



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Michael Matejovie

**Cykličnost parametru NACp ve zprávách ADS-B a jejich
možná příčina**

Bakalářská práce

2021



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Michael Matejovic

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Cykličnost parametru NACp ve zprávách ADS-B a jejich možná příčina**

Název tématu (anglicky): Cyclicity of the parametr NACp in ads-b messages and their possible cause

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem této práce je zdůvodnění cyklického chování parametru NACp v datech ads-b systému.
- Popis ads-b a jeho fungování
- Seznámení s možným vlivem space weather na parametry ads-b
- Vyhodnocení naměřených dat
- Hledání možných příčin cykličnosti parametru NACp
- Diskuze řešení



- Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího BP
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: American Meteorological Society Policy Program & SolarMetrics . (2007). Integrating Space Weather Observations & Forecasts into Aviation Operations .
EDDY, J. A. (2009). THE SUN, THE EARTH, AND NEAR-EARTH SPACE. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office.
- Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Hospodka, 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: **9. srpna 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.

.....
Michael Matejovic
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. října 2020

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podporu a podklady pro vytvoření této práce. Zvláště bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Jakubu Hospodkovi Ph.D. za odborné vedení, konzultování mé práce a za poskytnuté rady. Na závěr bych rád poděkoval mé rodině a přátelům za cennou podporu v průběhu celého studia.

Čestné 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 § Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9. srpna 2021

Podpis

Autor:	Michael Matejovie
Název bakalářské práce:	Cykličnost parametru NACp ve zprávách ADS-B a jejich možná příčina
Instituce:	České vysoké učení technické, fakulta dopravní
Obor:	Profesionální pilot
Rok:	2021

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je objasnění možných příčin cyklického chování parametru NACp v datech ADS-B. V práci nejprve popisují systém ADS-B a jeho parametry kvality. V další kapitole seznamují s jevy kosmického počasí, které mohou mít vliv na chování parametru NACp. Poté vyhodnocují naměřená data z ADS-B z období se zvýšenou aktivitou Slunce v září 2017, porovnávají je s daty ze satelitů GOES a Dopplerovskými měřeními fluktuací a poruch v ionosféře nad Českou republikou a hledám prokazatelný vliv. Následně rozebírám data ze tří období bez význačné aktivity Slunce. Na závěr diskutuji možné příčiny a závislost tohoto chování na složení objemu provozu v danou dobu.

Klíčová slova

Automatický závislý přehledový systém, kosmické počasí, Navigation Accuracy Category for position

Author: Michael Matejovie
Title of Bachelor Thesis: Cyclicity of the parameter NACp in ADS-B messages and their possible cause
Institution: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences
Study program: Professional pilot
year: 2021

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to clarify the possible causes of the cyclic behavior of the NACp parameter in ADS-B data. In my work I first describe the ADS-B system and its quality parameters. In the next chapter I introduce the phenomena of space weather that can affect the behavior of the NACp parameter. Then I evaluate the measured data from ADS-B from the period with increased solar activity in September 2017, compare them with data from GOES satellites and Doppler measurements of fluctuations and disturbances in the ionosphere over the Czech Republic and look for a demonstrable effect. Subsequently, I analyze data from three periods without significant activity of the Sun. Finally, I discuss the possible causes and the dependence of this behavior on the composition of the volume of traffic at a given time.

Key words

Automatic Dependent Surveillance broadcast, Space weather, Navigation Accuracy Category for position

