

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA DOPRAVNÍ

ÚSTAV LETECKÉ DOPRAVY

Vyhodnocení variability parametrů kvality polohové informace v ADS-B zprávách



Adam Pethö

Bakalářská práce

2021



K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Adam Pethö

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Vyhodnocení variability parametrů kvality polohové informace v ADS-B zprávách**

Název tématu (anglicky): Evaluation of Variability of Position Information Quality Parameters in ADS-B

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je statisticky vyhodnotit parametry NIC, NAC, SIL, SDA, vysílaných v ADS-B zprávách, jejich variabilita v závislosti na poloze, čase, fázi letu.
- Získejte vhodná data prostřednictvím platformy OpenSky
- Vytvořte metodiku statistického vyhodnocování
- Vytvořte/upravte dostupný SW pro zpracování a extrakci dat
- Prezentujte výsledky statistického vyhodnocení parametrů kvality asociovaných s ADS-B daty.

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: RTCA DO-260B MOPS for 1090 Extended Squitter ADS B and TIS-B
Letecký předpis L10
<https://opensky-network.org/>

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

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **1. prosince 2021**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Adam Pethö
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....16. srpna 2021

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Stanislavovi Pleningerovi, Ph.D. za vstřícnost, trpělivost a cenné rady při vedení mé bakalářské práce. Dále mé díky patří doc. Ing. Ivanovi Nagymu, CSc. za velmi ochotnou a odbornou pomoc a naposledy mojí rodině a známým za podporu při vytváření této práce.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 1. prosince 2021

.....

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Vyhodnocení variability parametrů kvality polohové informace v ADS-B zprávách

bakalářská práce

listopad 2021

Adam Pethö

Abstrakt

Tato bakalářská práce seznamuje čtenáře s problematikou rušení GNSS a technologií ADS-B. S pomocí databáze OpenSky vytváří statistiku parametrů kvality polohové informace NIC, NACp, SIL a SDA, které jsou následně použity k detekci rušení GNSS. Popisuje metody detekce rušení a celkově představí problematiku detekce rušení GNSS pomocí parametrů kvality polohové informace obsažených v ADS-B zprávách.

Abstract

This bachelor thesis introduces the topic of GNSS interference and ADS-B technology to the reader. It produces a statistics on position quality parameters NIC, NACp, SIL and SDA, which are then used to detect GNSS interference. It describes methods of interference detection and overall presents the topic of detection of GNSS interference by position quality parameters contained within ADS-B messages

Klíčová slova

GNSS, rušení GNSS, ADS-B, NIC, NACp, SIL, SDA, detekce rušení GNSS

Keywords

GNSS, GNSS interference, ADS-B, NIC, NACp, SIL, SDA, GNSS interference detection

OBSAH

OBSAH	6
ÚVOD	8
1. Využití GNSS v letecké dopravě	9
2. Rušení GNSS	10
2.1. Druhy rušení	10
2.2. Riziko rušení v letecké dopravě	11
2.3. Příklady rušení	11
3. Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)	12
3.1. Definice ADS-B	13
3.2. ADS-B zpráva	13
3.3. Využití ADS-B	13
3.4. Parametry kvality dat	14
3.4.1. Navigation Accuracy Category for Position (NACp)	14
3.4.2. Navigation Integrity Category (NIC)	15
3.4.3. Surveillance integrity level (SIL)	16
3.4.4. System Design Assurance (SDA)	16
3.5. Vztah parametrů polohy a rušení GNSS	17
4. Získání dat	17
4.1. Platforma Opensky	18
4.2. Statistika dat ze světa	19
4.2.1. Statistika NIC	19
4.2.2. Statistika NACp:	20
4.2.3. Statistika SIL	21
4.2.4. Statistika SDA	22
4.3. Statistika dat z Evropy	25
4.4. Statistika dat z Evropy rozdělená podle nadmořské výšky	28

4.5. Geografické rozložení parametrů NIC a NACp.....	36
4.6. Základní statistika parametrů pro detekci rušení	38
5. Metody detekce rušení GNSS	42
5.1. První metoda – Oblastní detekce potenciálního rušení	42
5.1.1. Procento letadel s nízkým NIC/NACp	43
5.1.2. Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	45
5.1.3. Průměrný počet zpráv vyslaný letadlem.....	47
5.1.4. Parametry SIL a SDA.....	48
5.1.5. Zhodnocení metody	49
5.2. Druhá metoda – Detekce potenciálního rušení v okolí zprávy.....	51
5.1.1. Zhodnocení metody	55
Závěr	56
SEZNAM LITERATURY	57
SEZNAM GRAFŮ	60
SEZNAM OBRÁZKŮ	61
SEZNAM TABULEK	62
SEZNAM PŘÍLOH	64

ÚVOD

Global Navigation Satellite System (GNSS) je v současné době nejrozšířenějším navigačním systémem. I když se původně jedná o systém vojenský, dnes ho po celém světě využívají jak státní nebo soukromé instituce, tak i jednotlivci ve svém každodenním životě. V oblasti letecké dopravy se technologie GNSS velmi rozšířila a dnes je již nedílnou součástí letadel jakožto primární navigační systém. S větší rozšířeností se však pojí i rizika, zejména riziko rušení GNSS. Ačkoliv je rušení GNSS aktuálním tématem, stále nejsou rozšířeny spolehlivé prostředky na detekci tohoto rušení. Ty se většinou spoléhají pouze na přímou detekci rušivého signálu. Nabízí se tedy řešení v podobě nepřímé detekce přes parametry kvality polohy ve zprávách ADS-B.

V první, teoretické části je čtenář seznámen s problematikou využití GNSS v letecké dopravě, rušení GNSS a rizik spojených s rušením. Dále se práce věnuje technologii ADS-B a jsou představeny parametry kvality polohy. V praktické části autor popisuje metodu a průběh získávání dat z platformy OpenSky Network a jejich následné zpracování. Poté je čtenář seznámen s výsledky statistické analýzy dat.

Cílem této práce je statisticky vyhodnotit parametry polohy, které jsou obsaženy v ADS-B zprávách a určit, zda existuje souvislost mezi hodnotami parametrů a rušením GNSS. Na tomto základě je pak vytvořena metodika detekce rušení, což je dalším přínosem této práce.

1. VYUŽITÍ GNSS V LETECKÉ DOPRAVĚ

Hlavními výhodami GNSS jsou jeho globální dostupnost a levné zavedení, proto je široce používán i v letecké dopravě. Aby mohl být systém v letectví řádně využíván, bylo potřeba vytvořit regulace a dokumenty popisující a upravující takovéto využití. Mezi ně patří vnitrostátními předpisy, předpisy Evropské unie (EU) a GNSS manuál Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) [1]. GNSS má však také na druhou stranu řadu chyb, které budou popsány později.

Pro využití v letectví musí být dodrženy následující parametry:

- Integrita – míra vyjadřující správnost informací poskytovaných navigačním systémem. V případě, kdy dojde k překročení přípustné hodnoty musí být systém schopen o této skutečnosti varovat uživatele.
- Dostupnost – procentuální využitelnost systému v čase.
- Přesnost – odchylka polohy udávané GNSS přijímačem od skutečné polohy
- Spojitost – schopnost systému, které zajišťuje kontinuální funkci systému bez přerušení.

Rozsah využití GNSS v letectví závisí právě na schopnosti zajištění těchto parametrů. Ty jsou v leteckém předpisu L10 [2] spolu s časovými výstrahami definovány jako výkonnostní požadavky v závislosti na fázi letu. Výsledek zavedení těchto požadavků má pozitivní dopad na využití v letecké dopravě, provádění letů a řízení letového provozu. Jednotlivé členské státy ICAO povolují využití GNSS ve svém vzdušném prostoru, k čemuž musí výkon systému splňovat požadavky, které jsou uvedeny v GNSS manuálu ICAO a Annexu 10 (v ČR letecký předpis L10) [2].

Systémy GNSS se využívají od 90. let 20. století jako forma asistence v průběhu provádění některých letů podle pravidel VFR (let za viditelnosti), i podle pravidel IFR (let podle přístrojů). K širokému rozšíření tohoto systému došlo i díky tomu, že pořízení přijímače GNSS je levné a pro jeho používání není potřeba žádná další investice. Rozvoj letecké dopravy i samotného systému GNSS, spolu s potřebou zvýšit efektivitu využívání vzdušného prostoru, zákonitě vedly k čím dál rozsáhlejšímu využívání GNSS systémů.

2. RUŠENÍ GNSS

Hlavním důvodem zkoumání parametrů kvality polohy v ADS-B zprávách v této práci je výzkum, zda lze pomocí nich odhalit rušení GNSS signálu.

Při rušení GNSS dochází k vysílání nežádoucího signálu. Tento signál je při rušení silnější než signál autentický, což způsobí, že kvůli tendenci přijímače sledovat silnější signál dochází k rušení. GNSS signál je zranitelný vůči rušení z důvodu, že na povrchu Země má sílu pouze okolo -120dB.

Signál nemusí být rušen pouze úmyslně. Například staré televizní antény vysílají signál v podobném spektru, v jakém jsou signály GNSS. Další rušivé signály mohou například pocházet z frekvencí používaných meteorologickou službou.

2.1. Druhy rušení

Úmyslné rušení můžeme rozdělit do několika kategorií. Tyto druhy se liší hlavně způsobem, jakým dosahují rušení, a tím pádem i jejich chováním. Jejich detekce a případná prevence pak může být složitější.

Prvním druhem, který je nejjednodušší, efektivní a zároveň nejčastější, je takzvaný jamming. Při jammingu dochází k vysílání signálu, který má vysoký výkon, ve frekvenčním pásmu využívaném GNSS. Používání rušiček, které využívají tento princip, je ve většině zemí nelegální a je tak velmi obtížné je v těchto státech obstarat. Avšak na internetu lze taková zařízení zakoupit z některých zahraničních obchodů.

Dalšími typy rušení jsou spoofing a meaconing. První jmenovaný typ funguje na principu vysílání signálu, který vykazuje stejné chování jako signál z družic. Přijímač přechází na tento signál buď po krátkém jammingu (kdy se jedná o tzv. jam-spoofing), nebo se signál spoofingu postupně zesiluje a přijímač přechází na signál spoofingu.

Druhý jmenovaný funguje na principu zpoždění signálu družic. Zařízení přijme signál z družice a se zpožděním ho vysílá s vysokým výkonem. Přijímač pak spíše bude sledovat signál meaconingu, čímž získává neaktuální informace o času a své poloze.

Jak již bylo řečeno, ačkoliv je takové jednání nezákonné, díky internetu je velmi jednoduché si rušičku GNSS signálu zakoupit. V praxi ji často využívají například řidiči nákladních vozidel, kteří tím zamezují svému zaměstnavateli sledování jejich polohy. Tyto rušičky však vytváří oblast rušení a pokud tato oblast zasáhne infrastrukturu

letecké dopravy, například systémy GBAS (Ground Based Augmentation System) na letišti, mohou nastat komplikace. Dalším motivem k rušení signálu GNSS mohou být i teroristické útoky. Pokud bude mít letadlo mylné informace o své poloze, může rušení způsobit nehodu s katastrofálními následky.

2.2. Riziko rušení v letecké dopravě

V minulosti se již několikrát objevilo rušení GNSS, které bylo měřeno. To upozornilo na nebezpečí, které rušení GNSS představuje. V kritických fázích letu, tedy vzlet, přiblížení a přistání, je důležité mít co nejpřesnější polohu. V nízkých výškách je však zároveň největší riziko, že poloha bude z důvodu rušení nepřesná. Za špatné viditelnosti, způsobené například nízkou dohledností nebo základnou oblačností, se musí pilot spoléhat na své přístroje, které musí mít přesnou polohovou informaci.

Jak již bylo naznačeno, velmi ohroženými místy jsou letiště. Pokud se v blízkosti letiště nachází silnice nebo dálnice, po které jezdí velké množství nákladních automobilů, může dojít k rušení GNSS. To může zasáhnout nejen systém GBAS či přistávající a vzlétající letadla, která jsou v ten okamžik v kritické fázi letu, ale i jiné systémy na letišti. Například stanice Multilateračního přehledového systému rovněž mohou používat časovou synchronizaci založenou na základě GNSS.

2.3. Příklady rušení

Jeden z nejvýznamnějších konkrétních popsanych případů rušení se odehrál v americkém městě Newark. [9] K rušení docházelo v blízkosti tamního letiště po zavedení systému LAAS (Local Area Augmentation System), což je americká obdoba GBAS.

Pro pochopení souvislostí je nutno podotknout, že ačkoliv je toto letiště plochou relativně malé, i tak odbavuje velký počet cestujících – například v roce 2018 to bylo 46 milionů. [10] Souběžně se dvěma drahami vede nedaleko letiště rušná dálnice, po které denně projede velký počet vozidel. To však neočekávaně způsobilo potíže, jakmile byl systém LAAS spuštěn, jelikož docházelo k jeho pravidelnému rušení.

Provedená měření a výzkumy zjistily, že za rušení mohou rušičky instalované ve vozidlech, která projížděla po zmíněné dálnici. Signál LAAS byl tak rušen i několikrát denně. Před úpravami systému tak docházelo k výpadkům, které byly způsobeny ztrátou signálu na jedné ze čtyř antén systému. To následně vyžadovalo restart celého

systemu, čímž došlo k omezení provozu letiště. Pokud navíc bylo rušení obzvláště silné, mohlo dokonce dojít i k výpadkům více antén zároveň, což ohrožovalo letadla v okolí, hlavně při špatném počasí.

Úpravami softwaru systému, který již nevyžaduje restart, pokud dojde k rušení až na 2 přijímačích LAAS, a několika dalšími opatřeními, bylo dosaženo pokroku. Rušení se však bohužel stále nepodařilo úplně eliminovat.

Podobným případem je rušení ve městě Leesburg [9] v státě Virginia ve Spojených státech amerických. Konkrétně se jednalo o jednu stanici systému WAAS (Wide Area Augmentation System), což je americká verze systému SBAS (Satellite Based Augmentation System). V okolí této stanice se nacházejí rušné silnice. Systém zaznamenával rušení, které však bylo pouze chvilkové. Při vyšetřování se došlo k závěru, že zdrojem rušení bude rušička v automobilu, což bylo potvrzeno pravidelnými časy, kdy k rušení docházelo. Po sestavení časového plánu rušení bylo identifikováno konkrétní vozidlo, jeho řidič byl dopaden a rušička mu byla zabavena.

Tyto dva příklady potvrzují, že rušit signál GNSS je velmi jednoduché. Stačí, aby si kdokoliv z jakéhokoliv důvodu pořídil rušičku GNSS do automobilu a nevědomky se s ní projel v okolí letiště, a může tak způsobit značné komplikace. Takový člověk si je vědom, že ruší signál GNSS, jeho úmyslem nicméně není narušit letecké systémy. Cílem je pouze vlastní užitek. Největší nebezpečí tak představuje rušení záměrně škodlivé vůči leteckému provozu, které má za cíl poškodit co nejvíce uživatelů na co největší ploše. Příkladem takového rušení může být například rušení v oblasti středomoří [11] [12] a v Severní Koreji [13] [14].

3. AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE – BROADCAST (ADS-B)

Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, zprávy z ADS-B jsou hlavním zdrojem dat pro tuto práci. Proto je zde věnován prostor pro představení této technologie.

Samotný systém ADS je charakterizován tím, že vysílá zprávy módu S bez předchozího dotazu. Veškeré informace obsažené ve zprávě systém po jejich získání zakóduje do vlastní zprávy a sám automaticky odešle. Tento systém je v současné době využíván hlavně ke sledování letadel. Dále pak s mohou být systémem ADS vybaveny také pozemní prostředky.

ADS-B je pak charakterizováno tím, že je zpráva určena pro všechny uživatele. Tato technologie má potenciál nahradit radarové sledování, a to v oblastech, kde je nízká hustota provozu.

3.1. Definice ADS-B

Dle předpisu L4444 [16] je ADS-B prostředek, jímž letadla, letištní mobilní prostředky a další objekty mohou automaticky vysílat a/nebo přijímat údaje, které zahrnují informace jako identifikace, poloha a další, a to ve vysílacím módu pomocí datového spoje. Cílem ADS-B je v reálném čase poskytovat přehledové informace řídicím letového provozu nebo provozním oddělením aerolinií. Jedná se však o závislý systém sledování, kdy kvalita získaných dat závisí na výkonech systémů letadla.

3.2. ADS-B zpráva

Datové zprávy jsou vysílány prostřednictvím odpovídače módu S. Tyto zprávy mohou mít různou podobu, celkem totiž existuje 25 různých formátů těchto zpráv. Každá zpráva má několik oddílů. První oddíl říká, o jaký formát zprávy se jedná. Pro tuto práci je stěžejní formát 17 (sestupný spoj – DF), který obsahuje právě zprávu ADS-B.

Tabulka 1 – Složení zprávy ADS-B formátu 17

DF(5)	CA(3)	MODE S ADDRESS (24)	ADS-B MESSAGE (56 bits)	PARITY (24)
-------	-------	------------------------	----------------------------	-------------

Prvních pět bitů určuje, že jde o formát 17, tedy DF. Další 3 bity obsahuje informaci o úrovni odpovídače a zda se letadlo, které vyslalo zprávu, nachází ve vzduchu, či na zemi. Dalších 24 bitů obsahuje unikátní adresu letadla, po kterých je dalších 56 bitů rezervováno pro samotnou ADS-B zprávu, a následuje posledních 24 bitů, které slouží k ověření správnosti zprávy. ADS-B zpráv je více typů, přičemž každý z těchto typů je charakterizován prvními pěti bity 56 bitového pole Message, tzv. Type Code.

3.3. Využití ADS-B

Jedním z hlavních cílů amerického projektu Next Generation Air Transport Systém (NextGen), a evropského Single European Sky ATM Research (SESAR) je využití ADS-B jakožto primárního přehledového systému, využívaného pro řízení letového provozu. Z obou projektů vycházely nařízení, díky kterým je nyní vybavení letadel ADS-B technologií od roku 2020 povinné, jak v USA, tak i v Evropě.

V případě Evropy jsou požadavky pro poskytovatele letových provozních služeb a provozovatele letadel stanoveny nařízením Komise (EU) č. 1207/2011, kterým se stanoví požadavky na výkonnost a interoperabilitu přehledu v jednotném evropském nebi, které bylo později změněno nařízením Komise (EU) č. 2017/386. Z něj pro provozovatele letadel plynula povinnost, že nejpozději do 7. června 2020 muselo být jejich letadlo vybaveno systémem ADS-B Out, který slouží pro vysílání zpráv z letadla. Toto nařízení se vztahovalo na letadla, jejichž maximální certifikovaná vzletová hmotnost převyšovala 5700 kg, nebo letadla, která jsou schopna maximální pravé vzdušné rychlosti (TAS) větší než 250 uzlů a jsou provozována při letech v rámci všeobecného letového provozu v souladu s pravidly pro let podle přístrojů.

3.4. Parametry kvality dat

Tato práce se zabývá hodnotami parametrů kvality polohové informace v ADS-B zprávách, proto zde budou představeny ty parametry, se kterými se bude v dalších kapitolách pracovat.

V ADS-B zprávách existuje několik parametrů, které určují kvalitu polohových dat. V minulosti ve verzi 0 ADS-B jím byl parametr Navigation Uncertainty Category (NUC), a to konkrétně pro polohu a rychlost. V současné době se však parametr NUC nepoužívá. Místo něho se v současné verzi 2 ADS-B používají parametry NACp, NACv, NIC a SIL.

3.4.1. Navigation Accuracy Category for Position (NACp)

NACp je součástí zpráv ADS-B, konkrétně zprávy Operational Status Data. Určuje limity, ve kterých se s 95% pravděpodobností nachází letadlo vysílající zprávu. Čím vyšší je hodnota NACp, tím menší je oblast ohraničená limity, ve které se letadlo nachází. Pokud nebyla hodnota NACp obnovena po dobu 2 sekund, hodnota NACp bude 0.

