako Surveillance Integrity Level vs. Source Integrity Level	25
3.2.3	Zavedenie a rozdiely v definovaní NAC _P	26
4	Vytvorenie softwarového nástroja	27
4.1	Pôvodný program	27
4.2	Úprava nástroja na príjem dát	28
4.2.1	Užívateľské rozhranie	28
4.2.2	Príjem dát	29
4.2.3	Štruktúra a obsah výpisu	29
4.2.4	Zápis konečnej verzie	30
4.3	Vytvorenie nástroja na analýzu dát	32
4.3.1	Úprava Config súboru	32
4.3.2	Vytvorenie výstupu analýzy	32
4.3.3	Nastavenie analýzy	33
4.3.4	Proces analýzy dát	34

5	Implementácia nástroja na platforme ATM laboratória ÚLD	36
5.1	Návod na používanie programu AnalyzeADSB_v1.0	36
5.1.1	Úvod.....	36
5.1.2	Konfigurácia pred spustením	36
5.1.3	Spustenie programu	37
5.1.4	Popis.....	38
5.1.5	Karta pre príjem/zápis správ	39
5.1.6	Zápis správ	39
5.1.7	Karta pre analýzu dát	39
5.1.8	Výber časového rozsahu	40
5.1.9	Ohraničenie	40
5.1.10	Spustenie analýzy dát.....	41
5.1.11	Výstup analýzy	42
5.2	Konkrétna práca v prostredí laboratória ÚLD	43
6	Štatistické zhodnotenie prijatých dát	44
6.1	Prijaté dáta.....	44
6.1.1	Spracovanie všetkých prijatých dát programom.....	44
6.2	Podiel jednotlivých verzií	45
6.3	Zhodnotenie dát ICAO verzie 0 za celé obdobie	46
6.3.1	Airborne Position správy vo verzií 0 za celé obdobie	47
6.3.2	Surface Position správy vo verzií 0 za celé obdobie	48
6.3.3	Zastúpenie NUCp	49
6.4	Zhodnotenie dát ICAO verzie 1 za celé obdobie	50
6.4.1	Airborne Position správy vo verzií 1 za celé obdobie	51
6.4.2	Surface Position správy vo verzií 1 za celé obdobie	52
6.4.3	NIC v ICAO verzií certifikácie 1 za celé obdobie.....	53
6.4.4	SIL v správach ICAO verzie 1 za celé obdobie.....	54

6.4.5	Presnosť v správach ICAO verzie 1 za celé obdobie.....	55
6.5	Zhodnotenie dát ICAO verzie 2 za celé obdobie	57
6.5.1	Airborne Position správy ICAO verzie certifikácie 2 za celé obdobie.....	58
6.5.2	Surface Position správ v ICAO verzií certifikácie 2 za celé obdobie.....	59
6.5.3	NIC v ICAO verzií certifikácie 2 za celé obdobie.....	60
6.5.4	SIL v ICAO verzií certifikácie 2 za celé obdobie.....	61
6.5.5	Presnosť v správach ICAO verzie certifikácie 2 za celé obdobie.....	62
6.5.6	Zhodnotenie výsledkov podľa ICAO verzie certifikácie.....	64
7	Zhodnotenie parametrov kvality z hľadiska požiadaviek ATM aplikácií.....	66
7.1	Oblasť bez radarového pokrytia (NRA).....	66
7.2	Oblasť s radarovým pokrytím (RAD)	67
7.3	Hodnoty integrity vo všetkých správach.....	68
7.3.1	Integrita podľa parametra Rc	68
7.3.2	Integrita v ICAO verziách 1 a 2 podľa parametra SIL	70
7.4	Presnosť vo všetkých správach	71
7.5	Zhodnotenie.....	73
8	Záver.....	74
	Zoznam použitej literatúry	75
	Príloha 1 - decode.adsb.v1.0.jar (CD)	77

1 Úvod

Cieľom diplomovej práce je v prvom rade štatistické zhodnotenie dát prijatých z ADS-B prijímača nad územím Českej republiky, z hľadiska kvalitatívnych ukazovateľov. S tým je spojené stručné oboznámenie čitateľa s problematikou, priblíženie rozdielov medzi verziami ADS-B správ, vytvorenie nástroja na príjem a spracovanie dát a návod k používaniu tohto nástroja.

Začiatok práce má za úlohu priblíženie problematiky kvalitatívnych ukazovateľov v ADS-B správach. Priblížiť jednotlivé verzie s parametrami, priblížiť význam jednotlivých parametrov a vysvetliť rozdiely medzi nimi. Dôraz by mal byť kladený na ich prehľadné zobrazenie. Mali by sa spomenúť nevýhody, ktoré boli postupne odstraňované, až vznikla aktuálna verzia.

Druhá časť práce má popísať vývoj nástroja, ktorý je potrebný pre príjem a zápis dát z prijímača. Priblížiť formu a štruktúru výstupu z nástroja a následné spracovanie dát. Súčasťou by mal byť užívateľský návod k nástroju, ktorý zabezpečí možnosť využitia nástroja v budúcnosti.

Posledná časť práce približuje štatistické zhodnotenie prijatých dát. Štatistika má ukázať zastúpenie ADS-B verzií, zastúpenie typov správ a prípadne odôvodniť výsledky. Ďalej by mali byť dáta porovnané s reálnymi požiadavkami na kvalitu a zistiť v akom množstve dáta vyhovujú daným požiadavkám.

2 Určenie kvality polohových informácií

Kvalitu polohových informácií definujú 4 parametre. Je to presnosť, integrita, kontinuita a dostupnosť. V ADS-B správach sa definuje presnosť a integrita.

2.1 Presnosť

Presnosť je rozdiel medzi polohou hlásenou navigačným systémom a skutočnou polohou lietadla. Presnosť je možné definovať v 1-rozmernom, 2-rozmernom alebo 3-rozmernom priestore. V našom prípade nás zaujíma 2-rozmerný priestor: [1]

- x percentil: znamená, že x% počítaných hlásení polohy bude mať presnosť rovnú alebo menšiu ako uvedená hodnota presnosti. Napríklad presnosť 0,1 NM v 95%.
- CEP (Circular Error Probable): 50% hlásených polôh má presnosť rovnú alebo menšiu ako definovaná hodnota presnosti
- RMS (Root Mean Square): je to odmocnina z priemeru druhej mocniny chyby. V normálnom rozdelení pre 2-rozmerný priestor to korešponduje percentilu 63%.
- x sigma: 1 sigma je jedna štandardná odchylka, x sigma je x-krát 1 sigma. V normálnom rozdelení je 1 sigma v 2-rozmernom definovaní 39%.

V ADS-B sa vyžíva pre presnosť percentil 95%.

2.2 Integrita

Je parametrom dôvery v správnosť informácie poskytovanej navigačným systémom. Definuje aj schopnosť systému upozorniť používateľa v prípade, že systém by nemal byť používaný pre navigáciu. Pre definovanie integrity sa vyžíva niekoľko parametrov [1], sú to:

- Alert Limit: Je to hranica pre daný parameter, pri ktorej prekročení systém vyšle upozornenie (alert).
- Time to Alert: Maximálny možný čas, ktorý môže ubehnúť od okamžiku kedy sa systém ocitne mimo tolerancie po okamžik kedy o tejto skutočnosti vyšle upozornenie.
- Integrity Risk: Pravdepodobnosť, že nastane prekročenie Alert Limit-u
- Protection Level: Štatistická hranica chyby vypočítaná v tom zmysle, že šanca prekročenia tejto hranice bude rovná Integrity Risk-u.

Z ADS-B správy zisťujeme Integrity Risk a Protection Level.

3 Vývoj ADS-B správ

Štruktúra ADS-B správ prešla za dobu odkedy bola prvý krát definovaná určitým vývojom. Základ ADS-B správy zostal nezmenený. To znamená, že rozdelenie typov správ, CPR dekódovanie polohy a ďalšie elementárne prvky zostali nezmenené. K zmenám a úpravám kódovania prichádzalo aj v základných údajoch, napríklad bolo čiastočne pozmenené kódovanie rýchlosti v Surface Position správe, a podobných zmien sa vyskytuje niekoľko. Najvýraznejšie zmeny však súvisia s určovaním presnosti a kvality dát získaných z družicovej navigácie, teda dát využívaných k určovaniu polohy. Rôzne ADS-B aplikácie vyžadujú k svojmu chodu určitú kvalitu a práve indikátory kvality prešli vývojom. Preto je celkom zložité rozlišovať a zisťovať presnosť získaných dát nakoľko indikátory presnosti sa pre rôzne vývojové typy líšia.

ADS-B je momentálne (v budúcnosti sa počíta s oveľa širším využitím) v niektorých letových priestoroch využívané riadiacimi zložkami k riadeniu letovej prevádzky, a umožňuje zmenšenie minimálnych rozstupov medzi lietadlami napríklad na trati kde nie je radarové pokrytie. Na to aby mohlo lietadlo letieť v tomto priestore za použitia znížených rozstupov, musí byť jeho ADS-B Out systém náležite certifikovaný. [2]

Pôvodne sa implementácia v Európe, respektíve v štátoch, ktoré podliehajú právomoci EASA, plánovala nasledovne. Retrofit, to znamená povinné vybavenie ADS-B Out aj pre lietadlá už v prevádzke, sa plánoval na rok 2017, konkrétne 7. decembra 2017. Forward fit, to znamená povinné vybavenie nových lietadiel systémom ADS-B Out pre lietadlá s individuálnym osvedčením o letovej spôsobilosti prvýkrát vydaným 8. januára 2015 alebo neskôr. Avšak tento plán už nie je aktuálny. Momentálny plán hovorí o implementácií ADS-B od 8. júna 2016 pre nové lietadlá (forward fit) a do 7. júna 2020 sú povinné všetky ostatné lietadlá splňať požiadavky EASA pre ADS-B (retrofit). [3] [4] [2]

Dôvody, pre ktoré došlo k odkladu môžu byť rôzne. Je možné, že pre prevádzkovateľov boli pôvodné termíny šibeničné, a EASA ustúpila ich tlaku. Do tejto teórie by mala viesť viac svetla moja práca, nakoľko z práce bude jasný počet lietadiel využívajúcich ADS-B a letiacich cez letový priestor Českej republiky. Ďalším dôvodom

môže byť priblíženie sa termínom USA, pretože významná časť európskej leteckej dopravy je previazaná s tou americkou. V USA je naplánovaný retrofit na dátum 31. decembra 2019 [5]. Aj proti tomuto termínu je v USA vznášaná kritika zo strany leteckých dopravcov, ale FAA nevydala zatiaľ žiadne vyhlásenie, ktoré by naznačovalo posunutie doteraz plánovaného dátumu.

3.1 ICAO verzie certifikácie

ADS-B štandard bol prvý krát definovaný v roku 2000, a to dokumentmi EUROCAE ED-102, RTCA DO-260 a RTCA DO-242. Odvtedy sa ale nároky na ADS-B menili, a preto došlo k zmenám, doplneniu respektíve pozmeneniu určitých častí správ. Dokumenty boli pozmenené dva krát. Bližšie si tieto dokumenty priblížime neskôr. Keďže tieto úpravy prichádzali postupne, tak v prevádzke sa nachádzajú lietadlá vysielajúce podľa rôznych štandardov. Označované sú ako ICAO version (ICAO verzie certifikácie), a pre dekódovanie správy je nutné poznať verziu podľa ktorej vysielateľ kóduje správy. Sú to:

- ICAO version 0 : Definovaná dokumentmi EUROCAE ED-102, RTCA DO-260 a RTCA DO-242 v roku 2000 [6]
- ICAO version 1 : Definovaná dokumentmi RTCA DO-260A a RTCA DO-242A v roku 2003 [7]
- ICAO version 2 : Definovaná dokumentmi EUROCAE ED-102A, RTCA DO-260B a RTCA DO-242B v roku 2009 [8]

V ADS-B správe je informácia o tom, o ktorú verziu sa jedná, zakódovaná v type správy „Aircraft Operational Status“, ktorý je definovaný TYPE kódom 31. Avšak napríklad pôvodná verzia, verzia 0, vôbec neobsahuje informáciu o verzii, keďže sa nepredpokladala nutnosť jej označenia. Preto prijímač ADS-B správ pri dekódovaní postupuje nasledovne. [6] [7] [8]

ADS-B prijímač ICAO verzie 2 pri prijímaní správ bude predpokladať, že sú kódované podľa ICAO verzie 0, pokiaľ nie je prijatá správa „Aircraft Operational Status Message“ a v nej je definované, že sa jedná o inú ako ICAO verziu 0. Preto tento prijímač pri prijatí „Aircraft Operational Status Message“ najprv dekóduje ME bity 41-43, v ktorých je zakódovaná informácia, o ktorú ICAO verziu sa jedná. Tento postup zaručuje

správne dekódovanie, nakoľko správy formátu ICAO verzie 0 neobsahujú toľko informácií, a teda je to najbezpečnejší spôsob. Základnou informáciou, ktorú poskytuje ADS-B, je informácia o polohe. Kódovanie tejto informácie sa naprieč všetkými verziami nemení. K zmenám dochádza pri iných informáciách. Celá moja práca sa venuje ukazovateľmi kvality v ADS-B správach, preto si ich v nasledujúcom texte priblížime pre každú verziu zvlášť. Zvlášť, pretože pri ukazovateľoch kvality dochádza pri každej verzii k zmenám. [6] [7] [8]

3.1.1 ICAO Version 0

3.1.1.1 NUC (NUC_P, NUC_R) Navigation Uncertainty Category

Jeden parameter reprezentuje požiadavky na úroveň presnosti a integrity dát v správe. NUC_P pre polohu a NUC_R pre rýchlosť. [6]

Ako je možné poznať z *tabuľky 3-1*, parameter NUC_P je závislý na iných parametroch. Sú nimi: HPL(horizontal protection limit) a μ resp. v (95% containment radius). HPL je polomerom kružnice v horizontálnej rovine (rovine zosúladenej s WGS-84 elipsoidom) so stredom v bode pravej polohy lietadla. Opisuje priestor v ktorom sa nachádza indikovaná poloha s pravdepodobnosťou vychádzajúcou z integrity. v/μ definuje presnosť oblasťou výskytu v ktorej sa nachádza 95 % indikovaných polôh. [6]

Tabuľka 3-1 : NUC_P parametre vo verzii 0 [6]

Type Code	Format	Horizontal Protection Limit, HPL	95% Containment Radius, μ and v , On Horizontal and Vertical Position Error	Altitude Type	NUC_P
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 m $\leq \mu < 10$ m	No Altitude Information	8
7	Surface Position	HPL < 185.2 m (0.1 NM)	10 m $\leq \mu < 92.6$ m (0.05 NM)	No Altitude Information	7
8	Surface Position	HPL ≥ 185.2 m (0.1 NM)	(0.05 NM) 92.6 m $\leq \mu$	No Altitude Information	6
9	Airborne Position	HPL < 7.5 m	$\mu < 3$ m	Baro Altitude	9
10	Airborne Position	7.5 m \leq HPL < 25 m	3 m $\leq \mu < 10$ m	Baro Altitude	8
11	Airborne Position	25 m \leq HPL < 185.2 m (0.1 NM)	10 m $\leq \mu < 92.6$ m (0.05 NM)	Baro Altitude	7
12	Airborne Position	185.2 m (0.1 NM) \leq HPL < 370.4 m (0.2 NM)	92.6 m (0.05 NM) $\leq \mu < 185.2$ m (0.1 NM)	Baro Altitude	6
13	Airborne Position	380.4 m (0.2 NM) \leq HPL < 926 m (0.5 NM)	185.2 m (0.1 NM) $\leq \mu < 463$ m (0.25 NM)	Baro Altitude	5
14	Airborne Position	926 m (0.5 NM) \leq HPL < 1852 m (1.0 NM)	463 m (0.25 NM) $\leq \mu < 926$ m (0.5 NM)	Baro Altitude	4
15	Airborne Position	1852 m (1.0 NM) \leq HPL < 3704 m (2.0 NM)	926 m (0.5 NM) $\leq \mu < 1.852$ km (1.0 NM)	Baro Altitude	3
16	Airborne Position	7.704 km (2.0 NM) \leq HPL < 18.52 km (10 NM)	1.852 km (1.0 NM) $\leq \mu < 9.26$ km (5.0 NM)	Baro Altitude	2
17	Airborne Position	18.52 km (10 NM) \leq HPL < 37.04 km (20 NM)	9.26 km (5.0 NM) $\leq \mu < 18.52$ km (10.0 NM)	Baro Altitude	1
18	Airborne Position	HPL ≥ 37.04 km (20 NM)	18.52 km (10.0 NM) $\leq \mu$	Baro Altitude	0
19	Airborne Velocity	Not Applicable	Not Applicable	Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"	N/A
20	Airborne Position	HPL < 7.5 m	$\mu < 3$ m and $v < 4$ m	GNSS Height (HAE)	9
21	Airborne Position	HPL < 25 m	$\mu < 10$ m and $v < 15$ m	GNSS Height (HAE)	8
22	Airborne Position	HPL ≥ 25 m	$\mu \geq 10$ m or $v \geq 15$ m	GNSS Height (HAE)	TBD

Parameter pre rýchlosť, NUC_R , je závislý na parametroch HFOM (horizontal figure of merit) a VFOM (vertical figure of merit). Na základe týchto parametrov je určovaná jeho hodnota. Vid' tabuľka 3-2. [6]

Tabuľka 3-2 : NUC_R parametre vo verzii 0 [6]

HFOM _h value		VFOM _v value	NUC _R value
HFOM _h < 0.3 m/s (0.984 fps)	AND	VFOM _v < 0.46 m/s (1.5 fps)	4
HFOM _h < 1 m/s (3.28 fps)	AND	VFOM _v < 1.5 m/s (5.0 fps)	3
HFOM _h < 3 m/s (9.84 fps)	AND	VFOM _v < 4.6 m/s (15.0 fps)	2
HFOM _h < 10 m/s (32.8 fps)	AND	VFOM _v < 15.2 m/s (50 fps)	1
HFOM _h unknown \geq 10 m/s (32.8 fps)	OR	VFOM _v unknown \geq 15.2 m/s (50 fps)	0

3.1.2 ICAO Version 1

V tejto verzii sú parametre pre presnosť a integritu rozdelené. Definované sú nové parametre: NAC (NAC_P, NAC_V), NIC, SIL.

Vo verzii 1 vzniká závislosť na VPL (vertical protection limit). Týka sa to parametrov NIC a SIL. Ak VPL nie je možné určiť, potom musí byť SIL nastavený na

hodnotu 0. Podobná závislosť bola deklarovaná pre parameter NIC. Ak nie je možné určiť VPL, potom NIC nemôže nadobúdať hodnoty väčšie ako 8, aj keď sú dostupné dostatočne presné údaje horizontálnej polohy. [7]

3.1.2.1 NAC (Navigation Accuracy Category)

Tak ako NUC aj parameter NAC má dva typy a to NAC_V pre presnosť oznamovanej rýchlosti a NAC_P pre presnosť oznamovanej polohy. Parameter NAC je potrebný pre aplikácie, ktoré chcú polohové alebo rýchlostné údaje ďalej spracovať. Podľa parametra NAC môžu definovať použiteľnosť prijatých dát. Parametre NAC sa určuje podľa informácie obsiahnutej v type správy Aircraft Operational Status alebo Target State and Status. V týchto správach je uvedená priamo hodnota týchto parametrov. Dekódovanie týchto hodnôt je možné podľa tabuliek nižšie. [7]

Parameter EPU (estimated position uncertainty) používaný v *tabuľke 3-3* je 95% hranica presnosti pre horizontálnu polohu. Je to taký polomer kruhu so stredom v hlásenej polohe, že pravdepodobnosť reálnej polohy vyskytujúcej sa v kruhu je 95%. Pri GNSS systémoch je EPU nazývané HFOM (horizontal figure of merit). [7]

Tabuľka 3-3 : NAC_P parameter vo verzii 1 [7]

Encoding		Meaning = 95% Horizontal and Vertical Accuracy Bounds (EPU and VEPU)
(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 < 7.408 km (4 NM) - RNP-4 accuracy
0011	3	EPU < 3.704 km (2 NM) - RNP-2 accuracy
0100	4	EPU < 1852 m (1NM) - 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 and VEPU < 45 m - e.g., GPS (SA off)
1010	10	EPU < 10 m and VEPU < 15 m - e.g., WAAS
1011	11	EPU < 3 m and VEPU < 4 m - e.g., LAAS
1100 - 1111	12 - 15	Reserved

Tak ako parameter NAC_P , tak aj parameter NAC_V je možné jednoducho nájsť ako konkrétnu hodnotu v správe Target State And Status. NAC_V je závislé na parametroch $HFOM_R$ a $VFOM_R$. S kódovaním parametra to je zložitejšie, nakoľko závisí na zdroji, odkiaľ má vysielateľ údaj o parametroch $HFOM_R$ a $VFOM_R$. Prvý prípad je, ak sú tieto

hodnoty dostupné z externého zdroja. Potom je kódovanie parametra NAC_V podľa tabuľky nižšie. [7]

Tabuľka 3-4 : NAC_V parameter vo verzii 1 [7]

NAC_V value (Decimal)	HFOM _R value		VFOM _R value
4	HFOM _R < 0.3 m/s (0.984 fps)	AND	VFOM _R < 0.46 m/s (1.5 fps)
3	HFOM _R < 1 m/s (3.28 fps)	AND	VFOM _R < 1.52 m/s (5.0 fps)
2	HFOM _R < 3 m/s (9.84 fps)	AND	VFOM _R < 4.57 m/s (15.0 fps)
1	HFOM _R < 10 m/s (32.8 fps)	AND	VFOM _R < 15.24 m/s (50 fps)
0	HFOM _R unknown or HFOM _R ≥ 10 m/s (32.8 fps)	OR	VFOM _R unknown or VFOM _R ≥ 15.24 m/s (50 fps)

Ak externý zdroj neposkytuje HFOM/VFOM pre rýchlosť, ale poskytuje HFOM/VFOM pre polohu, potom je možné určiť NAC_V podľa tabuliek nižšie. Rozdiel je v tom, či je dostupná augmentácia systému.