Obsah

Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod	13
2 Popis ADS-B a jeho fungování	14
2.1 ADS-B.....	14
2.2 Technologie přenosu.....	15
2.2.1 Universal Access Transceiver (UAT).....	15
2.2.2 1090 Mhz Extended Squitter	15
2.3 Obsah a formát zpráv	15
2.4 Parametry kvality	16
2.4.1 Navigation Integrity Category	16
2.4.2 Navigation Accuracy Category for position.....	17
2.4.3 Navigation Accuracy Category for velocity (NACv).....	18
2.4.4 Source Integrity Level (SIL)	18
2.4.5 Source Integrity Level Supplement (SILsupp)	18
2.4.6 NIC baro.....	19
2.4.7 System Design Assurance (SDA)	19
2.4.8 Geometric Vertical Accuracy (GVA).....	20
3 Seznámení s možným vlivem kosmického počasí na parametry ADS-B	21
3.1 Kosmické počasí.....	21
3.1.1 Sluneční cyklus	21
3.1.2 Geomagnetické bouře.....	21
3.1.3 Ionosférické bouřky	22
3.1.4 Sluneční erupce.....	22
3.1.5 Výron koronální hmoty.....	23
3.1.6 Solární vítr.....	24
3.2 Denní a noční cyklus ionosféry	24
3.2.1 Ionosférická scintilace.....	25
3.2.2 Dopplerovské měření.....	25
3.3 Efekt ionosféry v závislosti na frekvenci signálu.....	25
4 Vyhodnocení naměřených dat	26
4.1 Vyhodnocení dat ze dnů s význačnou sluneční aktivitou.....	26
4.1.1 06.09.2017 a 07.09.2017	26

4.1.2	10.09.2017.....	29
4.1.3	14.09.2017.....	31
4.2	Porovnání dlouhodobého chování NACp s NIC na úseku bez pozorovaného kosmického počasí.....	33
4.3	Vyhodnocení dat z úseků bez pozorovaného kosmického počasí.....	34
4.3.1	Letní období.....	35
4.3.2	Zimní období.....	36
4.3.3	Jarní období.....	37
5	Hledání možných příčin cykličnosti parametru NACp.....	39
5.1	Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v zimním období.....	39
5.1.1	Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v zimním období 42	
5.2	Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v letním období.....	45
5.2.1	Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v letním období 47	
5.3	Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v jarním období.....	51
5.3.1	Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v jarním období 53	
	Závěr.....	57
	Seznam použitých zdrojů.....	59
	Seznam obrázků.....	62
	Seznam tabulek.....	64

Seznam použitých zkratk

ADS-B	automatický závislý přehledový systém – vysílání
CME	koronálními výrony hmoty
TEC	celkový obsah elektronů
DST	Disturbance storm time index
SES	Single European Sky
NOAA	Národní úřad pro oceán a atmosféru
NACp	Navigation Accuracy Category for position
NIC	Navigation Integrity Category
NACv	Navigation Accuracy Category for velocity
SIL	Source Integrity Level
SILsupp	Source Integrity Level Supplement
SDA	System Design Assurance
GVA	Geometric Vertical Accuracy
UAT	Universal Access Transceiver
1090ES	frekvence 1090 MHz extended squitter
GNSS	globální navigační satelitní systém
Rc	containment radius
RNP	required navigational performance).
HPL	horizontal protection level
VPL	Vertical protection level
HFOM	Horizontal figure of merit
VFOM	Vertical figure of merit
EPU	Estimated Position Uncertainty
tbm9	Socata TBM-900
b772	Boeing 777-26
f100	Fokker 100
sc7	SC7 Skyvan 3
at75	ATR 72-500
pc12	Pilatus PC12

b77l	Boeing 777-260
e75s	Embraer ERJ-175
a332	Airbus A330-2
e190	Embraer ERJ-190
ga8	Gippsland GA8TC 320
525c	Cessna 525C Citation CJ4
b738	Boeing 737-8S3
ng5	BRM Aero Bristell NG-5
a20n	Airbus A320-271N
a21n	Airbus A321-271N
s22t	Cirrus SR22T
a333	Airbus A330-3
a320	Airbus A320-2
e195	Embraer ERJ-195
b763	Boeing 767-3
md11	McDonnell Douglas MD-11F
b752	Boeing 757-260PF
b77w	Boeing 777-36N
b38m	Boeing 737-8 MAX
b789	Boeing 787-9 Dreamliner
fa8x	Dassault Falcon 8X
ec35	Eurocopter EC135 T2
p32r	Piper PA32R-301 Saratoga SP
a388	Airbus A380-861
r44	Robinson R22 Beta II
crj9	Canadair CRJ-900
bcs1	Bombardier CS100
bcs3	Bombardier CS300
a321	Airbus A321-2
a343	Airbus A340-3
a346	Airbus A340-6
m600	Piper PA-46-500TP Malibu Merid

a319	Airbus A319-1
dh8d	Bombardier Dash 8 Q400
a359	Airbus A350-9
b748	Boeing 747-8K8
e75l	Embraer ERJ-175LR
b788	Boeing 787-8 Dreamliner