Tabulka 2 – Hodnoty NACp a jejich význam [16]

Binární hodnota	Decimální hodnota	95% Limit horizontální přesnosti (EPU)	Poznámka
0000	0	$EPU \geq 18.52 \text{ km (10NM)}$	Neznámá přesnost
0001	1	$EPU < 18.52 \text{ km (10NM)}$	Přesnost RNP-10
0010	2	$EPU < 7.408 \text{ km (10NM)}$	Přesnost RNP-4
0011	3	$EPU < 3.704 \text{ km (10NM)}$	Přesnost RNP-2
0100	4	$EPU < 1\,852 \text{ m (1NM)}$	Přesnost RNP-1
0101	5	$EPU < 926 \text{ m (0.5NM)}$	Přesnost RNP-0.5
0110	6	$EPU < 555.6 \text{ m (0.3NM)}$	Přesnost RNP-0.3
0111	7	$EPU < 185.2 \text{ m (0.1NM)}$	Přesnost RNP-0.1
1000	8	$EPU < 92.6 \text{ m (0.05NM)}$	Např. GPS s SA
1001	9	$EPU < 30 \text{ m}$	Např. GPS bez SA
1010	10	$EPU < 10 \text{ m}$	Např. SBAS
1011	11	$EPU < 3 \text{ m}$	Např. GBAS
1100+	12+	Rezervováno	

3.4.2 Navigation Integrity Category (NIC)

NIC stanovuje velikost R_c (Radius of Containment). Jedná se o rádius, ve kterém se letadlo s 95% pravděpodobností nachází, horizontálně i vertikálně. Pro odvození hodnoty NIC se využívá typ zprávy („TYPE“ subfield) a NIC supplement A, B a C, a to tak, že se buďto využívá „TYPE“ code data a NIC supplement B z Airborne Position Data zprávy a NIC supplement A z Operational Status Data zprávy, nebo „TYPE“ code data z Surface Position Data zprávy a NIC supplement A a C z Operational Status Data zprávy.

Tabulka 3 – Hodnoty parametru NIC a jejich význam [16]

Hodnota NIC	R_c
0	R_c neznámé
1	$R_c < 37.04$ km (20 NM)
2	$R_c < 14.816$ km (8 NM)
3	$R_c < 7.408$ km (4 NM)
4	$R_c < 3.704$ km (2 NM)
5	$R_c < 1.85$ km (1 NM)
6	$R_c < 1.111$ km(0.6 NM)
7	$R_c < 0.370$ km (0.2 NM)
8	$R_c < 0.185$ (0.1 NM)
9	$R_c < 75$ m and VPL < 112 m
10	$R_c < 25$ m and VPL < 37.5 m
11	$R_c < 7.5$ m and VPL < 11 m

3.4.3. Surveillance integrity level (SIL)

SIL indikuje pravděpodobnost, že bude překročen R_c , který je definován parametrem NIC, bez vydání varování systémem (a to za předpokladu bezchybného avionického systému).

Tabulka 4 – Hodnoty SIL a jejich význam [16]

SIL value	Pravděpodobnost překročení R_c
0	$> 1 \times 10^{-3}$, nebo neznámá
1	$< 1 \times 10^{-3}$
2	$< 1 \times 10^{-5}$
3	$< 1 \times 10^{-7}$

3.4.4. System Design Assurance (SDA)

SDA indikuje pravděpodobnost nefunkčnosti, respektive chybné funkce systému ADS-B, která má za následek vysílání chybných nebo zavádějících informací. Parametr zahrnuje funkčnost všech částí ADS-B systému, které souvisí s polohovou informací od jejího zdroje až po vysílač.

Tabulka 5 – Hodnoty SDA a jejich význam [16]

SIL value	Pravděpodobnost nezjištěné chyby, způsobující vyslání chybné nebo zavádějící informace
0	$> 1 \times 10^{-3}$ za letovou hodinu, nebo neznámá
1	$< 1 \times 10^{-3}$ za letovou hodinu
2	$< 1 \times 10^{-5}$ za letovou hodinu
3	$< 1 \times 10^{-7}$ za letovou hodinu

3.5. Vztah parametrů polohy a rušení GNSS

Lze předpokládat, že výše zmíněné parametry mohou náhodně fluktuovat. Cílem této práce je zjistit, zda tyto parametry reagují na GNSS rušení a zda je možné je tímto způsobem detekovat.

Pro tento účel byla nejdříve vytvořena základní statistika ze světa. Následně byly vhodným omezením získány data, se kterými tato práce dále pracuje. Byla určena základní statistika parametrů pro výběr dat a následnou analýzou byly zjištěny parametry, které byly využity při detekci rušení. Pro samotnou detekci potenciálního rušení byly využity dvě metody, které byly za tímto účelem vytvořeny.

4. ZÍSKÁNÍ DAT

Kromě celosvětové statistiky parametrů a evropské statistiky parametru NIC, které byly vytvořeny přímo pomocí databáze OpenSky a rozhraní PuTTY, byla pro účel této práce vytvořena SQL databáze na virtuálním serveru. Tento postup byl nezbytný vzhledem k nutnému párování dvou tabulek, konkrétně `position_data_4` a `operational_status_data_4` z databáze OpenSky, jak bude popsáno dále. K tomuto již nestačil jazyk SQL a příkaz `SELECT`, ale bylo nutné vytvořit proceduru, která bude ke zprávám, respektive řádkům z tabulky `position_data_4` (jež mimo jiné obsahuje i polohovou informaci a parametr NIC), přiřazovat zprávy z tabulky `operational_status_data4`, která obsahuje parametry NACp, SIL a SDA, avšak již neobsahuje polohovou informaci. Právě absence polohové informace byl hlavní důvod nutnosti párování tabulek, bez něhož by nebylo možné jakkoliv omezit zprávy z tabulky `operational_status_data4` pomocí polohy. Tato skutečnost výrazně zpomalila postup

této práce a omezila časové úseky, se kterými bylo možné pracovat. Další omezení jsou diskutována později v této práci.

4.1. Platforma OpenSky

The OpenSky Network je nezisková asociace se sídlem ve Švýcarsku. Jejím cílem je zvýšení bezpečnosti, spolehlivosti a efektivity vzdušného prostoru pomocí poskytování reálných dat z řízení letového provozu. Jejich síť se skládá z přijímačů, které jsou provozovány dobrovolníky, akademickými a vládními organizacemi a podporovateli z leteckého průmyslu. Všechna získaná data se ukládají do databáze. Tato databáze je využívána pro výzkum z různých částí světa a k analýze a následnému vylepšení ATC technologií a procesů. [18]

Platforma OpenSky primárně využívá ADS-B technologii a Mód-S. Tyto technologie umožňují sledovat informace o letadlech ve vzdušném prostoru díky veřejně přístupné rádiové frekvenci 1090 MHz, která je využívána právě těmito technologiemi.

Pro tuto práci byly z této databáze použity dvě tabulky:

- Position data (position_data4)
- Operational status data (operational_status_data4)

Z tabulky position data byly využity sloupce:

- mintime – čas přijetí zprávy
- icao24 – ICAO 24 adresa unikátní pro každé letadlo
- lat – zeměpisná šířka letadla
- lon – zeměpisná délka letadla
- alt – nadmořská výška letadla
- nic – parametr NIC
- hour – hodina zprávy, použita ke zrychlení procesu hledání zpráv

Z tabulky Operational status data byly využity sloupce:

- icao24 a mintime – použity k pozdějšímu spárování dat z tabulek
- positionnac – Hodnota parametru NACp
- systemdesignassurance – Hodnota parametru SDA
- sourceintegritylevel – Hodnota parametru SIL

4.2. Statistika dat ze světa

Jak již bylo řečeno, základní statistika z celého světa vychází přímo z databází z OpenSky Network. To je z časového hlediska výhodnější, jelikož není potřeba stahovat obrovské množství dat, což umožnilo práci s větším časovým úsekem.

Jako časový úsek, ze kterého byla získána data, bylo zvoleno období jednoho měsíce, konkrétně 21. 2. 2021 až 21. 3. 2021, Práce se primárně zabývala parametry NIC a NACp, jelikož mají větší rozmezí hodnot (12) oproti například parametru SIL, který má pouze 4 hodnoty.

4.2.1. Statistika NIC

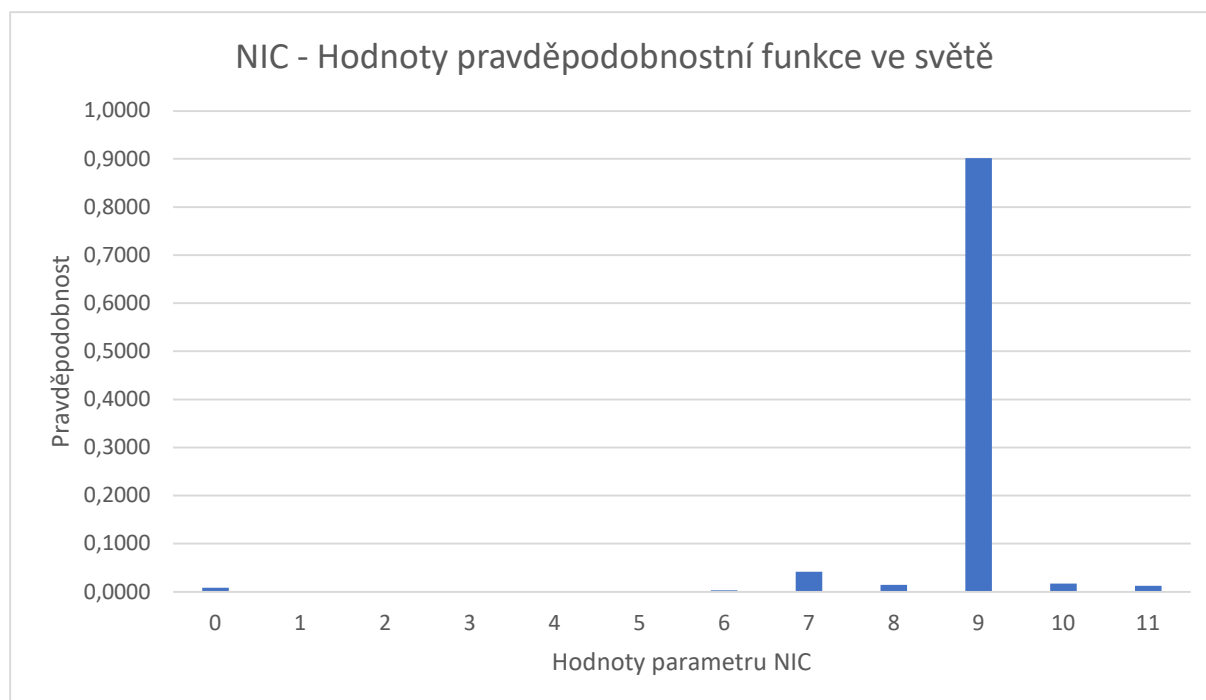
Tabulka 6 – Hodnoty NIC ve světě během měsíce

Hodnoty NIC	0	1	2	3	4	5	6
Počet	111783462	133669	0	14165084	3000645	2999430	39356577

7	8	9	10	11	Suma
545055958	186192995	11766979121	221775707	163417492	13054860140

Pro přehlednost byla vytvořena pravděpodobnostní funkce, která je zobrazena v grafu níže.

Graf 1 – Pravděpodobnostní funkce NIC ve světě



Za měsíc se do databáze zapíše data z více než 13 miliard zpráv. To muselo být reflektováno v pozdějším stádiu této práce, jelikož to znatelně omezovalo časový úsek, ze kterého mohla být data vybírána

Z pravděpodobnostní funkce je možné pozorovat, že většina zpráv má hodnotu parametru rovnou nebo větší než 7. Konkrétně je to 98,7 % z čehož přibližně 90 % z celkového objemu zpráv tvoří hodnota 9. Pokud k tomu přičteme zprávy s hodnotou 0, které nemusí indikovat nepřesnost polohy, ale i chybějící polohovou informaci, tak zjistíme, že zprávy, které mají hodnotu parametru v rozmezí 1-6, jsou zastoupeny přibližně z 0,3 %. Průměrná hodnota parametru NIC ve sledovaném období je 8,85.

Hranice pro hodnotu parametru NIC, která již může indikovat rušení, byla stanovena na hodnotu 6, neboť hodnota 7 je stále ještě poměrně hojně zastoupena a není tedy pravděpodobné, že je polohová informace ve zprávě při hodnotě NIC 7 a vyšší ovlivněna rušením. Pokud je tedy v rámci této práce použit výraz „nízká hodnota NIC“ Je tím myšlena hodnota NIC 6 a menší, respektive hodnota NIC v rozmezí 1 až 6, neboť hodnota 0 vyloučena z výše zmíněného důvodu.

4.2.2. Statistika NACp:

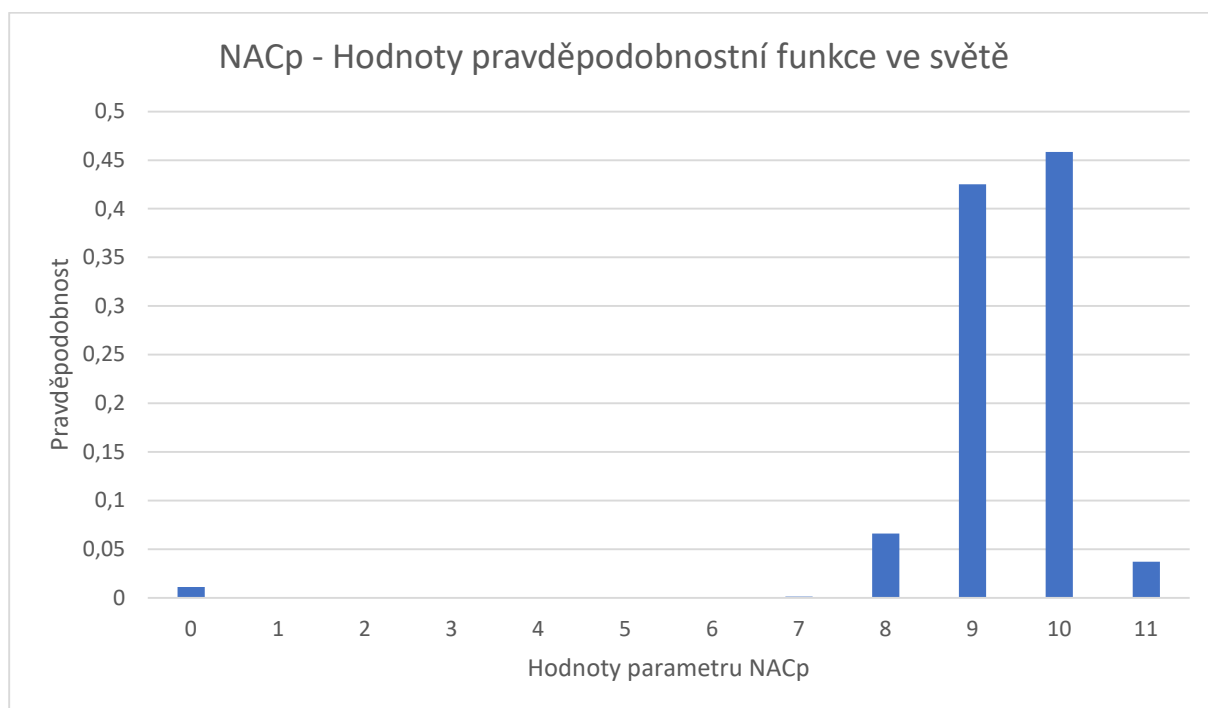
Tabulka 7 – Hodnoty NACp ve světě během měsíce

Hodnoty NACp	0	1	2	3	4	5	6
Počet	27499569	2273	4602	1240789	51326	903651	223925

7	8	9	10	11	Suma
2894214	162803792	1049650467	1131570966	91447901	2468293475

Rovněž byl pro přehlednost vytvořen graf pravděpodobnostní funkce:

Graf 2 – Hodnoty pravděpodobnostní funkce NACp ve světě



Podobně jako u parametru NIC lze sledovat, že většina zpráv, konkrétně 98,7 %, má hodnotu parametru NACp větší nebo rovno 8. Pokud jsou opět přičteny i zprávy s hodnotou 0, tak zprávy, které mají hodnotu parametru NACp v rozmezí 1-7, jsou zastoupeny pouze z 0,2 %. Znovu je tedy třeba se zaměřit na tyto hodnoty, kvůli podezření na rušení. Průměrná hodnota parametru NACp v časovém úseku je 9,36.

Hranice pro hodnotu parametru NACp, která již může indikovat rušení, je tedy stanovena na hodnotu 7. Opět totiž můžeme pozorovat relativně hojně zastoupení hodnoty 8, které vzhledem k vysokému počtu zpráv s touto hodnotou rušení pravděpodobně neindikuje. Podobně jako u parametru NIC je v rámci práce používán výraz „nízká hodnota parametru NACp“. Rovněž se jedná o hodnoty menší nebo rovné hodnotě 7, respektive hodnotám v rozmezí 1 až 7, jelikož hodnota 0 opět může odkazovat pouze na chybějící hodnotu parametru NACp.

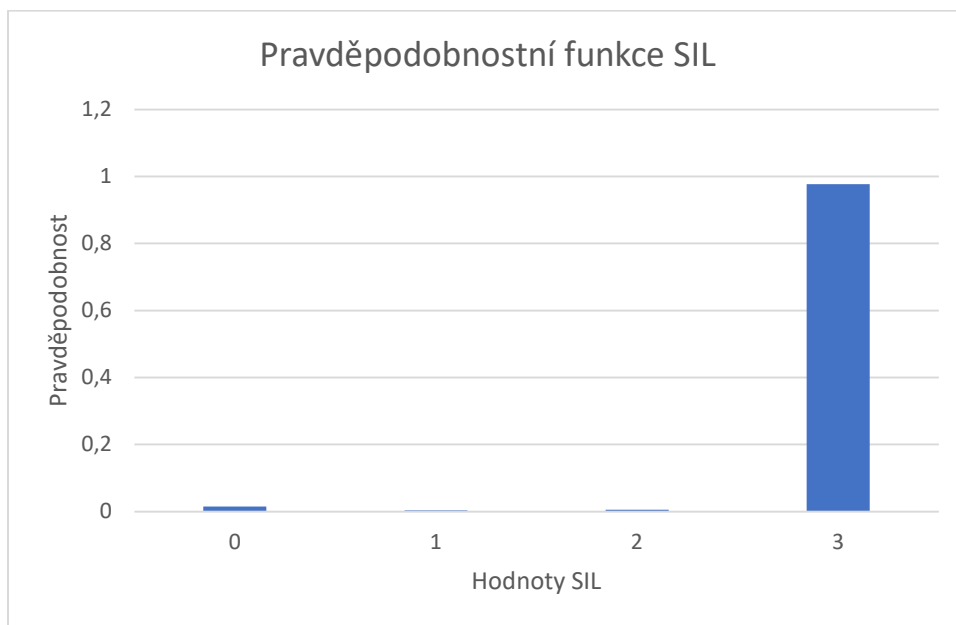
4.2.3. Statistika SIL

Tabulka 8 – Hodnoty SIL ve světě během měsíce

Hodnoty SIL	0	1	2	3	Suma
Počet	36686904	7857481	12449935	2411299155	2468293475

Ze statistiky parametru SIL je patrné, že hodnota 3 je zastoupena zdaleka nejvíce. Hodnoty 0,1 a 2 jsou zastoupeny z 2,30 %, hodnoty 1 a 2 pak z 0,82 %. Tyto tedy mohou indikovat nepřesnost parametru NIC.

Graf 3 – Pravděpodobnostní funkce SIL ve světě



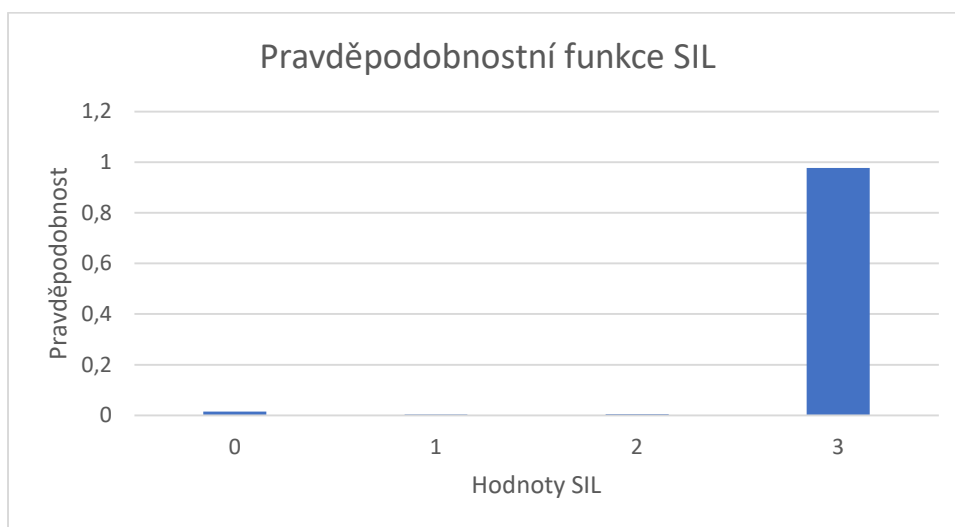
4.2.4. Statistika SDA

Tabulka 9 – Hodnoty SDA ve světě během měsíce

Hodnoty SDA	0	1	2	3	Suma
Počet	42259478	3814084	2188816134	233403780	2468293475

V tomto místě stojí za povšimnutí, že nejvíce je zastoupena hodnota 2 s 88,68 %. Hodnoty 0 a 1 tvoří 1,87 % a hodnota 1 je zastoupena 0,03 %, tyto hodnoty tedy mohou indikovat chybu systémů v letadle.