Tabuľka 3-5 : Augmentácia je dostupná (EGNOS a pod.) [7]

NAC_V value (Decimal)	HFOM and VFOM values
4	HFOM ≤ 1 m and VFOM ≤ 5.85 ft
3	(HFOM > 1 m or VFOM > 5.85 ft) and HFOM ≤ 4.5 m, and VFOM ≤ 23.3 ft
2	(HFOM > 4.5 m or VFOM > 23.3 ft) and HFOM ≤ 14.5 m, and VFOM ≤ 73.3 ft
1	(HFOM > 14.5 m or VFOM > 73.3 ft) and HFOM ≤ 49.5 m, and VFOM ≤ 248 ft
0	HFOM > 49.5 m or VFOM > 248 ft

Tabuľka 3-6 : Augmentácia nie je dostupná [7]

NAC_V value (Decimal)	HFOM and VFOM values
2	HFOM ≤ 125 m, and VFOM ≤ 585 ft
0	HFOM > 475 m or VFOM > 2335 ft
1	(HFOM > 125 m or VFOM > 585 ft) and HFOM ≤ 475 m, and VFOM ≤ 2335 ft

Ak pre systém nie je dostupná žiadna externá hodnota HFOM/VFOM, potom je hodnota NAC_V nastavená na 0. [7]

3.1.2.2 NIC (Navigation Integrity Category)

Ako je vidieť na tabuľke 3-7 a tabuľke 3-8, parameter NIC je definovaný podľa TYPE a hodnoty NIC supplement. V tabuľke 3-8 sú hodnoty NIC približené a je tam definovaná závislosť na hodnote R_c . NIC nadobúda hodnoty od 0 do 11. NIC slúži na určenie integrity správy o polohe. Bližšie je určená horizontálne pomocou indikátora R_c (Radius of Containment), ktorý značí limitnú oblasť výskytu. Vo vertikálnej rovine sa pre

niektoré typy určuje integrita, a to podľa parametra VPL (Vertical Protection Limit). Význam VPL je podobný ako R_c , s tým že VPL definuje vertikálnu rovinu. Inak povedané R_c/VPL je oblasť okolo oznámenej polohy, v ktorej sa lietadlo nachádza s istou určitosťou. Táto určitosť je definovaná ďalším parametrom a to parametrom SIL. [7]

Tabuľka 3-7: TYPE kódy a iné informácie správ verzie 1 [7]

Type Code	Format (Message Type)	Horizontal Containment Limit (R_c) and Navigation Integrity Category (NIC)	Altitude Type	Notes
0	No Position Information (Airborne Position Message or Surface Position Message)	R_c unknown NIC = 0	Baro Altitude <i>or</i> No Altitude Information	1, 2, 3
1	Aircraft Identification and Type Message (§2.2.3.2.5)	<i>Not Applicable</i>	<i>Not Applicable</i>	Category Set D
2		<i>Not Applicable</i>	<i>Not Applicable</i>	Category Set C
3		<i>Not Applicable</i>	<i>Not Applicable</i>	Category Set B
4		<i>Not Applicable</i>	<i>Not Applicable</i>	Category Set A
5	Surface Position Message (§2.2.3.2.4)	$R_c < 7.5$ m NIC = 11	No Altitude Information	6
6		$R_c < 75$ m NIC = 9 or 10		
7		$R_c < 0.1$ NM (185.2 m) NIC = 8		
8		$R_c = 0.1$ NM (185.2 m) or unknown NIC = 0		
9	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	$R_c < 7.5$ m and VPL < 11 m NIC = 11	Baro Altitude	5
10		$R_c < 75$ m and VPL < 112 m NIC = 9 or 10		5, 6
11		$R_c < 0.1$ NM (185.2 m) NIC = 8		
12		$R_c < 0.2$ NM (370.4 m) NIC = 7		
13		$R_c < 0.6$ NM (1111.2 m) NIC = 6		
14		$R_c < 1.0$ NM (1852 m) NIC = 5		
15		$R_c < 2$ NM (3.704 km) NIC = 4		
16		$R_c < 8$ NM (14.816 km) NIC = 2 or 3		7
17		$R_c < 20$ NM (37.04 km) NIC = 1		
18		$R_c = 20$ NM (37.04 km) or unknown NIC = 0		
19	Airborne Velocity Message (§2.2.3.2.6)	<i>Not Applicable</i>	<i>Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"</i>	
20	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	$R_c < 7.5$ m and VPL < 11 m NIC = 11	GNSS Height (HAE)	2, 5
21		$R_c < 25$ m and VPL < 37.5 m NIC = 10		2, 5
22		$R_c = 25$ m or VPL = 37.5 m or R_c or VPL unknown NIC = 0		2
23	Reserved for Test Purposes (§2.2.3.2.7.3)			
24	Reserved for Surface System Status (§2.2.3.2.7.4)			
25 - 27	Reserved (§2.2.3.2.7.5 to §2.2.3.2.7.7)			
28	Aircraft Status Message (§2.2.3.2.7.8)			
29	Target State and Status Message (§2.2.3.2.7.1)			
30	Reserved			
31	Aircraft Operational Status Message (§2.2.3.2.7.2)			

Tabuľka 3-8: Dekódovanie parametra NIC vo verzii 1 [7]

NIC Value	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, 22	0	0, 8	0
1	$R_C < 20$ NM (37.04 km)	17	0	N/A	N/A
2	$R_C < 8$ NM (14.816 km)	16	0	N/A	N/A
3	$R_C < 4$ NM (7.408 km)	16	1	N/A	N/A
4	$R_C < 2$ NM (3.704 km)	15	0	N/A	N/A
5	$R_C < 1$ NM (1852 m)	14	0	N/A	N/A
6	$R_C < 0.6$ NM (1111.2 m)	13	0	N/A	N/A
7	$R_C < 0.2$ NM (370.4 m)	12	0	N/A	N/A
8	$R_C < 0.1$ NM (185.2 m)	11	0	7	0
9	$R_C < 75$ m and VPL < 112 m	10	0	6	0
10	$R_C < 25$ m and VPL < 37.5 m	10	1	6	1
		21	0		
11	$R_C < 7.5$ m and VPL < 11 m	9, 20	0	5	0

3.1.2.3 NIC_{BARO}

Vo verzii 1 je zavedený parameter NIC_{BARO} . NIC_{BARO} určuje či bola barometrická informácia o výške, ktorá je reportovaná ďalej, skontrolovaná aj s iným zdrojom informácie o barometrickej výške. Význam kódovania je v tabuľke 3-9. [7]

Tabuľka 3-9: NIC_{BARO} [7]

NIC_{BARO} in DO-260A and DO-260B	Meaning
0	Barometric altitude has not been crosschecked/ No data received in past 2 seconds
1	Barometric altitude has been crosschecked

3.1.2.4 SIL (Surveillance Integrity Level)

Parameter SIL definuje pravdepodobnosť, že bude oblasť výskytu, definovaná parametrom NIC prekročená bez upozornenia. Vo verzii 1 parameter SIL zohľadňuje aj vplyv stavu leteckých prístrojov, aké prístroje sa používajú, a ktoré externé signály sú využívané ako zdroj navigačnej informácie. Parameter SIL sa časom stal príliš preťažovaným, nakoľko charakterizoval, respektíve závisel na príliš mnoho údajoch. Závislosť parametra SIL a pravdepodobnosti prekročenia oblasti výskytu je ukázaná v tabuľke 3-10. [7]

Tabuľka 3-10 : Parameter SIL vo verzii 1 [7]

SIL	Probability of Exceeding the Horizontal Integrity Containment Radius (Rc) without an Indication	Probability of Exceeding the Vertical Integrity Containment Region (VPL) without an Indication
0	Unknown	Unknown
1	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or per sample
2	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour or per sample
3	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour or per sample	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour or per sample

3.1.3 ICAO Version 2

Vo verzii 2 sú nasledujúce parametre kvality. NAC (NAC_P, NAC_V) pre definovanie presnosti, NIC pre definovanie integrity, SIL a SIL_{SUPP}, SDA určujúce pravdepodobnosť zlyhania systému, NIC_{BARO} pre určenie kvality výškovej informácie, GVA pre určenie presnosti vertikálnej polohy. [8]

3.1.3.1 NAC_P (Navigation Accuracy Category for Position)

NAC_P parameter určuje presnosť určenia polohy pre „Surface“ a „Airborne“ správy. Určenie presnosti je založené na ohraničenom horizontálnom priestore, v ktorom sa lietadlo vyskytuje s 95 % pravdepodobnosťou. Tento priestor sa označuje ako EPU (Estimated Position Uncertainty). EPU je teda polomerom kružnice, ktorej stredom je hlásená poloha lietadla. Konkrétne hodnoty EPU pre jednotlivé hodnoty parametra NAC_P sú uvedené v tabuľke 3-11. [8]

Pre odosielanie parametru NAC_P je pre vysielačie zariadenie potrebné získať údaje maximálne každých 5 sekúnd, inak je vysielač NAC_P parameter s hodnotou 0, indikujúc neznámu presnosť. [8]

Parameter NAC_P slúži prehľadovým aplikáciám k určeniu, kedy má prijímaná informácia o polohe požadované charakteristiky presnosti. [8]

Tabuľka 3-11 : NACp parameter a hodnoty EPU [8]

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 < 7.408 km (4 NM) - RNP-4 accuracy
0011	3	EPU < 3.704 km (2 NM) - RNP-2 accuracy
0100	4	EPU < 1852 m (1NM) - 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

3.1.3.2 NACv (Navigation Integrity Category for Velocity)

Parameter NACv určuje presnosť s akou je poskytovaný údaj o rýchlosti. ADS-B vysielajúci systém musí akceptovať dáta z vhodného vstupu poskytujúceho rýchlosť, ak tieto dáta spĺňujú presnosť 95% pre vertikálny a horizontálny údaj o rýchlosti. Z týchto dát je potom určovaný parameter NACv podľa tabuľky 3-12. [8]

Tabuľka 3-12 : Určovanie parametra NACv [8]

NACv	Horizontal Velocity Error
0	Unknown or \geq 10 m/s
1	< 10 m/s
2	< 3 m/s
3	< 1 m/s
4	< 0.3 m/s

3.1.3.3 NIC (Navigation Integrity Category)

NIC parameter určuje hodnotu integrity polohovej informácie. Parameter NIC je používaný aplikáciami k určeniu, či prijatá informácia o polohe má akceptovateľnú úroveň integrity pre zamýšľané použitie. Hodnota NIC sa získava z TYPE kódu správy, ako je uvedené v tabuľke 3-13. V tabuľke 3-14 je prehľadne ukázaný význam jednotlivých hodnôt NIC. [8]

Tabuľka 3-13 : NIC podľa TYPE kódu ICAO verzie certifikácie 2 [8]

TYPE Code	Subtype Code	NIC Supplement			Format (Message Type)	Horizontal Containment Radius Limit (R _C)	Navigation Integrity Category (NIC)	Altitude Type	Notes
		A	B	C					
0	Not Present	Not Applicable			No Position Information (Airborne or Surface Position Messages)	R _C unknown	NIC = 0	Baro Altitude or No Altitude Information	1, 2, 3
1	Not Present	Not Applicable			Aircraft Identification and Category Message (§2.2.3.2.5)	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Category Set D
2		Category Set C							
3		Category Set B							
4		Category Set A							
5	Not Present	0	--	0	Surface Position Message (§2.2.3.2.4)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	No Altitude Information	5
6		0	--	0		R _C < 25 m	NIC = 10		
7		1	--	0		R _C < 75 m	NIC = 9		
		0	--	0		R _C < 0.1 NM (185.2 m)	NIC = 8		
8		1	--	1		R _C < 0.2 NM (370.4 m)	NIC = 7		
		1	--	0		R _C < 0.3 NM (555.6 m)	NIC = 6		
		0	--	1		R _C < 0.6 NM (1111.2 m)			
		0	--	0		R _C ≥ 0.6 NM (1111.2 m) or unknown	NIC = 0		
9	Not Present	0	0	--	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	Baro Altitude	7
10		0	0	--		R _C < 25 m	NIC = 10		
11		1	1	--		R _C < 75 m	NIC = 9		
		0	0	--		R _C < 0.1 NM (185.2 m)	NIC = 8		
12		0	0	--		R _C < 0.2 NM (370.4 m)	NIC = 7		
		0	1	--		R _C < 0.3 NM (555.6 m)	NIC = 6		
13		0	0	--		R _C < 0.5 NM (925 m)			
		1	1	--		R _C < 0.6 NM (1111.2 m)			
14		0	0	--		R _C < 1.0 NM (1852 m)	NIC = 5		
15		0	0	--		R _C < 2 NM (3.704 km)	NIC = 4		
16		1	1	--		R _C < 4 NM (7.408 km)	NIC = 3		
		0	0	--		R _C < 8 NM (14.816 km)	NIC = 2		
17		0	0	--		R _C < 20 NM (37.04 km)	NIC = 1		
18		0	0	--		R _C > 20 NM (37.04 km) or unknown	NIC = 0		
19	0	Not Applicable			Reserved	Not Applicable	Not Applicable	Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"	
	1-4	Not Applicable			Airborne Velocity Message (§2.2.3.2.6)				
	5-7	Not Applicable			Reserved				
20	Not Present	0	0	--	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	GNSS Height (HAE)	2
21		0	0	--		R _C < 25 m	NIC = 10		
22		0	0	--		R _C > 25 m or unknown	NIC = 0		
23	0	Not Applicable			Test Message (§2.2.3.2.7.5)				
24	1-7	Not Applicable			Reserved				
	0	Not Applicable			Reserved				
	1	Not Applicable			Surface System Status (§2.2.3.2.7.4) (Allocated for National Use)				
25-26	2-7	Not Applicable			Reserved				
		Not Applicable			Reserved (§2.2.3.2.7.5 and §2.2.3.2.7.6)				
27		Not Applicable			Reserved for Trajectory Change Message (§2.2.3.2.7.7)				
28	0	Not Applicable			Reserved				
	1	Not Applicable			Extended Squitter Aircraft Status Message (Emergency/Priority Status) (§2.2.3.2.7.8.1)				
	2	Not Applicable			Extended Squitter Aircraft Status Message (1090ES TCAS RA Broadcast Message) (§2.2.3.2.7.8.2)				
29	3-7	Not Applicable			Reserved				
	0	Not Applicable			Target State and Status Message (SN.3.5) (ADS-B Version Number=1, defined in RTCA DO-260A)				
	1	Not Applicable			Target State and Status Message (§2.2.3.2.7.1) (ADS-B Version Number=2, defined in these MOPS, RTCA DO-260B/EUROCAE ED-102A)				
30	2-3	Not Applicable			Reserved				
	0-7	Not Applicable			Reserved				
31	0-1	Not Applicable			Aircraft Operational Status Message (§2.2.3.2.7.2)				
	2-7	Not Applicable			Reserved				

Tabuľka 3-14: Parameter NIC [9]

NIC	Containment Radius
0	Unknown
1	R _C < 37.04 km (20nm)
2	R _C < 14.816 km (8nm)
3	R _C < 7.408 km (4nm)
4	R _C < 3.704 km (2nm)
5	R _C < 1852 m (1nm)
6	R _C < 1111.2 m (0.6nm)
	R _C < 926 m (0.5nm)
	R _C < 555.6 m (0.3nm)
7	R _C < 370.4 m (0.2nm)
8	R _C < 185.2 m (0.1nm)
9	R _C < 75 m
10	R _C < 25 m
11	R _C < 7.5 m

3.1.3.4 SIL (Source Integrity Level)

Parameter SIL určuje pravdepodobnosť, s ktorou sa môže lietadlo vyskytovať mimo oblasti definovanej parametrom NIC, bez upozornenia. Napriek tomu, že SIL predpokladá, že systém a prístroje pracujú bez chyby, SIL musí zohľadniť zlyhanie Signal-in-Space, ak je Signal-in-Space použitý zdrojom polohy. Jednotlivé hodnoty pravdepodobnosti sú priradované k hodnotám parametra SIL podľa *tabuľky 3-15*. [8]

Tabuľka 3-15 : Kódovanie parametra SIL [8]

SIL Coding		Probability of Exceeding the NIC Containment Radius (R_C)
(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

Parameter SIL je určovaný buď vzhľadom k hodine, alebo vzhľadom k určitej vzorke. Túto informáciu definuje parameter SIL_{SUPP} podľa *tabuľky 3-16*.

Tabuľka 3-16 : Kódovanie parametra SIL_{SUPP} [8]

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”

3.1.3.5 SDA (System Design Assurance)

Parameter SDA určuje pravdepodobnosť zlyhania ADS-B systému, ktorá by spôsobila vysielanie zlých alebo klamlivých informácií. V danom parametre sú zohľadnené všetky zložky, ktoré môžu ovplyvniť správnosť správy, zahrnujúc software-ové a hardware-ové časti systému. SDA je kódované podľa *tabuľky 3-17*. [8]

Tabuľka 3-197 : Kódovanie SDA [8]

SDA Value	Probability of Undetected Fault causing transmission of False or Misleading Information
3	$\leq 1 \times 10^{-7}$ per flight hour
2	$\leq 1 \times 10^{-5}$ per flight hour
1	$\leq 1 \times 10^{-3}$ per flight hour
0	$> 1 \times 10^{-3}$ per flight hour or unknown

3.1.3.6 GVA (Geometric Vertical Accuracy)

Parameter GVA je určený pomocou charakteristiky VFOM (Vertical Figure of Merit) získanej zo zdroja GNSS polohy, používanej k dekódovaniu geometrickej výšky v správe „Airborne Position“. Parameter GVA je kódovaný podľa tabuľky 3-18. [8]

Tabuľka 3-18 : Kódovanie parametra GVA [8]

GVA	Meaning
0	Unknown or > 150m
1	$\leq 150m$
2	$\leq 45m$
3	Reserved

3.2 Rozdiely v ICAO verziách

V tejto kapitole si priblížime rozdiely, ktoré sa v rôznych verziách vyskytujú. Ako bolo už spomenuté, za roky ktoré je ADS-B vo vývoji, došlo k určitým zmenám, nakoľko predom definovaná štruktúra už nevyhovovala. Aktuálna verzia, verzia 2, oproti predchádzajúcim dvom verziám obsahuje oveľa viac dát a informácií o lietadle, ktoré danú správu vysiela. Od údajov o presnosti až po údaje TCAS RA a podobne. Jednotlivé zmeny si postupne priblížime, od zmien v ukazovateľoch kvality.

3.2.1 NIC nahradzuje NUC

NIC ukazovateľ kvality bol predstavený vo verzií 1 (DO 260A) a nahradil ukazovateľ NUC, používaný vo verzií 0 (DO 260). Tým bolo umožnených viac rozdelení v označení úrovne integrity polohy. Parameter NIC je dopĺňovaný ďalším parametrom a to NICsupplement. Vo verzií 1 slúži na spresnenie hodnoty NIC, pretože pre niektoré TYPE kódy (16 a 10) sú dve hodnoty parametra NIC. Vtedy je nutné použiť NICsupplement, ktorý určí presnú hodnotu NIC. NIC je rozdeľovaný vo verzií 2 na tri

parametre a to NICsupplement A, B a C. Vo verzii 2 je pre presné určenie NIC nutné získať hodnoty TYPE kódu a niektorých NICsupp ukazovateľov. Konkrétne ktoré NICsupp ukazovatele sú potrebné, je možné vyčítať z *tabuľky 3-19* a *tabuľky 3-20*. Ďalšou zmenou je, že vo verzii 2 odpadá závislosť NIC na vertikálnej zložke VPL (vertical protection limit). K tejto zmene došlo aj preto, aby v situácii keď nie je možné určiť hodnotu VPL, mohol byť vysielaný NIC určujúci integritu v horizontálnej rovine (ktorá je najdôležitejšia). [6] [7] [8] [10]

Zavedenie hustejšieho definovania NIC, čiže presnejšie reportovanie integrity, môže znamenať lepšiu možnosť využitia pre riadenie letovej prevádzky. Pridáva to väčšiu flexibilitu rozhodovaniu, či je možné danú informáciu použiť.

Tabuľka 3-19: Rozdiely v parametroch NIC/NUCp pre Surface Position správu [10]

Horizontal Protection Limit in DO-260	NUC _p in DO-260	Integrity Containment Radius in DO-260A	NIC in DO-260A and DO-260B	Integrity Containment Radius in DO-260B	NIC Sup in DO-260B	PIC
HPL<7.5m	9	R _c <7.5m	11	R _c <7.5m	0, 0	14
HPL<25m	8	R _c <25m	10	R _c <25m	0, 0	13
	7	R _c <75m	9	R _c <75m	1, 0	12
HPL<0.1NM	7	R _c <0.1NM	8	R _c <0.1NM	0, 0	11
			7	R _c <0.2NM	1, 1	10
			6	R _c <0.3NM	1, 0	9
			6	R _c <0.6NM	0, 1	7
HPL≥0.1NM	6	R _c ≥0.1NM	0	R _c ≥0.6NM	0, 0	0

Tabuľka 3-20: Rozdiely v parametroch NIC/NUCp pre Airborne Position správu [10]

Horizontal Protection Limit in DO-260	NUC _p in DO-260	Containment Radius in DO-260A	NIC in DO-260A and DO-260B	NIC Sup in DO-260A	Containment Radius in DO-260B	NIC Sup in DO-260B	PIC
HPL<7.5m	9	R _c <7.5m and VPL<11 m	11	0	R _c <7.5m	0, 0	14
HPL<25m	8	R _c <25m and VPL<37.5m	10	0	R _c <25m	0, 0	13
	7	R _c <75m and VPL<112m	9	1	R _c <75m	1, 1	12
HPL<0.1NM	7	R _c <0.1NM	8	0	R _c <0.1NM	0, 0	11
HPL<0.2NM	6	R _c <0.2NM	7	0	R _c <0.2NM	0, 0	10
	5		6	0	R _c <0.3NM	0, 1	9
HPL<0.5NM	5	R _c <0.5NM	6	0	R _c <0.5NM	0, 0	8
	4	R _c <0.6NM	6	1	R _c <0.6NM	1, 1	7
HPL<1.0NM	4	R _c <1.0NM	5	0	R _c <1.0NM	0, 0	6
HPL<2.0NM	3	R _c <2NM	4	0	R _c <2NM	0, 0	5
	2	R _c <4NM	3	0	R _c <4NM	1, 1	4
	2	R _c <8NM	2	1	R _c <8NM	0, 0	3
HPL<10NM	2		1			0, 0	2
HPL<20NM	1	R _c <20NM	1	0	R _c <20NM	0, 0	1
HPL≥20NM	0	R _c ≥20NM	0	0	R _c ≥20NM	0, 0	0

Podobné zmeny nastávajú u ukazovateľa kvality pre rýchlosť. V princípe jediný rozdiel medzi verziami 0 a 1 je v názve. U verzii 1 dochádza k premenovaniu NUC_R (Navigation Uncertainty Category for Velocity) na NAC_V (Navigation Accuracy Category for Velocity). Definície a význam týchto dvoch ukazovateľov je v podstate totožný. Zmena nastáva až u verzii 2, keď sa u parametra NAC_V odstraňuje závislosť na vertikálnej zložke, a NAC_V definuje iba presnosť v horizontálnej rovine. Dôvody sú podobné ako pri NIC, čiže poskytovanie parametra aj pri absencii vertikálnej informácie. [6] [7] [8] [10]

Tabuľka 3-21: Rozdiely v parametroch NUC_R , NAC_V v rôznych verziách [10]

NUC_R or NAC_V	$HFOM_R$ and $VFOM_R$ for DO-260 and DO-260A	$HFOM_R$ for DO-260B
4	$HFOM_R < 0.3\text{m/s}$ and $VFOM_R < 0.46\text{m/s}$	$HFOM_R < 0.3\text{m/s}$
3	$HFOM_R < 1\text{m/s}$ and $VFOM_R < 1.5\text{m/s}$	$HFOM_R < 1\text{m/s}$
2	$HFOM_R < 3\text{m/s}$ and $VFOM_R < 4.6\text{m/s}$	$HFOM_R < 3\text{m/s}$
1	$HFOM_R < 10\text{m/s}$ and $VFOM_R < 15.2\text{m/s}$	$HFOM_R < 10\text{m/s}$
0	$HFOM_R \geq 10\text{m/s}$ or $VFOM_R \geq 15.2\text{m/s}$ or unknown	$HFOM_R \geq 10\text{m/s}$ or unknown

Vo verzii 1 je zavedený parameter NIC_{BARO} . Tento parameter sa vyskytuje aj vo verzii 2 a jeho význam zostáva nezmenený. NIC_{BARO} určuje či bola barometrická informácia o výške, ktorá je reportovaná ďalej, skontrolovaná aj s iným zdrojom informácie o barometrickej výške. Zavedenie tohto parametra zase rozširuje možnosti pre použitie v riadení letovej prevádzky. Na základe NIC_{BARO} je možné bližšie definovať požiadavky na integritu aj výškovej informácie. [6] [7] [8] [10]

3.2.2 SIL ako Surveillance Integrity Level vs. Source Integrity Level

SIL ako ukazovateľ nebol vôbec vo verzii 0 použitý, nachádza sa až vo verzii 1 ako Surveillance Integrity Level, vo verzii 2 je premenovaný na Source Integrity Level. SIL definuje pravdepodobnosť prekročenia R_C určenú v NIC, bez upozornenia. Rozdiel medzi SIL vo verzii 1 a vo verzii 2 je, že vo verzii 1 tento parameter zohľadňuje aj zlyhanie avioniky. Vo verzii 2 už zlyhanie avioniky nie je zohľadňované. Táto pravdepodobnosť je vo verzii 2 reportovaná v parametre SDA (System Design Assurance). SIL umožňuje bližšie určenie integrity, a teda pre riadenie letovej prevádzky to znamená možnosť lepšieho definovania použiteľnosti danej polohovej informácie. [6] [7] [8] [10]

SDA teda definuje pravdepodobnosť nedetekovania zlyhania avioniky, ktoré spôsobí vysielanie nesprávnych alebo klamných informácií. SDA sa vyskytuje len vo verzii 2. Vo verzii 2 je zavedený parameter SIL_{SUPP} , ktorý určuje, či sa parameter SIL vzťahuje na pravdepodobnosť za hodinu, alebo za určitú vzorku. Táto informácia

napríklad vo verzií jedna absentuje. Zavedenie SDA, podobne ako SIL, znamená pre riadenie letovej prevádzky možnosť bližšie a presnejšie určiť kritériá pre použiteľnosť danej polohovej informácie. [6] [7] [8] [10]

3.2.3 Zavedenie a rozdiely v definovaní NAC_P

NAC_P (Navigation Accuracy Category for Position) je zavedené vo verzií 1. Podobný parameter vo verzií 0 neexistuje. Vo verzií 0 je parameter NUC_P, ktorý je ale aj parametrom integrity, teda je závislý na HPL (Horizontal Protection Limit). Zmena u parametra NAC_P nastáva vo verzií 2, keď je podobne ako u parametra NIC odstránená závislosť na vertikálnej zložke presnosti. Dôvody sú rovnaké ako bolo spomínané vyššie, teda pri absencii vertikálnej informácie je stále možné presne definovať parameter NAC_P. [6] [7] [8] [10]

Tabuľka 3-22: Porovnanie NAC_P v rôznych verziách [10]

NAC _P	95% Horizontal and Vertical Accuracy Bounds (EPU and VEPU) for DO-260A	95% Horizontal Accuracy Bounds (EPU) for DO-260B	Comment
0	EPU ≥ 10NM	EPU ≥ 10NM	Unknown accuracy
1	EPU < 10NM	EPU < 10NM	RNP-10 accuracy
2	EPU < 4NM	EPU < 4NM	RNP-4 accuracy
3	EPU < 2NM	EPU < 2NM	RNP-2 accuracy
4	EPU < 1NM	EPU < 1NM	RNP-1 accuracy
5	EPU < 0.5NM	EPU < 0.5NM	RNP-0.5 accuracy
6	EPU < 0.3NM	EPU < 0.3NM	RNP-0.3 accuracy
7	EPU < 0.1NM	EPU < 0.1NM	RNP-0.1 accuracy
8	EPU < 0.05NM	EPU < 0.05NM	e.g. GPS (with SA on)
9	EPU < 30m and VEPU < 45m	EPU < 30m	e.g. GPS (SA off)
10	EPU < 10m and VEPU < 15m	EPU < 10m	e.g. WAAS
11	EPU < 3m and VEPU < 4m	EPU < 3m	e.g. LAAS
12-15	Reserved	Reserved	

4 Vytvorenie softwarového nástroja

Pre prácu s dátami bolo v prvom rade nutné získať dáta. Škola disponuje tromi prijímačmi umiestnenými v Prahe. Počas mojej práce, boli prijímače umiestnené nasledovne. Jeden prijímač bol umiestnený na jednom zo Strahovských internátnych blokov, ďalší na výškovej budove v Pražskej štvrti Pankrác a posledný v budove školy na Horskej ulici, taktiež v Prahe.