1 Úvod

V posledních letech dochází k neustálým pokrokům na poli satelitních technologií. Rychlý rozvoj sledovacích, navigačních a komunikačních systémů způsobuje narůstající důvěru v tyto systémy. Ty jsou poté masivně aplikovány a je na ně spoléháno v nejrůznějších komerčních ale i volnočasových aktivitách.

Se zvyšující se závislostí na navigačních a komunikačních technologiích vyžadujeme od těchto technologií stále větší přesnost a neustálou dostupnost. Ta však nemusí být vždy garantována.

Signály těchto, často na oběžné dráze situovaných systémů před tím, než dorazí k našim přijímačům, prochází nehostinným prostředím, jehož chování je stále předmětem mnoha vědeckých debat, a na něž mají vliv interakce se Sluncem a jevy na Slunci se odehrávající, které nazýváme Kosmické počasí. Jevy kosmického počasí se odehrávají s různou intenzitou a frekvencí, které závisí na síle momentálně probíhajícího Slunečního cyklu. Přičemž po dobu existence satelitních systémů probíhaly spíše cykly s menší intenzitou, tudíž nebyly doposud vystaveny obzvláště nepříznivým podmínkám.

Z tohoto důvodu existují pokročilé předpovědní modely snažící se předpovídat míru a způsob ovlivnění signálu touto oblastí. Rozvinulo se mnoho augmentačních systémů, které se snaží o minimalizování nepřesností způsobených chováním vyšších vrstev atmosféry nebo o předpověď zhoršené přesnosti či nedostupnosti těchto systémů. (1) (2)

Cílem této práce je nalezení a diskutování možných důvodů pro cykličnost parametrů popisujících přesnost polohy vysílané ADS-B systémem a vyvracení či potvrzení promítnutí kosmického počasí do těchto dat.

V první části se práce zabývá popisem systému ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) spoléhajícím na výpočet polohy z GNSS dat. Seznámením s parametry hodnotícími přesnost a integritu systému ADS-B a jejich problematikou. Dále si práce dává za cíl seznámit s možnými důvody pro cykličnost parametrů hodnotících přesnost polohy a jevy kosmického počasí, kterého mohou mít vliv na tyto parametry. V závěru se práce zabývá vyhodnocením naměřených dat a jejich interpretací a diskutuje nalezené možné důvody pro cykličnost v těchto datech.