Graf 4 – Pravděpodobnostní funkce SIL ve světě



Parametry SIL i SDA jsou velmi rozdílné od parametrů NACp a NIC. Za prvé škálou, kdy parametry SDA a SIL mají pouze hodnoty 0 až 3 (oproti 0 až 11), a za druhé přímo neurčují nepřesnost polohy, ale pouze pravděpodobnost chyby systému v případě SDA a pravděpodobnost, že se letadlo nachází mimo R_c určený parametrem NIC v případě SIL. V rámci této práce budou parametry SIL a SDA používány pouze jako pomocné k ověření, zda parametry NIC a NACp nemají nízkou hodnotu z jiného důvodu než rušení GNSS.

Poté bylo cílem ověřit, že tento měsíc není ničím zvláštní, tedy že se jeho hodnoty neliší od hodnot, které je možné naměřit v jiných měsících nebo ročních obdobích. Za tímto účelem byly zjišťovány průměry hodnot parametrů NIC a NACp v náhodné hodiny. Období, ze kterého byly tyto hodiny vybírány, bylo omezeno pouze samotnou databází OpenSky, která sahá pouze rok zpět. Vedlejším cílem bylo dále zjistit, jak se data přibližně mohou lišit.

Tabulka 10 – Průměry NIC a NACp v náhodně zvolených hodinách

HODINA	PRŮMĚRY NIC	PRŮMĚRY NAC _p
SUNDAY 5, APRIL 2020 6:00:00	8,86233283884288	8,98305790877974
TUESDAY 23, MARCH 2021 9:00:00	8,82493453944237	9,21367834743538
WEDNESDAY 8, JANUARY 2020 2:00:00	8,79900736270878	9,23256728397056
SATURDAY 20, JUNE 2020 11:00:00	8,19698219102612	8,51064091683930
TUESDAY 23, MARCH 2020 9:00:00	8,80932025490886	9,16648087400956
SUNDAY 5, APRIL 2020 16:00:00	8,87626891101283	9,35671316530253
SUNDAY 13, DECEMBER 2020 11:00:00	8,71999567450764	9,00565532909956
SATURDAY 22, AUGUST 2020 3:00:00	8,71243307130910	9,15902261002542
FRIDAY 3, APRIL 2020 7:00:00	8,73449362566409	9,19432037281703
TUESDAY 22, SEPTEMBER 2020 10:00:00	8,65132596948836	8,93688442167712
SUNDAY 9, FEBRUARY 2021 2:00:00	8,83926889196032	9,16958855406124
SATURDAY 3, OCTOBER 2020 19:00:00	8,79878421258225	9,34995775945616
MONDAY 20, JANUARY 2021 16:00:00	8,77275847691230	9,31315254257392
WEDNESDAY 4, NOVEMBER 2020 9:00:00	8,74159945651734	9,10316748542859
THURSDAY 24, DECEMBER 2020 0:00:00	8,89102471599344	9,37565446419474
THURSDAY 11, JUNE 2020 7:00:00	8,74926229919240	9,29122762075031
FRIDAY 20, MARCH 2020 12:00:00	8,77391558641627	9,24370655301934
THURSDAY 14, JANUARY 2021 15:00:00	8,87856034138958	9,44795576217453
MONDAY 5, JULY 2020 22:00:00	8,71643373813317	9,32430381215183
FRIDAY 7, AUGUST 2020 21:00:00	8,72895841435624	9,26233538908394
PRŮMĚR	8,75388302861822	9,18200355864254
SM ODCHYLKA	0,14272508783714	0,20235394302559

Pozn.: Hodinou je vždy myšlena hodina, která následuje po uvedeném času. Pokud je tedy například uveden čas 15:00:00 je tím myšlena hodina od 15:00:00 do, ale ne včetně 16:00:00.

Z tabulky je vidět, že průměry se od sebe příliš neliší. Celkem bylo vybráno 20 náhodných hodin. Důvodem pro tento počet byl právě fakt, že se od sebe hodnoty průměrů nelišily, a také strojový čas, jelikož získání jednoho průměru trvalo řádově několik minut. Z celkem 20 vybraných hodin se výrazněji liší pouze žlutě zvýrazněné hodnoty, tedy pouze jedna hodina. Celkově tedy lze konstatovat, že hodnoty NIC a NAC_p jsou v průběhu času relativně stabilní a nedochází k velkým výchýlkám. Průměr z vybraného měsíce se dále příliš neliší od celkového průměru těchto vybraných hodin.

4.3. Statistika dat z Evropy

Jak bylo diskutováno v kapitole 4, vytvoření této statistiky již bylo složitější, jelikož pro parametry NACp, SIL a SDA se musely sloučit obě tabulky do jedné. Aby tedy mohlo dojít k omezení dat pouze na Evropu, musela se polohová informace doplnit z tabulky position_data4. K samotnému slučování tabulek docházelo na virtuálním serveru, kde se tabulky slučovaly do jedné v SQL databázi. Nejdříve tedy bylo potřeba stáhnout data za určitý časový úsek z obou tabulek a následně je sloučit v jednu. Jako primární klíč v nové tabulce byla použita kombinace unikátní 24-bitové adresy letadla a čas zprávy, v tomto případě mintime.

K omezení dat na Evropu byla vybrána I oblast omezená zeměpisnými souřadnicemi, a to následovně:

Tabulka 11 – Omezení dat na Evropu pomocí zeměpisných souřadnic

Zeměpisná šířka	35° s.š.	71° s.š.
Zeměpisná délka	14° z.d.	41° v.d.

Byly tedy vybrány pouze zprávy, které měly parametry lon odpovídající rozmezí zeměpisné délky a lat odpovídající rozmezí zeměpisné šířky.

Pro tato omezení byly pro parametr NIC za stejný časový úsek jako u celosvětové statistiky získány tyto hodnoty:

Tabulka 12 – Hodnoty NIC v Evropě během měsíce

NIC values	0	1	2	3	4	5	6
Count	74634887	44675	0	12402996	755073	2175911	18318923

7	8	9	10	11	SUMA
203289029	45690078	2164575822	57347167	99092243	2678326804

Nicméně jak již bylo naznačeno, pro vytvoření statistiky parametru NACp nelze používat hodnoty za celý měsíc. Kvůli časové náročnosti párování byl nejdelší časový úsek, se kterým bylo možné pracovat z hlediska omezení strojového času, jeden den. Konkrétně byl vybrán 21. březen. Z časového hlediska výzkumu bylo téměř nerealizovatelné pracovat s delším časovým úsekem, jelikož párování dat z jednoho

dne trvalo přibližně čtyři dny a při dalším pracování s databází trvaly SELECT příkazy okolo pěti minut.

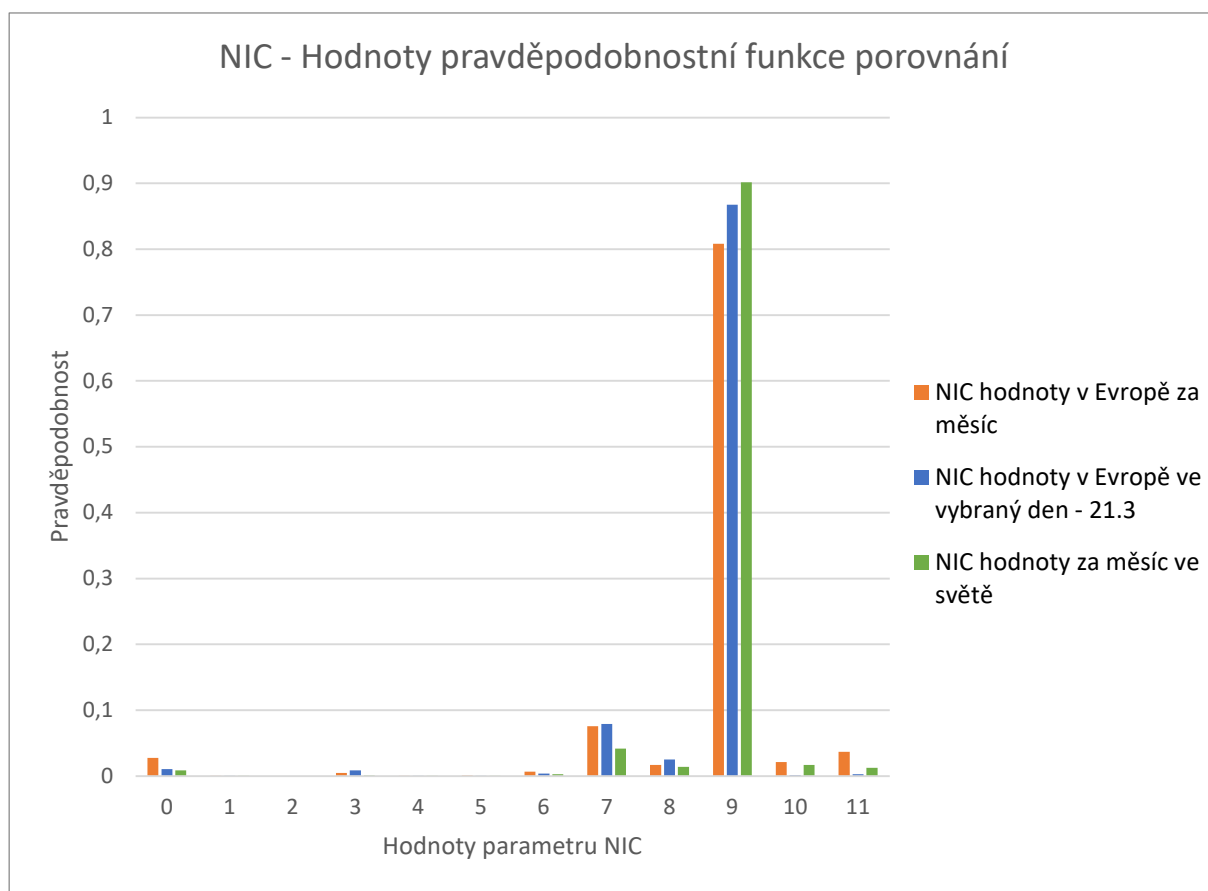
Z tohoto důvodu jsou níže rozepsány hodnoty NIC pro Evropu za jeden den. Pro srovnání je v následujícím grafu vyobrazena pravděpodobnostní funkce parametru NIC za měsíc pro celý svět, za měsíc pro Evropu a za den pro Evropu.

Tabulka 13 – Hodnoty NIC v Evropě během jednoho dne

Hodnoty NIC	0	1	2	3	4	5	6
Počet	175123	321	0	142411	3216	3324	65504

7	8	9	10	11	SUMA
1304006	414520	14253559	23145	49700	16434829

Graf 5 – Srovnání hodnot NIC



Ačkoli se svět a Evropa příliš neliší, vybraný den se odlišuje hlavně ve velmi malých pravděpodobnostních hodnotách parametrů 10 a 11, zároveň má největší pravděpodobnostní hodnotu parametrů 3, 7 a 8. Rozdíly nicméně nejsou nijak velké a pro účel této práce jsou data více než dostatečná. Průměrná hodnota parametru NIC je 8,62, což je paradoxně nižší hodnota než hodnota průměru za den, který je roven 8,66. Způsobeno je to hlavně větším počtem zpráv s hodnotou 0 parametru NIC.

Pro parametr NACp byly získány tyto hodnoty:

Tabulka 14 – Hodnoty NACp v Evropě během jednoho dne

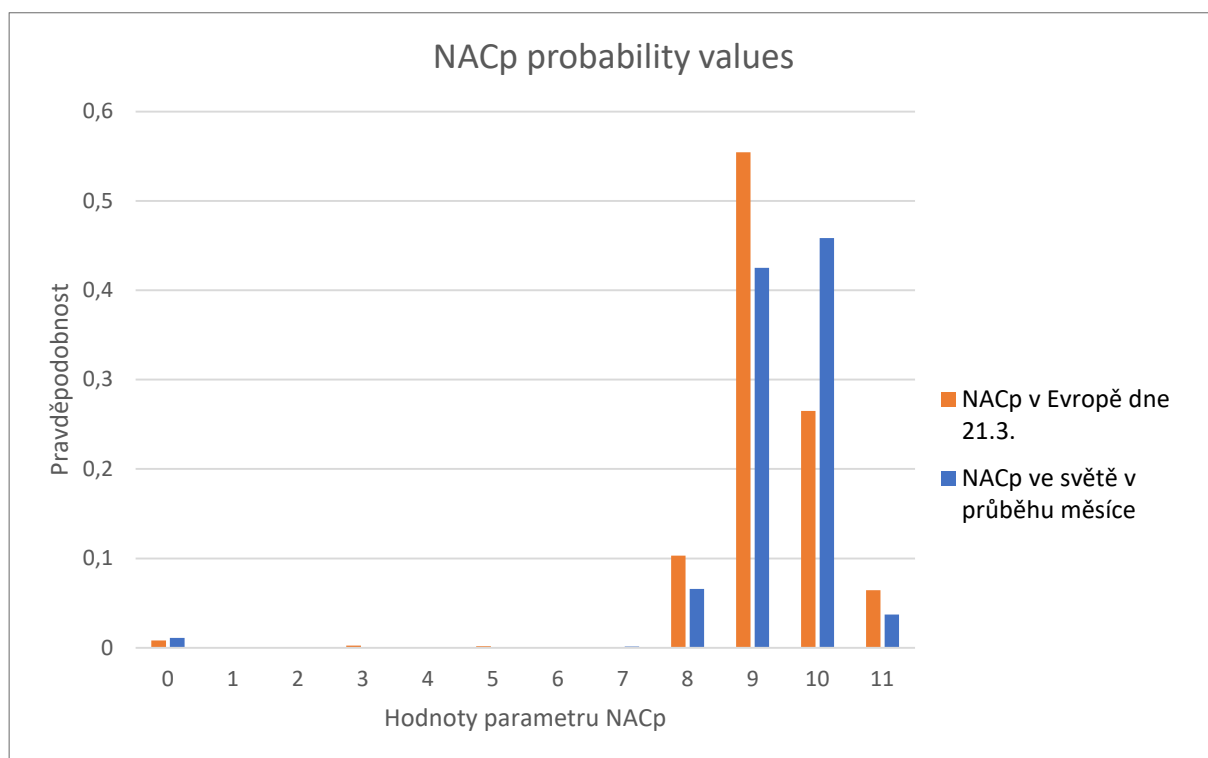
NACp values	0	1	2	3	4	5	6
Count	132502	11	46	39229	240	30027	2485

7	8	9	10	11	SUMA
8458	1693084	9113237	4355386	1060123	16434828

Hodnoty jsou získané ze zpráv přijatých během jednoho dne, a to konkrétně opět 21. března. Dalším omezením pro výše uvedené hodnoty bylo vyřazení zpráv, které měly verzi ADS-B 0 a 1, a ve výběru dat tedy zůstaly zprávy ve verzi ADS-B 2. Toto omezení však odebralo pouze zlomek procenta zpráv, jelikož drtivá většina ADS-B zpráv je ve verzi 2.

Graf pravděpodobnostní funkce NACp parametru vypadá následovně:

Graf 6 – Srovnání hodnot NACp



Z grafu je vidět, že se výběry liší hlavně na hodnotách NACp mezi 8 a 11. Celkově je průměrná hodnota parametru NACp z Evropy nižší o 0,15 v porovnání s hodnotami ze světa. Dále je v tomto výběru větší procento zpráv s hodnotou NIC 3 a 5 než ve výběru ze světa.

4.4. Statistika dat z Evropy rozdělená podle nadmořské výšky

V této části byla data z Evropy rozdělena podle výšky letadla. Pro rozdělení byla použita hranici FL095 a FL225.

Pro parametr NIC ve výšce nad FL225 jsou hodnoty následující:

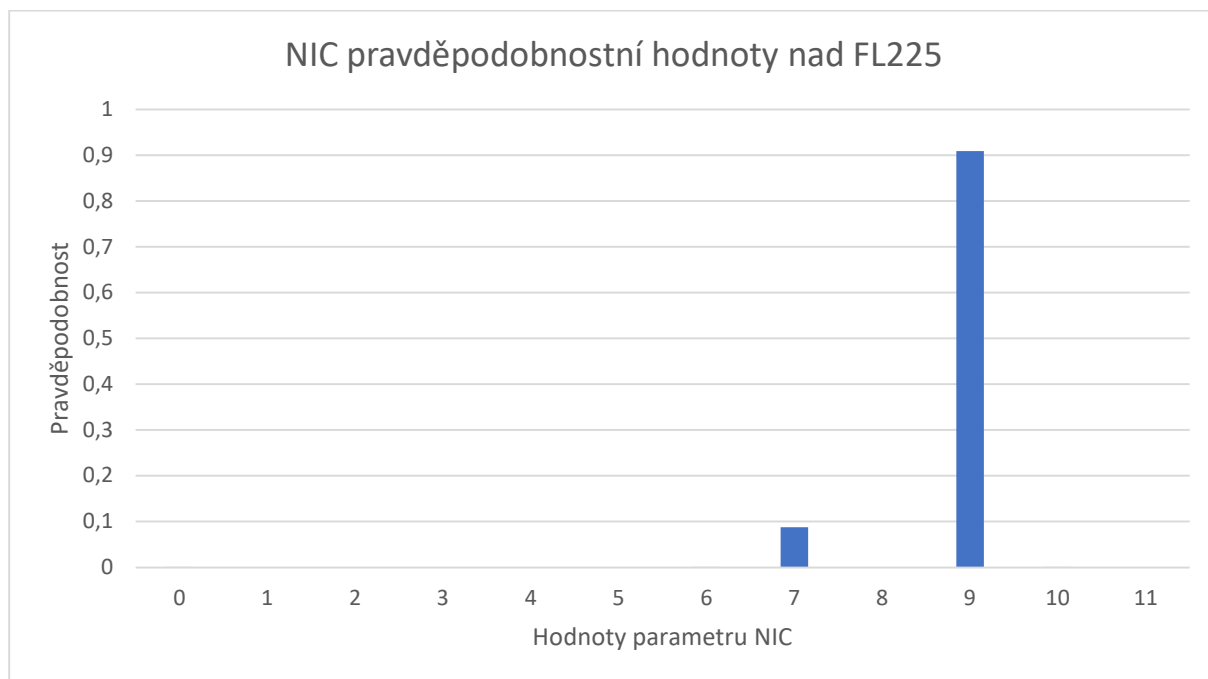
Tabulka 15 – Hodnoty NIC ve výškách nad FL225

NIC values	0	1	2	3	4	5	6
Count	9219	85	0	1676	927	1009	13242

7	8	9	10	11	SUMA
972000	0	10055625	9155	948	11063886

Většina zpráv, konkrétně 99,6 % všech zpráv v těchto výškách, má hodnotu parametru NIC 9 nebo 7. Jsou zde nicméně i zprávy s hodnotou parametru nižší než 7, jak však bude vidět dále, je jich procentuálně i početně méně než v ostatních výškách, a to i přes to, že nad FL225 je vysláno 67.3 % všech zpráv v Evropě. V grafu níže je vidět pravděpodobnostní hodnota hodnot NIC nad FL225.

Graf 7 – Pravděpodobnostní hodnoty parametru NIC nad FL225



Další zkoumanou výškou je výška mezi FL095 a FL225.