Pre príjem dát bol už pre školu vytvorený nástroj v jazyku Java študentkou v minulosti (ďalej „pôvodný program“). Pôvodný program bol použiteľný, ale chýbalo mu užívateľské rozhranie, vypisoval neupravený a nefiltrovaný príjem z prijímača, čo predstavuje obrovské množstvo dát, z veľkej časti nepotrebných. Jeho ovládanie bolo pre bežného používateľa zložité, nakoľko sa program spúšťal cez príkazový riadok a jeho vypnutie bolo nutné cez ukončenie procesu. Rozhodol som sa pre pokračovanie s týmto nástrojom, keďže mal vyriešené pripojenie na prijímače a následný príjem dát z neho.

4.1 Pôvodný program

Výstup bol tvorený textovým súborom, vo forme ako je možné vidieť na *obrázku 4-1*. Jednotlivé informácie vo výpise sú oddelené bodkočiarkou. Každý riadok predstavuje jednu prijatú správu. Zľava doprava to je: dátum prijatia; systémový čas prijatia získaný z počítača vo forme hodina:minúta:sekunda; UTC čas prijatia získaný z prijímača vo forme hodina:minúta:sekunda.desatiny sekundy; IP adresa : port; ICAO24 adresa lietadla (u správ iných ako DF17 je ICAO24 údaj chybný); downlink format; správa vo forme ako je prijatá z lietadla.

```
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.299580343;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:001910;DF:20;@3D9F11DB3BB7A0001910CC300030A80000BFE09D;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.320202609;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:5A44A2;DF:0;@3D9F1315E771005A44A2764542;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.300247468;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:424259;DF:17;@3D9F11E569AC8D42425920046332D37CE0F2988E;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.320367781;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:49D112;DF:11;@3D9F13186CA55D49D112E6D877;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.301380156;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:3C6754;DF:11;@3D9F11F6B23C5F3C6754996182;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.320727406;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:00179F;DF:4;@3D9F131DE96E2000179FF55F26;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.302339781;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:001690;DF:4;@3D9F120556C52000169009BD91;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.321684906;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:0004B7;DF:21;@3D9F132C85AAA80004B7FFF5326C004A08BBE89;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.302455281;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:001A30;DF:0;@3D9F120719F100001A302BD4DC;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.321700921;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:A08BBE;DF:0;@3D9F132CC43904A08BBE897314;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.303799031;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:001737;DF:20;@3D9F121B9AF7A0001737AF6A0931A0AC1B71093B;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.321935718;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:280800;DF:5;@3D9F1330596628280800429A26;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.304612046;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:000800;DF:21;@3D9F122802CEA8000800C07E03F0A40000DC1234;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.322084968;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:0004B7;DF:21;@3D9F1332A068A80004B7A71000000000007ED077;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.304998359;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:00179F;DF:4;@3D9F122DE7D72000179FF55F03;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.322611734;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:E194D1;DF:0;@3D9F133AAA1603E194D179CB12;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.305272046;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:281839;DF:20;@3D9F123214EEA0281839EEC9E7306017FE629355;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.323719234;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:179FA7;DF:0;@3D9F134B904200179FA799F730;
2015/09/29,19:31:41;17:31:40.305289046;Channel:147.32.73.68:60000;ICAO24:FCC526;DF:5;@3D9F123257562FFCC526AA312F;
```

Obrázok 4-1: Výstup pôvodného programu

U pôvodného programu bolo možné nastaviť pripojenie na prijímač, a určiť názov súboru do ktorého program vypisoval dáta. Toto nastavenie sa určovalo cez konfigurovací súbor, tzv. Config file, z ktorého si program načítal dáta. Súbor bolo možné editovať jednoduchým prepisovaním jeho položiek. Ako vyzeral, je možné vidieť na *obrázku 4-2*. Každý riadok predstavuje jedno nastavenie. A to: IP1 pre nastavenie prvej IP adresy, PORT1 pre nastavenie prvého portu, IP2 pre nastavenie druhej IP adresy, PORT2 pre nastavenie druhého portu a FILE pre nastavenie názvu súboru do ktorého program vypisuje prijaté správy.

```
IP1=147.32.73.68
PORT1=60000
IP2=147.32.73.68
PORT2=60000
FILE=test.txt
```

Obrázok 4-2: Config file

Z Config súboru je možné vidieť, že bolo možné nastaviť 2 IP adresy. Program totiž pracoval tak, že v prípade, že sa mu nepodarilo pripojiť na prvú IP adresu, pokúsil sa o to druhý krát na druhú IP adresu. Config ukázaný na *obrázku 4-2* má obe adresy nastavené rovnako, pretože v čase používania sa využívala len jedna IP adresa a jeden PORT.

4.2 Úprava nástroja na príjem dát

Pre moje potreby bol pôvodný program nepoužiteľný, pretože vypisoval pre mňa veľa nepotrebných dát. Pre predstavu, za 48 sekúnd program zapísal 14 MB dát. To bolo pre analýzu z dlhodobého hľadiska priveľké množstvo. Ďalším dôvodom bolo, že som chcel vytvoriť nástroj, ktorý by bol použiteľný aj ďalej inými užívateľmi na analyzovanie dát. Nástroj je upravovaný a ďalej tvorený v jazyku Java, nástrojom NetBeans.

4.2.1 Užívateľské rozhranie

Užívateľské rozhranie som vytvoril na základe vlastných preferencií. Hlavným parametrom je pre mňa jednoduchosť. Preto som vytvoril rozhranie ktoré obsahuje len

tlačidlo ovládajúce príjem dát a informáciu, či prijímač prijíma dáta alebo nie. Rozhranie bolo vytvorené v grafickom editore nástroja NetBeans.

4.2.2 Príjem dát

Ďalším problémom programu bolo, že pri zlyhaní servera prijímača alebo inej chybe, ktorá spôsobila výpadok toku dát, program prestal zapisovať dáta. Tento problém som sa snažil vyriešiť a podarilo sa mi to čiastočne. Pri krátkom výpadku program zasa nabehne na tok dát a zapisuje ďalej. Avšak pri dlhšom výpadku, z mnou nezistených príčin, program už nezapisuje dáta a vytvára len prázdne súbory. Preto som pri mojom získavaní dát zapisovanie pravidelne kontroloval a k podobným výpadkom prichádzalo len zriedka.

V konkrétnych podmienkach a s ohľadom na spoľahlivosť funkcie príjmu od dvoch prijímačov, som zrušil možnosť príjmu od dvoch prijímačov. Táto možnosť nebola funkčná a funkčne nebola potrebná.

4.2.3 Štruktúra a obsah výpisu

Výpis pôvodného programu bol nevyhovujúci. Vypisoval všetky prijaté správy, pričom pre moje potreby sú vyžadované len správy DF=17, teda ADS-B správy. Ďalej pre moje potreby nie sú všetky typy ADS-B správ vyžadované, nakoľko informácie o kvalite správ obsahujú len niektoré typy, konkrétne Airborne Position, Surface Position a Aircraft Operational Status správy. Preto som pristúpil k filtrovaniu správ na úrovni zápisu. Vytvoril som čiastočné dekódovanie, v ktorom program zistí o aký typ správy sa jedná a zapíše len požadovaný typ.

S cieľom znížiť objem zapisovaných dát, som upravil štruktúru zápisu. Do zápisu som vybral len dáta, ktoré sú potrebné pre analýzu, alebo ktoré sú priamo objektom analýzy. Pôvodný program zapisoval zbytočné dáta, ako napríklad 2 časy, čas prijatia prijímačom v UTC a čas zapísania do súboru, získaný z počítača v ktorom bol program používaný. Pre moje potreby som zrušil zápis systémového času, a ponechal som zápis času prijatia v UTC (získaný z prijímača), pričom som znížil počet desatinných miest sekundy. Zrušil som zápis IP adresy ale ponechal som zápis portu. Pri zápise ICAO24 adresy som zrušil zápis označenia (ICAO24) a ponechal som len zápis konkrétnej adresy. Zapisovanie Downlink Format som úplne zrušil, nakoľko sú zapisované len správy ADS-B, teda DF=17. Čo sa týka zápisu informácie z ADS-B správy, aj tú som pozmenil. Pre

analýzu kvality sú potrebné správy Airborne Position, Surface Position a Aircraft Operational Status správy. Pri Aircraft a Surface Position správach som upravil zápis tak, že je zapisovaná len tá časť správy, ktorá obsahuje informáciu o polohe, o type a o kvalite v novších ICAO verziách. Pre Aircraft Operational Status správy som vytvoril dekódovanie tejto správy a program priamo zapisuje hodnoty jednotlivých parametrov kvality.

4.2.4 Zápis konečnej verzie

Na *obrázku 4-3* je možné vidieť zápis konečnej verzie. Pre správy Airborne Position a Surface Position je forma zápisu totožná. Je to zľava doprava: dátum prijatia správy; čas prijatia správy v UTC; port; ICAO24 adresa lietadla; typ správy; poloha v hexadecimálnom formáte a kódovaná CPR spôsobom.

```
2015/09/15;11:16:42.533;60000;896219;11;13C16F870A2D
2015/09/15;11:16:42.570;60000;48CB15;11;A9A536A5A794
2015/09/15;11:16:42.582;60000;405B66;11;BDE593DF20AE
2015/09/15;11:16:42.602;60000;42498A;11;A9953484DEE4
2015/09/15;11:16:42.606;60000;502CB4;11;CD87F24B582F
2015/09/15;11:16:42.618;60000;300393;1,0,8,0,2,1,0
2015/09/15;11:16:42.636;60000;484B2A;11;C380546B7161
2015/09/15;11:16:42.642;60000;471F90;12;B127D2B4B579
2015/09/15;11:16:42.673;60000;300393;11;49814020EF2C
2015/09/15;11:16:42.709;60000;471F5D;11;B9812142DE50
2015/09/15;11:16:42.716;60000;4BAA0A;11;B9718DC7436D
2015/09/15;11:16:42.724;60000;3C5EF4;11;BF019E0512BE
2015/09/15;11:16:42.731;60000;4C833C;11;7F253A08FC86
```

Obrázok 4-3: Zápis konečnej verzie (zvýraznená Airborne Position správa)

Na *obrázku 4-4* je zvýraznená Aircraft Operational Status správa. V tejto správe je uvedené zľava doprava: dátum prijatia správy; čas prijatia prijímačom v UTC; port; ICAO24 adresa lietadla; ICAO verzia certifikácie, NICsuppA, NACp, GVA, SIL, NICbaro, SILsupp. Spracovanie týchto informácií je vysvetlené v kapitole 4.3.

```
2015/09/15;11:16:42.606;60000;502CB4;11;CD87F24B582F
2015/09/15;11:16:42.618;60000;300393;1,0,8,0,2,1,0
2015/09/15;11:16:42.636;60000;484B2A;11;C380546B7161
2015/09/15;11:16:42.642;60000;471F90;12;B127D2B4B579
2015/09/15;11:16:42.673;60000;300393;11;49814020EF2C
```

Obrázok 4-4: Zápis konečnej verzie (zvýraznená Aircraft Operational Status správa)

Uvedené úpravy zápisu zabezpečili významnú úsporu objemu prijatých dát. Ako bolo už skôr spomenuté, pôvodný program zapísal za 48 sekúnd 14MB dát. Úpravy umožnili zníženie tohto objemu na priemerne 14MB za jednu hodinu cez deň a na približne 3MB v najpokojnejších hodinách v noci. Toto zníženie objemu predstavuje výrazné zrýchlenie a zľahčenie ďalšej práce s dátami.

Pôvodný program zapisoval dáta do 1 súboru kontinuálne. Výsledkom bol veľký súbor, ktorý obsahoval obrovské množstvo dát. To je pre manipuláciu s dátami prekážkou. Ja som pristúpil k riešeniu, kedy si program sám tvorí súbory, pričom zapisuje do jedného súboru dáta vždy jednu hodinu. Súbor je automaticky nazvaný časom a dátumom, kedy bol vytvorený (podľa času systému v ktorom je spustený). Toto riešenie umožňuje veľké výhody pri manipulácii s dátami, a konkrétne vytvorené súbory je možné vidieť na *obrázku 4-5*.

150901,135630	1.9.2015 14:56	Textový dokument	14 106 kB
150901,145630	1.9.2015 15:56	Textový dokument	14 279 kB
150901,155630	1.9.2015 16:56	Textový dokument	15 109 kB
150901,165630	1.9.2015 17:56	Textový dokument	14 203 kB
150901,175630	1.9.2015 18:56	Textový dokument	14 386 kB
150901,185630	1.9.2015 19:56	Textový dokument	15 579 kB
150901,195630	1.9.2015 20:56	Textový dokument	13 744 kB
150901,205630	1.9.2015 21:56	Textový dokument	13 613 kB
150901,215630	1.9.2015 22:56	Textový dokument	14 950 kB
150901,225630	1.9.2015 23:56	Textový dokument	12 362 kB
150901,235630	2.9.2015 0:56	Textový dokument	9 723 kB
150902,005630	2.9.2015 1:56	Textový dokument	7 056 kB
150902,015630	2.9.2015 2:56	Textový dokument	4 518 kB
150902,025630	2.9.2015 3:56	Textový dokument	2 900 kB

Obrázok 4-5: Tvorené súbory výpisu

Umožňuje to zrýchlenie pri selektívnom analyzovaní dát, hlavne pri analýze z chronologického hľadiska. Uľahčilo to aj archiváciu a zálohovanie dát. Nemalým prínosom je pomerne ľahké overenie fungovania programu, pretože ak program nezapisuje, je to ľahké odhaliť, nakoľko posledný vytvorený súbor má nulovú veľkosť.

4.3 Vytvorenie nástroja na analýzu dát

Pre prijaté archivované dáta bolo potrebné vytvoriť nástroj, ktorý bude schopný ich kompletne spracovať. Pri objeme dát bolo nutné tvoriť jednoduchý nástroj, a zohľadniť zaťaženie spôsobené objemom dát. Pokračoval som v jazyku Java a staval som na vytvorenom nástroji na príjem dát.

Čo sa týka užívateľského rozhrania, graficky som oddelil prijímaciu časť a časť na analýzu dát. Vytvoril som karty, teda na jednej karte je časť na príjem a na druhej je časť na analýzu dát.

4.3.1 Úprava Config súboru

Pre potreby získavania a analýzy dát v konkrétnom prostredí som upravil Config súbor a jeho formu. Upravil som nastavovanie druhého prijímača. Pridané bolo nastavenie referenčnej polohy pre jej dekodovanie. Zrušil som nastavenie názvu súboru do ktorého je zapisovaný výstup, pretože ten je určovaný podľa času automaticky.

Konečnú podobu Config súboru je možné vidieť na *obrázku 4-6*.

```
IP1=147.32.73.86
PORT1=60001
IP2=147.32.73.86
PORT2=60001
RefLat=50.1
RefLon=14.26
```

Obrázok 4-6: Konečná podoba Config súboru

4.3.2 Vytvorenie výstupu analýzy

Pre výstup analýzy som zvažoval 2 možnosti. Buď výstup v grafike programu, s tým, že by dáta neboli nikde ukladané automaticky a bolo by ich nutné kopírovať z tohto výstupu. Druhá možnosť bola, aby si program po analýze vytvoril výstup vo forme súboru, v ktorom budú zapísané výsledky analýzy. Priklonil som sa k druhej verzii. Ďalej som riešil typ súboru. Rozhodol som sa pre .txt, pre jednoduchú manipuláciu s ním. Pri riešení konkrétneho formátu, ako bude zápis vyzeráť, som zvolil formát tabuľky, pričom jednotlivé údaje v riadku sú oddelené tabulátorom, a rozmery miesta pre zápis jedného

údaju sú formátované na pevný rozmer, aby bola tabuľka symetrická. Tabuľku je možné vidieť na *obrázku 4-7*. Bližšie vysvetlená je v [kapitole 5.1.11](#).

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
type:	0	0	0	0	0	1	1	63019	2466	0	1	13933171	348128	4740	33	1659	11080	1854	288487	0	0	0	3378
Version:	0	0	3030889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICsuppA	2726580	304309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NACp:	72431	339	400	2145	1	9	39	70	2336	1300503	1533349	119267											
GVA:	132938	1285	2896666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIL:	81422	19045	32915	2897507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICbora:	9638	3021251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SILsupp:	3029677	1212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACFTtype:	1079																						
	NIC 0	NIC 1	NIC 2	NIC 3	NIC 4	NIC 5	NIC 6(0.3)	NIC 6(0.5)	NIC 6(0.6)	NIC 7	NIC 8	NIC 9	NIC 10	NIC 11									
NIC:	293739	1854	550	10530	1659	33	592	4694	46	348128	12932985	1063205	2	1									

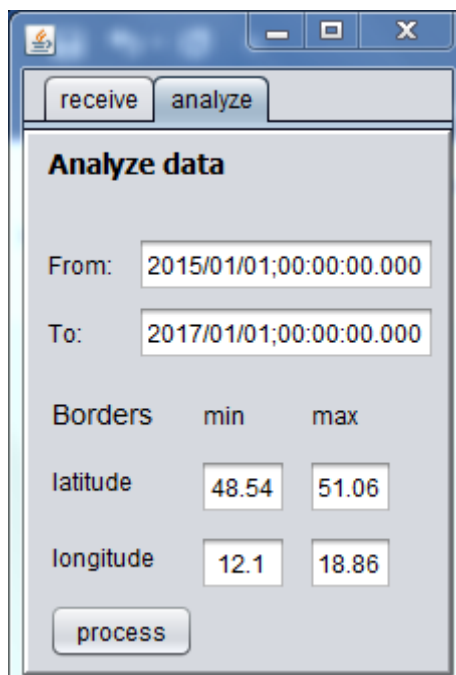
Obrázok 4-7: Zápis analýzy

4.3.3 Nastavenie analýzy

Na úrovni zapisovania dát je dekódovaná len Aircraft Operational Status správa, pričom pri nej je jej kódovanie jasné, a nie je potrebné nastavovať nejaké parametre dekódovania. Inak to je pri dekódovaní polohy v Airborne Position a Surface Position správach. Na úrovni zápisu dát, zapisujeme hexadecimálnu časť správy, v ktorej je zakódovaná poloha. Pre jej dekódovanie je potreba nastaviť referenčnú polohu, nakoľko je využívané lokálne CPR dekódovanie. Toto nastavenie je vykonávané na úrovni analýzy dát, nakoľko poloha je dekódovaná až na úrovni analýzy. Referenčnú polohu nastavujeme v Config súbore, čo je ukázané v [kapitole 4.3.1](#).

Ďalej som vytvoril nastavenie časového ohraničenia. Je možné si vybrať odkedy dokedy chceme dáta analyzovať. Pre toto nastavenie som sa rozhodol pre možnosť nastavenia presného časového ohraničenia pre potrebu analýzy dát z chronologického hľadiska. Toto nastavenie je možné vidieť na *obrázku 4-8*, hneď pod nápisom „Analyze data“.

Prijímač logicky neprijíma len dáta z oblasti Českej republiky, ale sú prijímané správy aj spoza hraníc, nakoľko dosah prijímača ich presahuje. Preto som zaviedol nastavenie ohraničenia. Je to na jednoduchom princípe, kedy môžeme nastaviť maximálne a minimálne hodnoty zemepisnej šírky a dĺžky, s ktorými potom program jednoducho porovnáva dekódované správy a vylučuje tie, ktoré nespádajú do ohraničenia. Týmto je vytvorený vlastne pomyselný štvorec. Ja som tieto hodnoty prednastavil tak, aby bola zahrnutá celá Česká republika. Vidieť to je možné na *obrázku 4-8* pod označením „Borders“.



Obrázok 4-8: Analyze okno

4.3.4 Proces analýzy dát

V nasledujúcej časti popíšem akým spôsobom z logického hľadiska postupuje program pri analýze dát. Tento proces je vhodné poznať, ak chce používateľ využiť možnosť analýzy, pre jej správne prevedenie.

Po stlačení tlačidla „process“ na strane „analyze“, si program načíta zadané časové ohraničenie a polohové ohraničenie. Potom program vo svojom umiestnení hľadá zložku „Data“. V tejto zložke načítava postupne všetky .txt súbory. Preto je dôležité zachovať názvy súborov tak, ako ich vytvára program sám, nakoľko ich poradie je dôležité. Program zoberie .txt súbor, a postupuje po riadkoch. V riadku kontroluje ICAO 24 bitovú adresu, a v prípade, že pre konkrétnu adresu ešte nemá záznam, vytvorí si novú premennú a potom už správy od tejto adresy priraduje k tejto premennej. Na tomto funguje ďalej celé analyzovanie. Program teda všetky správy pre jednu ICAO adresu zapisuje do jedného záznamu, čo ďalej umožňuje napríklad filtrovanie na základe ohraničenia a podobne.

Nasleduje dekódovanie dát z riadku (správy). Na základe znaku „;“ oddeľujeme jednotlivé dáta. Ak má správa 5 častí, jedná sa o Aircraft Operational Status správu a načítavame z nej dáta o kvalite a ICAO verzii certifikácie. V opačnom prípade sú to správy Airborne Position a Surface Position. Vtedy si ukladáme typ ADS-B správy

a dekódujeme polohu. Poloha je dekódovaná lokálnym CPR dekódovaním, referenčnú polohu čerpá z Config súboru. Vysvetlenie CPR dekódovania polohy je možné nájsť v mojej bakalárskej práci „Nástroj na dekódovanie správ 1090 ES“ z roku 2014.

Po dekódovaní dát z riadku, nasleduje kontrola, či sa v riadku nachádzala informácia o ICAO verzii. Ak áno, automaticky všetky správy tejto ICAO adresy sú pridelené k tejto ICAO verzii. Toto nastavenie pre danú ICAO adresu si program pamätá, a teoreticky ho zmení pri prijatí inej hodnoty ICAO verzie, ale to by sa nemalo stať, nakoľko verzia je nemenná (jedine že by dané lietadlo podstúpilo upgrade vybavenia).

Ďalej, ak sa v riadku nachádza poloha, program kontroluje či sa nachádza v ohraničení. Ak áno, dáta od tejto ICAO adresy sú započítavané a program si pamätá, že lietadlo je v sledovanom priestore, až kým neprijme ďalšiu správu o polohe. Ak sa poloha nenachádza v sledovanej oblasti, dáta od tejto ICAO adresy **nie** sú započítavané, a program si pamätá túto skutočnosť až kým neprijme novú správu o polohe. Tento postup je podstatný, pretože v správe Aircraft Operational Status nie je informácia o polohe, preto je nutné aby si program pamätal či je daná ICAO adresa v sledovanom priestore z poslednej správy v ktorej sa informácia o polohe nachádzala. Z toho istého dôvodu je dôležité aby boli správy a súbory pomenované programom, pretože to zaručuje zoradenie v chronologickom poradí.