2 Popis ADS-B a jeho fungování

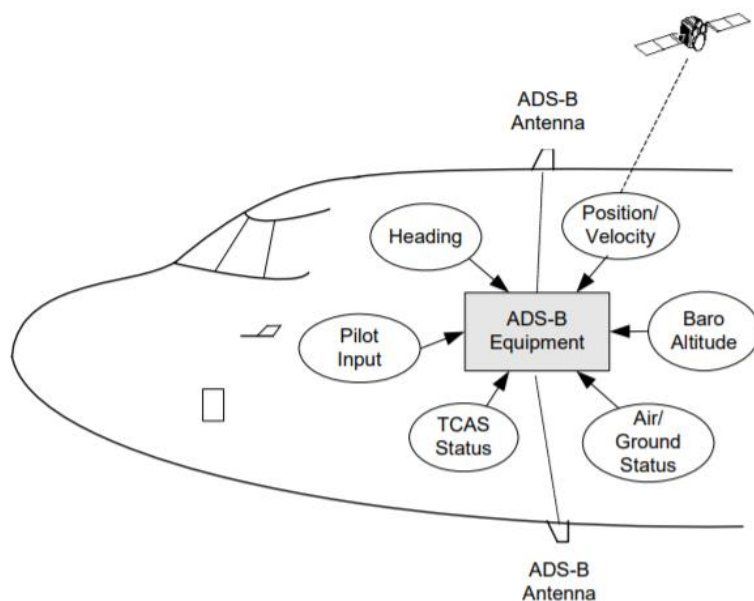
2.1 ADS-B

Automatický závislý přehledový systém, zkráceně ADS-B, je závislá sledovací technologie, založená na neustálém vysílání polohy a dalších informací letadlem či pozemním letištním vozidlem. Závislá proto, že spoléhá na výpočet polohy na palubě letadla z letadlu dostupného zdroje, obvykle GNSS. Automatická, neboť není vyžadován žádný externí dotaz a spoléhá se na vysílání dat z přednastavených palubních systémů v letadle. Veškeré informace jsou vysílány bez zpětné vazby a zdroj neví, kdo je poté přijímá či zdali je někdo přijímá a neexistuje žádný obousměrný kontrakt. (3)

Letadla vybavená touto technologií vysílají neustále po dobu letu a poježdění svoji polohu, rychlost, identifikaci a další. Tento signál může být zachycen všemi pozemními stanicemi s vhodným vybavením a případně použit i pro multilateraci nebo jiným letadlem, pokud je vybaveno i funkcí ADS-B in. V takovém případě může systém sloužit ke zvýšení povědomí o situaci ve vzdušném prostoru nejen pro ATC složky. (3)

Zařízení na palubě se dělí na dva typy a to ADS-B In a ADS-B Out. Přičemž ADS-B out zajišťuje vysílání zpráv pomocí jedné z přenosových metod a ADS-B In přijímání signálu pomocí zvolené metody přenosu dat a následné dekódování signálu, který je poté možné v závislosti na dalším vybavení různě aplikovat, přičemž možnosti přijatých dat se liší také v závislosti na typu přenosu dat, je zde rozdíl mezi přenosem skrze UAT a pomocí 1090 extended squitter. (4), (5)

ADS-B je považován za klíčový systém pro budoucí síť ATM pro dosažení požadované úrovně výkonnostních cílů nejen SES (Single European Sky) v oblasti bezpečnosti, kapacity, účinnosti a udržitelnosti z hlediska životního prostředí. Od čehož se odvíjí i zavádění povinného vybavení tímto systémem v posledních letech. (6), (7), (3), (8), (4)



Obrázek 1: schéma ADS-B systému (6)

2.2 Technologie přenosu

Pro přenos dat existují dvě základní technologie a to 1090 MHz Extended Squitter a UAT (Universal Access Transceiver). V evropském regionu je využíván 1090 MHz Extended Squitter a zároveň byl zvolen za globální standard roku 2003 při konání ICAO konference o letecké navigaci. (9)

2.2.1 Universal Access Transceiver (UAT)

UAT pracuje na 978 MHz, podporuje obousměrný přenos, je navržen primárně pro všeobecné letectví a je využíván ve spojených státech ve specifikovaných prostorech a jen do výšky 18 000 stop. K dispozici jsou bezplatné služby přenášené po tomto linku jako grafické informace o počasí a provozu jako FIS-B (Flight Information Service Broadcast) a TIS-B (Traffic Information Service Broadcast).

2.2.2 1090 Mhz Extended Squitter

Frekvence 1090 MHz známá také jako 1090ES je mezinárodním standardem pro přenos ADS-B a také nejpoužívanějším způsobem přenosu ve světě. Technologie Extended Squitter je rozšíření šířky pásma využívané k přenosu dat transpondéry sekundárního radaru a je rozšířením modu S. K přenosu je využíváno frekvence sekundárního radaru a data jsou přenášena ve 112bitových zprávách, kde samotný obsah zprávy obsahuje 56 bitů. (10), (11)

2.3 Obsah a formát zpráv

ADS-B zpráva se skládá z 5 hlavních částí (viz tabulka číslo 1), které mají v součtu 112 bitů. První až pátý bit obsahuje Downlink formát, který značí typ zprávy. ADS-B zprávám je přiřazena hodnota 17 a 18 pro civilní využití a 19 pro vojenské. Downlink formát 18 využívají zařízení, které nemohou být dotazovány.