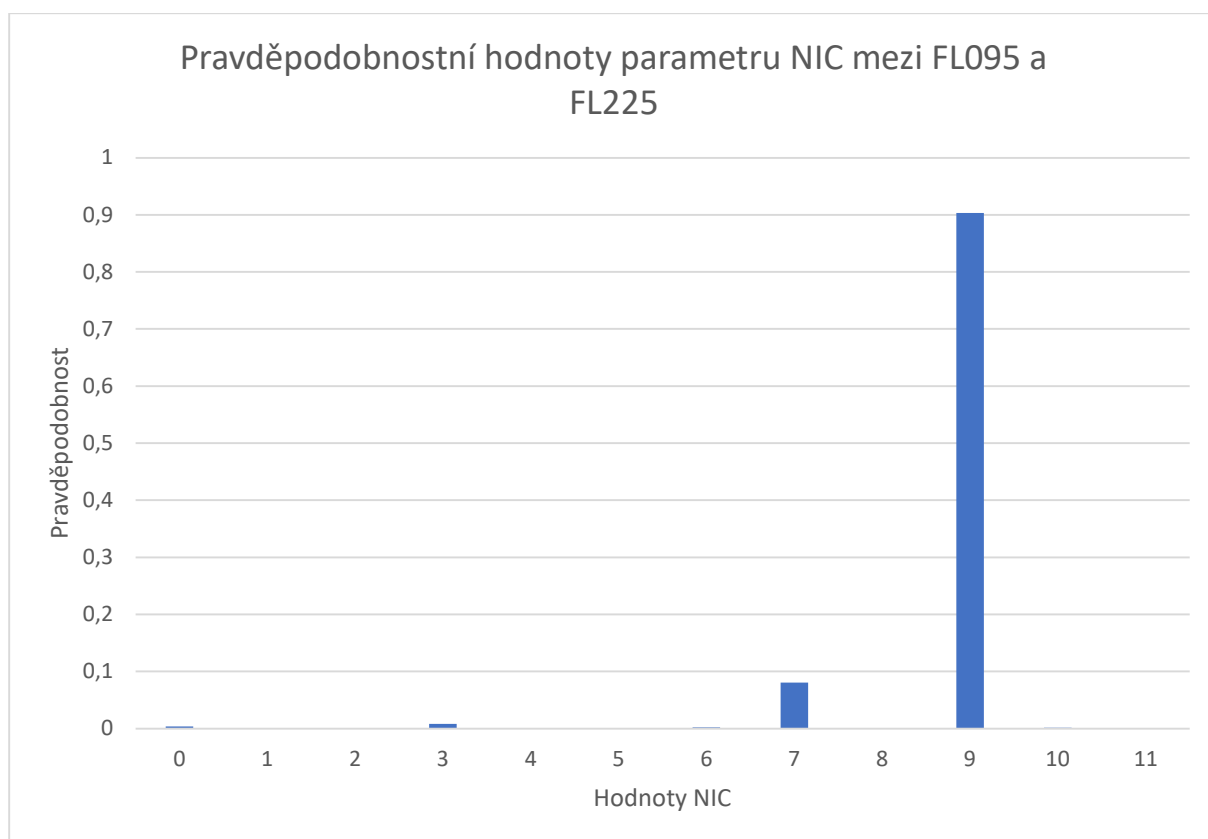
Tabulka 16 – Hodnoty NIC mezi FL095 a FL 225

NIC values	0	1	2	3	4	5	6
Count	8459	52	0	17396	516	402	4515

7	8	9	10	11	SUMA
169517	0	1904123	3127	335	2108442

V tomto rozmezí můžeme pozorovat nárůst hodnot mezi 1 až 6, a to jak absolutní, tak relativní oproti výškám nad FL225. Celkem zprávy s hodnotou NIC mezi 1 a 6 tvoří 1,1 % všech zpráv, tedy nárůst o 0,7 procentního bodu oproti výškám nad FL225.

Graf 8 – Pravděpodobnostní hodnoty NIC mezi FL095 a FL225



Jak nicméně vyplývá z grafu, hodnoty obou výběrů se tolik neliší, vidět je pouze lehký nárůst hodnot NIC 3. Dále se výzkum zaměřil na zprávy vyslané pod FL095.

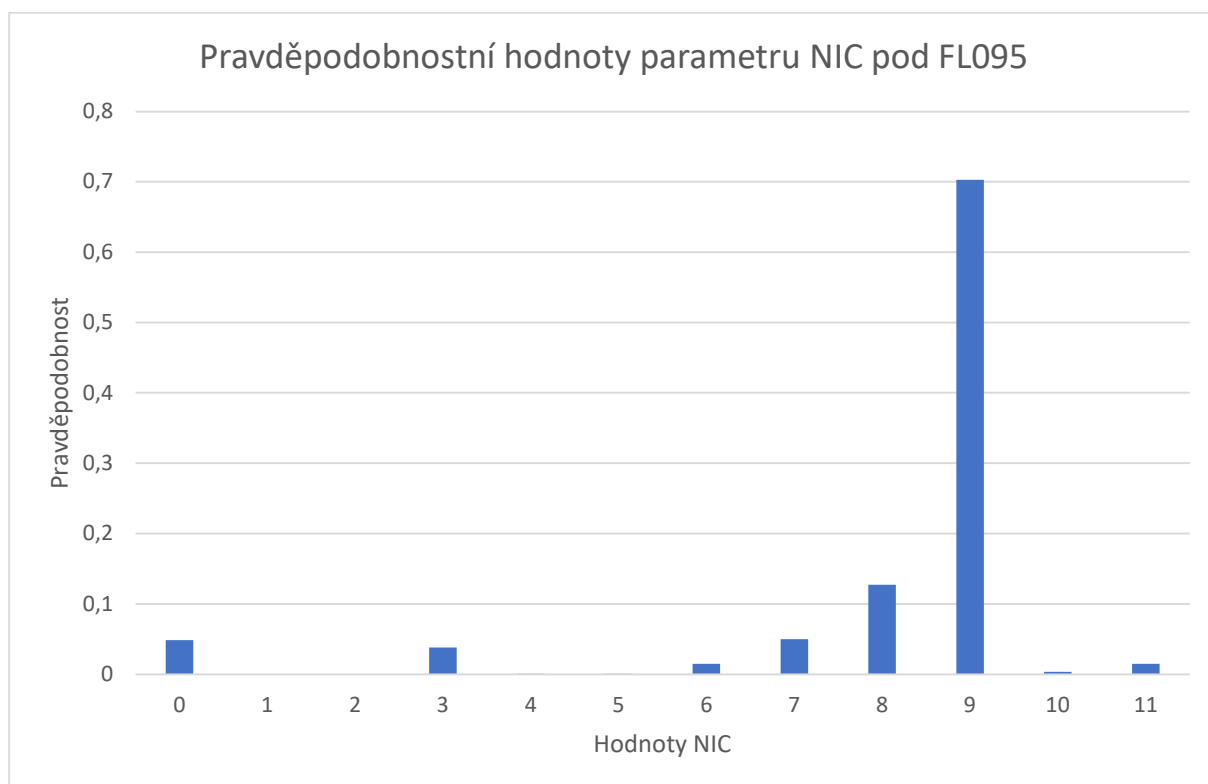
Tabulka 17 – Hodnoty NIC ve výškách nižších než FL095

NIC values	0	1	2	3	4	5	6
Count	157444	184	0	123334	1772	1911	47743

7	8	9	10	11	SUMA
162175	414520	2290739	10856	48417	3259095

Zde možné pozorovat velký nárůst počtu zpráv s hodnotami NIC mezi 1 až 6. Tvoří 5,4 % z celkového počtu zpráv v tomto výškovém omezení. Rozdíl ve rozložení zpráv je vidět i z následujícího grafu. Největší nárůst lze pozorovat hlavně u NIC hodnot 3 a 6. Zajímavý je i výskyt hodnoty 8, která se v předchozích omezeních neobjevovala, a hodnoty 11, která je zastoupena ve větší míře.

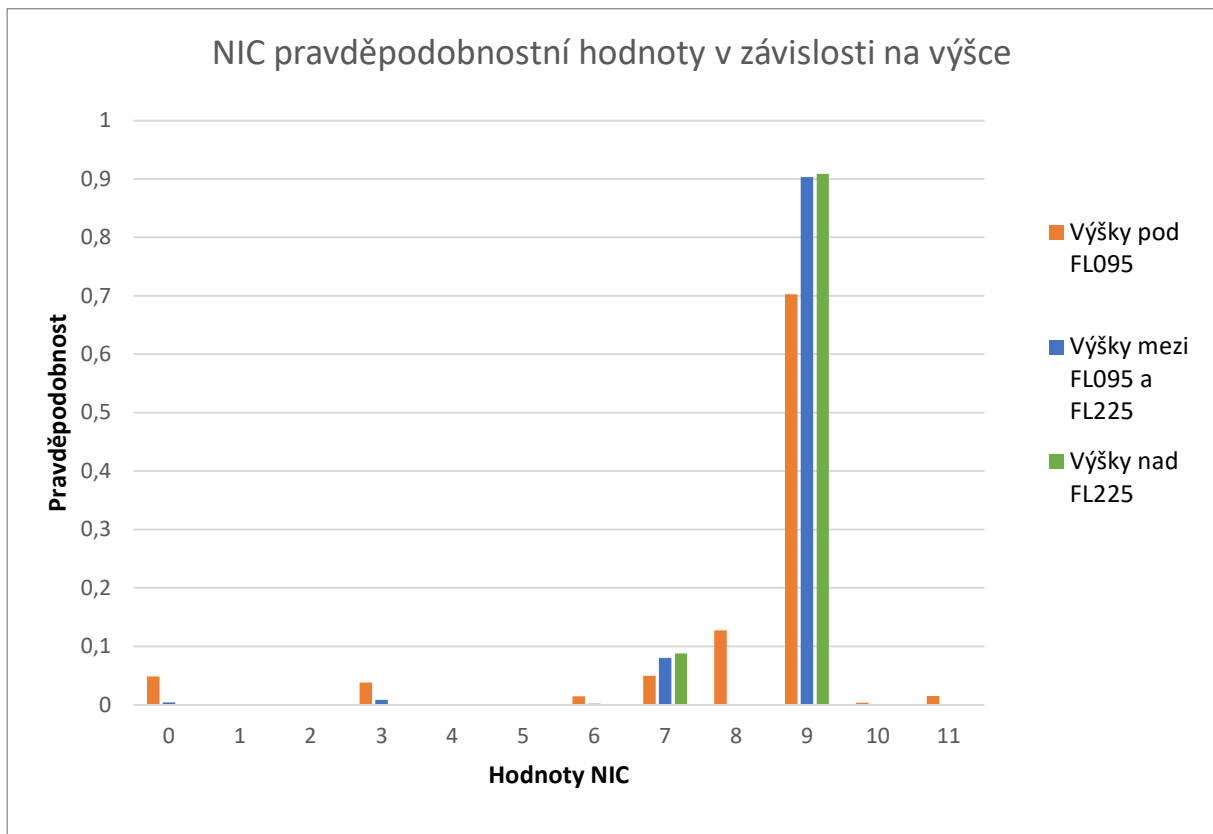
Graf 9 – Pravděpodobnostní hodnoty NIC pod FL095



Lze předpokládat, že se rušení signálu GNSS může vyskytovat primárně na zemském povrchu, čemuž by toto rozložení odpovídalo. Většina zdrojů rušení, ať už neúmyslného či úmyslného, má krátký dosah, ve vyšších výškách tedy pravděpodobnost jeho výskytu klesá. Dalším faktorem, který by mohl být příčinou snížení hodnot parametru NIC, může být například geografické umístění letiště, pokud se v jeho okolí vyskytují hory, nebo je letiště naopak v údolí. Již teď však můžeme říci, že s klesající výškou klesá průměrná hodnota parametru NIC, a tedy i kvalita informace o poloze. Otázkou zůstává, do jaké míry se na tomto poklesu podílí rušení a z jaké části je způsoben jinými faktory. Srovnání výběrů je vidět v následujícím grafu.

Nejvíce překvapivý je nárůst hodnoty 3 se snižující se výškou. Tato hodnota může značit poměrně silné rušení a ve výškách pod FL95 je zastoupena 3 %.

Graf 10 – Porovnání parametru NIC v závislosti na výšce



Tato statistika byla vytvořena i pro parametr NACp, nejdříve byly získány data z jednoho dne pro výšky nad FL225.

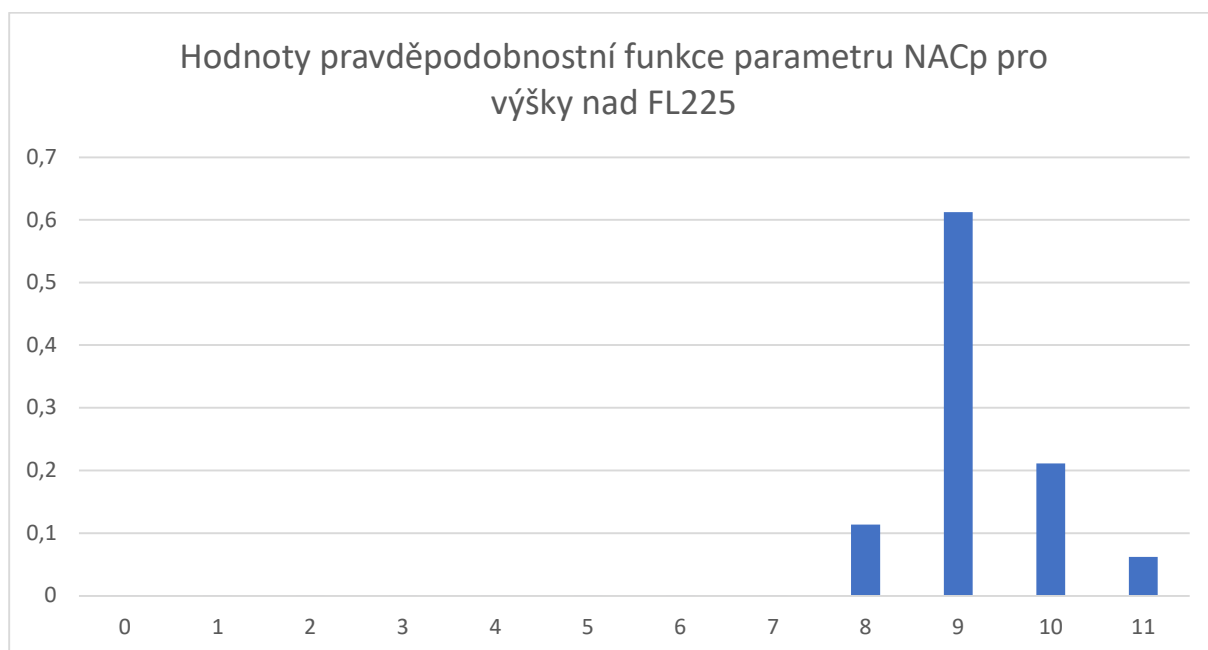
Tabulka 18 – Hodnoty NACp ve výškách nad FL225

NACp values	0	1	2	3	4	5	6
Count	4598	10	42	48	80	352	744

7	8	9	10	11	SUMA
3308	1258539	6775663	2336267	684234	11063885

Z hodnot je patrné, že počet zpráv, které jak hodnotu parametru NACp mezi 1 a 7 je nepatrný, konkrétně je to 0,05 % zpráv z celkového objemu, což je patrné i z následujícího grafu. Jak u parametru NIC, tak NACp tedy lze pozorovat, že v těchto vysokých výškách se nízké hodnoty příliš nevyskytují. Tyto hodnoty odpovídají předpokladu, že nízké hodnoty způsobuje rušení, neboť většina rušení (s výjimkou vojenských rušiček) do těchto výšek nedosáhne.

Graf 11 – Pravděpodobnostní hodnoty NACp ve výškách nad FL225



Data pro výšky mezi FL095 a FL225 vypadají následovně.

Tabulka 19 – Hodnoty NACp mezi FL095 a FL225

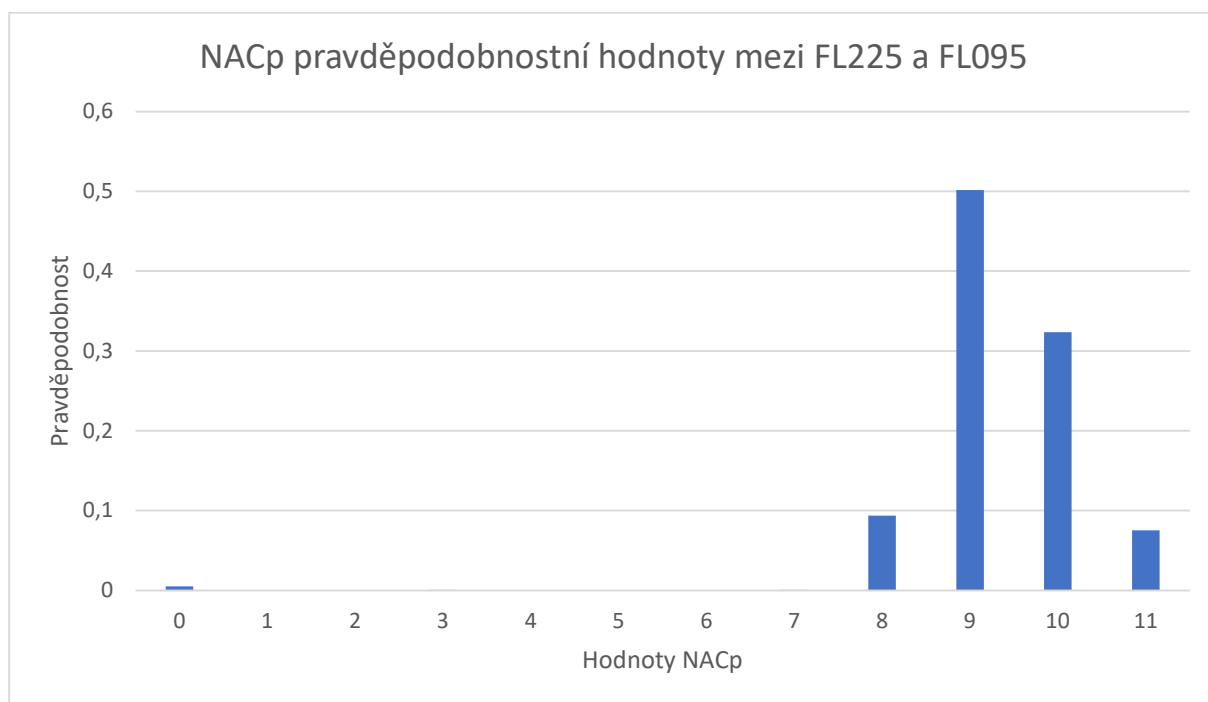
NACp values	0	1	2	3	4	5	6
Count	10257	0	1	984	41	15	129

7	8	9	10	11	SUMA
1405	197652	1058864	683254	159246	2111848

Z dat je možné vidět, že se hodnoty parametrů podobají předchozímu výběru. Sice lze pozorovat lehký nárůst u parametrů 3 a 7, avšak vzhledem k celkovému množství zpráv je jejich počet stále velmi malý.

Z grafu níže vyplývá, že se zvýšil počet zpráv s parametrem 10 a snížil počet zpráv s parametrem 9, což způsobilo nárůst průměru parametru. Kromě toho se však rozložení parametrů velmi podobá předchozímu výběru.

Graf 12 – Pravděpodobnostní hodnoty NACp mezi FL095 a FL225



Posledním výběrem jsou výšky pod FL095.

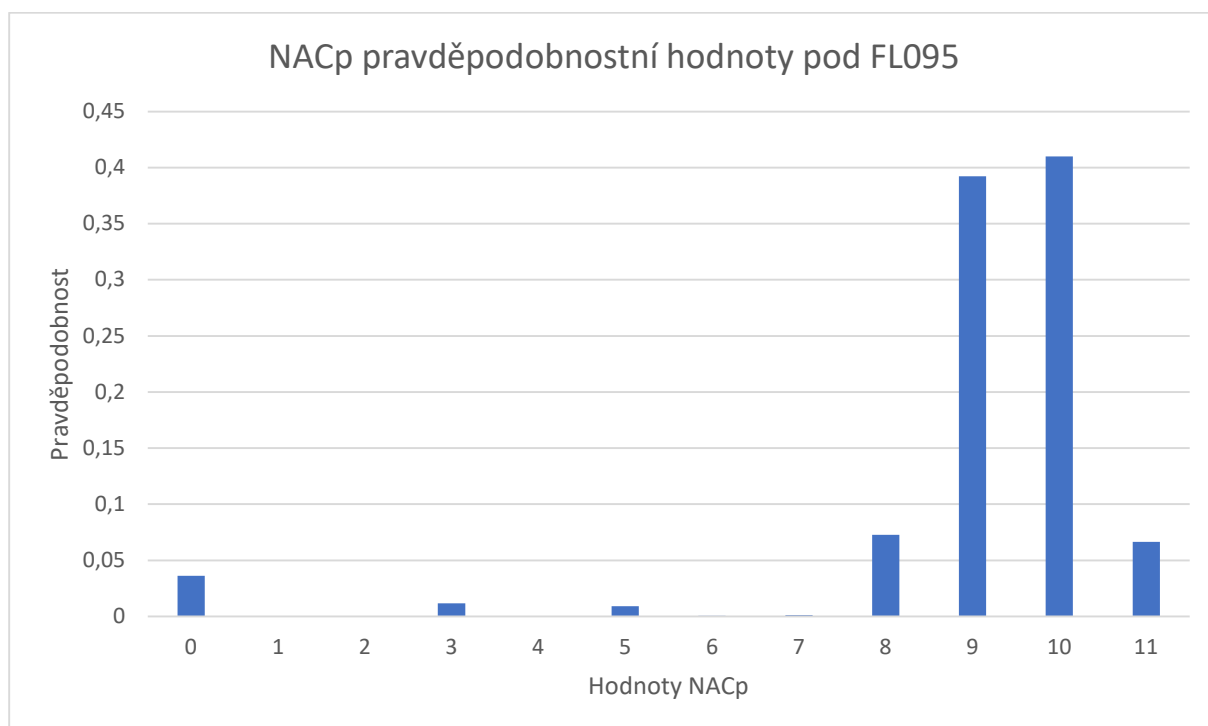
Tabulka 20 – Hodnoty NACp pod FL095

NACp values	0	1	2	3	4	5	6
Count	117647	1	3	38197	119	29660	1612

7	8	9	10	11	SUMA
3745	236893	1278710	1335865	216643	3259095

Zde je již možné pozorovat nárůst zpráv s parametrem mezi 1 a 7, a to hlavně hodnoty 3 a 5. Rozdílnost je vidět na následujícím grafu.