V prípade, že správa vyhovuje podmienkam, sú jej parametre pripočítavané do štatistiky. Pri počítaní typu respektíve parametrov obsiahnutých v Aircraft Operational správe to je jednoduché pripočítavanie, avšak k počítaniu parametra NIC je vytvorená metóda, do ktorej vstupuje typ ADS-B správy, NIC supplement a ICAO verzia certifikácie. Počítanie NIC parametra je podmienené faktom, že verzia nie je 0, pretože správy verzie 0 nedefinujú NIC.

Zápis dát je uskutočňovaný pre verziu 0 odlišne, pretože verzia 0 definuje parametre kvality len na základe typu správy. Zápis je možné vidieť v [kapitole 5.1.11](#).

Nakoniec program skontroluje že spracoval všetky .txt súbory a všetky riadky, a ukončí prácu.

5 Implementácia nástroja na platforme ATM laboratória ÚLD

Nástroj bol od začiatku tvorený v podmienkach laboratória ÚLD. Príjem dát realizovaný cez prijímače laboratória ÚLD. Preto je tento nástroj vhodný a uspôsobený na používanie v prostredí laboratória. Avšak jeho použitie nie je podmienené použitím v prostredí ÚLD, a dá sa využiť bez obmedzení.

5.1 Návod na používanie programu AnalyzeADSB_v1.0

5.1.1 Úvod

AnalyzeADSB_v1.0 je program tvorený v jazyku Java. Skladá sa z dvoch súborov a jednej zložky. Súbory AnalyzeADSB_v1.0, radar.conf a zložka Data. Účelom programu je analýza ukazovateľov kvality v ADS-B správach a zistenie verzie ICAO verzie certifikácie. V ADS-B správach sú udávané identifikátory kvality pre integritu a presnosť. Konkrétne parametre, ktoré program analyzuje sú NIC, NACp, NUCp, SIL, NICbaro, SILsupp, GVA a počet ICAO adries ktoré vyhovujú podmienkam. Pre analýzu je potrebné dáta o kvalite získať. Program je preto schopný dáta zapisovať z existujúceho prijímača. Pre používanie funkcie zápisu dát je nutné disponovať nástrojom na príjem dát z prevádzky. Program AnalyzeADSB_v1.0 bol tvorený s cieľom jeho čo najrýchlejšieho pracovania. Zvládne spracovať približne 20GB dát za hodinu. Program zapisuje správy bez ohľadu na ich správnosť. Preto sa predpokladá overenie správnosti (Parity check) na úrovni prijímača.

5.1.2 Konfigurácia pred spustením

Pred spustením programu je možné konfigurovať niektoré nastavenia pomocou súboru radar.conf. V tomto súbore je možné nastaviť IP adresu a PORT prijímača, z ktorého zamýšľame zapisovať dáta. Ďalej je možné nastaviť referenčnú adresu, podľa ktorej program dekóduje polohu. Na dekódovanie polohy program využíva lokálne CPR dekódovanie polohy, preto je treba nastaviť referenčnú polohu na polohu prijímača. Súbor radar.conf sa jednoducho nastaví prepísaním požadovaných hodnôt v ňom. Forma súboru je ukázaná na *obrázku 5-1*.

Jednotlivé prvky nastavenia znamenajú:

- IP1 – nastavenie IP adresy prijímača, na ktorý sa chceme napojiť a zapisovať z neho
- PORT1 – nastavenie portu prideleného konkrétnemu prijímaču
- IP2 - v prípade, že sa nepodarí pripojiť na prvú IP, program sa pokúša pripojiť na IP2
- PORT2 - Port pridelený k IP2
- RefLat – nastavenie referenčnej zemepisnej šírky
- RefLon – nastavenie referenčnej zemepisnej dĺžky

```
IP1=147.32.73.86
PORT1=60001
IP2=147.32.73.86
PORT2=60001
RefLat=50.1
RefLon=14.26
```

Obrázok 5-1: Config súbor

5.1.3 Spustenie programu

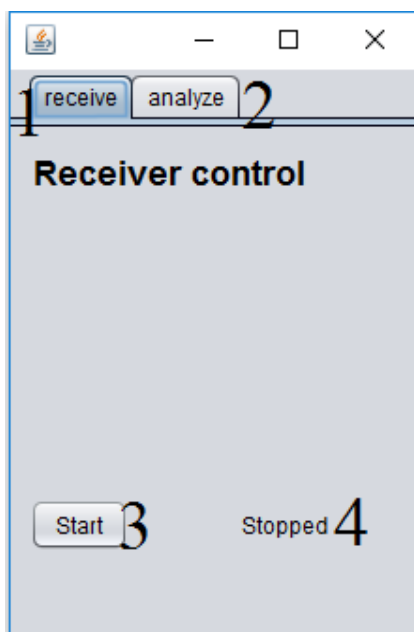
Súbory `AnalyzeADSB_v1.0.jar` a `radar.conf` spolu so zložkou `Data` je nutné mať uložené v rovnakom umiestnení pre správnu funkciu programu. Keďže je program tvorený v jazyku Java, tak je pre jeho funkciu nutné mať na zariadení nainštalovanú Javu. K spusteniu stačí otvoriť súbor `AnalyzeADSB_v1.0.jar`. Po spustení sa otvorí okno ako je na *obrázku 5-2*.



Obrázok 5-2 : AnalyzeADSB_v1.0.jar po spustení

5.1.4 Popis

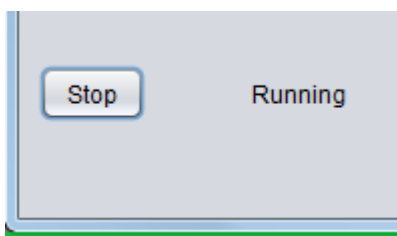
Na obrázku 5-3 sú číselne označené jednotlivé položky, ktoré sú popísané v nasledujúcich kapitolách. Dôležitá je horná časť, kde je možné zvoliť kartu.



Obrázok 5-3: Popis programu AnalyzeADSB_v1.0.jar

5.1.5 Karta pre príjem/zápis správ

Táto karta sa zobrazí pri otvorení programu, prípadne je možné sa na kartu dostať jej zvolením pomocou kliknutia na jej označenie, ktoré je na *obrázku 5-3* znázornené číslom 1. Na nej sa nachádza ovládanie príjmu správ. Ovládanie je jednoducho riešené a je možné pomocou jedného tlačidla, označeného na *obrázku 5-3* číslom 3. Tlačidlo je označené nápisom Start. Po stlačení sa spustí príjem správ a zmení sa nápis na Stop. Pri spustení príjmu sa taktiež zmení nápis vedľa tlačidla, ktorý je na *obrázku 5-3* označený číslom 4. Tento nápis zobrazuje slovo Stopped, ak program nezapisuje, a nápis Running, ak program zapisuje dáta. Prípad, keď program zapisuje dáta, je ukázaný na *obrázku 5-4*. Fakt, že do programu neprichádzajú dáta, nie je nijak indikovaný, a je treba ho overiť skontrolovaním zápisu dát do textového súboru.



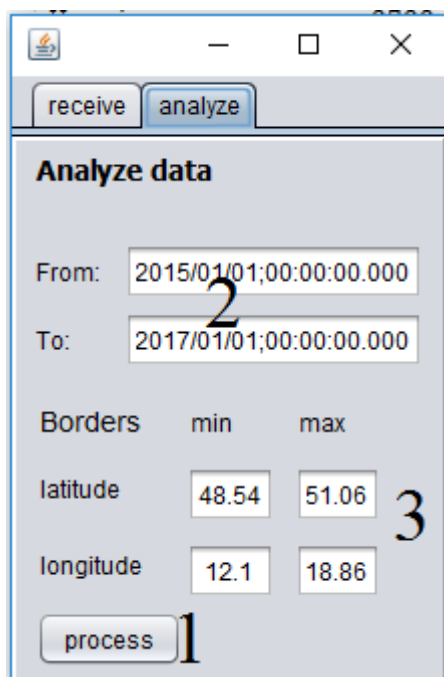
Obrázok 5-4: Zobrazenie pri zapisovaní

5.1.6 Zápis správ

Prijímané správy sú zapisované do .txt súboru, ktorý sa ukladá automaticky do umiestnenia súboru. Program vytvára súbory automaticky, a to každú hodinu nový. Súbor je vždy nazvaný časom a dátumom, kedy bol vytvorený. Čas a dátum, ktorým je súbor nazvaný, je podľa času systému. Súbory majú v špičkách v Českom letovom priestore veľkosť do 16MB, a v najkludnejších časoch to je okolo 4MB (približne medzi treťou a štvrtou hodinou rannou). Pre analýzu dát je nutné presunúť vytvorené .txt súbory do zložky „Data“.

5.1.7 Karta pre analýzu dát

Ďalšou funkciou programu je analýza dát. K tejto funkcií sa je možné dostať zvolením druhej karty, kliknutím na „Analyze“, označeným na *obrázku 5-3* číslom 2. Po zvolení, sa Vám zobrazí karta ukázaná na *obrázku 5-5*. Na tejto karte je možné definovať niekoľko parametrov pre analýzu. Tieto parametre budú popísané v ďalších kapitolách.



Obrázok 5-5: Karta pre analýzu dát

5.1.8 Výber časového rozsahu

Polia označené číslom 2 slúžia pre výber časového rozsahu. Je teda možné určiť, odkedy dokedy bude program prijaté dáta analyzovať. Znamená to, že ak máme napríklad prijaté dáta za mesiac november 2015, tak môžeme vybrať len jeden určitý týždeň, ktorý potrebujeme. Rozsah sa zadáva jednoducho, prepísaním dátumu a času v okne na požadované limity. Formát, v ktorom musí byť rozsah zadaný, je: YYYY/MM/dd;hh:mm:ss.SSS . Tento formát je nutné dodržať, inak dáta nebudú filtrované podľa požiadaviek. Čas je preddefinovaný na veľký rozsah, aby boli analyzované dáta v celom rozsahu.

5.1.9 Ohraničenie

Dáta je možné filtrovať aj na základe lokality odosielajúceho lietadla. Na základe definovania hraníc pre zemepisnú šírku a dĺžku sa definuje štvorec, v ktorom ak sa lietadlo nenachádzalo v čase odoslania správy, tak informácie z neho nebudú spracovávané. Tieto hranice je možné definovať v oknách, ktoré sú na obrázku 5-5 označené číslom 3. Detail vstupu pre definovanie ohraničenia je ukázaný na obrázku 5-6. Vstup je jednoznačne popísaný v užívateľskom rozhraní. Na obrázku 5-6 je jednoznačne vidieť ktoré okno označuje minimálne a ktoré maximálne hodnoty

ohraničenia. „latitude“ znamená zemepisnú šírku a „longitude“ znamená zemepisnú dĺžku. Ako je možné vidieť na *obrázku 5-6* hranice sú preddefinované na hraničné body Českej republiky, teda celá oblasť Českej republiky je v preddefinovanom nastavení analyzovaná.

Borders	min	max
latitude	48.54	51.06
longitude	12.1	18.86




Obrázok 5-6: Detail zadávania hraníc

5.1.10 Spustenie analýzy dát

Pred spustením analýzy dát je nutné si overiť, že dáta, ktoré chceme analyzovať máme uložené v zložke Data. Táto kontrola je dôležitá, pretože program analyzuje len dáta uložené v tejto zložke. Možno je analyzovať len dáta zapísané samotným programom, nakoľko tieto dáta sú zapisované vo formáte, ktorý program pozná. Preto je dôležité zachovať názvy súborov aj ich obsah vo forme ako sú vytvorené programom. Toto je dôležité pretože súbory a ich obsah musí byť zoradený chronologicky pre správne zanalyzovanie obsahu. Pred spustením je možné si navoliť parametre pre zúženie rozsahu správ. Zadávanie parametrov je popísané v predchádzajúcich kapitolách 5.1.7 a 5.1.8. Pre spustenie klikneme na tlačidlo „process“, označené na *obrázku 5-5* číslom 1. Po stlačení začne program s analýzou. Doba trvania procesu spracovania dát závisí od objemu dát. Rýchlosť je približne 6MB za sekundu. To závisí aj od výkonu zariadenia, na ktorom sa program používa. Počas spracovania dát sa program javí ako zaseknutý, to však neznamena zlyhanie. Po spracovaní dát program vytvorí vo svojom umiestnení 3 súbory: version_0, version_1 a version_2. Analýza správ je teda rozdelená do troch súborov, rozdelenie je podľa ICAO verzie certifikácie.

5.1.11 Výstup analýzy

Výstupom je počet jednotlivých parametrov získaných z analyzovaných správ. Vo výstupe sa tiež nachádza koľko jedinečných vysieláčov bolo analyzovaných. Výstup je rozdelený do troch súborov podľa ICAO verzie certifikácie. Súbory sú nazvané version_0.txt, version_1.txt a version_2.txt. Ukážka na *obrázku 5-7*.

 version_0	9.10.2016 23:03	Textový dokument	2 kB
 version_1	9.10.2016 23:03	Textový dokument	2 kB
 version_2	9.10.2016 23:03	Textový dokument	2 kB

Obrázok 5-7: Vytvorené výstupy

Dáta v súbore sú oddelené tabulátorom, aby s nim bolo jednoduché ďalej pracovať. Výstup je možné vidieť na *obrázku 5-8*.

Na *obrázku 5-8* je príklad zápisu pre ICAO verziu 1. V prvom riadku je popis jednotlivých stĺpcov. Teda vždy údaj ktorý sa nachádza napríklad pod číslom 4, ukazuje koľko krát bol v správach uvedený údaj s hodnotou 4.

Parametre sú:

- type: typ ADS-B správy, ktorý nám definuje hodnotu parametra NIC v správach ICAO verzie 1 a 2. Vo verzii 0 definuje hodnotu parametra NUCp
- Version: ICAO verzia certifikácie. V tomto prípade máme správy verzie 1. V ICAO verzii 0 sa neuvádza.
- NICsuppA: Parameter NICsuppA nám presnejšie definuje hodnotu parametra NIC v ICAO verziách 1 a 2. V ICAO verzii 0 sa neuvádza.
- GVA: Parameter určujúci vertikálnu presnosť. Vyskytuje sa len v ICAO verzii 2. Pre ICAO verziu 1 a 0 nepoužiteľné.
- SIL: V tomto riadku je súčet parametra SIL. Pre ICAO verziu 0 nepoužiteľné.
- NICbaro: Určuje dôveryhodnosť barometrickej výšky. V tomto riadku je súčet prijatých NICbaro parametrov. Pre ICAO verziu 0 nepoužiteľné.

- SILsupp: Presnejšie definuje integritu. Pre ICAO verziu 1 a 0 nepoužiteľné.
- Acft1: Počet vysielateľov od ktorých boli v analyzovaných dátach prijaté správy.
- NIC: Pri verziách 1 a 2 sa vo výpise nachádza súčet prijatých hodnôt parametra NIC.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
type:	0	0	0	0	0	1	1	63019	2466	0	1	13933171	348128	4740	33	1659	11080	1854	288487	0	0	0	3378
Version:	0	0	3030889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICsuppA	2726580	304309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAcP:	72431	339	400	2145	1	9	39	70	2336	1300503	1533349	119267											
GVA:	132938	1285	2896666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIL:	81422	19045	32915	2897507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICbora:	9638	3021251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SILsupp:	3029677	1212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACFTtype:	1079																						
	NIC 0	NIC 1	NIC 2	NIC 3	NIC 4	NIC 5	NIC 6(0.3)	NIC 6(0.5)	NIC 6(0.6)	NIC 7	NIC 8	NIC 9	NIC 10	NIC 11									
NIC:	293739	1854	550	10530	1659	33	592	4694	46	348128	12932985	1063205	2	1									

Obrázok 5-8: Ukážka výstupu analýzy

Vo výstupe sa, ako je možné vidieť, nachádzajú parametre určujúce kvalitu dát o polohe, absentuje parametre o kvalite rýchlosti. Bližšie sú jednotlivé parametre vysvetlené v [kapitole 3.1](#).

5.2 Konkrétna práca v prostredí laboratória ÚLD

Zber dát bol možný vďaka dispozícií laboratória ÚLD. Pre zber dát boli k dispozícií tri prijímače správ odpovedača módu S. Tieto prijímače boli lokalizované na 3 miestach a to: na streche študentského internátu na pražskom Strahove, na streche biznis centra na pražskom Pankáci a posledný na pôde ÚLD ČVUT na Horskej ulici taktiež v Prahe. Najspoľahlivejší sa javil prijímač na Strahove, druhý v spoľahlivosti a v objeme dát bol prijímač na Pankáci. Preto som pre zber dát hlavne využíval prijímač na Strahove. Nastavenie pripojenia na prijímače je vysvetlené v [kapitole 5.1.2](#). Počas zberu dát sa vyskytovali výpadky v zápise, spôsobené výpadkami servera, výpadkami samotného prijímača, a jeden výpadok bol spôsobený rekonštrukciou strechy na Strahovskom internáte. Tieto výpadky nepovažujem za významné z hľadiska vierohodnosti a správnosti výsledkov, nakoľko predstavujú menej ako 5% z celkového času zapisovania.

6 Štatistické zhodnotenie prijatých dát

6.1 Prijaté dáta

Dáta boli prijímané cez vytvorený softvérový nástroj, popísaný v kapitolách 4 a 5. Prijímanie bolo nepretržité od 1.9.2015 do 24.2.2016, avšak počas tohto obdobia prišlo aj k neočakávaným výpadkom, tie sú popísané v [kapitole 5.2](#). Obnos prijatých dát je 27,7 GB. Celkový počet prijatých správ spadajúcich do oblasti ohraničenej súradnicami: spodná hranica 48,54° severnej šírky, vrchná hranica 51,06° severnej šírky, východná hranica 18,86° východnej dĺžky a západná hranica 12,1° východnej dĺžky. Tieto súradnice vytvárajú obdĺžnik, do ktorého spadá Česká republika. Počet prijatých a spracovaných správ je ukázaný v *tabuľke 6-1*. Jedná sa o deväťmiestne číslo.

Tabuľka 6-1: Počet prijatých správ

Počet správ Airborne Position	298853459
Počet správ Surface Position	1277598
Počet správ Aircraft Operational Status	8433417
Celkovo	308564474

6.1.1 Spracovanie všetkých prijatých dát programom

Spracovanie všetkých dát programom trvalo presne 1 hodinu, 45 minút a 10 sekúnd. Výstupy dát pre jednotlivé ICAO verzie certifikácie je možné vidieť na *tabuľke 6-2*, na *tabuľke 6-3* a na *tabuľke 6-4*. Jedná sa o dáta limitované ohraničením definovaným v [kapitole 6.1](#).

Tabuľka 6-2: Všetky dáta, ICAO verzia 0

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
type:	0	0	0	0	0	765	22232	711276	435448	750837	3055471	161079289	57446643	8163004	422273	44628	38641	912	27055421	0	22	27	19
ACFTtype:	6477																						

Tabuľka 6-3: Všetky dáta, ICAO verzia 1

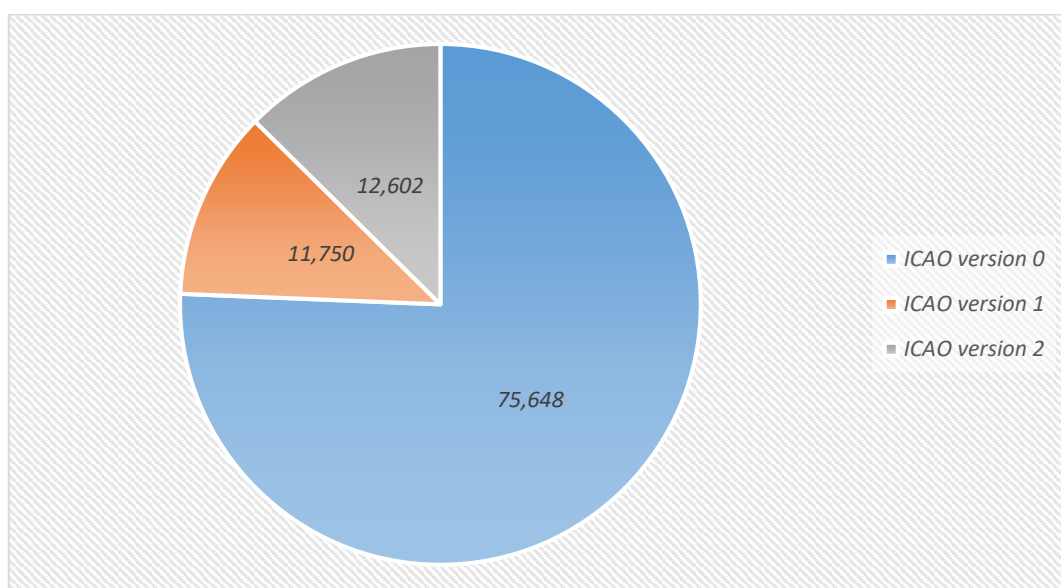
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
type:	0	0	0	0	0	4886	17518	14064	5922	40475	1806111	21686509	1936029	194682	796	35	9216	51	529675	0	0	0	62
Version:	0	5402528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICsuppA	3394104	2008424	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NACp:	113585	0	0	1856	158	0	2	54926	794663	3215543	1101177	120618											
GVA:	5402528	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SIL:	219939	12218	5163044	7327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NICbaro:	25765	5376763	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SILsupp:	5402527	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACFTtype:	1006																						
	NIC 0	NIC 1	NIC 2	NIC 3	NIC 4	NIC 5	NIC 6(0.3)	NIC 6(0.5)	NIC 6(0.6)	NIC 7	NIC 8	NIC 9	NIC 10	NIC 11									
NIC:	535659	51	63	9153	35	796	0	0	194682	1936029	21700573	1823408	221	45361									

Tabuľka 6-4: Všetky dáta: ICAO verzia 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
type:	0	0	0	0	0	1	1	63019	2466	0	1	13933171	348128	4740	33	1659	11080	1854	288487	0	0	0	3378
Version:	0	0	3030889	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
NICsuppA	2726580	304309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
NACp:	72431	339	400	2145	1	9	39	70	2336	1300503	1533349	119267											
GVA:	132938	1285	2896666	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
SIL:	81422	19045	32915	2897507	0	0	0	0	0	0	0	0											
NICbaro:	9638	3021251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
SILsupp:	3029677	1212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
ACFType:	1079																						
	NIC 0	NIC 1	NIC 2	NIC 3	NIC 4	NIC 5	NIC 6(0.3)	NIC 6(0.5)	NIC 6(0.6)	NIC 7	NIC 8	NIC 9	NIC 10	NIC 11									
NIC:	293739	1854	550	10530	1659	33	592	4694	46	348128	12932985	1063205	2	1									

6.2 Podiel jednotlivých verzií

Pôvodná ICAO verzia 0 bola zadaná v roku 2000, ICAO verzia 1 v roku 2003 a posledná aktuálna ICAO verzia 2 v roku 2009. Od zadaní prvej verzie prešlo už 16 rokov, preto je zaujímavé, aké verzie sú reálne používané v dnešnej prevádzke. Novšie verzie priniesli presnejšie a obsiahnejšie určovanie kvality správ. Jedinečných vysielateľov (lietadiel) využívajúcich verziu 0 v analyzovanej vzorke popísanej v predchádzajúcich kapitolách, je **6477**. Jedinečných vysielateľov verzie 1 v tej istej vzorke sa nachádza **1006**. Jedinečných vysielateľov verzie 2 sa vo vzorke nachádza **1079**. Teda celkovo boli prijímané správy v sledovanom období od **8562** vysielateľov. Z toho je možné vypočítať percentuálne zastúpenie pre každú ICAO verziu. Pre ICAO verziu 0 to je podiel **75,648%**. Pre ICAO verziu 1 to predstavuje **11,750%**. Pre ICAO verziu 2 to je **12,602%**. Prehľadne to je možné vidieť v *tabuľke 6-5* a v *grafe 6-1*.



Graf 6-1: Podiel v percentách ICAO verzií v celom období

Podobné výsledky vyplývajú zo štatistiky spomenutej v prezentácií z roku 2016 [11]. Dáta tu boli zbierané z prijímača v Paríži, a výsledné zastúpenie je 73% lietadiel s verziou 0, 13% s verziou 1 a 14% s verziou 2.