Dále v bitech šest až osm je zakódována informace o úrovni a možnostech odpovídače. Mezi bity 9 a 32 je zapsána icao24 adresa konkrétního letadla případně pozemního prostředku. Tato adresa je unikátní a je 24bitová.

Mezi bity 33 a 88 je takzvaný payload neboli konkrétní data této zprávy. Tyto zprávy jsou různého druhu a obsahují rozdílné informace a jsou vysílány s rozdílnou periodou. Typ zprávy se určuje z prvních pěti bitů v tomto 56bitovém segmentu zprávy. Existuje 31 typů zpráv, které mají nadefinovaný obsah a z těchto jednotlivých zpráv případně z kombinací se dekódují informace přenášené ADS-B systémem. Těchto 31 typů zahrnují zprávy airborne position, surface position, aircraft identification, aircraft operation status, aircraft status, target state and status a další. Pro dekódování parametrů kvality byly využívány zprávy aircraft operation status a airborne position.

Nakonec mezi bity 89 až 112 je zapsán parity identifier sloužící k ověření správnosti zprávy. (12), (5), (13)

Tabulka 1: struktura zprávy ADS-B (11)

DF (5)	CA (3)	ICAO (24)	ME (56)	PI (24)
--------	--------	-----------	---------	---------

2.4 Parametry kvality

Kvalita polohových dat se charakterizuje pomocí čtyř parametrů nazvaných integrita, přesnost, dostupnost a kontinuita, které vychází ze specifikování RNP (required navigational performance). RNP bylo definováno pro potřeby navigace v letectví a standartní hodnocení navigačních systémů a jejich momentálního výkonu. (14)

Názvy konkrétních parametrů kvality se liší v závislosti na verzi ADS-B zařízení a taktéž jejich definování, a tedy i výpočet. V průběhu vývoje prošel systém ADS-B verzemi 0,1 a 2. Pro potřeby této práce budou popsány definice pouze parametrů z verze 2 a budou zmíněny odlišnosti s verzí 1, jelikož zprávy od letadel s verzí 1 se také mohou vyskytovat v datech, která byla analyzována.

V ADS-B systému se přesnost definuje jako NACp pro pozici a NACv pro přesnost rychlosti. NIC se používá pro definování integrity, SIL, SILsupp a SDA pro selhání systému a GDA pro vertikální přesnost a NICbaro pro ověření vertikální informace. (6)

2.4.1 Navigation Integrity Category

Navigation Integrity Category (NIC) je parametr, který demonstruje hodnotu integrity polohy poloměrem zadržování neboli Rc. Tato hodnota určuje míru důvěry ve správnost polohové informace určené systémem. Tato informace je využívána k zhodnocení, zda integrita polohy určené systémem je přijatelná pro zamýšlenou operaci. Také zahrnuje schopnost systému včas vydat varování uživateli, že by nemělo být datům důvěřováno. S parametrem NIC úzce souvisí parametr SIL, který udává pravděpodobnost, že skutečná poloha letadla leží mimo poloměr zadržování.

Hodnota parametru NIC se určuje z hodnoty Containment radius viz tabulka 2, která se odvozuje ze zdroje polohy, který definuje hodnotu horizontální ochrany jako HPL (horizontal protection level) v případě GNSS.

Horizontal protection level je definován jako poloměr vycentrované kružnice jejíž středem je skutečná poloha letadla. A který obsahuje odhadované horizontální polohy s pravděpodobností nepřesné detekce a falešného poplachu.

Odlišností od verze jedna je nezávislost na vertikální rovině (VPL), což způsobilo větší možnosti zhodnocení, zda a k čemu mohou být data použita. (7), (14), (15), (16)

Tabulka 2: Převodní tabulka parametru NIC (6)

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

2.4.2 Navigation Accuracy Category for position

Navigation Accuracy Category for position neboli NACp je parametr určující s jakou přesností byla určena horizontální pozice letadla. Parametr je odvozován z výstupu zdroje polohy například pro GNSS je to HFOM. Hodnota parametru NACp je určena podle tabulky číslo ... z hodnoty EPU (Estimated position uncertainty), která je odvozena z HFOM (horizontal figure of merit).