Graf 13 – Pravděpodobnostní hodnoty NACp pod FL095



Je vidět již zmíněný nárůst parametrů 3 a 5, avšak také nárůst parametru 0, který ovšem může znamenat, že data k určení NACp pouze nejsou k dispozici. Srovnání je vidět v grafu níže.

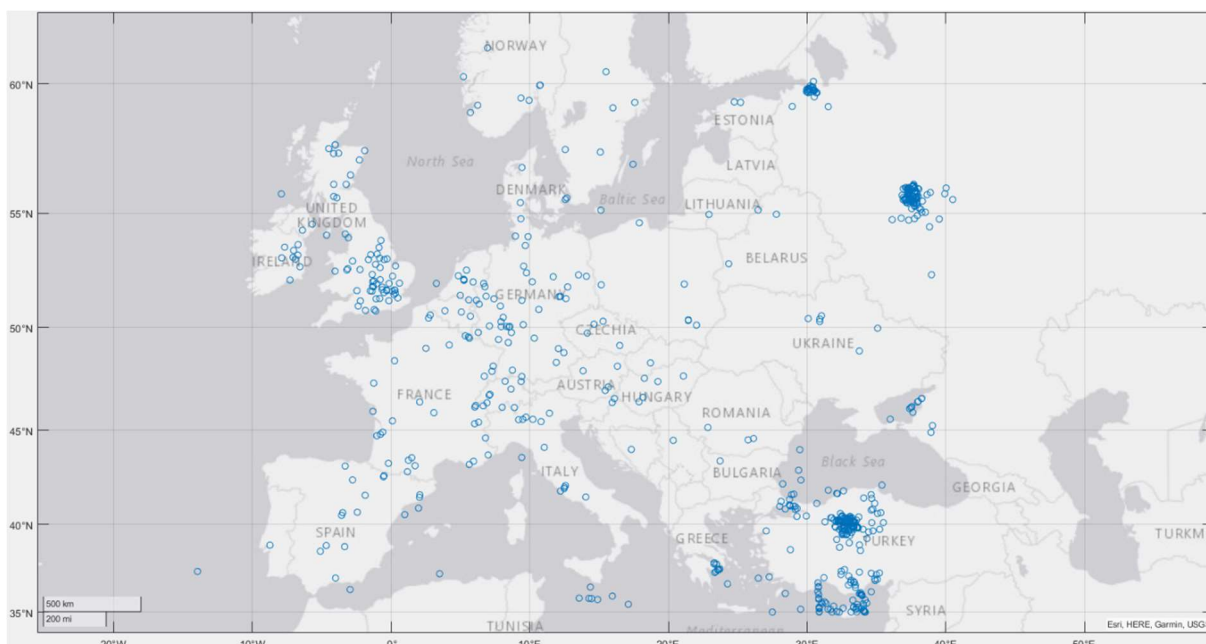
Graf 14 - Porovnání parametru NACp v závislosti na výšce



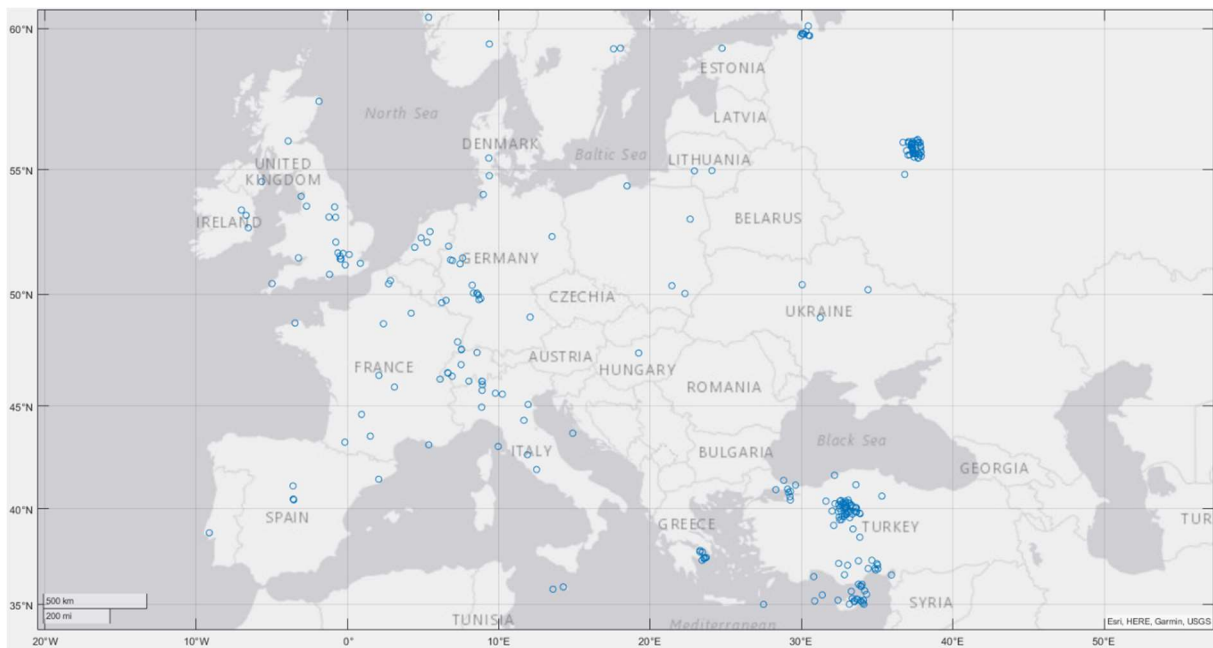
Je patrné, že parametry NIC a NACp mezi sebou mají souvislost. Ve vyšších výškách mají oba parametry téměř výhradně vysoké hodnoty, s klesající výškou ale přibývá hodnot nižších, hlavně ve výškách pod FL095.

4.5. Geografické rozložení parametrů NIC a NACp

Dále se výzkum zaměřil na geografické rozložení, zejména na rozložení parametrů NIC 1-6 a NACp 1-7. K tomuto účelu byly vytvořeny dvě mapy. První mapa byla vykreslena tak, že ze všech zpráv byly vyfiltrovány pouze zprávy, kde je parametr NIC mezi 1 a 6. Z těchto zpráv byla následně pro každé letadlo vybrána pouze jedna zpráva, konkrétně vždy první zpráva, kterou letadlo vyslalo s NIC 1-6. Ten samý postup byl opakován i pro NACp mezi 1 a 7. Každý bod v mapě je tedy jedno letadlo, přičemž žádné letadlo není na mapě vícekrát než jednou. Výsledkem jsou obrázky 1 a 2.



Obrázek 1 - Mapa prvních zpráv od letadel, které vyslaly zprávu s nízkým NIC



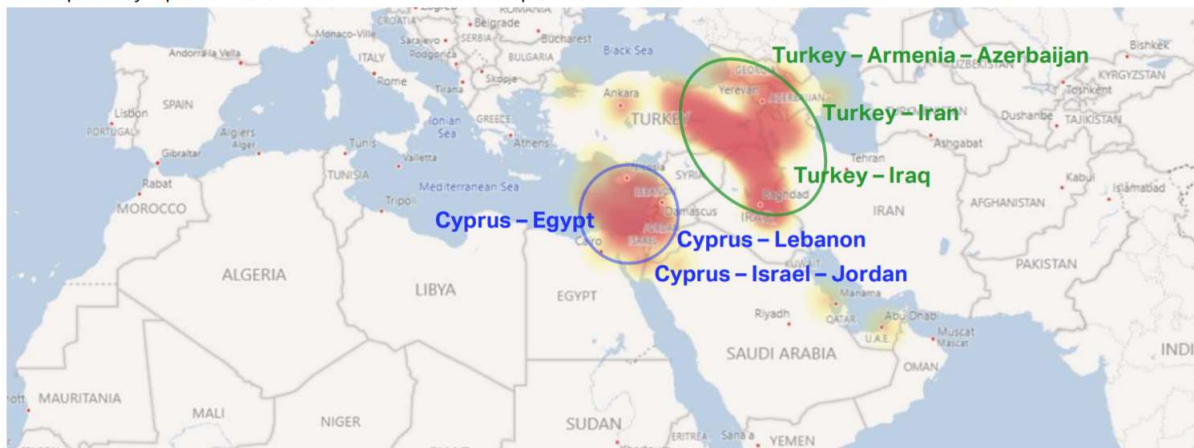
Obrázek 2 - Mapa prvních zpráv od letadel, které vyslaly zprávu s nízkým NACp

Z těchto map je patrná existence míst, kde je koncentrace letadel s nízkými parametry NIC a NACp vyšší než jinde. Nejvíce letadel s nízkými parametry je v oblasti Ankarý a Moskvy. Dále jsou výrazné i oblasti Kypru, Istanbulu, Petrohradu a Atén. Při porovnání obou map je možné pozorovat, že ačkoliv je v mapě vyobrazující letadla pomocí parametru NIC bodů více, z obou map lze vidět stejná místa, kde se koncentrují letadla s nízkými parametry, která již byla zmíněna. Poslední místa, kde se zdá, že je větší koncentrace letadel s nízkými parametry, jsou okolí Frankfurtu nad Mohanem a Londýna. Nicméně v tomto případě je potřeba myslet na fakt, že v těchto městech se nachází dvě z nejvytíženějších letišť v Evropě, a koncentrace nízkých parametrů může být jednoduše způsobena vysokou koncentrací letadel obecně.

Oblasti s výskytem potenciálního rušení v Turecku nebo Rusku však nelze zjevně považovat za normálně vysvětlitelné. Bylo tedy nutné porovnat existující data o rušení v Evropě. Z dat Eurocontrolu i ICAO vyplývá, že průběžně probíhající rušení se nachází hlavně v oblasti Turecka, Iránu a Kypru, jak je vidět na následující mapě.

Reported waypoints or coordinates of GNSS/GPS interference

One report may report GNSS/GPS interference across multiple area.



Obrázek 3 – Mapa lokací se zaznamenanou aktivitou rušení [20]

Na mapě jsou patrné jak dvě hlavní oblasti Turecko-Írán a Kypr-Egypt, tak i dvě vedlejší, Ankara a Istanbul. Při porovnání této mapy s mapami parametrů NIC a NACp je zřejmé, že spolu souvisí. Jak v oblasti Kypru, tak Ankaru a Istanbulu, lze pozorovat letadla s nízkými parametry NIC a NACp. Zbarvení oblastí na mapě rušení navíc odpovídá počtu letadel s nízkými parametry.

Za předpokladu, že v oblasti Ankaru, Kypru a Istanbulu tedy doopravdy dochází k rušení a toto rušení ovlivňuje hodnotu parametrů NIC a NACp, lze data z těchto oblastí použít pro srovnání s ostatními oblastmi.

4.6. Základní statistika parametrů pro detekci rušení

Nejprve je třeba zjistit, jaké hodnoty by parametry NIC a NACp měly mít, když není přítomno rušení. Z předchozích statistik víme, že průměrná hodnota parametru NIC se pohybuje okolo 8,8 a parametru NACp okolo 9,25. Takováto informace ale není dostačující. V těchto hodnotách se promítá jak rušení v nízkých výškách, které může být způsobeno úmyslně i neúmyslně, tak i úmyslné rušení ve vysokých nadmořských výškách, které může být způsobeno vojenskými rušičkami. Tomu se lze vyhnout, pokud budou použita jednak data bez Turecka a Ruska, kde pravděpodobně probíhá rušení (minimálně ve zkoumaný den), a jednak data ve vyšších nadmořských výškách. Jako hranice je opět použita výška FL225.

Nejprve bylo určeno, kolik letadel celkově a procentuálně v tento den vyslalo zprávu s nízkým parametrem NIC a NAC.

Tabulky 21– Statistika letadel s nízkými parametry NIC a NACp

Počet letadel s NIC mezi 1–6	715
Letadel celkem	4362
Procento letadel s NIC mezi 1–6	16,39 %
Počet letadel s NACp mezi 1–7	293
Letadel celkem	4362
Procento letadel s NACp mezi 1–7	6,72 %

Je evidentní, že nízkou hodnotu NIC má více letadel, než jich má nízkou hodnotu NACp. To však je zřejmé už z map parametrů NIC a NACp. Zajímavější je však údaj, kolik zpráv s nízkým parametrem NIC nebo NACp v průměru letadlo vyšle, pokud už je začne vysílat, jedná se tedy o podíl počtu zpráv s hodnotou NIC v rozmezí 1 až 6, respektive NACp v rozmezí 1 až 7 a počtu letadel, které vyslaly alespoň jednu takovou zprávu.

Tabulky 22 – Počty zpráv s NIC a NACp

Celkový počet zpráv s NIC mezi 1–6	214776
Průměrný počet zpráv s parametrem NIC mezi 1–6 vyslaný jedním letadlem	300,386
Celkový počet zpráv s NACp mezi 1–7	80496
Průměrný počet zpráv s parametrem NACp mezi 1–7 vyslaný jedním letadlem	274,7304

Pozn.: Parametr průměrný počet zpráv s parametrem NIC/NACp mezi 1-7 vyslaný jedním letadlem je počítán pro letadla, která vyslala alespoň jednu zprávu s NIC/NACp mezi 1-7, z výpočtu jsou tedy vyloučena letadla, která neměla NIC/NACp v hodnotách 1-7. Tak je tomu i ve zbytku této práce.

Průměrné počty zpráv vyslané letadlem se už liší méně. Zásadní rozdíl je tedy akorát ve vyšším celkovém počtu přijatých zpráv s nízkým NIC oproti NACp. Dále se výzkum zaměřil data ve výšce nad FL225 a následně byly z dat vyloučeny Turecko, oblast okolo Kypru a Rusko. To bylo provedeno omezením dat zeměpisnou délkou, vyřazeny tedy byly všechny zprávy se zeměpisnou délkou větší než 26° v.d.

Nejprve byla vytvořena statistika pro oba parametry současně.

Tabulka 23 – Statistika zpráv pro NIC a NACp současně

Letadla s nízkým NIC/NACp nad FL225	346
Zprávy vyslané letadly s nízkým NIC/NACp nad FL225	17971
Letadla s nízkým NIC/NACp nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	89
Zprávy vyslané letadly s nízkým NIC/NACp nad FL225 východně od 26° v.d.	4684
Celkový počet letadel ve výšce nad FL225 bez oblasti východně od 26° v.d.	2598
Celkový počet zpráv ve výšce nad FL225 bez oblasti východně od 26° v.d.	9120152

Je vidět velký rozdíl v celkovém počtu letadel a zpráv s nízkými parametry NIC a NACp oproti těmto počtům při vyloučení zpráv a letadel východně od 26° v.d., což ukazuje následující tabulka.

Tabulka 24 – Pokračování statistiky zpráv pro NIC a NACp současně

Průměrný počet zpráv s nízkými parametry vyslaný letadlem ve výšce nad FL225	51,94
Průměrný počet zpráv s nízkými parametry vyslaný letadlem ve výšce nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	52,63
Procento zpráv s nízkými parametry vyslané nad FL225	0,162 %
Procento letadel s nízkými parametry nad FL225	7,93 %
Procento zpráv s nízkými parametry vyslané nad FL225 východně od 26° v.d.	0,051 %
Procento letadel s nízkými parametry nad FL225 východně od 26° v.d.	3,43 %

Oblast východně od 26° v.d. má značný vliv na statistiku parametrů. Po vyloučení této oblasti z dat je vidět pokles procenta zpráv s nízkými parametry i pokles procenta letadel, které tyto zprávy vyslaly. Průměrný počet zpráv vyslaný nad FL225 jedním letadlem se před a po vyloučení letadel východně od 26° v.d. příliš neliší. Obě tato čísla se však výrazně liší od celkového průměru přes všechny výšky (319,5815), tedy letadlo, které letí blíže k povrchu, vyše v průměru více zpráv s nízkými parametry.

Ta samá statistika byla provedena i pro parametr NIC:

Tabulky 25 – Statistika zpráv pro NIC

Letadla s nízkým NIC nad FL225	329
Zprávy vyslané letadly s nízkým NIC nad FL225	16939
Letadla s nízkým NIC nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	79
Zprávy vyslané letadly s nízkým NIC nad FL225 východně od 26° v.d.	4005
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC vyslaný letadlem ve výšce nad FL225	51,48
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC vyslaný letadlem ve výšce nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	50,69
Procento zpráv s nízkým NIC vyslané nad FL225	0,153%
Procento letadel s nízkým NIC nad FL225	7,54%
Procento zpráv s nízkým NIC vyslané nad FL225 východně od 26° v.d.	0,044%
Procento letadel s nízkým NIC nad FL225 východně od 26° v.d.	3,04%

A následně i pro NACp:

Tabulky 26 – Statistika zpráv pro NACp

Letadla s nízkým NACp nad FL225	90
Zprávy vyslané letadly s nízkým NACp nad FL225	4584
Letadla s nízkým NACp nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	13
Zprávy vyslané letadly s nízkým NACp nad FL225 východně od 26° v.d.	1077
Průměrný počet zpráv s nízkým NACp vyslaný letadlem ve výšce nad FL225	50,93
Průměrný počet zpráv s nízkým NACp vyslaný letadlem ve výšce nad FL225 mimo letadla východně od 26° v.d.	82,85
Procento zpráv s nízkým NACp vyslané nad FL225	0,041%
Procento letadel s nízkým NACp nad FL225	2,06%
Procento zpráv s nízkým NACp vyslané nad FL225 východně od 26° v.d.	0,001%
Procento letadel s nízkým NACp nad FL225 východně od 26° v.d.	0,50%

U hodnot bez oblasti východně od 26° v.d. lze předpokládat, že nejsou ovlivněna rušením, a pokud ano, tak minimálně. Nízké hodnoty parametrů můžeme vysvětlit

náhodnou fluktuací, manévrováním letadla, krátkodobými výpadky systémů v letadle apod.

Dalšími parametry, které byly použity pro detekci rušení, jsou SIL a SDA. Tyto parametry poslouží k odhalení zpráv, ve kterých potenciálně nejsou ovlivněny hodnoty NACp/NIC rušením GNSS, ale došlo k jejich poklesu z jiných důvodů, například poruchy systému.

Tabulka 27 – Statistika parametrů SIL a SDA

	Zprávy s nízkými parametry	Všechny zprávy
Průměr SIL	0,7662	2,9301
Průměr SDA	0,5338	2,0680

Z těchto hodnot je patrné, že velká část zpráv s nízkými parametry NIC a NACp má zároveň nízkou hodnotu SIL a SDA. To znamená, že výrazná část zpráv s nízkými hodnotami parametrů NIC a NACp může být ovlivněna jinými okolnostmi než rušením.

K samotné detekci rušení se nabízí dvě metody, jedna na bázi vyhodnocování konkrétních oblastí za určitý časový úsek, jinak řečeno se jedná o oblastní detekci potenciálního rušení. Druhá metoda není omezena určitou oblastí, jelikož se vyhodnocuje samostatně každá zpráva a její okolí v určitém časovém intervalu. Tato metoda je v rámci práce pojmenována jako metoda detekce potenciálního rušení v okolí zprávy.

5. METODY DETEKCE RUŠENÍ GNSS

5.1. První metoda – Oblastní detekce potenciálního rušení

První metoda spočívá ve vyhodnocení konkrétní oblasti. Může sloužit například k dlouhodobému sledování vývoje parametrů, a tedy i rušení v problematických oblastech. Oblasti, kterými se zabývá tato práce, jsou vypsány v kapitole Geografické rozložení parametrů NIC a NACp. Porovnávány byly hodnoty pro oba parametry NIC a NACp zároveň. Zprávou s nízkým parametrem se tedy rozumí zpráva, ve které je NIC v rozmezí 1-6 nebo NACp v rozmezí 1-7. Byly vyhodnoceny oblasti:

Tabulka 28 – Oblasti vyhodnocené první metodou

	Rozmezí zeměpisné šířky		Rozmezí zeměpisné šířky	
Ankara	39,4 s.š.	40,5 s.š.	32 v.d.	33,9 v.d.
Kypr	35 s.š.	37,5 s.š.	30,5 v.d.	36 v.d.
Istanbul	40,4 s.š.	41,5 s.š.	28 v.d.	30 v.d.
Moskva	55,4 s.š.	56,2 s.š.	36,5 v.d.	38 v.d.
Petrohrad	59,7 s.š.	60,1 s.š.	29,9 v.d.	30,6 v.d.
Atény	37,3 s.š.	37,9 s.š.	23,2 v.d.	23,8 v.d.
Frankfurt	49,7 s.š.	50,4 s.š.	8,2 v.d.	8,9 v.d.
Londýn	51,2 s.š.	52,2 s.š.	1,5 z.d.	0,5 v.d.