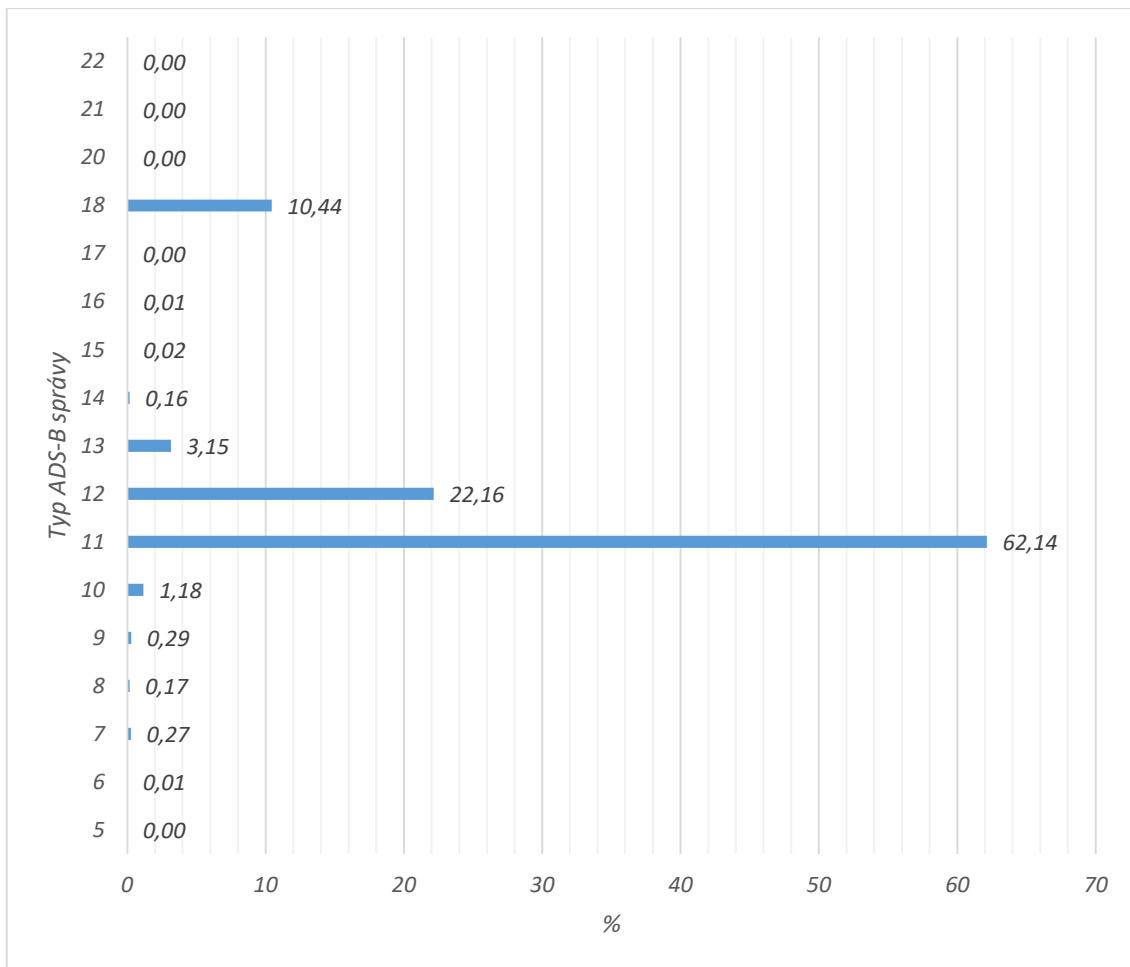
Tabuľka 6-5: Zastúpenie ICAO verzií

	Počet vysieláčov	Perc. podiel [%]
ICAO version 0	6477	75,648
ICAO version 1	1006	11,750
ICAO version 2	1079	12,602
Celkovo	8562	100

Je možné vidieť prevahu pôvodnej verzie, čo znamená nevyužívanie možností, ktoré nám sú ponúkané v poslednej, najnovšej verzií. Pri pohľade na podiel ICAO verzie 1, s ohľadom na jej definovanie už v roku 2003, je možné konštatovať prekvapivo nízke zastúpenie. To je možné vysvetliť možnou nevýhodou vo forme zavedenia závislosti na vertikálnej zložke u niektorých parametrov a tiež faktom, že predpis vyžaduje ICAO verziu certifikácie 2 pre nové lietadlá od roku 2016 a „retrofit“ od roku 2020. [3] [4]

6.3 Zhodnotenie dát ICAO verzie 0 za celé obdobie

Na grafe 6-2 je vidieť podiel zastúpení jednotlivých typov vo všetkých prijatých správach pre ICAO verziu certifikácie 0. Na vodorovnej ose sú vynesené typy ADS-B správ, konkrétne typy od 5 do 18 a od 20 do 22. Vynechané typy sú tie, ktoré nedefinujú kvalitu ADS-B správy, a teda ani neobsahujú informáciu o polohe. Na grafe je možné vidieť výraznú prevahu typu 11, presne 62,14%, čo znamená Airborne Position správu, s úrovňou NUC_P na dobrej hodnote. Bližšie bude táto hodnota vyhodnocovaná v [kapitole 7](#). Ostatné hodnoty sú s výrazne menším zastúpením. Na grafe je možné vidieť aj prevahu Airborne Position správ nad Surface Position správami, keďže Airborne Position správy sú definované typmi 9-18, 20-22, a Surface Position správy sú definované typmi 5-8. To je ľahko pochopiteľné, nakoľko lietadlá sú na zemi so spusteným odpovedačom výrazne kratšiu dobu a v menšom počte, plus prijímač, ktorý bol využívaný nemá dosah na celú plochu LKPR. V ICAO verzií 0 určuje kvalitu polohovej informácie len jeden parameter, NUC_P, a ten nám definuje integritu aj presnosť zároveň.



Graf 6-2: Podiel podľa typu, všetky prijaté správy ICAO verzie 0

6.3.1 Airborne Position správy vo verzií 0 za celé obdobie

V grafe 6-3 je vynesovaný podiel zastúpenia prijatých typov Airborne Position správ. Graf ukazuje podobné výsledky ako porovnanie všetkých správ, nakoľko zastúpenie Airborne Position správ v celkovom objeme je markantný. Ako bolo už spomenuté, prevahu má typ správ 11, 62,42 percentné zastúpenie. Pre typ 11 je NUC_P 7, a ten definuje presnosť menej ako 0,05 NM ale viac ako 10 m R_c . Integrita pre NUC_P 7 je menej ako 0,1 NM ale viac ako 25 m HPL.

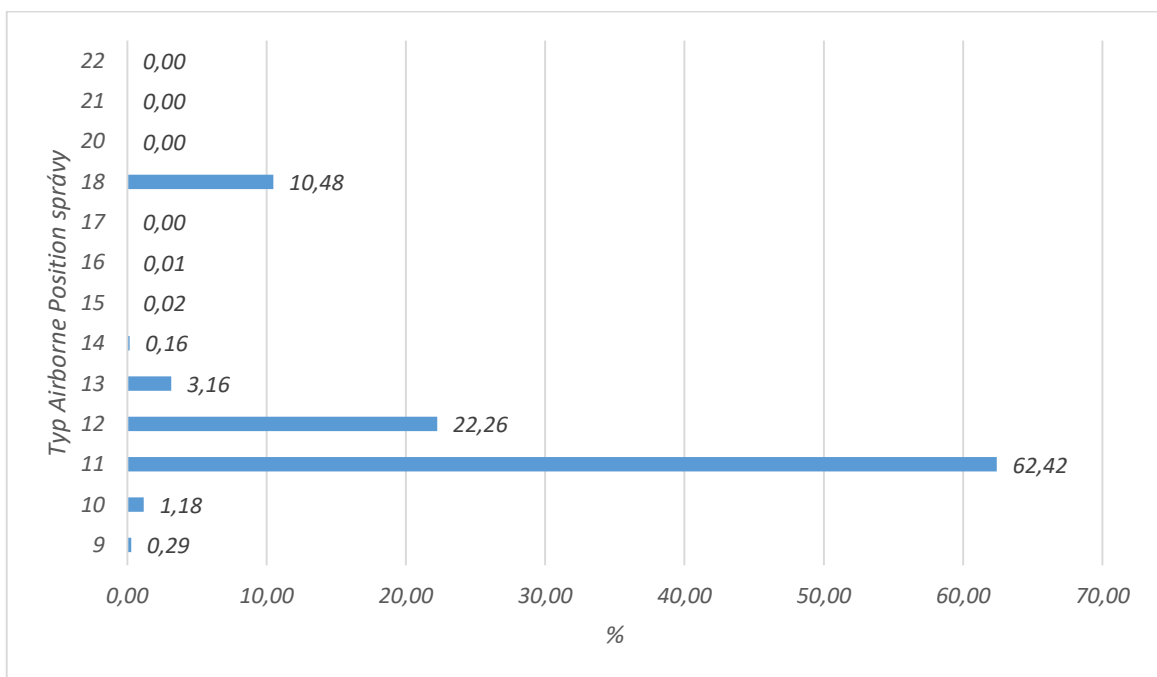
Typ 12 má druhé najvyššie zastúpenie, a to 22,26 %. Typ 12 patrí pre NUC_P 6, čo nám definuje presnosť parametrom R_c , menej ako 0,1 NM ale viac ako 0,05 NM. Integrita pre NUC_P 6 je definovaná HPL, menej ako 0,2 NM ale viac ako 0,1 NM.

Ďalej sa objavuje typ 18 so zastúpením 10,48 %. Ten definuje NUC_P hodnotu 0. To znamená veľmi zlú presnosť, respektíve znamená to nepoužiteľnosť polohovej

informácie z ADS-B správy. Konkrétne je to pre presnosť R_c viac ako 10 NM, a pre integritu HPL rovné alebo viac ako 20 NM.

Ďalším zastúpením je typ 13. V sledovanom období je jeho podiel 3,16%. Ten definuje presnosť a integritu podľa NUC_P 5. To nám určuje presnosť cez R_c , menej ako 0,25 NM ale viac ako 0,1 NM. Integrita je podľa HPL menej ako 0,5 NM ale viac ako 0,2 NM.

Posledným typom s viditeľným zastúpením je 10. Toho zastúpenie je len 1,18 %. Teda jeho výskyt je veľmi zriedkavý, a teda nevýznamný podiel. Typ 10 avšak znamená pomerne vysoké parametre čo sa týka kvality. Presnosť definovaná pomocou R_c je menej ako 10 m ale viac ako 3 m. Integrita definovaná pomocou HPL je menej ako 25 m ale viac ako 7,5 m.



Graf 6-3: Zastúpenie typov v Airborne Position správach

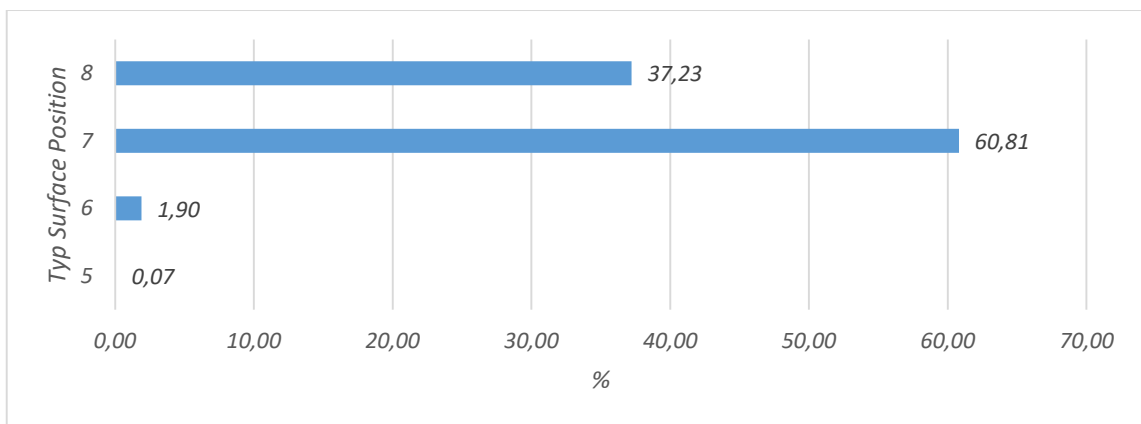
6.3.2 Surface Position správy vo verzií 0 za celé obdobie

Väčšiu výpovednú hodnotu má graf 6-4. Tu je možné vidieť porovnanie zastúpenia typov Surface Position správ. Prevažuje typ 7 s 60,81 percentným zastúpením. Pre typ 7 je NUC_P 7, a teda presnosť definovaná pomocou R_c je menej ako 0,05 NM (92,6m) ale viac ako 10 m. Integrita definovaná pomocou HPL je menej ako 0,1 NM (185,2m).

Druhé výrazné zastúpenie má typ 8 a to 37,23%. Typ 8 predstavuje NUC_P hodnotu 6, a to je presnosť definovaná R_c viac ako 0,05 NM (92,6m). Integrita je pomocou HPL viac ako 0,1 NM (185,2m).

Menšie zastúpenie predstavuje typ 6, a to 1,90%. Typ 6 definuje NUC_P 8. Presnosť definovaná pomocou R_c je menej ako 10m ale viac ako 3m. Integrita definovaná pomocou HPL je menej ako 25m.

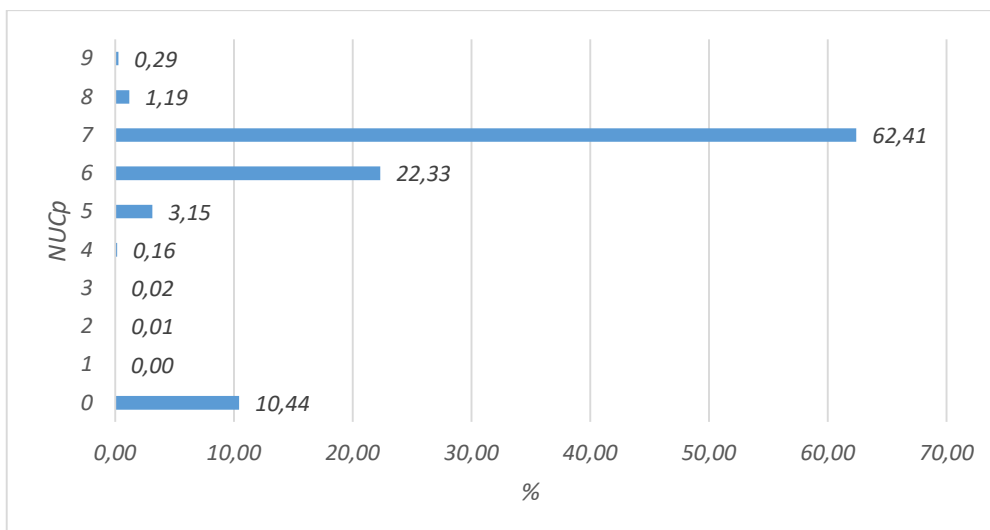
Boli prijaté aj správy typu 5, ale ich množstvo je výrazne minoritné (0,07%), a teda je možné ich zanedbať. Typ 5 určuje NUC_P 9, čo je presnosť definovaná pomocou R_c menej ako 3m. Integrita definovaná pomocou HPL menej ako 7,5m.



Graf 6-4: Zastúpenie typov v Surface Position správach

6.3.3 Zastúpenie NUC_P

Graf 6-5 zobrazuje zastúpenie jednotlivých hodnôt parametra NUC_P v správach verzie 0. Graf obsahuje všetky dáta, nezávisle na type správy. Ako bolo už v predchádzajúcich kapitolách spomenuté, vyskytuje sa tu prevaha NUC_P 7, výsledné zastúpenie je 62,41%. Význam jednotlivých hodnôt je možné nájsť v tabuľke 6-6. Na grafe je možné pozorovať 10,44% zastúpenie NUC_P hodnoty 0, čo predstavuje nepoužiteľný údaj s polohou, teda znamená to nepoužiteľnú správu.



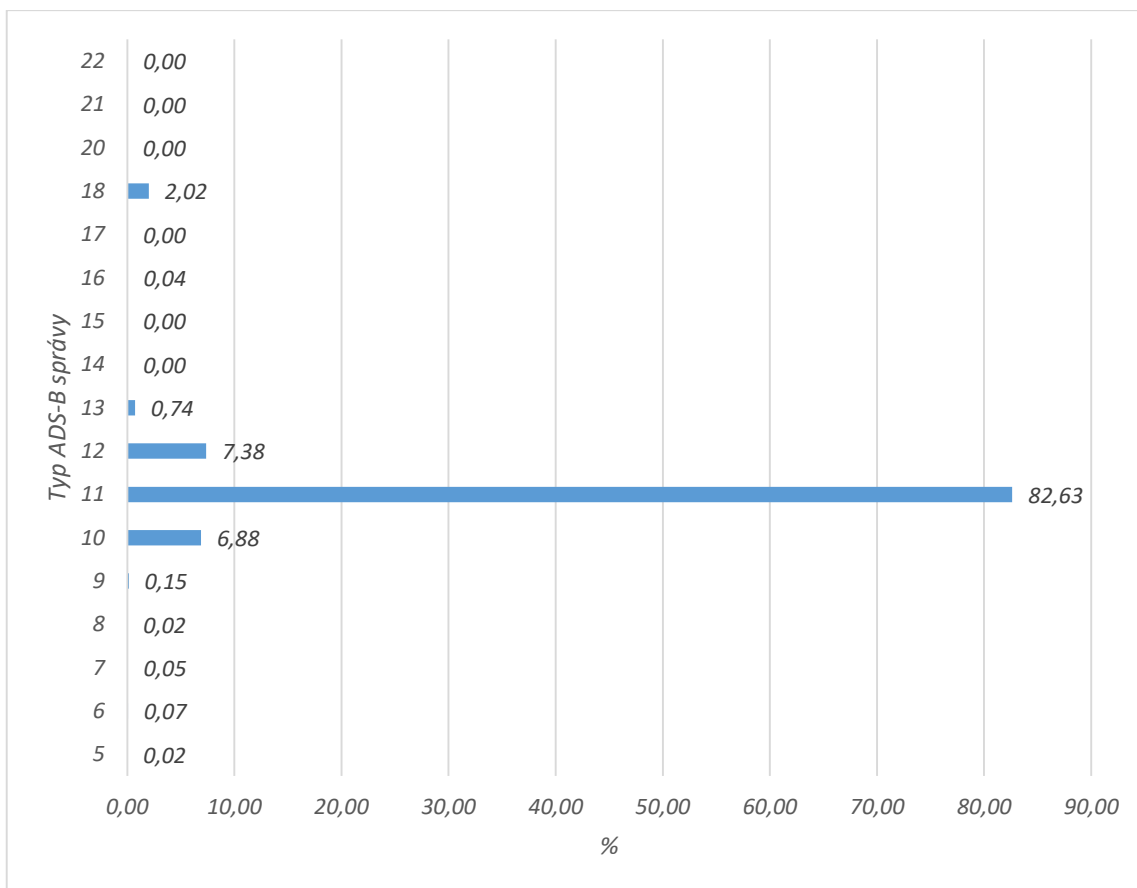
Graf 6-5: Zastúpenie NUCp parametra

Tabuľka 6-6: Význam hodnôt NUCp parametra [12]

NUC _p	HPL	95% Containment Radius On Horizontal Position Error μ
0	HPL \geq 37.04 km (20 nm)	18.52 km (10.0 nm) $\leq \mu$
1	18.52 km (10 nm) \leq HPL < 37.04 km (20 nm)	9.26 km (5.0 nm) $\leq \mu$ < 18.52 km (10.0 nm)
2	3.704 km (2.0 nm) \leq HPL < 18.52 km (10 nm)	1.852 km (1.0 nm) $\leq \mu$ < 9.26 km (5.0 nm)
3	1852 m (1.0 nm) \leq HPL < 3704 m (2.0 nm)	926 m (0.5 nm) $\leq \mu$ < 1852 m (1.0 nm)
4	926 m (0.5 nm) \leq HPL < 1852 m (1.0 nm)	463 m (0.25 NM) $\leq \mu$ < 926 m (0.5 NM)
5	370.4 m (0.2 nm) \leq HPL < 926 m (0.5 nm)	185.2 m (0.1 nm) $\leq \mu$ < 463 m (0.25 nm)
6	185.2 m (0.1 nm) \leq HPL < 370.4 m (0.2 nm)	92.6 m (0.05 nm) $\leq \mu$ < 185.2 m (0.1 nm)
7	25 m \leq HPL < 185.2 m (0.1 nm)	10 m $\leq \mu$ < 92.6 m (0.05 nm)
8	7.5 m \leq HPL < 25 m	3 m $\leq \mu$ < 10 m
9	HPL < 7.5 m	μ < 3 m

6.4 Zhodnotenie dát ICAO verzie 1 za celé obdobie

Podiel jednotlivých typov vo všetkých prijatých správach za sledované obdobie ICAO verzie certifikácie 1 je vyneseny v grafe 6-6. Celkový počet prijatých správ ICAO typu certifikácie 1 za sledované obdobie je 21 686 466. Na grafe je možné vidieť zasa výrazné zastúpenie typu 11, ešte výraznejšie ako u verzie 0, konkrétne 82,63%. Okrem typu 11 sa vo vyššom počte vyskytujú typy 10 (6,98%) a 12 (7,38%). Presnosti a ich použitie sú zhodnotené v kapitole 7. Zase je možné pozorovať výraznú prevahu Airborne Position správ (typ 9-22, okrem 19) nad Surface Position správami (typ 5-8), možné dôvody sú spomenuté v kapitole 6.3.



Graf 6-6: Zastúpenie ADS-B správ podľa typu

6.4.1 Airborne Position správy vo verzii 1 za celé obdobie

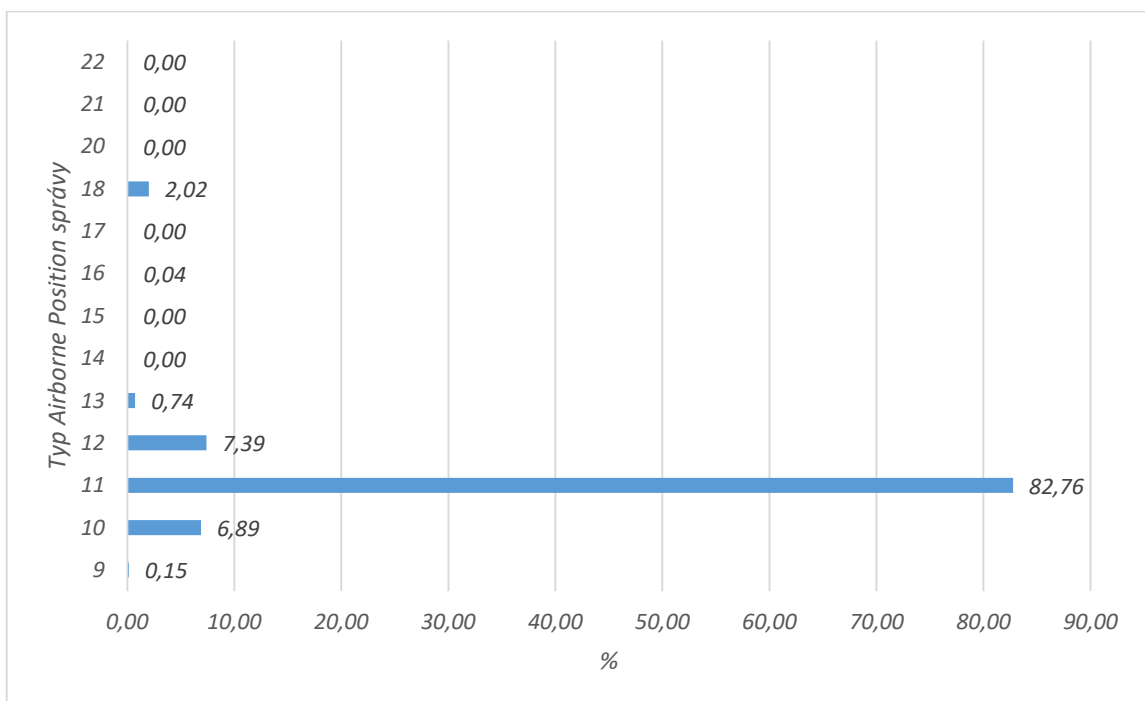
V prvom rade treba poznamenať, že u ICAO type certifikácie 1 už typ správy určuje len úroveň integrity, spolu s parametrom SIL, ktorý je zakódovaný v správe Aircraft Operational Status. Ďalej vzniká závislosť na vertikálnej zložke, čo znamená obmedzenie v určovaní kvality, pretože v prípade, že nás zaujíma len kvalita v horizontálnej rovine, parameter kvality je potenciálne obmedzovaný vertikálnou zložkou.

Presnosť polohovej informácie je uvedená zvlášť, tiež v Aircraft Operational Status správe. Parametre uvedené v správach ICAO typu certifikácie 1 sú vysvetlené v [kapitole 3.1.2](#).