V těchto oblastech, zejména v prvních dvou jmenovaných, je hlášeno rušení a Eurocontrol i ICAO tyto oblasti považuje za místa s vyšší aktivitou rušení. Hodnoty z těchto oblastí by tedy měly dát určitou představu o tom, jak parametry NIC a NACp reagují na rušení. V oblasti mezi Kyprem a Sýrií se zdroj rušení s největší pravděpodobností nachází v Sýrii a strůjcem je pravděpodobně Rusko, které rušení může zkoušet jako případnou zbraň. Piloti v této oblasti pravidelně hlásili problémy s GPS přístroji. [12] [19] Na tomto konkrétním příkladu je vidět, že hrozbu GNSS rušení nelze brát na lehkou váhu.

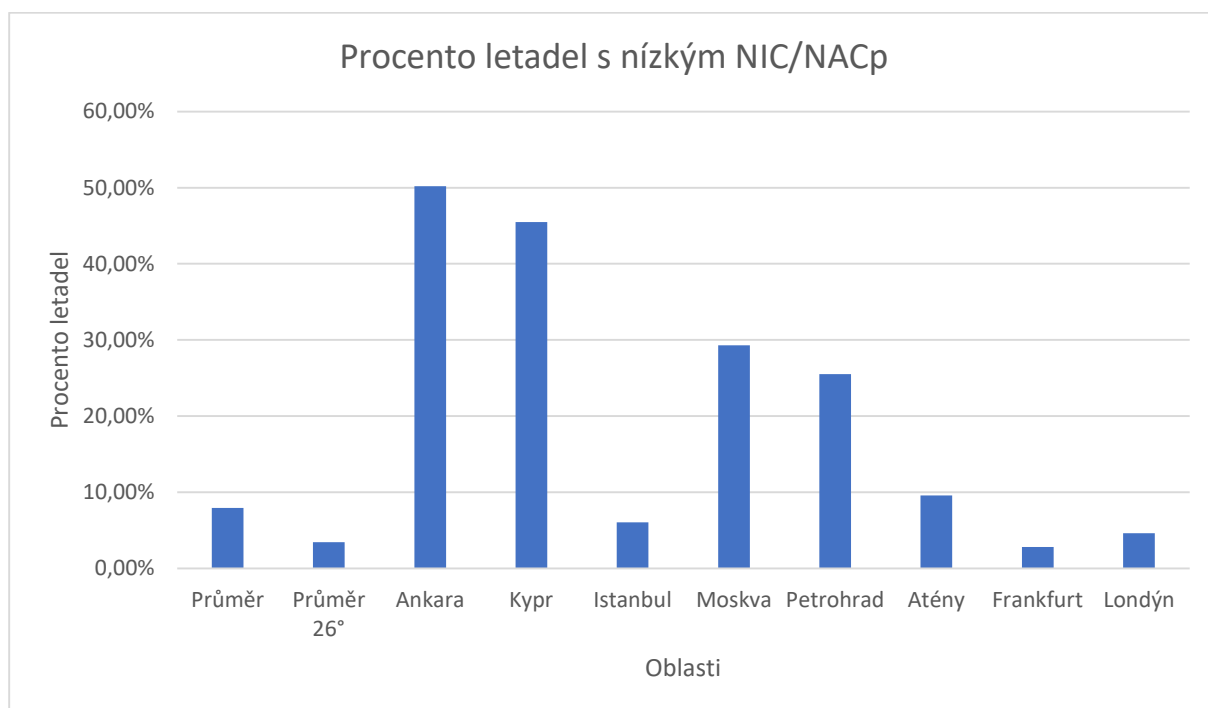
Získaná data a z nich vypočítané parametry jsou vidět v přílohách 1 až 8.

V následujících kapitolách budou hodnoty parametrů v jednotlivých oblastech srovnány s celoevropskými průměry. V grafech budou hodnoty celoevropského průměru nad FL225 označeny jako „Průměr“ a hodnoty celoevropského průměru nad FL225 a východně od 26° v.d. jako „Průměr 26“.

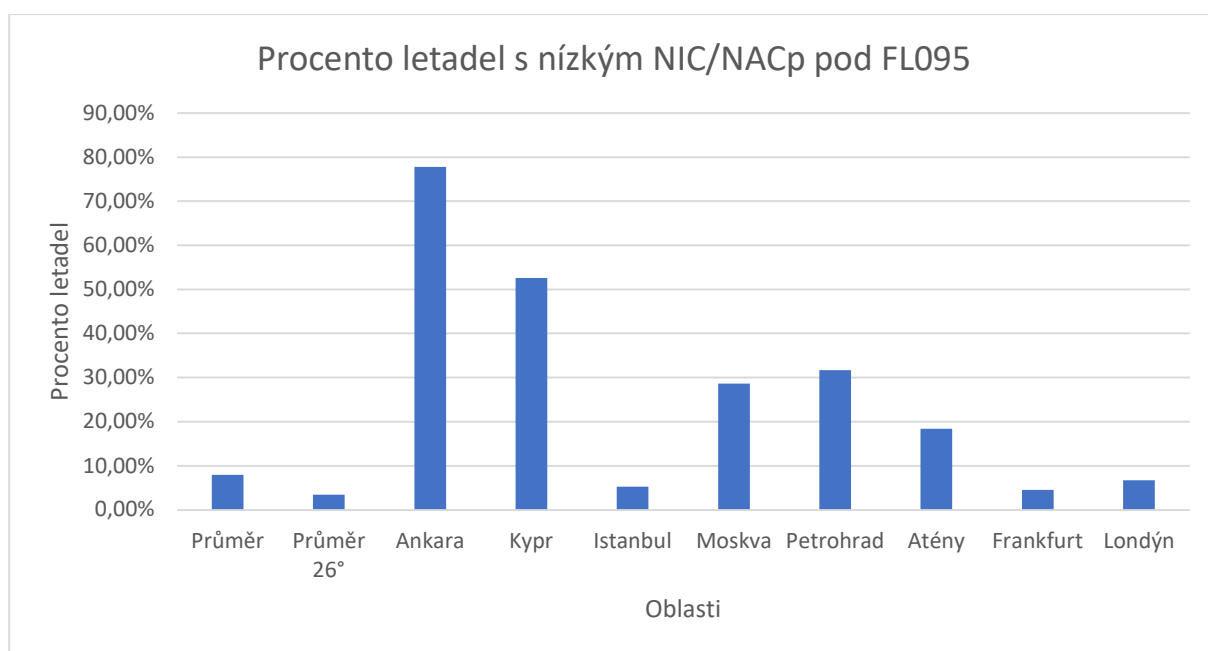
5.1.1. Procento letadel s nízkým NIC/NACp

Jako první parametr se nabízí procento letadel, které vyslalo alespoň jednu zprávu s nízkým NIC/NACp.

Graf 15 – Procento letadel s nízkým NIC/NACp



Graf 16 – Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095



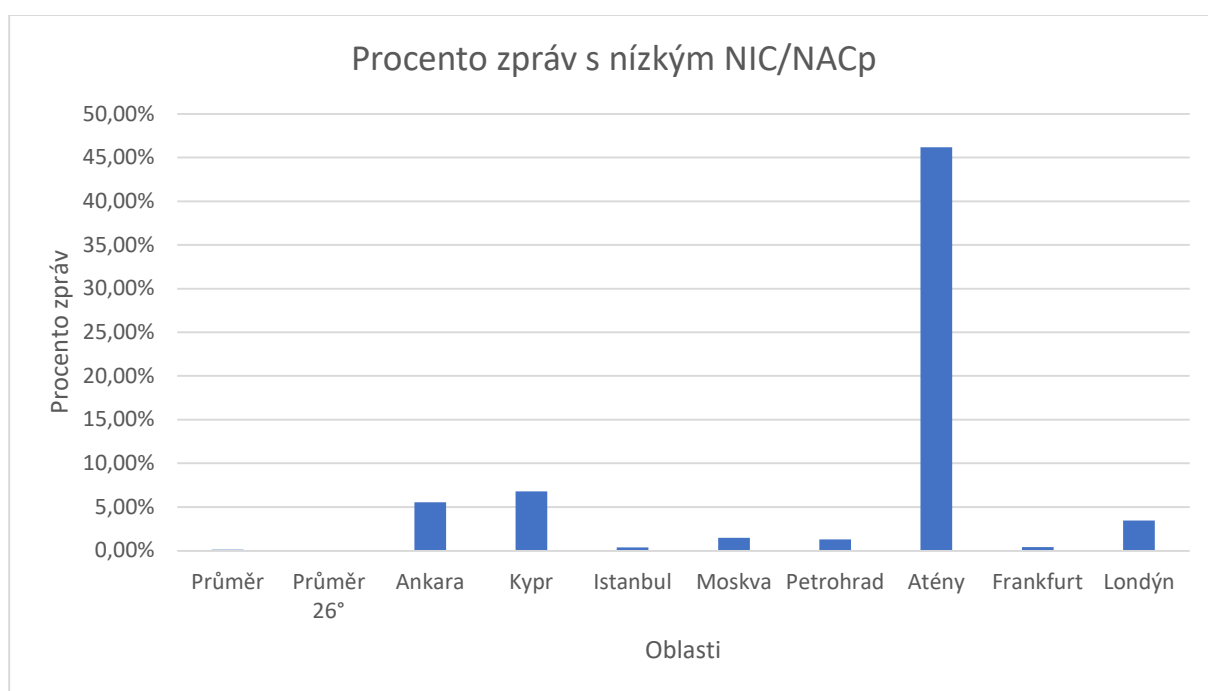
Dle předpokladu mají největší hodnotu tohoto parametru v obou případech oblasti Ankary a Kypru. V případě Ankary vyšle bezmála 80 % všech letadel, které se v určitý časový bod nacházely pod FL095, alespoň jednu zprávu s nízkým NIC/NACp. Můžeme předpokládat, že na hodnotách těchto oblastí se odráží s velkou pravděpodobností rušení.

Oblasti Moskvy a Petrohradu také vykazují vyšší hodnotu tohoto parametru, avšak značně menší než v případě dvou předchozích oblastí. Vzhledem k tomu, že jsou hodnoty několikanásobně vyšší než hodnoty obou průměrů, stále můžeme hovořit o rušení, které je však pravděpodobně slabší než u předchozích dvou oblastí.

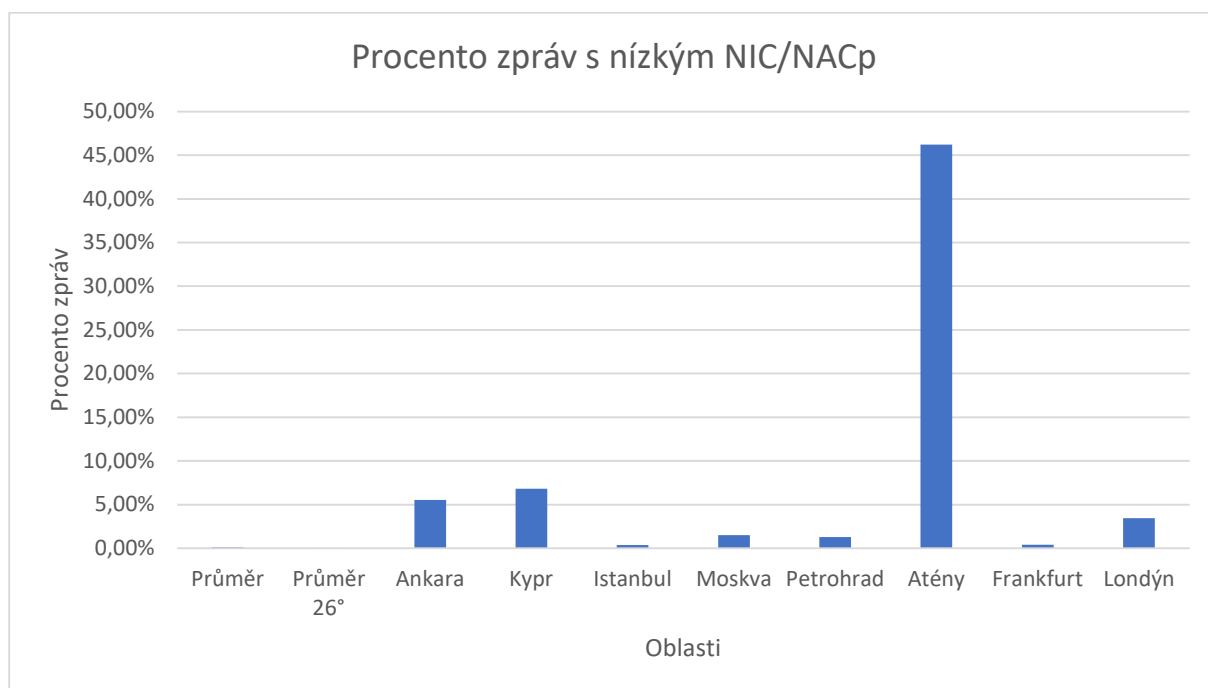
Ze zbylých oblastí vidíme, že pouze oblast Atény lehce převyšuje co do hodnoty celoevropský průměr, u zbylých oblastí je již procento menší. U těch tak můžeme konstatovat, že zde buď k rušení nedochází, nebo pouze v malé míře.

5.1.2. Procento zpráv s nízkým NIC/NACp

Graf 17 – Procento zpráv s nízkým NIC/NACp



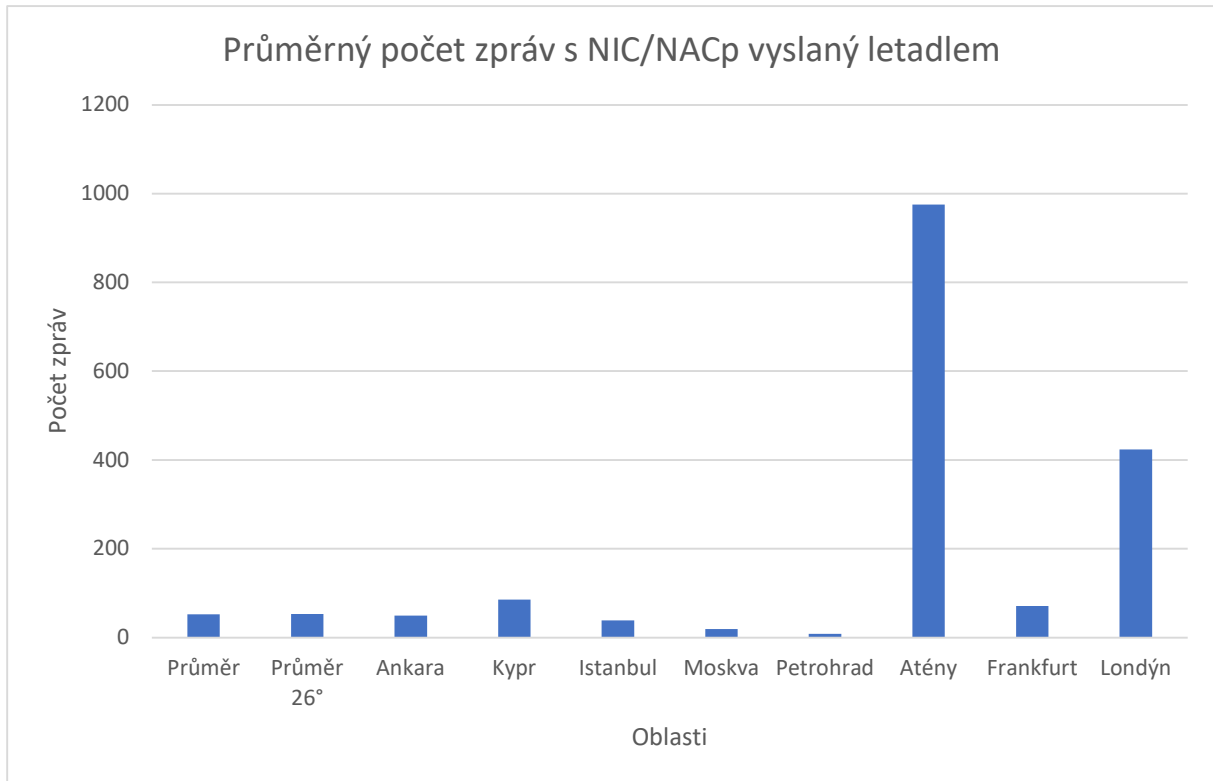
Graf 18 – Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095



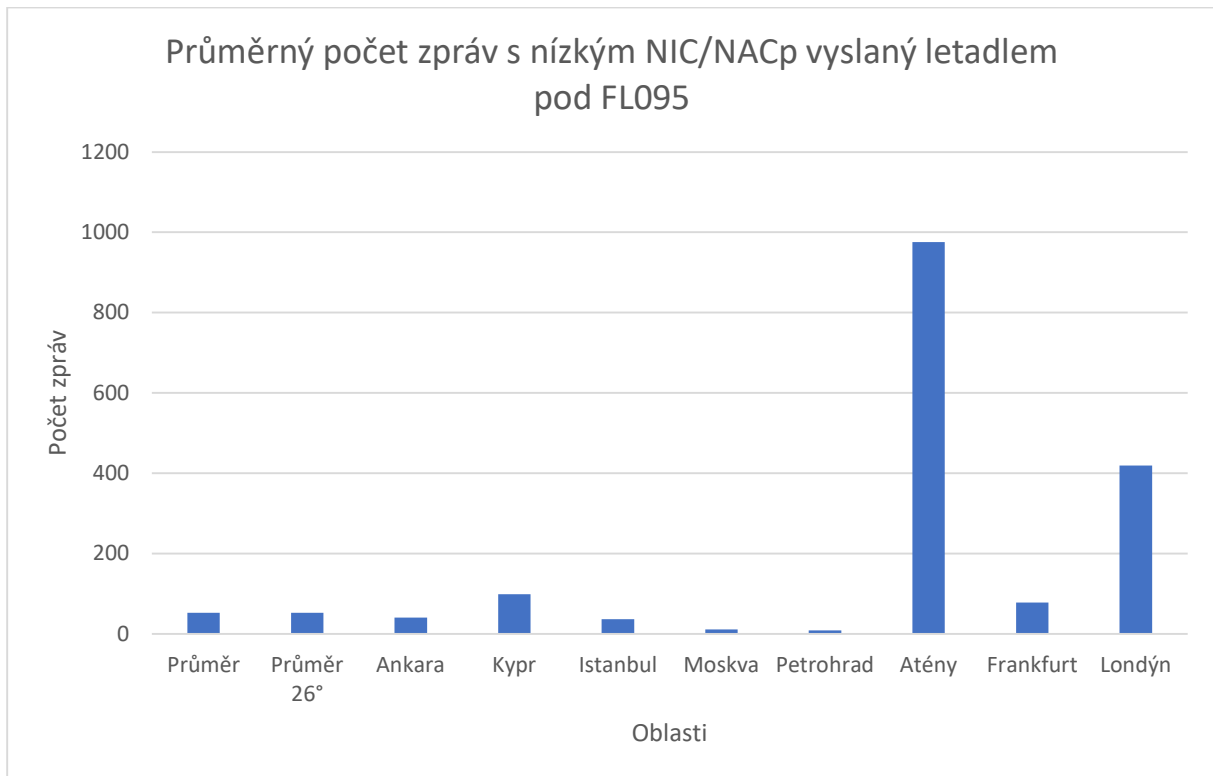
Nejprve si lze povšimnout naprosto mimořádné hodnoty tohoto parametru v oblasti Atén. Jak bude diskutováno dále v práci, tato hodnota nesouvisí s rušením. Při pohledu na ostatní oblasti lze vidět vysokou hodnotu v oblastech Ankary a Kypru. Následuje překvapivě oblast Londýna, avšak podobně jako u Atén, ani tato hodnota pravděpodobně nesouvisí s rušením. Hodnoty v oblastech Moskvy a Petrohradu jsou opět vyšší, avšak nedosahují hodnot oblastí Ankary ani Kypru, stejně jako u předchozího parametru. Oblasti Istanbulu a Frankfurtu mají sice vyšší hodnotu parametru než celoevropské průměry, avšak tyto hodnoty nedosahují ani 0,5 %. Opět se tedy nejedná o hodnoty, které by mohly naznačit určitou pravděpodobnost rušení.