Ako je možné vidieť na *grafe-6-7*, v Airborne Position správach má prevahu **typ správ 11**. Ten predstavuje 82,76% objemu prijatých Airborne Position správ, a určuje hodnotu parametra NIC 8. NIC 8 znamená Rc menej ako 0,1NM (185,2m).

Ako druhý sa najčastejšie objavuje **typ 12**, čo znamená NIC hodnotu 7. Typ 12 sa vyskytuje v celej prijatej vzorke s podielom 7,39%. NIC 7 nám určuje integritu cez Rc a to menej ako 0,2NM.

S podielom 6,89% sa vyskytuje v sledovanom celku dát **typ 10**. Ten predstavuje hodnotu NIC 9/10. Konkrétne je NIC pri type 10 určený pomocou parametra NIC supplement. Pre NIC 9 je Rc menej ako 75m a zároveň VPL menej ako 112m. NIC 10 je Rc menej ako 25m a VPL menej ako 37,5m.. Bližšie bude NIC zanalyzované v [kapitole 6.4.3](#). Tu sa nám objavuje závislosť na vertikálnej zložke, a môže to byť aj dôvodom pomerne nízkeho podielu tohto typu.



Graf 6-7: Zastúpenie typov Airborne Position správ

6.4.2 Surface Position správy vo verzii 1 za celé obdobie

Na *grafe 6-8* ukázané zastúpenie typov ADS-B Surface Position správ. Tu je možné vidieť zastúpenie všetkých typov, s prevahou typov 6 a 7.

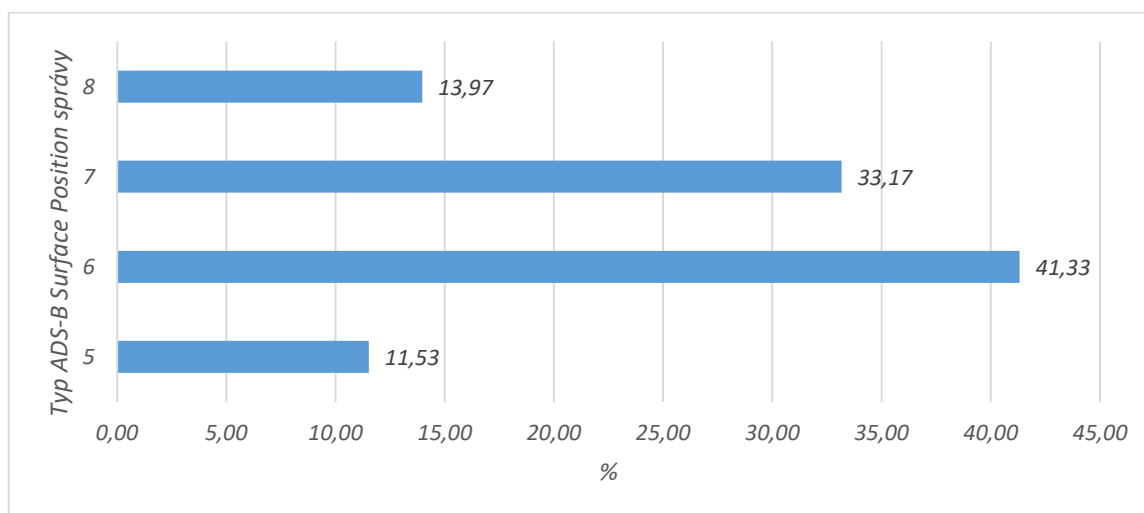
Typ 6 nám NIC na hodnoty 9 alebo 10. Konkrétne je NIC pri type 6 určený pomocou parametra NIC supplement. Pre NIC 9 je Rc menej ako 75m a zároveň VPL menej ako

112m. NIC 10 je Rc menej ako 25m a VPL menej ako 37,5m. Typ 6 sa vyskytuje s podielom 41,33%. Bližšie bude NIC zanalyzované v [kapitole 6.4.3](#).

Typ 7 definuje Rc menej ako 0,1NM a NIC 8. Typ 7 sa vyskytuje s podielom 33,17%. Typy 6 a 7 predstavujú dohromady 74,5%, čo je väčšina prijatých správ.

S menším zastúpením sa vyskytujú správy typu 8. Konkrétne je to podiel 13,97%. Typ 8 predstavuje hodnotu NIC 0. NIC 0 znamená Rc menej ako 0,1NM alebo neznámu hodnotu. Je to teda nepoužiteľná správa z hľadiska využitia polohovej informácie.

Najmenšie zastúpenie má typ 5 a je to podiel 11,53%. Typ 5 znamená hodnotu NIC 11, čo znamená Rc menej ako 7,5m. Typ 5 je najlepšia možná integrita, aká sa môže objaviť v Surface Position správach.



Graf 6-8: Podiel typov Surface Position správ

6.4.3 NIC v ICAO verzii certifikácie 1 za celé obdobie

Z typu ADS-B správy a z NIC supplement kódu bol dekódovaný parameter NIC. Viac informácií k parametru NIC je možné nájsť v [kapitole 3.1](#). Ten nám definuje polomer výskytu pre integritu Rc.

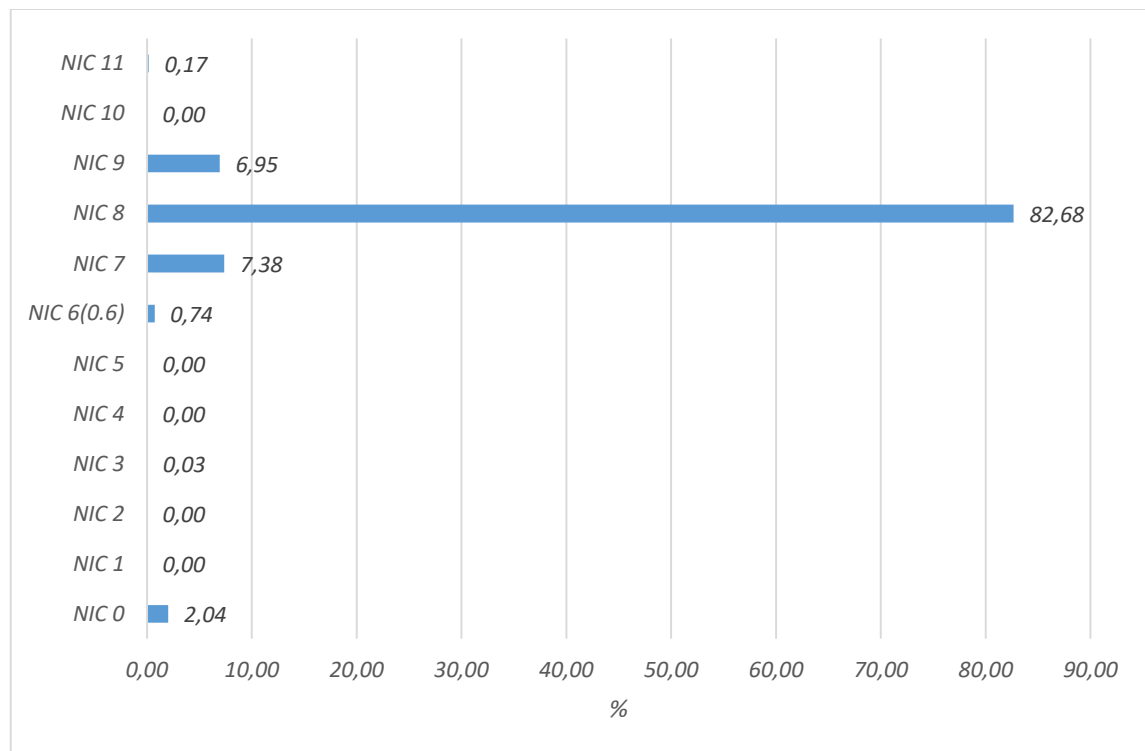
Na *grafe 6-9* je vidieť podiel jednotlivých hodnôt NIC. Tu je možné vidieť veľkú prevahu NIC8, zastúpenie 82,68 %, ktorý nám definuje polomer Rc na hodnotu menej ako 0,1 NM (185,2 m).

Ďalší sa tu vyskytuje parameter NIC9 so zastúpením 6,95 %. NIC9 nám definuje polomer Rc na menej ako 75 m a polomer VPL na menej ako 112 m. U parametra NIC9 sa vyskytuje závislosť na vertikálnej zložke.

Parameter NIC7 sa vyskytuje so zastúpením 7,38 %. Definuje nám polomer Rc na hodnotu menej ako 0,2 NM (370,4 m).

Ďalej sa s minoritným zastúpením (0,74 %) vyskytuje parameter NIC6. Ten určuje Rc na hodnotu 0,6 NM (1111,2 m).

Parameter s najhoršou integritou, NIC0, sa vyskytuje u 2,04 % prijatých správ. Definuje Rc ako neznáme.

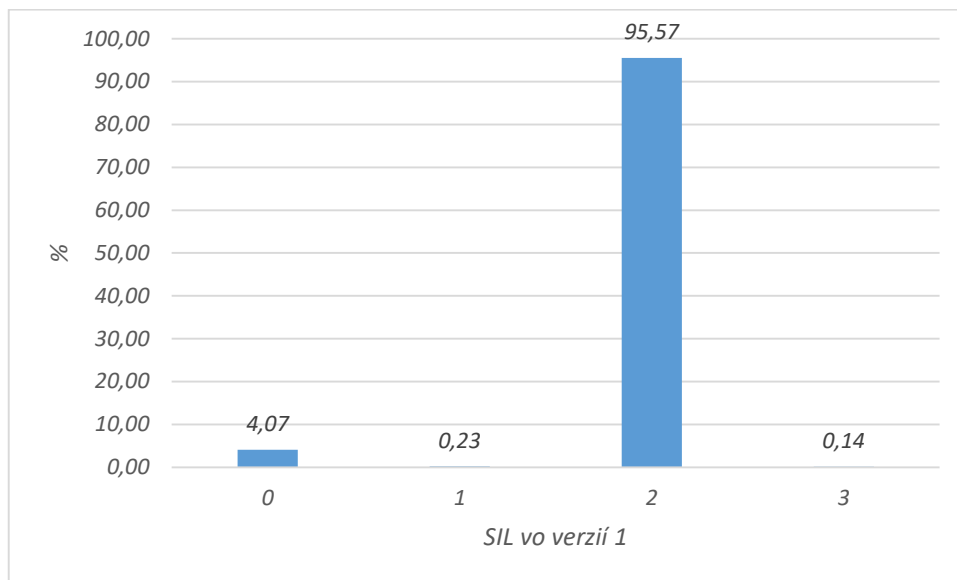


Graf 6-9: Zastúpenie NIC vo verzii 1

6.4.4 SIL v správach ICAO verzie 1 za celé obdobie

V grafe 6-10 je možné vidieť jednoznačnú prevahu hodnoty SIL 2. Tá predstavuje 95,57 % objemu všetkých SIL parametrov. Hodnota SIL 2 určuje pravdepodobnosť, že bude prekročená hodnota Rc definovaná parametrom NIC bez detekcie, na 1×10^{-5} za

letovú hodinu alebo vzorku. Boli prijaté aj hodnoty SIL 0, to znamená, že pravdepodobnosť je neznáma v danom okamžiku.

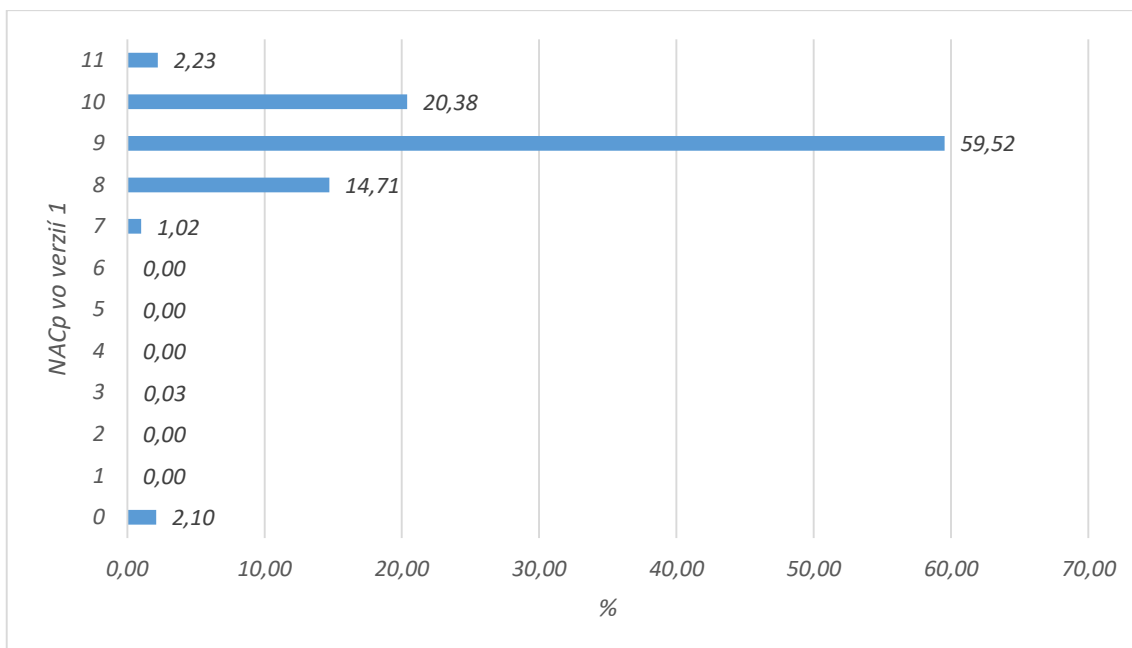


Graf 6-10: Zastúpenie hodnôt SIL

6.4.5 Presnosť v správach ICAO verzie 1 za celé obdobie

Presnosť je v ICAO verzii certifikácie 1 definovaná parametrom NACp, ktorý sa vyskytuje v správach Aircraft Operational Status. Viac o tomto parametri je vysvetlené v [kapitole 3.1.2](#). Na *grafe 6-11* je vidieť percentuálne zastúpenie jednotlivých parametrov. Je možné vidieť prevahu NACp parametra 9, ktorý predstavuje 59,52 percentný podiel.

Dekódovanie jednotlivých NACp parametrov je ukázané na *tabuľke 6-7*. Tam je možné vidieť aj jednotlivé prirovnania k hodnotám RNP (požadovaná navigačná výkonnosť). Od hodnoty NACp 9 je zohľadňovaná aj vertikálna zložka, konkrétne parameter VEPU. Na prijatých správach je možné pozorovať vysokú úroveň presnosti, nakoľko 96,84% má hodnotu NACp vyššiu alebo rovnú 8. Vyskytuje sa pomerne veľké množstvo správ s presnosťou hodnotenou parametrom NACp 10, konkrétne 20,38%. Parameter NACp 10 definuje EPU menej ako 10m a VEPU menej ako 15m. Tejto presnosti je dosahované pravdepodobne vďaka možnosti využívať systém EGNOS nad Európou.



Graf 6-11: Zastúpenie hodnôt NACp v správach ICAO verzie 1

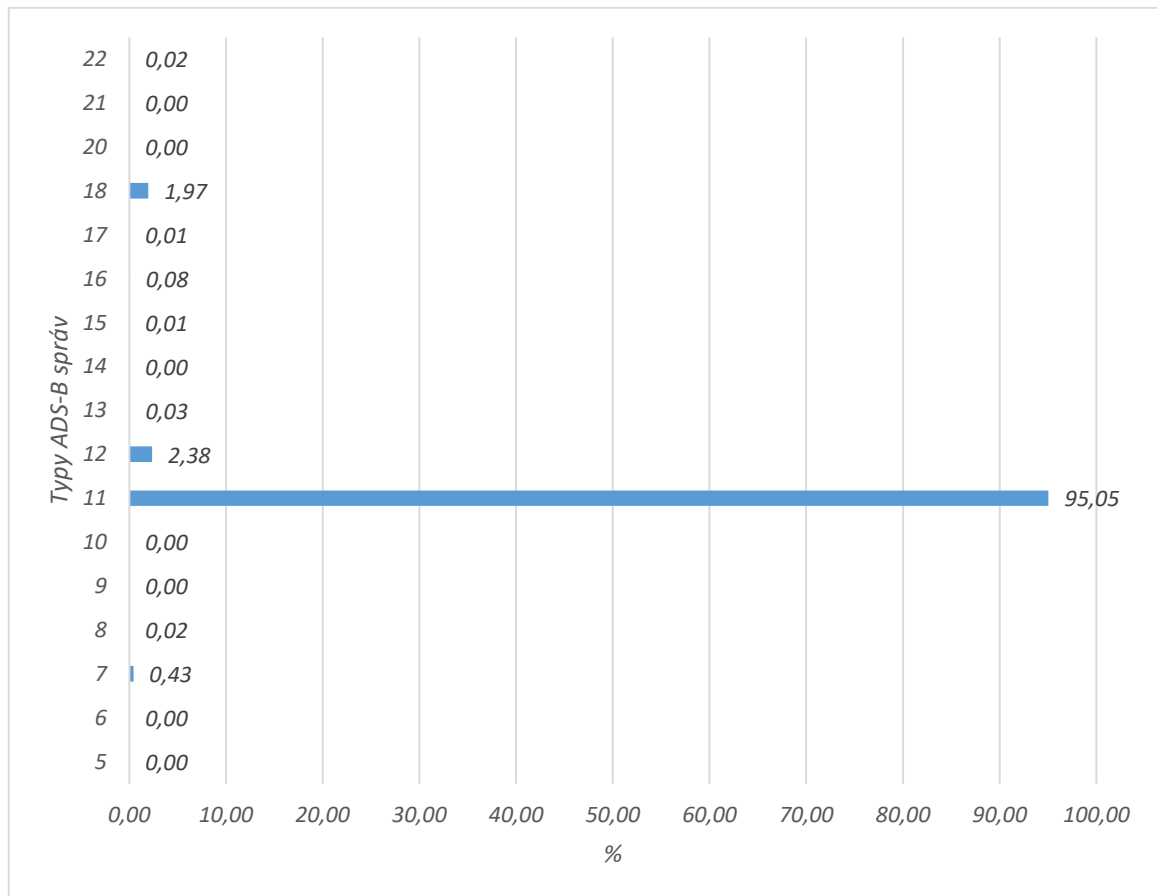
Tabuľka 6-7: NACp kódovanie v ICAO verzii certifikácie 1 [7]

Encoding		Meaning = 95% Horizontal and Vertical Accuracy Bounds (EPU and VEPU)
(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 < 7.408 km (4 NM) - RNP-4 accuracy
0011	3	EPU < 3.704 km (2 NM) - RNP-2 accuracy
0100	4	EPU < 1852 m (1NM) - 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 and VEPU < 45 m - e.g., GPS (SA off)
1010	10	EPU < 10 m <u>and</u> VEPU < 15 m - e.g., WAAS
1011	11	EPU < 3 m <u>and</u> VEPU < 4 m - e.g., LAAS
1100 - 1111	12 - 15	Reserved

6.5 Zhodnotenie dát ICAO verzie 2 za celé obdobie

Na grafe 6-12 je možné vidieť podiel jednotlivých typov správ v celkovom objeme prijatých správ ICAO verzie certifikácie 2. Tu je vidieť zasa veľká prevaha typu 11, čo znamená Airborne Position správu. Konkrétne je to 13 933 171 správ, z celkového počtu 14 658 018 to predstavuje 95,05%.

U ICAO verzie certifikácie 2 je vidieť najmarkantnejšiu prevahu Airborne Position správ (typ 9-22, okrem typu 19), z toho možno predpokladať, že lietadlá vybavené verziou 2 českým letovým priestorom skôr prelietavajú. Dôležitým faktom je, že u verzie 2 zaniká závislosť na vertikálnej zložke u parametrov NAC_P, NIC a SIL. Vzniká nový parameter pre definovanie vertikálnej presnosti, a to GVA.



Graf 6-12: Zastúpenie typov ADS-B správ verzie 2

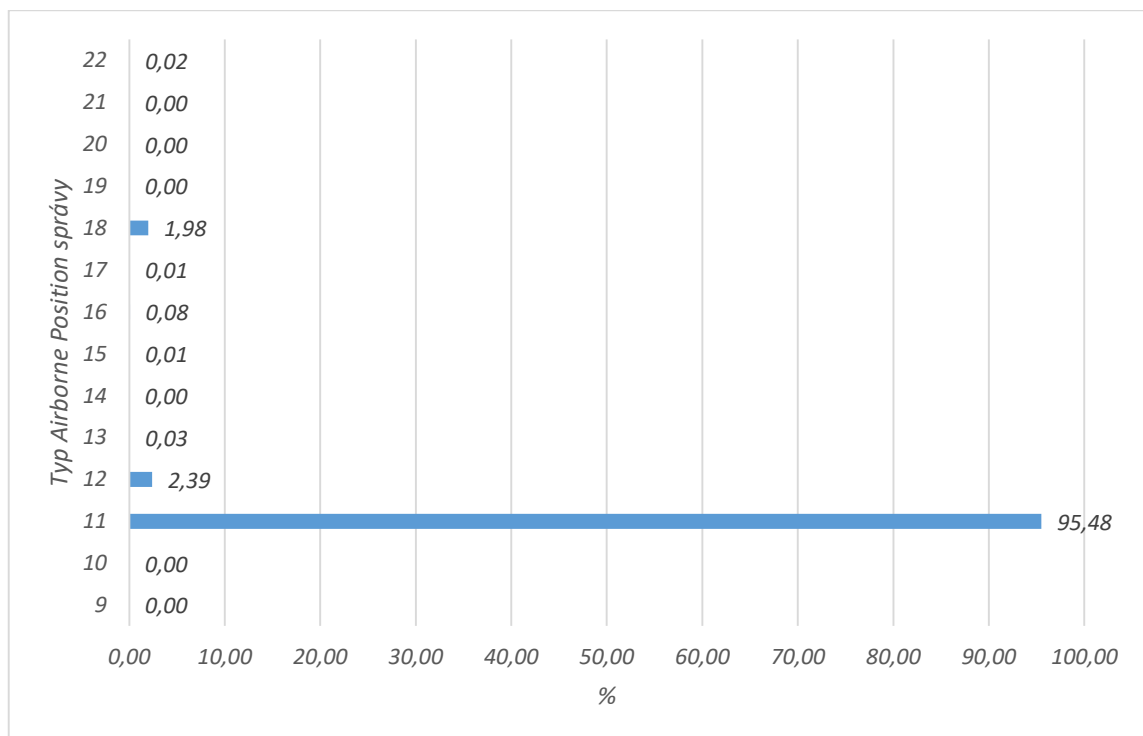
6.5.1 Airborne Position správy ICAO verzie certifikácie 2 za celé obdobie

Ako bolo spomenuté, je tu obrovská prevaha typu 11. Predstavuje to 95,48% zo všetkých prijatých Airborne Position správ ICAO verzie certifikácie 2. Pri verzii 2 je umožnené presnejšie určenie parametra NIC, nakoľko je zavedený parameter NIC supplement (A, B, C). Aj z tohto dôvodu tu nastáva taká významná prevaha typu 11. Pre typ 11 je možné ďalej bližšie určiť NIC vďaka parametru NIC supplement A. Sú to hodnoty parametra NIC 9 alebo 8. NIC 9 znamená Rc menej ako 75m, NIC 8 znamená Rc menej ako 0,1 NM (185,2m).

Bližšie to bude dekódované a analyzované v [kapitole 6.5.3](#). Je to teda podobné ako v predchádzajúcej verzii 1. Rozdielom je, oproti ICAO verzii certifikácie 1, že podiel typu 11 je významnejší na úkor ostatných typov s definovateľnou integritou.

Typ 12 sa nachádza s 2,39 percentným zastúpením. Pri type 12 je definovaná len jedna hodnota parametra NIC (NIC supplement nerozširuje typ 12) a to 7. NIC 7 určuje Rc ako menej než 0,2NM (370,4m).

Typ 18 (nedefinovateľná integrita) je približne na rovnakej úrovni ako u verzii 1. Jeho zastúpenie je 1,98 percentné, a definuje hodnotu parametra NIC na 0. To je Rc viac alebo rovné 20NM (37,04 km), alebo ak je nemožné určiť hodnotu Rc.

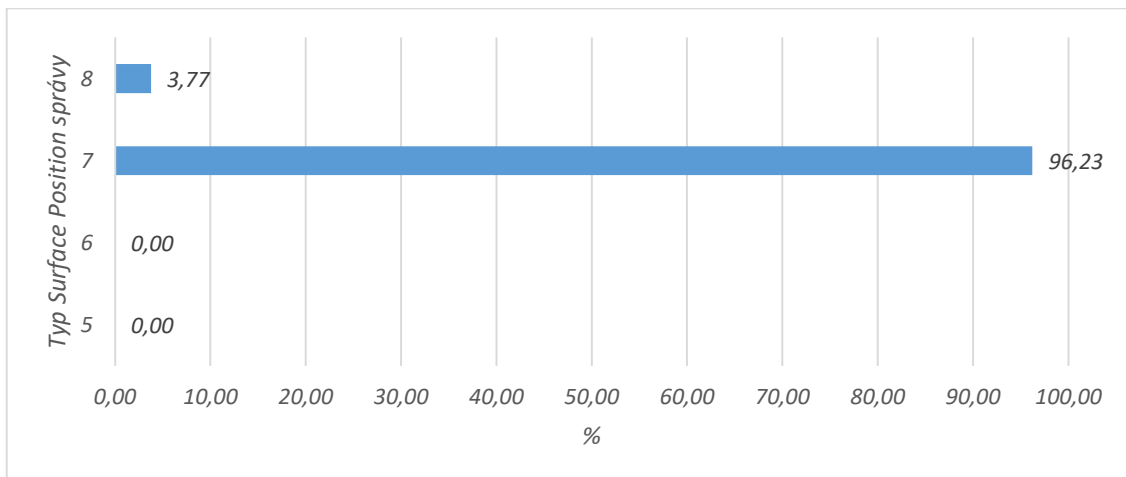


Graf 6-13: Zastúpenie typov Airborne Position správ

6.5.2 Surface Position správ v ICAO verzii certifikácie 2 za celé obdobie

Na grafe 6-14 je ukázané zastúpenie typov Surface Position správ za celé obdobie. Zasa je možné vidieť prevahu jedného typu, konkrétne typu 7. Percentuálne je zastúpený hodnotou 96,23%. Typ 7 nám určuje dva možné parametre NIC, a to 8 alebo 9. Presne určiť NIC je možné vďaka ďalšiemu parametru ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, a to parametru NIC supplement A. NIC 8 znamená integritu definovanú polomerom Rc menej ako 0,1NM (185,2 m). NIC 9 znamená polomer Rc menej ako 75m. Konkrétne bude parameter NIC zhodnocovaný v [kapitole 6.5.3](#).

Typ 8 je má 3,77 percentné zastúpenie. Ten určuje NIC parametre buď 7, 6 alebo 0. To je bližšie určené parametrami NIC supplement A a NIC supplement C. Presne to bude vyhodnotené v [kapitole 6.5.3](#). NIC 7 znamená polomer Rc menej ako 0,2NM (370,4m), NIC 6 znamená Rc menej ako 0,6NM (1111,2m) a NIC 0 znamená polomer Rc viac alebo rovný 0,6NM (1111,2m) alebo neznámy.



Graf 6-14: Zastúpenie typov Surface Position správ ICAO verzie certifikácie 2

6.5.3 NIC v ICAO verzii certifikácie 2 za celé obdobie

V ICAO verzii certifikácie 2 zaniká závislosť na vertikálnej zložke pri parametre NIC. Z typu ADS-B správy a z parametra NIC supplement A bola dekodovaná hodnota parametra NIC. Nakoľko nebol prijímaný parameter NIC supplement B respektíve NIC supplement C, je typ ADS-B správy 8 rozdelený na 2 možnosti (inak sú 4, vid' *tabuľku 3-13*), typ 13 je zasa rozdelený na 2 možnosti (inak zadané 3, vid' *tabuľku 3-13*).

To znamená pri type 8, že potenciálne správy s NIC hodnotou 7 ($R_c < 0.2$ NM) sú počítané do NIC 6(0,3) ($R_c < 0.3$ NM), alebo v druhom prípade sú potenciálne správy s NIC 6 ($R_c < 0.6$ NM) pripočítavané k NIC 0. Teda správy sú započítavané k horšej možnej hodnote NIC. Podiel správ typu 8 celkovo je 0,02%, a podiel v rámci Surface Position správ je 3,77%.

V type 13 je rozdelenie nasledovné. Potenciálne analyzované správy s NIC 6(0,3) ($R_c < 0.3$ NM) sú vyhodnocované ako NIC 6(0,5) ($R_c < 0.5$ NM). Zasa sú správy započítavané k horšej možnej hodnote NIC. Celkovo je zapísaných správ s NIC 6(0,5) 4 694, to predstavuje podiel 0,03%.

Správy s NIC parametrom 11 alebo 10 boli prijaté celkovo 3, čo je z hľadiska štatistiky bezvýznamný podiel (0 %).

Správy s NIC9 boli prijaté v podiele 7,25%. NIC9 definuje polomer R_c na hodnotu menej ako 75 m.

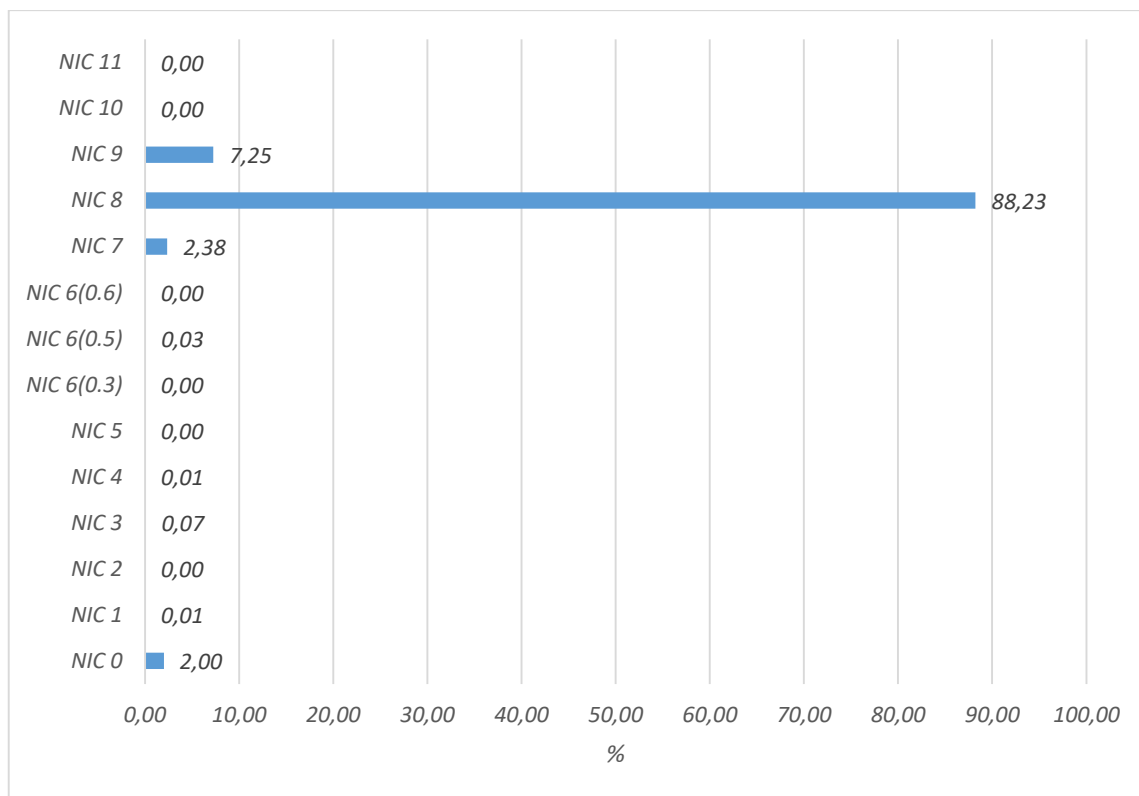
NIC8 má zastúpenie 88,23%. NIC8 definuje R_c ako menej než 0,1 NM (185,2 m).

NIC7 je so zastúpením 2,38% a definuje R_c ako menej než 0,2 NM (370,4 m).

NIC6 celkovo bol prijímaný so zastúpením 0,04% a vyššie je priblížená problematika s jeho určovaním. R_c je rozdelená na 3 možnosti, ale najviac bola prijatá hodnota menej než 0,5 NM (celkovo podiel 0,03%).

NIC0 bol prijatý v zastúpení 2,00%. NIC0 reprezentuje neznámu hodnotu R_c .

Ostatné verzie boli prijaté v nulových alebo takmer nulových množstvách.



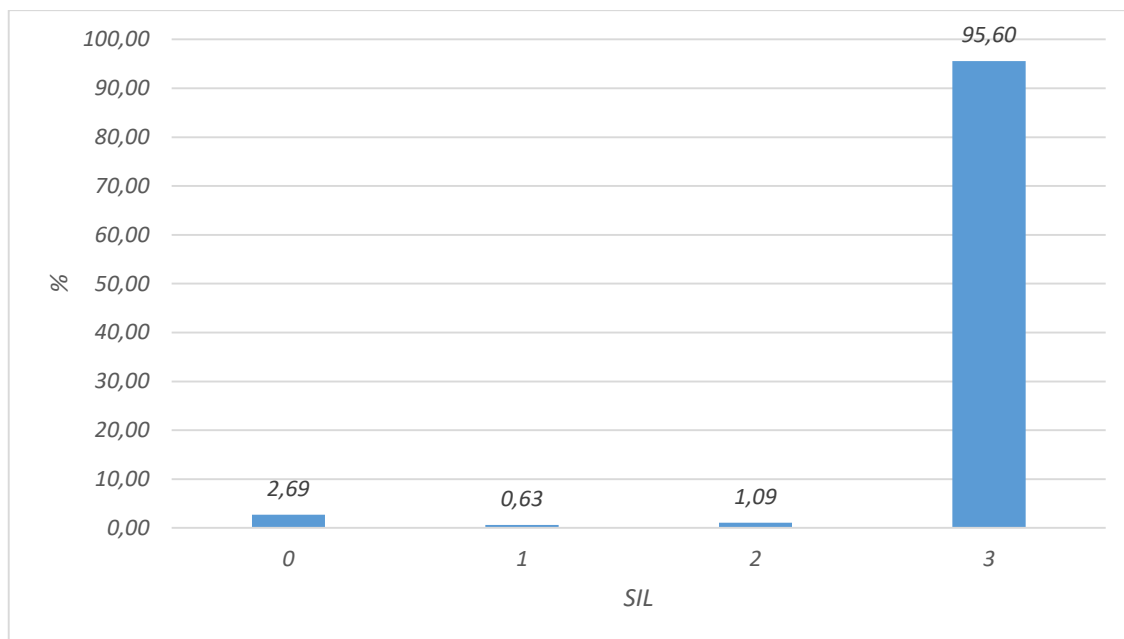
Graf 6-15: Zastúpenie NIC parametrov vo verzií 2

6.5.4 SIL v ICAO verzií certifikácie 2 za celé obdobie

Na grafe 6-16 je možné vidieť percentuálne zastúpenie jednotlivých parametrov SIL v správach. Na grafe je vidieť jednoznačnú prevahu SIL hodnoty 3, 95,60 percentné zastúpenie. To predstavuje najvyššiu mieru integrity. To je pravdepodobnosť prekročenia polomeru R_c definovaného parametrom NIC väčšia alebo rovná 1×10^{-7} za vzorku alebo za hodinu.

Ostatné hodnoty SIL parametra majú nízke zastúpenie. Je to 1,09% pre SIL 2, čo je pravdepodobnosť rovná alebo väčšia ako 1×10^{-5} . Pre SIL 1 je zastúpenie 0,63%, čo predstavuje pravdepodobnosť rovnú alebo väčšiu ako 1×10^{-3} . SIL 0 je zastúpený v 2,69% a predstavuje pravdepodobnosť viac ako 1×10^{-3} alebo neznámu.

To, či to je definované za vzorku alebo za hodinu určuje parameter SIL_{supp} . Pre prijatý obnos dát bolo 99,96% vzťahnutých na hodinu, zvyšok bol vzťahnutý na vzorku.



Graf 6-16: SIL verzie 2 za celé obdobie

6.5.5 Presnosť v správach ICAO verzie certifikácie 2 za celé obdobie

NACp ako hlavný ukazovateľ presnosti v ICAO verzií certifikácie 2 už stráca závislosť na vertikálnej zložke. To umožňuje presnejšie hodnotenie presnosti len v horizontálnej rovine. Na grafe 6-17 je možné vidieť zastúpenie jednotlivých hodnôt NACp.

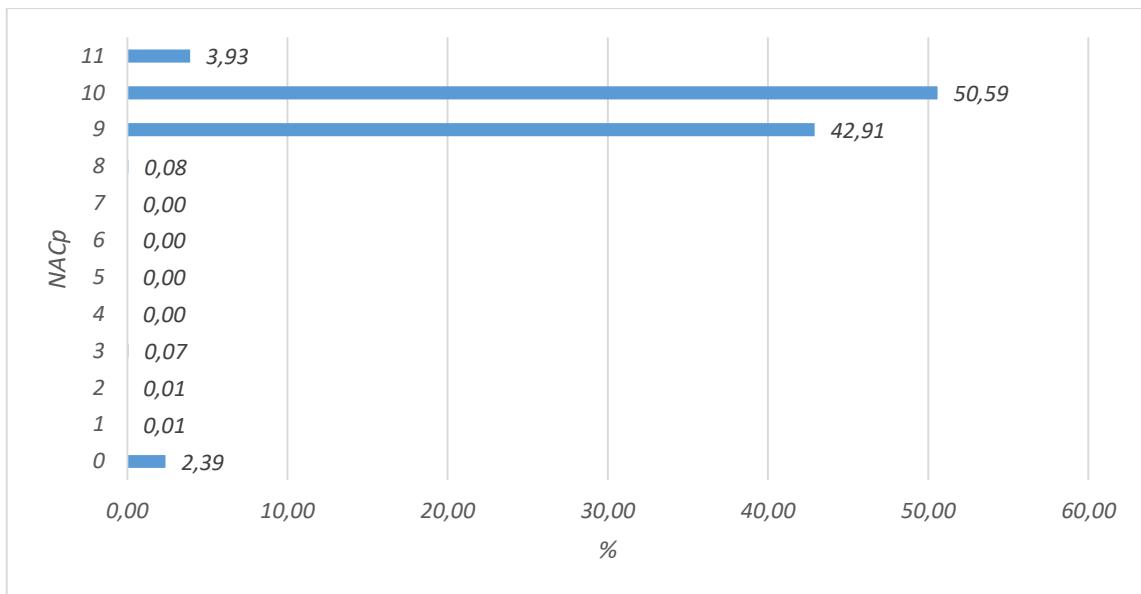
Najväčšiu presnosť nám definuje hodnota NACp 11. Jej zastúpenie je 3,93 percentné. NACp 11 určuje presnosť EPU menej ako 3 m.

Nasleduje NACp 10 s 50,59 percentným zastúpením. To je mierne nadpolovičná väčšina. NACp 10 určuje presnosť EPU na menej ako 10 m.

NACp 9 je s 42,91 percentným zastúpením. To určuje presnosť podľa EPU menej ako 30m.

NACp 0 predstavuje 2,39 percentné zastúpenie. Určuje presnosť podľa EPU rovnú, alebo väčšiu ako 10 NM (18,52 km).

Ostatné hodnoty nižšie od NACp 9 sú s nulovým alebo minimálnym zastúpením. Oproti ICAO verzií certifikácie 1 je tu rozdiel, nakoľko absentuje zastúpenie hodnoty 8 a 7. Táto skutočnosť nahráva fakt, že odstránenie vertikálnej závislosti umožnilo presnejšie určenie horizontálnej presnosti, nakoľko pri zhoršení vertikálnej presnosti nie je horizontálna zložka touto skutočnosťou obmedzovaná.



Graf 6-17: Podiel NACp v ICAO verzii certifikácie 2

Tabuľka 6-8: NACp kódovanie vo verzii 2 [8]

NACp	Horizontal Accuracy Bound
0	EPU \geq 18.52 km (10nm)
1	EPU < 18.52 km (10nm)
2	EPU < 7.408 km (4nm)
3	EPU < 3.704 km (2nm)
4	EPU < 1852 m (1nm)
5	EPU < 926 m (0.5nm)
6	EPU < 555.6 m (0.3nm)
7	EPU < 185.2 m (0.1nm)
8	EPU < 92.6 m (.05nm)
9	EPU < 30 m
10	EPU < 10 m
11	EPU < 3 m

6.5.6 Zhodnotenie výsledkov podľa ICAO verzie certifikácie

Z vyhodnotenia pre jednotlivé verzie je možné pozorovať nevýhody starších verzií, ktoré boli postupne odstraňované.

ICAO verzia certifikácie 0 bola ako prvá, a preto sú v nej informácie o kvalite kódované najjednoduchšie a zároveň najmenej detailne. Tým pádom vo verzií 0 sú kvalitatívne informácie menej presne definované, a určuje ich len 1 ukazovateľ. Tým, že jeden ukazovateľ, typ správy, určuje integritu aj presnosť, je obmedzené presnejšie určenie jednej z hodnôt. Pretože v prípade, ak sa nám zhorší napríklad integrita, ale presnosť zostáva stále na vysokej úrovni, sa ukazovateľ aj tak zhorší a tým pádom je informácia o polohe už systémami, ktoré s ňou pracujú, považovaná za menej presnú ako v skutočnosti je. Tým pádom sa tu vyskytuje viac typov správ určujúcich horšiu presnosť a integritu. To je pravdepodobne aj dôvodom, prečo je verzia 0 štatisticky s najhoršou presnosťou. Ďalším dôvodom je predpoklad, že lietadlá s verziou 0 budú staršieho dáta výroby, pravdepodobne okolo alebo pred roku 2003, kedy bola predstavená verzia 1. Tým pádom sú u týchto lietadiel využívané staršie technológie. U verzie 0 sa vertikálna zložka presnosti zohľadňuje len pri správach typov 20-22, teda u typov pri ktorých je výška lietadla určovaná z GNSS zdroja.

ICAO verzia certifikácie 1 bola predstavená v roku 2003. Jej podiel je menej markantný, čo bude asi spôsobené jej pomerne krátkou aktuálnosťou, nakoľko už v roku 2009 ju nahradila verzia 2. U verzie 1 bola zavedená závislosť parametrov kvality na vertikálnej zložke aj v prípadoch, keď nie je výška určovaná z GNSS. Tento fakt sa pravdepodobne podpísal na menších číslach pri ukazovateľoch kvality, pri ktorých sa závislosť na vertikálnej zložke vyskytuje. Najlepšie je to vidieť v porovnaní s verziou 2. Naopak pri porovnaní s verziou 0 je jasne vidieť, že samostatné ukazovatele pre integritu a pre presnosť umožnili zlepšenie ich určovania. Vzniká parameter SIL, ktorý rozširuje a upresňuje možnosti definície integrity. Pri porovnaní parametra SIL verzie 1 s verziou 2 je vidieť zasa negatívny dopad širokého záberu. SIL u verzie 1 ukazuje horšiu integritu, nakoľko určuje okrem GNSS časti aj vplyv systémov atď. Predpis „Commission Implementing Regulation (EU) No 1028/2014“ definuje dátumy pre implementáciu do nových aj už používaných lietadiel, avšak vyžaduje ICAO verziu certifikácie 2.

ICAO verzia certifikácie 2 je aktuálna a teda najnovšia verzia. Zavedená bola v roku 2009, čo je pravdepodobne dôvodom jej pomerne nízkeho zastúpenia. Je u nej

možné pozorovať zlepšenie a odstránenie nedostatkov predchádzajúcich verzií. Od verzie 0 došlo k oveľa podrobnejšiemu určovaniu kvality na základe určovania pomocou oveľa viac ukazovateľov. Zavádzajú sa nové ukazovatele aj v porovnaní s verziou 1. Toto by som označil aj možno za jedinú nevýhodu, nakoľko pri určovaní jedného parametra, napríklad integrity, je nutné využiť v niektorých prípadoch až 3 ukazovatele, aby sme získali 1 výsledné číslo. K zlepšeniu dochádza pravdepodobne aj vďaka odstráneniu závislosti na vertikálnej zložke, pričom vzniká parameter GVA, ktorý slúži na určenie práve vertikálnej kvality. Je to možné pozorovať ako na ukazovateľoch presnosti tak aj na ukazovateľoch integrity. Ďalej nastáva zmena oproti verzií 1 a to u parametra SIL, ktorý už závisí len na GNSS integrite, a je možné pozorovať markantné zlepšenie, nakoľko SIL z 95,60% ukazuje najlepšiu hodnotu. Dátumy implementácie definuje predpis „Commission Implementing Regulation (EU) No 1028/2014“. Popísané sú v [kapitole 3](#).

7 Zhodnotenie parametrov kvality z hľadiska požiadaviek ATM aplikácií

Momentálne je ADS-B vyžívané v Austrálii, Kanade, východnej Ázii a v niektorých častiach Európy. Požiadavky na ukazovatele kvality sú definované ICAO-m v dokumente ICAO Circular 326, pre európske požiadavky sú bližšie definované v dokumente EUROCAE ED-161 pre oblasti s radarovým pokrytím a v dokumente EUROCAE ED-126 pre oblasti bez radarového pokrytia. Teda vyskytujú sa rôzne požiadavky pre oblasti s radarovým pokrytím a bez radarového pokrytia. [13]

7.1 Oblasť bez radarového pokrytia (NRA)

Pre oblasti bez radarového pokrytia sú požiadavky nasledovné. [14] Pre presnosť využívame 95% hranicu výskytu polohy, parameter EPU (VEPU pre vertikálnu rovinu). EPU na letovej ceste (En-Route), kde sa aplikuje separácia 5 NM, je vyžadované menej ako 0,5 NM. Táto hodnota predstavuje pre ICAO verziu 0 $NUCp \geq 4$. Pre verzie 1 a 2 to je $NACp \geq 5$. [14] [15]

EPU v koncovej riadenej oblasti (TMA), kde sa aplikuje separácia 3 NM, je vyžadované menej ako 0,3 NM. Pre ICAO verziu 0 to znamená $NUCp \geq 5$. Pre verzie 1 a 2 to znamená $NACp \geq 6$. [14] [15]

Pri verzií 0 nastáva problém s parametrom $NUCp$, nakoľko určuje zároveň presnosť aj integritu. Presnosť je preň limitujúca, preto pri integrite sú uvedené prísnejšie hodnoty pre $NUCp$. Pre integritu je u verzie 0 na letovej ceste (separácia 5 NM) hraničná hodnota $NUCp \geq 4$ ($Rc < 1,0$ NM). Pre verzie 1 a 2 to je pri separácií 5 NM hodnota $NIC \geq 4$ ($Rc < 2,0$ NM). [14] [15]

V TMA a separácií 3 NM to je pre verziu 0 hodnota $NUCp \geq 5$ ($Rc < 0,5$ NM). Pre verzie 1 a 2 to je hodnota $NIC \geq 5$ ($Rc < 1,0$ NM). [14] [15]

Verzie 1 a 2 sú definované ešte ďalšími parametrami. Pre integritu je požiadavka na parameter SIL vo verzií 1 $SIL \geq 2$. Vo verzií 2 vychádzam z požiadavku na SIL v radarovom prostredí a teda $SIL \geq 3$. [14] [15]

7.2 Oblasť s radarovým pokrytím (RAD)

Pre oblasti s radarovým pokrytím sú požiadavky prísnejšie, pretože na to aby sa nám ADS-B oplátilo použiť, je nutné aby bola jeho kvalita na vyššej úrovni než dostupné radarové technológie. Požiadavky na radarové oblasti sú v *tabuľke 7-1*. Tabuľka určuje požiadavky pre verziu 2, pre ostatné verzie som použil pre definíciu požiadaviek hodnoty definujúcich parametrov v *tabuľke 7-1*. SIL pre verziu 1 som uvažoval $SIL \geq 2$, nakoľko vo verzií 1 SIL určuje viac parametrov (je ekvivalentom aj pre SDA, teda 10^{-5} vyhovuje) a teda jeho hodnota nedosahuje veľkosť 3 [16] Definícia je len pre ICAO verziu 2, nakoľko v radarovom prostredí sa v Európe uvažuje o používaní ADS-B po jeho povinnom zavedení v leteckej doprave, a to vyžaduje priamo verziu 2. [16] [17]

V Českej republike, kde boli zbierané dáta, sa nachádzame v radarovom prostredí, teda pre porovnanie prijatých dát je vhodnejšie porovnanie s požiadavkami na radarové prostredie.

Pre príklad požiadavky FAA [18] [9] (letecký úrad v USA) sú podobné, teda vyžaduje sa ICAO verzia 2 a SIL parameter 3, ale u parametrov NACp a NIC sú požiadavky prísnejšie, vyžaduje sa NIC menej ako 0,2 NM a NACp menej ako 0,05 NM pre všetky dáta.