5.1.3. Průměrný počet zpráv vyslaný letadlem

Graf 19 - Průměrný počet zpráv s NIC/NACp vyslaný letadlem



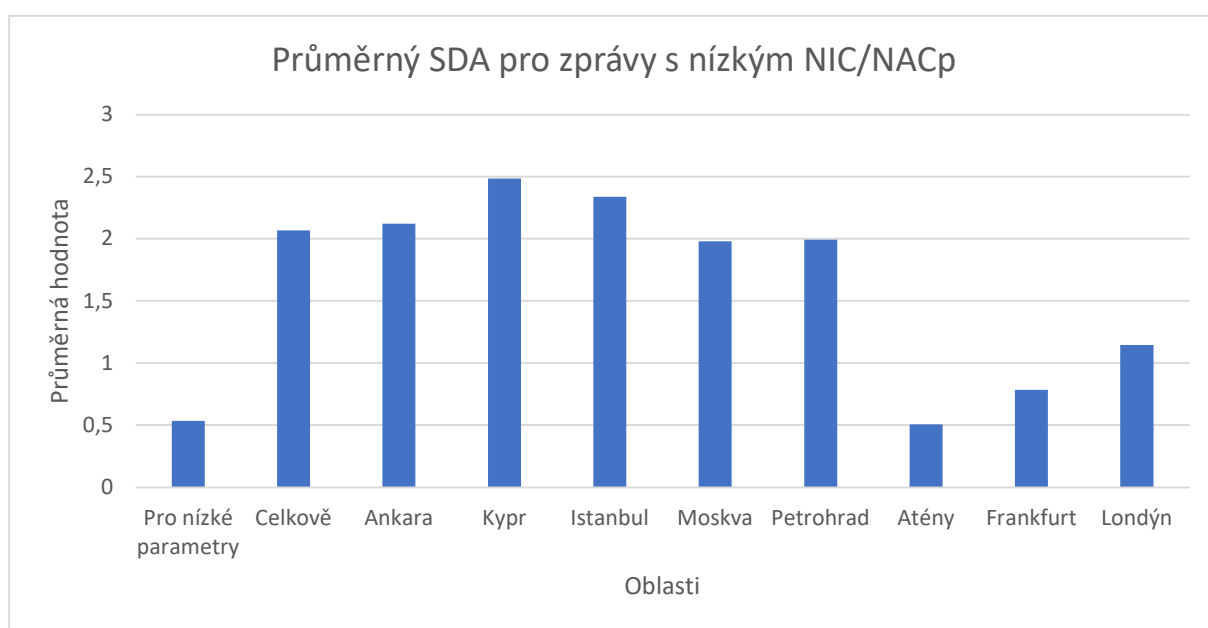
Graf 20 – Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095



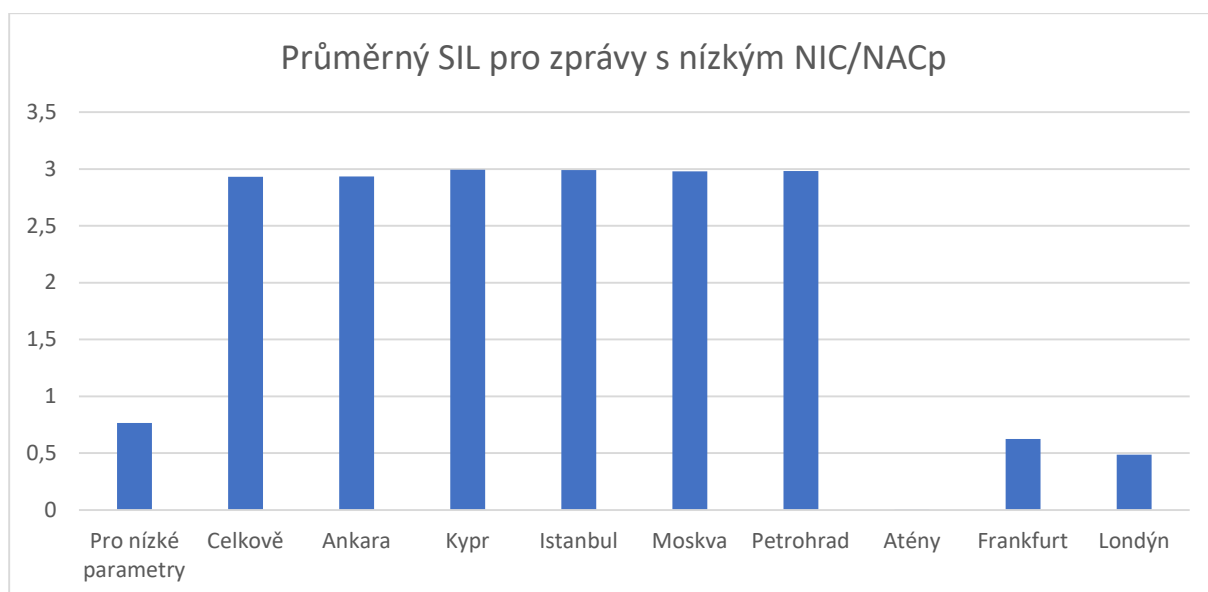
Jak vyplývá z jeho hodnot, tento parametr sám o sobě neindikuje rušení. Hodnoty v Ankaře a Kypru jsou velmi podobné celoevropským průměrům. Hodnoty v Moskvě a Petrohradu jsou nízké, naopak hodnoty oblastí Londýna a Atén jsou velmi vysoké. V případě těchto dvou oblastí se tedy jedná o menší počet letadel, který vyslal velký počet zpráv s nízkým NIC/NACp. Jak bude diskutováno dále v práci, vysoké hodnoty tohoto parametru vykazují oblasti, u kterých je vysoký počet zpráv s nízkým NIC/NACp pravděpodobně způsoben jiným faktorem než rušením.

5.1.4. Parametry SIL a SDA

Graf 21 - Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp



Graf 22 - Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp



Pozn.: Sloupce „Pro nízké parametry“ a „Celkově“ odkazují na hodnoty v tabulce 15.

Tyto parametry, podobně jako parametr předchozí, neslouží přímo k detekci rušení. Určují, zda jsou hodnoty parametrů NIC a NACp věrohodné, což je případ hlavně parametru SDA, který určuje pravděpodobnost chyby systému. Z grafu lze vyzorovat, že hodnoty prvních pěti oblastí se téměř neliší od celoevropského průměru, nebo jsou dokonce ještě vyšší. U ostatních oblastí, zejména u Atén, lze pozorovat značně nízké hodnoty obou parametrů, zejména SIL. Toto může být zapříčiněno chybou v letadlových systémech, nebo jiným důvodem, pravděpodobně však nikoliv rušením.

5.1.5. Zhodnocení metody

Tato metoda se zdá být v rámci jejího zamýšleného využití efektivní. V rámci této metody lze poměrně jednoduše získat hodnoty parametrů v oblastech menšího rozsahu a následně pomocí těchto parametrů určit, zda se potenciálně jedná o rušení. To lze odhalit na základě srovnání parametrů z oblasti s celoevropským průměrem a s parametry z jiných oblastí, kde bylo rušení již prokázáno.

Zkoumané oblasti lze rozdělit do 4 kategorií:

První kategorie zahrnuje oblasti Ankary a Kypru. Na základě hodnot diskutovaných parametrů lze říci, že v těchto oblastech se potenciálně vyskytuje rušení vyšší intenzity.

Druhá kategorie zahrnuje oblasti Moskvy a Petrohradu. Jedná se o oblasti, ve kterých se potenciálně vyskytuje rušení nižší intenzity.

Třetí kategorie zahrnuje oblasti Londýna a Atén. Oblasti v této kategorii vykazují vysoký počet zpráv s nízkým NIC/NACp, který však pravděpodobně není způsoben rušením.

U oblasti Atén bylo zjištěno, že průměrná výška letadla, které vyslalo zprávu s nízkým parametrem, je 562,32 stop, tedy přibližně 171,4 metru. V těchto výškách hrozí různé odrazy od terénu nebo stínění terénem, čemuž napomáhá poměrně hornaté okolí Atén. Mohlo by se jednat například o vyhlídkové lety. Další zjištění bylo, že všech 8776 zpráv obsahuje parametr NIC hodnoty 3 a parametr NACp také hodnoty 3. Pravděpodobně se tedy navíc jedná o chybu přístrojů, nebo podobnou skutečnost.

Co se týče oblasti Londýna, opět byla zjištěna průměrná hodnota výšky ve zprávě s nízkými parametry, která činí 448,31 stop, tedy 136,6 metru. To je ještě níže než v případě Atén, nicméně je třeba mít na paměti, že oblast Londýna zdaleka není tak hornatá jako oblast Atén. Podobně jako u oblasti Atén se však setkáváme s tím, že některá letadla vykazují stále stejný parametr NIC nebo NACp, je tedy možné, že hodnoty NIC a NACp jsou opět ovlivněny systémovou chybou letadla.

Čtvrtá kategorie zahrnuje oblasti Istanbulu a Frankfurtu. I zde mohou být hodnoty parametrů vyšší než evropský průměr, avšak rozdíl je velmi malý. Je možné, že v těchto oblastech dochází k určité rušící aktivitě, avšak pomocí parametrů nejsme schopni určit, zda se jedná o rušení malé intenzity, nebo jsou lehce vyšší hodnoty některých parametrů způsobeny jinými faktory, podobně jako u třetí kategorie, či zda k rušení vůbec nedochází.

Z poznatků získaných výzkumem lze přibližně určit hranice parametrů k zařazení do těchto kategorií. Při zařazování platí, že první kategorie má nejvyšší prioritu, pokud oblast nesplňuje hranici pro zařazení, postupuje se postupně až ke čtvrté kategorii.

Tabulka 29 – Hraniční hodnoty parametrů

	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	>4 %	>1 %	>1 %	>0,25 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	>40 %	>15 %	>2,5 %	>2,5 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	>10 %	>1 %	>1 %	>0,25 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	>45 %	>15 %	>2,5 %	>2,5 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	<200	<200	>300	<200
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	<200	<200	>300	<200
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	>2,7	>2,7	<2	>2,7
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	>1,75	>1,75	<1,5	>1,75

Oblasti, které by potenciálně nespádaly ani do jedné kategorie kvůli nesplnění hodnot některých z posledních 4 parametrů, je potřeba vyšetřit zvlášť, jelikož potenciálně vykazují velmi zvláštní chování, se kterým se výzkum této práce nesetkal, a případně je pro ně nutné vytvořit další kategorii.

5.2. Druhá metoda – Detekce potenciálního rušení v okolí zprávy

Jak již bylo naznačeno, druhá metoda funguje na principu vyhledávání konkrétních zpráv, které vykazují nízký parametr kvality polohy a zároveň se v jejich okolí v určitém časovém horizontu vyskytlo více takových zpráv od jiných letadel. Tato metoda může sloužit jak k vyhodnocování dat z minulosti, tak k detekci rušení v reálném čase.

Okolí bodu bylo definováno jako $\pm 0,5^\circ$ zeměpisné šířky a $\pm 0,5^\circ$ zeměpisné délky. Takovéto řešení je efektivnější co do strojového času, neboť dochází pouze k porovnání dvou hodnot místo výpočtu vzdáleností na zeměkouli pomocí kosinové věty na sférickém trojúhelníku, který bylo nutný provést pro každou dvojici bodů.

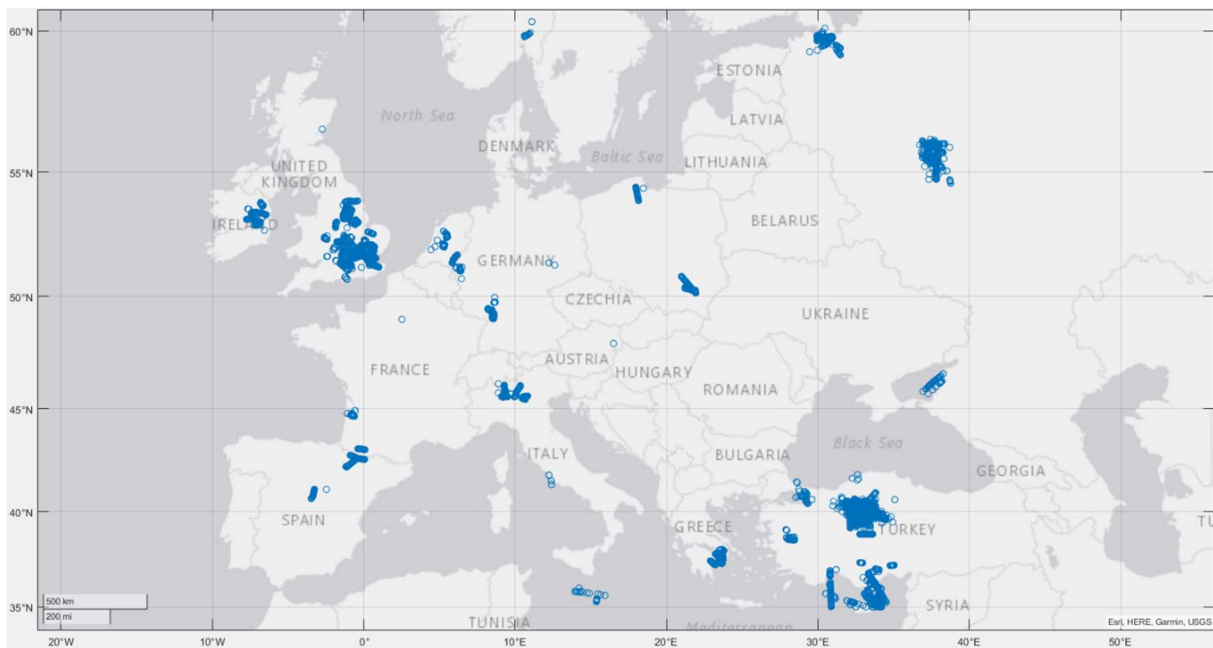
Pro každou zprávu byly vytvořeny celkem čtyři hodnoty:

- počet zpráv s nízkým parametrem v okolí polohy letadla v moment, kdy byla vyslána zpráva, a to za celý den
- počet letadel s nízkým parametrem v okolí polohy letadla v moment, kdy byla vyslána zpráva, a to za celý den
- počet zpráv s nízkým parametrem v okolí polohy letadla v moment, kdy byla vyslána zpráva, v rozmezí ± 15 minut od času zakódovaného ve zprávě
- počet letadel s nízkým parametrem v okolí polohy letadla v moment, kdy byla vyslána zpráva, v rozmezí ± 15 minut od času zakódovaného ve zprávě

Nejprve byl spočítán průměr těchto parametrů, aby existovala přibližná představa o hodnotách, které parametry mohou nabýt.

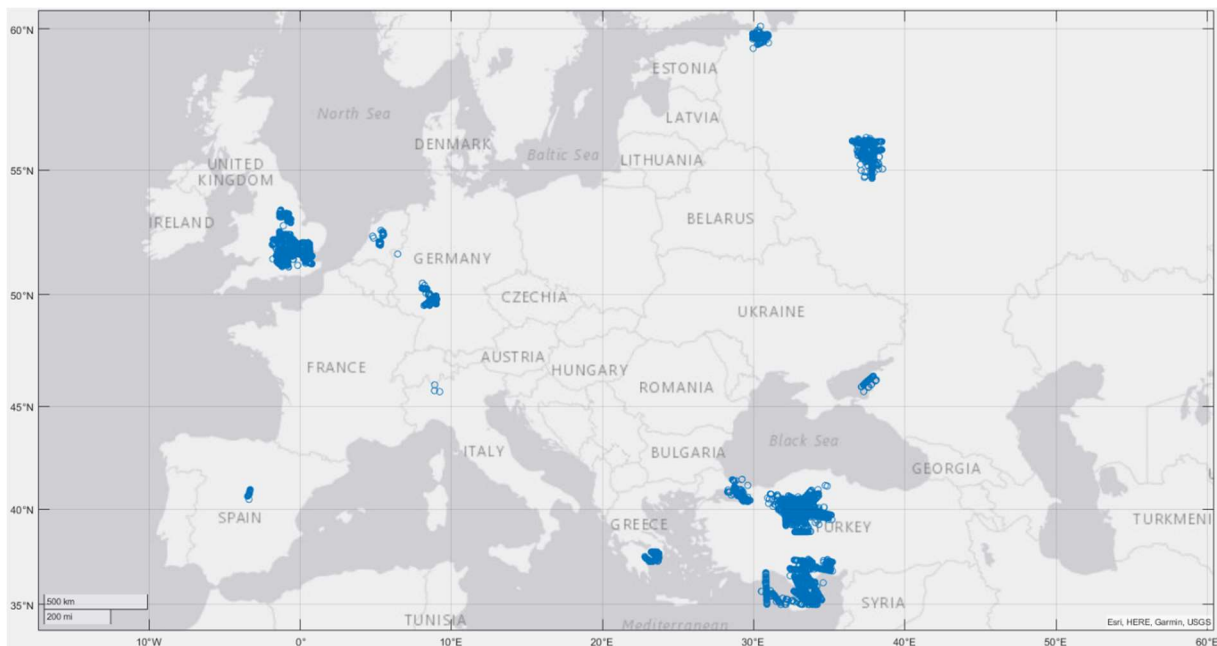
Tabulka 30 – Průměrné hodnoty parametrů u druhé metody

Počet zpráv v okolí za celý den	8050,46
Počet letadel v okolí za celý den	8,782
Počet zpráv v okolí v rozmezí ± 15 minut	1068,21
Počet letadel v okolí v rozmezí ± 15 minut	2,153



Obrázek 4 - Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházely alespoň 2 další letadla, která vyslala nízký NIC/NACp v rozmezí ± 15 minut

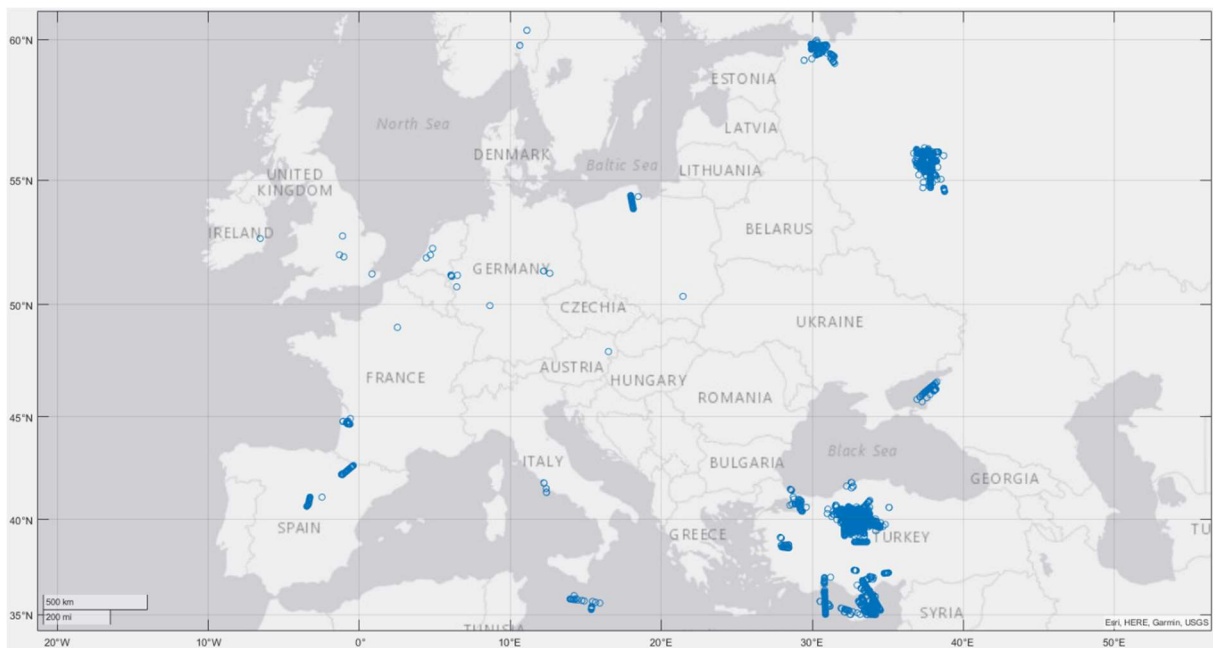
První mapa, která byla vytvořena (viz obrázek 4), zobrazuje všechny zprávy, které měly počet letadel s nízkým parametrem v okolí v rozmezí ± 15 minut větší nebo roven 2. Toto omezení tedy zobrazuje oblasti, ve kterých mohlo dojít ke krátkodobému rušení. Kromě oblastí již zmíněných v předchozí kapitole můžeme vidět i další oblasti, nejvíce podezřelé na aktivitu rušení se zdají být například oblast Dublinu, Milánu nebo Sheffieldu. V těchto oblastech lze vidět, že zprávy, které vyhovovaly podmínkám, pochází od více letadel. Je tedy možné, že v těchto oblastech dochází opět k dlouhodobějšímu rušení, a bylo by vhodné je prozkoumat první metodou. Zrychleně je možné tyto oblasti prověřit pomocí počtu letadel s nízkým parametrem za celý den, který byl využit pro vykreslení druhé mapy.