Tabuľka 7-1: Požiadavky na kvalitu v RAD prostredí pre verziu 2 [16]

Quality Parameter	Requirement
Position Accuracy (NACp)	$NACp \leq 185.2 \text{ m (0.1 NM)}$ (i.e. $NACp \geq 7$) for both 3 NM and 5 NM separation
Position Integrity Containment Radius (NIC)	3 NM Sep: $NIC \leq 1111.2 \text{ m (0.6 NM)}$ (i.e. $NIC \geq 6$) 5 NM Sep: $NIC \leq 1852 \text{ m (1 NM)}$ (i.e. $NIC \geq 5$)
Source Integrity Level (SIL)	$SIL = 3: 10^{-7}/\text{flight-hour}$
System Design Assurance (SDA)	$SDA = 2: 10^{-5}/\text{flight-hour}$ - allowable probability level REMOTE (MAJOR failure condition, LEVEL C software and design assurance level)
Velocity Accuracy (NACv)	$NACv \leq 10 \text{ m/s}$ (i.e. $NACv \geq 1$)

7.3 Hodnoty integrity vo všetkých správach

7.3.1 Integrita podľa parametra Rc

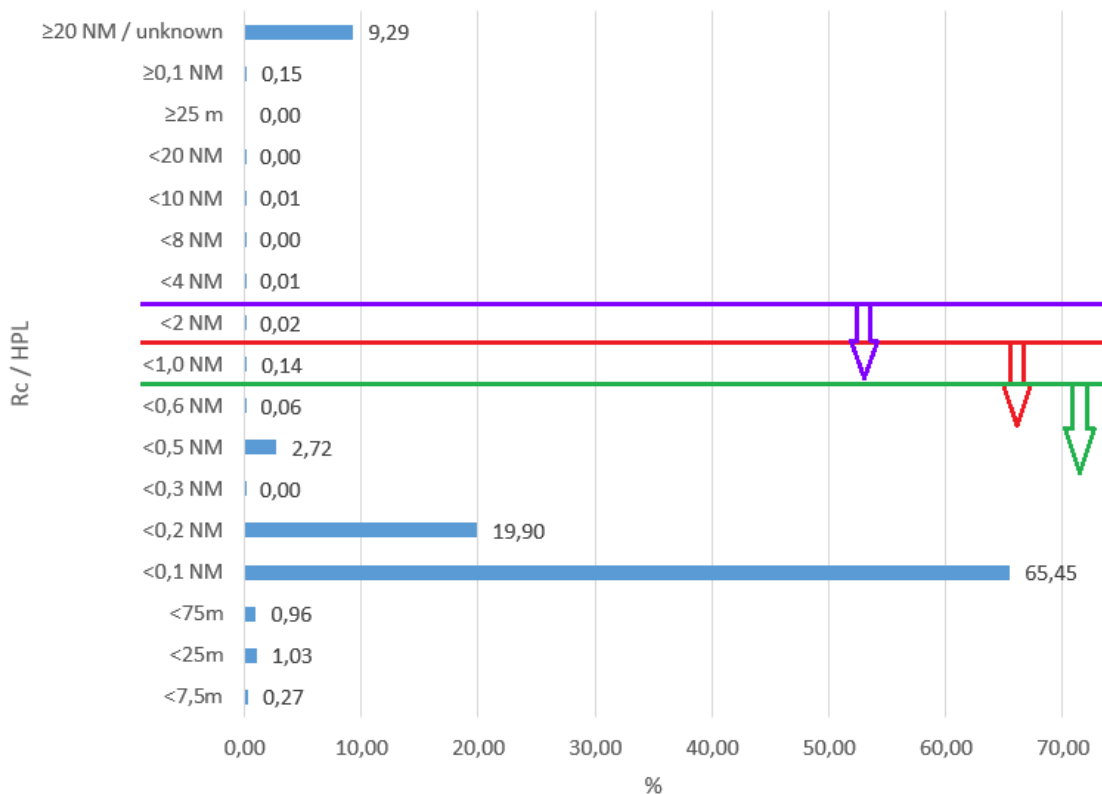
Všetky zozbierané dáta som vyhodnotil podľa spoločného parametra pre integritu, teda podľa polomeru výskytu Rc (HPL pre ICAO verziu 0, definícia totožná). Tu je možné vidieť na *grafe 7-1* zastúpenie jednotlivých hodnôt vo všetkých prijatých správach. V *tabuľke 7-2* je vidieť percentuálne zastúpenie aj počet správ pre jednotlivé hodnoty Rc.

Podmienky na integritu som čerpal z dokumentov EASA AMC 20-24 [14] a PSC ADS-B-NRA [15] pre NRA oblasti, a z dokumentu Annex I to ED Decision 2013/031/R [16] a PSC ADS-B-RAD [17] pre RAD oblasti.

Na *grafe 7-1* sú vyznačené farebne podmienky pre použiteľnosť dát. Fialová farba označuje hranicu integrity pre oblasť bez radarového pokrytia a traťový úsek letu (separácia 5 NM). Všetky dáta pod fialovou čiarou vyhovujú (Rc menej ako 2 NM).

Červená čiara označuje limit pre oblasť bez radarového pokrytia a zároveň pre koncovú riadenú oblasť (separácia 3 NM). Zároveň červená čiara označuje hranicu pre oblasť s radarovým pokrytím a traťový úsek letu (separácia 5 NM). Všetky dáta pod čiarou vyhovujú (Rc menej ako 1 NM).

Zelená čiara je hranica pre oblasť s radarovým pokrytím pre koncovú riadenú oblasť (separácia 3 NM). Všetky dáta pod čiarou vyhovujú (Rc menej ako 0,6 NM).



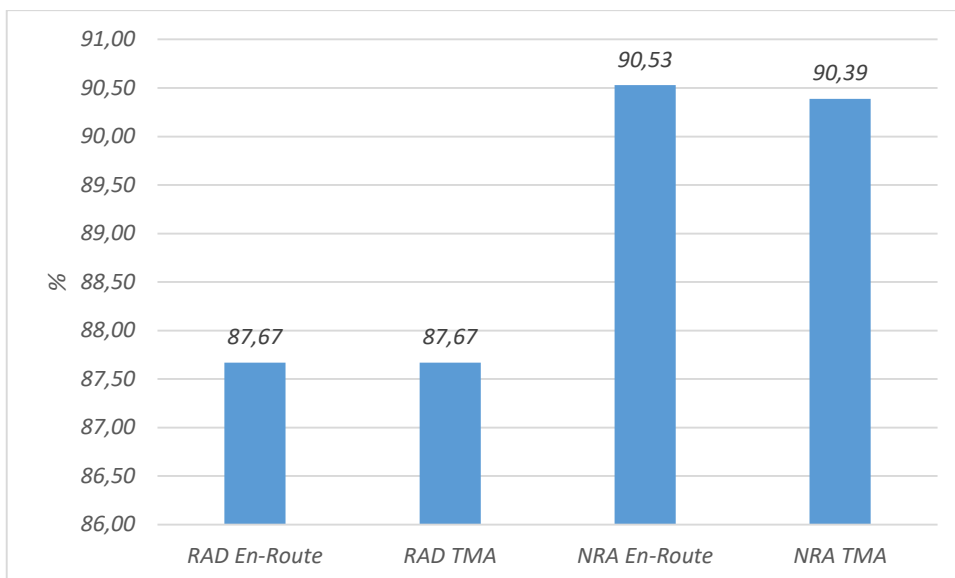
Graf 7-1: Integrita v prijatých správach

Podobne, s rovnakým významom sú dáta oddelené v tabuľke 7-2.

Tabuľka 7-2: Polomer výskytu Rc, parameter integrity vo všetkých správach

Rc / HPL		<7,5m	<25m	<75m	<0,1 NM	<0,2 NM	<0,3 NM	<0,5 NM	<0,6 NM	<1,0 NM
Počet prij. správ		797086	3077953	2886613	196424123	59730800	592	8167698	194728	423102
Rc / HPL %		0,27	1,03	0,96	65,45	19,90	0,00	2,72	0,06	0,14
Rc / HPL		<2 NM	<4 NM	<8 NM	<10 NM	<20 NM	$\ge 25\text{ m}$	$\ge 0,1\text{ NM}$	$\ge 20\text{ NM / unknown}$	
Počet prij. správ		46322	19683	613	38641	2817	19	435448	27884819	
Rc / HPL %		0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15	9,29	

Na grafe 7-2 je možné vidieť podiel dát, ktoré vyhovujú podmienkam na integritu. Podmienky sú definované v kapitole 7.2 a kapitole 7.3. Dáta sú teda priamo hodnotené podľa požiadaviek EASA a EUROCONTROL, kľúčovou podmienkou boli parametre NIC a NUCp. Je možné pozorovať pomerne vysoké zastúpenie dát spĺňajúcich podmienky.



Graf 7-2: Percentuálny podiel dát vyhovujúci podmienkam na integritu podľa parametra NUCp/NIC

V tabuľke 7-3 sú dáta prehľadne zobrazené, je tu zobrazené percentuálne zastúpenie a konkrétny počet údajov vyhovujúcich podmienkam.

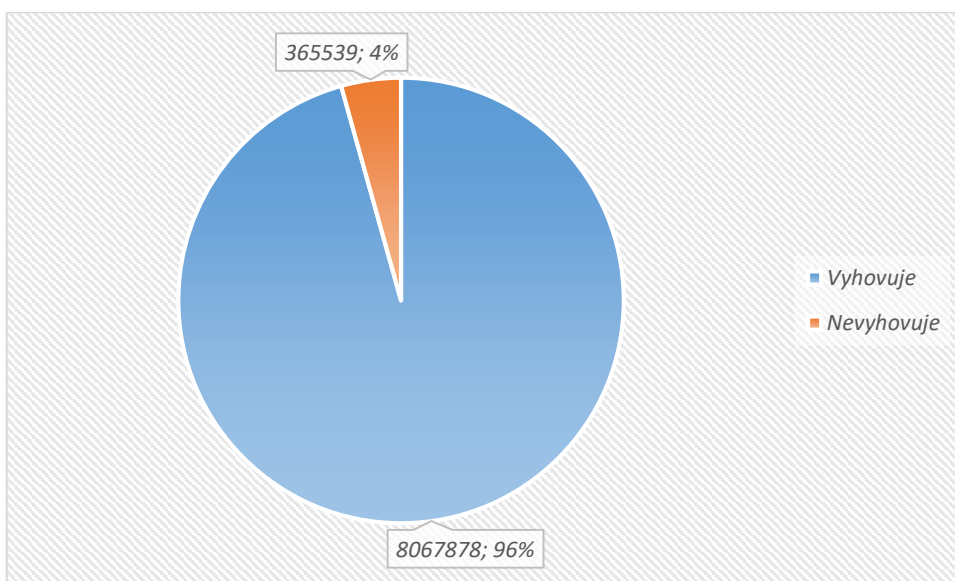
Tabuľka 7-3: Počet vyhovujúcich správ podľa parametrov

RAD		Presnosť	Presnosť %	Integrita	Integrita %
	RAD En-Route	231309114	86,42	263117418	87,67
	RAD TMA	231309114	86,42	263116589	87,67
NRA		Presnosť	Presnosť %	Integrita	Integrita %
	NRA En-Route	239894441	89,63	271704389	90,53
	NRA TMA	239472159	89,47	271280422	90,39
Total		267660425	100,00	300131057	100,00

7.3.2 Integrita v ICAO verziách 1 a 2 podľa parametra SIL

Požiadavky na SIL sú rozdielne pre verziu 1 a 2. Je to dané faktom, že SIL vo verzií 2 určuje len integritu navigačnej informácie závislej na príjme signálu z družíc. Integritu navigačnej informácie závislej na systémoch lietadla zohľadňuje parameter SDA. Vo verzií 2 je teda potrebná hodnota parametra SIL 3. Vo verzií 1 zohľadňuje obe veličiny parameter SIL. Vo verzií 1 je potrebná hodnota parametra SIL 2. Na grafe 7-3 je ukázané zastúpenie dát vyhovujúcich podmienkam.

Pre príklad požiadavky FAA [18] (letecký úrad v USA) sú podobné, teda vyžaduje sa ICAO verzia 2 a SIL parameter 3.



Graf 7-3: Podiel vyhovujúcich dát podľa SIL

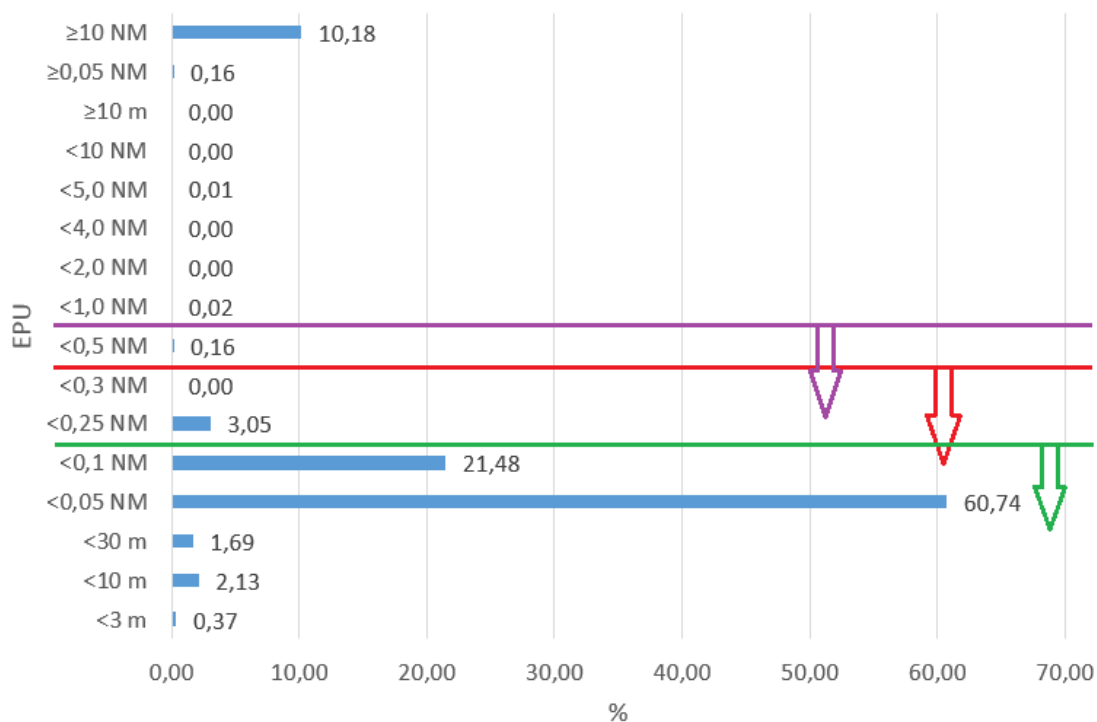
7.4 Presnosť vo všetkých správach

V grafe 7-4 sú ukázané všetky dáta usporiadané podľa presnosti. Sú tu dáta nezávisle na verzií certifikácie, a zoradené sú podľa spoločného parametra a to 95 % polomeru výskytu hlásenej polohy, teda EPU. V tabuľke 7-4 sú tieto dáta ukázané s percentuálnym zastúpením a aj priamo s počtom prijatých hodnôt EPU.

Podmienky na presnosť som čerpal z dokumentov Annex I to ED Decision 2013/031/R [16] a PSC ADS-B-RAD [17] pre RAD oblasti, a z dokumentov EASA AMC 20-24 [14] a PSC ADS-B-NRA [15] pre NRA oblasti.

V grafe 7-4 sú načrtnuté podmienky pre použiteľnosť dát riadiacimi zložkami. Ich význam je nasledovný. Fialová určuje hranicu pre oblasť bez radarového pokrytia a traťový úsek letu. Všetky dáta pod fialovou čiarou vyhovujú (EPU menej ako 0,5 NM). Červená určuje hranicu pre použiteľnosť dát v koncovej riadenej oblasti (TMA) bez radarového pokrytia (separácia 3 NM). Dáta pod čiarou vyhovujú (EPU menej ako 0,3 NM).

Zelená čiara určuje limit pre dáta v oblasti s radarovým pokrytím (nezávisle na úseku letu). Dáta pod čiarou vyhovujú (EPU menej ako 0,1 NM).



Graf 7-4: Presnosť vo všetkých správach

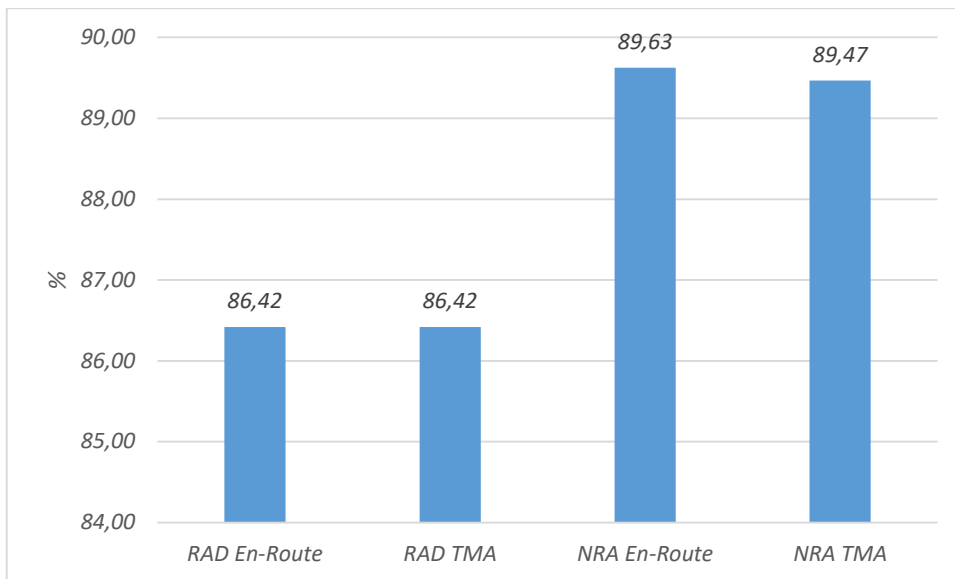
Podobne sú farebne oddelené dáta v tabuľke 7-4. Tu je zobrazený počet prijatých správ indikujúcich daný parameter spolu s percentuálnym zastúpením.

Tabuľka 7-4: EPU, parameter presnosti vo všetkých správach

EPU	<3 m	<10 m	<30 m	<0,05 NM	<0,1 NM	<0,25 NM	<0,3 NM	<0,5 NM	<1,0 NM
Počet prij. správ	991609	5712256	4516046	162587564	57501639	8163004	41	422282	44787
EPU %	0,37	2,13	1,69	60,74	21,48	3,05	0,00	0,16	0,02

EPU	<2,0 NM	<4,0 NM	<5,0 NM	<10 NM	$\ge 10\text{ m}$	$\ge 0,05\text{ NM}$	$\ge 10\text{ NM}$
Počet prij. správ	4001	400	38641	1251	19	435448	27241437
EPU %	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,16	10,18

Na grafe 7-5 je ukázané, koľko dát vyhovuje podmienkam na presnosť. Je možné pozorovať pomerne vysoké percento dát, ktoré vyhovujú. Počty správ sú ukázané v tabuľke 7-3. Podmienky sú uvedené v kapitole 7.2 a kapitole 7.3. Kľúčovým parametrom bol parameter NACp a NUCp.



Graf 7-5: Percentuálny podiel dát vyhovujúci podmienkam na presnosť

7.5 Zhodnotenie

Ako je možné pozorovať na vyhodnotení dát v tejto kapitole, podmienkam v Európe vyhovuje najmenej 86,42 % dát, pričom limitujúcim faktorom je presnosť v RAD prostredí (spoločne En-Route a TMA). Pre porovnanie, v USA podľa prieskumu vykonávaného FAA publikovaného v roku 2014, približne 20% lietadiel vybavených verziou 2 stále nespĺňuje požiadavky definované v predpise [19]. RAD prostredie je prostredím, v ktorom boli skúmané dáta získané, preto je možné považovať výsledok z tohto prostredia za smerodatný. Pre NRA prostredie vyhovuje najmenej dát požiadavku na presnosť v TMA oblasti, konkrétne 89,47 %. V En-Route NRA prostredí je limitujúca opäť presnosť, a konkrétne vyhovuje 89,63 % dát. Prekvapujúcim faktom je nízke zastúpenie ICAO verzie certifikácie 2 (12,602 %, [kapitola 6.2](#)), nakoľko EASA ju vyžaduje od roku 2016 pre „forward fit“ a od roku 2020 pre „retrofit“.

8 Záver

Práca oboznamuje s jednotlivými verziami ADS-B správ, ukazuje rozdiely medzi nimi a vysvetľuje konkrétne ukazovatele kvality v nich. Rozdiely sú ukázané v tabuľkách a písomne popísané pre jednoznačné pochopenie.

Pre zisk a analýzu dát bolo nutné vytvoriť nástroj. Ten je v práci popísaný. Čitateľovi je vysvetlený jeho vývoj, problematika s tým spojená, je vysvetlené ako sú dáta získavané a ako sú zapisované. Nástroj je schopný okrem zapisovania dát z prijímača aj uskutočniť analýzu takto získaných dát. Postup s akým pristupuje program k dátam je popísaný. Spracovaný bol aj návod k programu umožňujúci využitie programu pre ďalšiu potrebu. Nástroj je súčasťou práce a nachádza sa na CD priloženom k práci.

Takto získané dáta sú predmetom štatistického skúmania. Výsledky štatistiky sú popisované a z porovnania s dostupnými štatistikami je možné konštatovať reálne výsledky. Štatistické výsledky sú náležite popísané a zhodnotené. Ďalej sú porovnané s aktuálnymi požiadavkami pre použiteľnosť riadiacimi zložkami. Porovnanie je popísané a prehľadne ukázané na grafoch popísaných ďalším textom.

Zoznam použitej literatúry

- [1] GMV, . GNSS Performances. In: *Navipedia* [online]. ESA, 2014 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: http://www.navipedia.net/index.php/GNSS_Performances
- [2] EUROCONTROL, . Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B). In: *SKYbrary* [online]. EU, 2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: [http://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_\(ADS-B\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B))
- [3] EU. *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION: laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky*. In: . Brusel: Barroso, 2011, ročník 2011, 1207/2011.
- [4] EU. *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION: amending Implementing Regulation (EU) No 1207/2011 laying down requirements for the performance and the interoperability of surveillance for the single European sky*. In: . Brusel: Barroso, 2014, ročník 2014, 1028/2014.
- [5] § 91.225. *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out equipment and use*. USA: FAA, 2010.
- [6] ED-102. *MINIMUM OPERATIONAL PERFORMANCE SPECIFICATION FOR 1090 MHZ AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE - BROADCAST (ADS-B)*. Paris: The European Organisation for Civil Aviation Equipment, 2000.
- [7] DO-260A. *Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B)*. RTCA, 2003.
- [8] DO-260B. *Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B)*. RTCA, 2009.

- [9] *Advisory Circular: Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) Out Systems*. AC 20-165A. FAA, 2012.
- [10] ICAO, . *AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST SEMINAR AND ELEVENTH MEETING OF AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST (ADS-B) STUDY AND IMPLEMENTATION TASK FORCE (ADS-B SITF/11)*. Jeju, Republic of Korea, 2012.
- [11] MARTENSSON, Johan. *ADS-B Updates: EUROCONTROL Surveillance Modernisation*. Munich, 2016.
- [12] GRAPPEL, R. a R. WIKEN *Guidance Material for Mode S-Specific Protocol Application Avionics*. Lexington: Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- [13] DOC. 4444. *Air Traffic Management*. 15th Edition. ICAO, 2007.
- [14] AMC 20-24. *Certification Considerations for the Enhanced ATS in Non-Radar Areas using ADS-B Surveillance (ADS-B-NRA) Application via 1090 MHZ Extended Squitter*. EU: EASA, 2008.
- [15] PSC ADS-B-NRA. *Preliminary Safety Case for Enhanced Air Traffic Services in Non-Radar Areas using ADS-B surveillance*. 1.1. EUROCONTROL, 2008.
- [16] CS-ACNS. *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Airborne Communications, Navigation and Surveillance*. EU: EASA, 2013.
- [17] PSC ADS-B-RAD. *Preliminary Safety Case for Air Traffic Control Service in Radar Areas using ADS-B Surveillance*. 2.0. EUROCONTROL, 2010.
- [18] US. *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out equipment performance requirements*. In: . USA, 2010, ročník 2010, 91.227.
- [19] RODRIGUEZ, Alex. *ADS-B Out Avionics Equipage & Installation Guidance*. FAA, 2014.

Príloha 1 - decode.adsb.v1.0.jar (CD)