Obrázek 5 - Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházelo alespoň 8 dalších letadel, které v průběhu dne vyslali zprávu s nízkým NIC/NACp

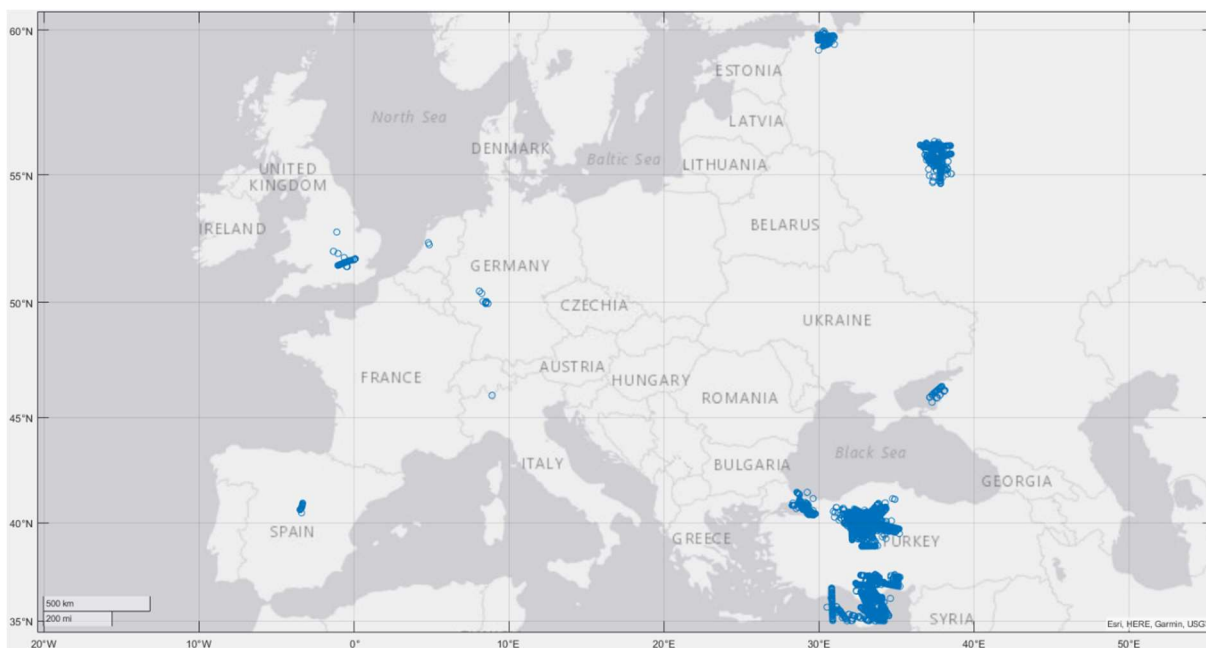
Pro druhou mapu (viz obrázek 5) byl použit již zmíněný parametr počtu letadel s nízkým parametrem za celý den. Byly vybrány všechny zprávy, které měly tuto hodnotu větší nebo rovno 8. Při pohledu na tuto mapu lze vidět, že některé oblasti se objevily i na této mapě, některé jiné však ne. Oblast Dublinu se neobjevila vůbec a v oblasti Milánu se nachází pouze jednotky zpráv. Naopak téměř beze změny zůstala například oblast Madridu nebo oblast východního břehu Azovského moře. Poslední oblast má předpoklad být potenciálně konfliktní, neboť se nachází nedaleko od poloostrova Krym.

Původním plánem výzkumu bylo poté data omezit parametry, které byly využity u předchozí metody, zejména procento letadel s nízkým parametrem. Z technických důvodů toto však možné nebylo. V tabulce všech zpráv za celý den se nachází přibližně 15 000 000 zpráv. Pro každou zprávu s nízkým parametrem by tedy bylo nutné vyhledávat ve všech těchto zprávách, a ne pouze ve zprávách s nízkým parametrem, kterých je přibližně 250 000. Vzhledem k tomu, že proces počítání zpráv v okolí pouze pro zprávy s nízkými parametry trval několik dní, dá se předpokládat, že proces počítání všech zpráv bez omezení by mohl trvat několik týdnů či spíše měsíců, což jednoduše nebylo proveditelné s technickými prostředky dostupnými pro účel této práce. Jako další parametry k omezení tedy v rámci tohoto výzkumu bylo možné použít pouze parametry SIL a SDA.



Obrázek 6 - Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházely alespoň 2 další letadla, která vyslala nízký NIC/NACp v rozmezí ± 15 minuta a zároveň měly SIL a SDA větší nebo roven 2

Třetí mapa (viz obrázek 6) odpovídá omezením první mapě (příloha 3), avšak nezobrazuje zprávy, které mají SIL nebo SDA menší než 2. Lze pozorovat výrazný pokles počtu zpráv oproti první mapě v některých oblastech, jmenovitě například Londýn, Sheffield, Dublin nebo Milán. Oblast východního břehu Azovského moře však stále zůstává podezřelá na rušení. Spolu s dalšími oblastmi, konkrétně například oblastí Madridu, Malty nebo Bordeaux, se může jednat o příklady krátkodobého rušení.



Obrázek 7 - Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházelo alespoň 8 dalších letadel, které v průběhu dne vyslaly zprávu s nízkým NIC/NACp a zároveň měly SIL a SDA větší nebo roven 2

Čtvrtá mapa (viz obrázek 7) odpovídá omezením druhé mapě, ale opět nezobrazuje zprávy, které mají SIL nebo SDA menší než 2. Zde je opět patrné, že vymizela většina nových oblastí podezřelých na rušení z první a druhé mapy. Opět se zde však vyskytuje oblast východního pobřeží Azovského moře. Další oblast, která se objevila výrazněji ve všech čtyřech mapách, je pouze oblast Madridu. V těchto oblastech může být v určité míře přítomno dlouhodobější rušení, je však pravděpodobné, že jde o rušení neúmyslné nebo o rušení nízké intenzity, neboť se jedná o značně menší počet letadel než v případě Ankary, Kypru či dokonce Istanbulu.

5.1.1. Zhodnocení metody

Tato metoda je vhodná k dalšímu průzkumu. V rámci této práce nebylo z technických důvodů možné metodu prozkoumat hlouběji, má však potenciál odhalovat oblasti s rizikem rušení. Stěžejní pro další vývoj této metody je zakomponování parametru procenta letadel s nízkým NIC/NACp, který lze považovat za hlavní určovací parametr u první metody. V rámci dalšího výzkumu by bylo vhodné prozkoumat i možnost zakomponování umělé inteligence či algoritmu, který by byl schopen vyhledávat oblasti s rizikem rušení v reálném čase, respektive v blízké minulosti, např. v rámci poslední půl hodiny.

ZÁVĚR

V teoretické části byl čtenář obeznámen s problematikou rušení GNSS, s jeho jednotlivými způsoby, a také s tím, jaká jsou hlavní rizika takového rušení, což bylo následně ilustrováno několika příklady. Dále byl čtenář obeznámen s technologií ADS-B a jejím využitím v této práci.

V dalších částech práce byl autorem popsán postup práce, odkud byly data získány a jakým způsobem. Nutno podotknout, že se autor musel za účelem získání dat z databáze OpenSky naučit základy jazyků SQL pro výběr dat a následnou práci s databází a PHP pro procedury spojené s párováním zpráv a složitějšími operacemi. Nejprve byl čtenář seznámen se základním rozložením hodnot parametrů v ADS-B zprávách, zejména s NIC a NACp. Následně byla rozebrána statistika parametrů, která popisuje rozložení zpráv jak výškově, tak oblastně, s NIC a NACp indikujícími možné rušení. Nakonec byly vytvořeny metody možné detekce rušení, které mohou sloužit jak k dlouhodobému sledování určitých oblastí s vyšším rizikem rušení GNSS, tak k vyhodnocování dat z blízké minulosti až současnosti k odhalení hrozeb rušení v reálném čase.

Posledním cílem této práce bylo určit, zda lze pomocí technologie ADS-B nepřímo odhalovat rušení GNSS. Z dat je vidět, že oblasti, ve kterých je předpokládáno rušení, zejména tedy oblasti Kypru a Ankary, se projevují poklesy parametrů NIC a NACp. S pomocí dalších parametrů je tedy možné odhalit potenciální rušení, nicméně dle autorova názoru je na místě detailnější výzkum.

Zejména druhá metoda je vhodná k dalšímu průzkumu a zpracování. Pokud by bylo získáno dostatečné množství dat z oblastí, kde se s jistotou nachází rušení, a bylo podrobněji vypořádáno chování parametrů, nabízel by se velký prostor pro detailní zkoumání a vyhodnocování například za pomoci umělé inteligence. Ta by mohla odhalovat rušení v reálném čase pomocí porovnávání chování parametrů s daty z minulosti.

Během práce se autor potýkal s různými technickými omezeními, které vyplývaly z množství zpracovávaných dat. Některé operace, jejichž výsledek měl autor v úmyslu do práce zakomponovat, nebylo bohužel možné provést kvůli enormnímu množství potřebného strojového času.

SEZNAM LITERATURY

- [1] ICAO. *Doc 9849: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. Montreal, 2012 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z:
<https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Documents/Doc.%209849.pdf>
- [2] Ministerstvo dopravy České republiky. *Letecký předpis L10 O civilní letecké telekomunikační službě* [cit. 2021-8-19].
- [3] KOVÁŘ, Pavel. *Družicová navigace: od teorie k aplikacím v softwarovém přijímači*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2016 [cit. 2021-8-19]. ISBN 978-80-01-05989- 0.
- [4] Misra, P., Enge, P.: *Global Positioning System*. Ganga Jamuna Press 2006. ISBN: 0-9709544-7.
- [5] LÁSKA, Zdeněk, Martin TEŠNAR, Jaroslav SLABÝ a Jan SUKUP. *Globální navigační satelitní systémy a jejich využití v praxi* [online]. 2010 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_08_1009.pdf
- [6] S. Bartl, P. Berglez and B. Hofmann-Wellenhof. *GNSS interference detection, classification and localization using Software-Defined Radio*. Lausanne, 2017 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z:
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7954205&isnumber=7954157>
- [7] RÜGAMER, Alexander a Dirk KOWALEWWSI. *Jamming and spoofing of GNSS Signals An Underestimated Risk?!*. [online]. Sofia, Bulgaria: 2015 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z:
https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2015/papers/ts05g/TS05G_ruegamer_kowalewski_7486.pdf
- [8] BROWN, Alison a Rick EDWARDS. *Civil Applications of the GPS Jamming Detection and Location (JLOC) System: GPS Jamming & Interference-A Clear and Present Danger*. [online]. Colorado Springs, CO 80921 USA: NAVSYS Corporation, February 2010. [cit. 2021-8-19].

- [9] PULLEN, Sam a Grace GAO. *GNSS Jamming in the Name of Privacy: Potential Threat to GPS Aviation*. [online]. Stanford University: March/April 2012. [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <http://www.insidegnss.com/auto/marapr12-Pullen.pdf>
- [10] Newark Liberty International Airport Statistics and Facts. *DMR- Business statistics* [online]. 2021 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <https://expandedramblings.com/index.php/newark-liberty-international-airport-statistics-and-facts/>
- [11] *Planes continue to fly into a GPS dark hole over the Mediterranean*, puzzling experts [online]. Katherine Dunn, 2020 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <https://fortune.com/2020/11/01/planes-ships-gps-mediterranean-russia-syria-northkorea/>
- [12] Rusko ruší letadlům GPS signál. Chystá se na válku, tvrdí server. *Eurozprávy.cz* [online]. 2019 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <https://eurozpravy.cz/zahranicni/blizky-vychod/262312-co-je-za-ruskym-rusenim-gps-signalu-priprava-na-valku-s-usa-tvrdi-server/>
- [13] North Korea 'jamming GPS signals' near South border. *BBC news* [online]. 2016 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-asia-35940542>
- [14] North Korea Is Jamming GPS Signals. *Popular Mechanics* [online]. 2016 [cit. 2021-8-19]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a20289/north-korea-jamming-gps-signals/>
- [15] DUNSTONE, G. *ADS-B Basics* [online]. [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: https://www.icao.int/APAC/Meetings/2012_SEA_BOB_ADSB_WG8/SP01_AUS%20-%20ADS-B%20Basics.pdf
- [16] Ministerstvo dopravy České republiky. *Letecký předpis L4444 Postupy pro letové navigační služby – Uspořádání letového provozu* [cit. 2021-8-20].
- [17] RTCA. *DO-260B - Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services - Broadcast (TISB)* [online]. [cit. 2021-8-20].

[18] About Us. *The OpenSky Network* [online]. 2021 [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: <https://opensky-network.org/about/about-us>

[19] PRINGVANICH, Noppadol. *GNSS Interference Impacts to airline operations* [online]. 4.3.2021 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-03/eurocontrol-sf-gnss-iata.pdf>

[20] *GNSS/GPS Interference Reported in MENA Region: Global Aviation Data Management* [online]. 11.11.2020 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.icao.int/MID/Documents/2020/CNS%20SG10/CNS%20SG%20PPT8-%20GPS%20Interference.pdf>

[21] VLČEK, Tomáš. *GNSS rušení*. 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.

[22] POSPÍŠIL, Martin. *Rušení signálu GNSS a dopad na letectví*. 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.

[23] NOSKIEVIČ, Tomáš. *ADS-B zprávy jako zdroj provozních dat v letectví*. 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Pravděpodobnostní funkce NIC ve světě
Graf 2	Hodnoty pravděpodobnostní funkce NACp ve světě
Graf 3	Pravděpodobnostní funkce SIL ve světě
Graf 4	Pravděpodobnostní funkce SIL ve světě
Graf 5	Srovnání hodnot NIC
Graf 6	Srovnání hodnot NACp
Graf 7	Pravděpodobnostní hodnoty parametru NIC nad FL225
Graf 8	Pravděpodobnostní hodnoty NIC mezi FL095 a FL225
Graf 9	Pravděpodobnostní hodnoty NIC pod FL095
Graf 10	Porovnání parametru NIC v závislosti na výšce
Graf 11	Pravděpodobnostní hodnoty NACp ve výškách nad FL225
Graf 12	Pravděpodobnostní hodnoty NACp mezi FL095 a FL225
Graf 13	Pravděpodobnostní hodnoty NACp pod FL095
Graf 14	Porovnání parametru NACp v závislosti na výšce
Graf 15	Procento letadel s nízkým NIC/NACp
Graf 16	Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095
Graf 17	Procento zpráv s nízkým NIC/NACp
Graf 18	Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095
Graf 19	Průměrný počet zpráv s NIC/NACp vyslaný letadlem
Graf 20	Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095
Graf 21	Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp
Graf 22	Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Mapa prvních zpráv od letadel, které vyslaly zprávu s nízkým NIC
- Obrázek 2 Mapa prvních zpráv od letadel, které vyslaly zprávu s nízkým NACp
- Obrázek 3 Mapa lokací se zaznamenanou aktivitou rušení
- Obrázek 4 Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházely alespoň 2 další letadla, která vyslala nízký NIC/NACp v rozmezí ± 15 minut
- Obrázek 5 Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházelo alespoň 8 dalších letadel, které v průběhu dne vyslali zprávu s nízkým NIC/NACp
- Obrázek 6 Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházely alespoň 2 další letadla, která vyslala nízký NIC/NACp v rozmezí ± 15 minuta a zároveň měly SIL a SDA větší nebo roven 2
- Obrázek 7 Mapa zpráv, v jejichž okolí se nacházelo alespoň 8 dalších letadel, které v průběhu dne vyslali zprávu s nízkým NIC/NACp a zároveň měly SIL a SDA větší nebo roven 2

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Složení zprávy ADS-B formátu 17
Tabulka 2	Hodnoty NACp a jejich význam
Tabulka 3	Hodnoty parametru NIC a jejich význam
Tabulka 4	Hodnoty SIL a jejich význam
Tabulka 5	Hodnoty SDA a jejich význam
Tabulka 6	Hodnoty NIC ve světě během měsíce
Tabulka 7	Hodnoty NACp ve světě během měsíce
Tabulka 8	Hodnoty SIL ve světě během měsíce
Tabulka 9	Hodnoty SDA ve světě během měsíce
Tabulka 10	Průměry NIC a NACp v náhodně zvolených hodinách
Tabulka 11	Omezení dat na Evropu pomocí zeměpisných souřadnic
Tabulka 12	Hodnoty NIC v Evropě během měsíce
Tabulka 13	Hodnoty NIC v Evropě během jednoho dne
Tabulka 14	Hodnoty NACp v Evropě během jednoho dne
Tabulka 15	Hodnoty NIC ve výškách nad FL225
Tabulka 16	Hodnoty NIC mezi FL095 a FL 225
Tabulka 17	Hodnoty NIC ve výškách nižších než FL095
Tabulka 18	Hodnoty NACp ve výškách nad FL225
Tabulka 19	Hodnoty NACp mezi FL095 a FL225
Tabulka 20	Hodnoty NACp pod FL095
Tabulky 21	Statistika letadel s nízkými parametry NIC a NACp
Tabulky 22	Počty zpráv s NIC a NACp
Tabulka 23	Statistika zpráv pro NIC a NACp současně

Tabulka 24	Pokračování statistiky zpráv pro NIC a NACp současně
Tabulky 25	Statistika zpráv pro NIC
Tabulky 26	Statistika zpráv pro NACp
Tabulka 27	Statistika parametrů SIL a SDA
Tabulka 28	Oblasti vyhodnocené první metodou
Tabulka 29	Hraniční hodnoty parametrů
Tabulka 30	Průměrné hodnoty parametrů u druhé metody

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Statistika parametrů pro oblast Ankary
Příloha 2	Statistika parametrů pro oblast Kypru
Příloha 3	Statistika parametrů pro oblast Istanbulu
Příloha 4	Statistika parametrů pro oblast Moskvy
Příloha 5	Statistika parametrů pro oblast Petrohradu
Příloha 6	Statistika parametrů pro oblast Atén
Příloha 7	Statistika parametrů pro oblast Frankfurtu nad Mohanem
Příloha 8	Statistika parametrů pro oblast Londýna

Příloha 1 – Statistika parametrů pro oblast Ankary

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	6400	1406
Celkový počet zpráv	115767	9126
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	129	35
Celkový počet letadel	257	45

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	5,528 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	50,2 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	15.407 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	77,8 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	49,61
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	40,17
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,9327
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,1208

Příloha 2 – Statistika parametrů pro oblast Kypru

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	7284	988
Celkový počet zpráv	107028	3937
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	85	10
Celkový počet letadel	187	19

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	6,806 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	45,5 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	25,095 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	52,6 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	85,69
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	98,80
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,9930
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,4860

Příloha 3 – Statistika parametrů pro oblast Istanbulu

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	996	651
Celkový počet zpráv	272592	139254
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	26	18
Celkový počet letadel	428	341

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	0,365 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	6,07 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	1,373 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	5,28 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	38,31
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	36,17
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,9910
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,3375

Příloha 4 – Statistika parametrů pro oblast Moskvy

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	2616	1343
Celkový počet zpráv	175874	97844
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	137	120
Celkový počet letadel	467	420

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	1,489 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	29,3 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	1,373 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	28,6 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	19,09
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	11,19
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,9794
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	1,9798

Příloha 5 – Statistika parametrů pro oblast Petrohradu

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	330	269
Celkový počet zpráv	25871	15655
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	39	32
Celkový počet letadel	153	101

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	1,276 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	25,5 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	1,718 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	31,7 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	8,46
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	8,41
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	2,9818
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	1,9939

Příloha 6 – Statistika parametrů pro oblast Atén

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	8776	8776
Celkový počet zpráv	18996	13125
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	9	9
Celkový počet letadel	94	49

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	46,20 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	9,57 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	66,865 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	18,37 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	975,11
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	975,11
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	0,0003
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	0,5049

Příloha 7 – Statistika parametrů pro oblast Frankfurtu nad Mohanem

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	854	853
Celkový počet zpráv	205922	166126
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	12	11
Celkový počet letadel	424	243

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	0,415 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	2,83 %
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	0,513 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	4,53 %
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	71,17
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	77,55
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	0,6253
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	0,7834

Příloha 8 – Statistika parametrů pro oblast Londýna

	Hodnoty pro všechny letové hladiny	Hodnoty pro letové hladiny pod FL095
Počet zpráv s nízkým NIC/NACp	11439	11313
Celkový počet zpráv	330492	217491
Počet letadel s nízkým NIC/NACp	27	27
Celkový počet letadel	587	403

Procento zpráv s nízkým NIC/NACp	3,461%
Procento letadel s nízkým NIC/NACp	4,60%
Procento zpráv s nízkým NIC/NACp pod FL095	5,202 %
Procento letadel s nízkým NIC/NACp pod FL095	6,70%
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem	423,67
Průměrný počet zpráv s nízkým NIC/NACp vyslaný letadlem pod FL095	419,00
Průměrný SIL pro zprávy s nízkým NIC/NACp	0,4861
Průměrný SDA pro zprávy s nízkým NIC/NACp	1,1445