HFOM se definuje jako poloměr kružnice obsahující odhady horizontální polohy letadla s pravděpodobností větší než 95 % a jejíž střed leží ve skutečné poloze letadla.

Na rozdíl od verze 1, ve verzi 2 odpadá závislost na parametru VFOM. (7), (14), (16)

Tabulka 3: Převodní tabulka parametru NACp (6)

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

2.4.3 Navigation Accuracy Category for velocity (NACv)

Zobrazením přesnosti určení rychlosti je parametr NACv. NACv může být nastaven dynamicky a měnit se podle informace ze zdroje polohy nebo staticky podle kvalifikace zdroje polohy. Data výstupu ze zdroje polohy či jiného schváleného zdroje opět musí splňovat 95 % přesnost. Hodnoty se parametru přidělují podle následující tabulky. (13), (17)

Tabulka 4: Převodní tabulka parametru NACv (44)

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

2.4.4 Source Integrity Level (SIL)

SIL definuje pravděpodobnost překročení poloměru zadržení neboli Rc definovaném v NIC. Jeho hodnota se pohybuje od 0 do 3. Je odvozen přímo z pravděpodobnosti na překročení vykazované hodnoty integrity udávané zdrojem polohy. Pokud zdroj polohy udává hodnotu HPL nebo HIL (horizontal integrity level) měla by být nastavena hodnota 3, protože HPL je odvozen při pravděpodobnosti 1×10^{-7} a totéž platí o HIL. Proto je tento parametr obvykle statický. (7)

Tabulka 5: Převodní tabulka parametru SIL (6)

SIL Value	Probability of exceeding the NIC containment radius
3	$\leq 1 \times 10^{-7}$ Per Hour or Sample
2	$\leq 1 \times 10^{-5}$ Per Hour or Sample
1	$\leq 1 \times 10^{-3}$ Per Hour or Sample
0	$> 1 \times 10^{-3}$ Per Hour or Sample or Unknown

2.4.5 Source Integrity Level Supplement (SILsupp)

Parametr SILsupp indikuje, zdali pravděpodobnost, ze zdroje polohy, na překročení reportované hodnoty integrity je vypočítána pro vzorek nebo pro časový úsek jedné hodiny. Měl by být nastaven na základě dat od výrobce zařízení zdroje polohy. GNSS zdroje polohy obvykle pracují s integritou v časovém úseku tudíž může být hodnota přednastavena na 0 viz tabulka číslo 6. (7), (17), (15), (16)

Tabulka 6: Převodní tabulka SILsupp (6)

SIL Supplement	Basis for SIL Probability
1	Probability of exceeding NIC containment radius is based on per sample
0	Probability of exceeding NIC containment radius is based on per hour

2.4.6 NIC baro

Parametr NIC baro nabývá hodnot 1 a 0, a značí, zdali byla reportovaná výška porovnána s dalším zdrojem výšky udávajícím výšku tlakového charakteru nebo pochází-li ze zdroje udávajícím výšku jiného než tlakového charakteru pro hodnotu 1 nebo zdali se jedná pouze o výšku pocházející ze zdroje s tlakovou výškou a nezkontrolovaného s dalším zdrojem pro hodnotu 0 viz tabulka číslo 7. (17)

Tabulka 7: Převodní tabulka pro NIC baro(16)

Coding	Meaning
0	The barometric altitude that is being reported in the Airborne Position Message is based on a Gilham coded input that has not been cross-checked against another source of pressure altitude
1	The barometric altitude that is being reported in the Airborne Position Message is either based on a Gilham code input that has been cross-checked against another source of pressure altitude and verified as being consistent, or is based on a non-Gilham coded source

2.4.7 System Design Assurance (SDA)

Parametr SDA nabývá hodnot 0 až 3 a vyjadřuje pravděpodobnost vysílání poškozených nebo zavádějících dat. Parametr zohledňuje selhání, nedetekování selhání a vliv selhání hardwarové a softwarové složky, které mohou ovlivnit výslednou zprávu. Tento parametr je definován nově ve verzi 2, v předchozí verzi tato informace byla zahrnuta do odvození parametru SIL. Kódování parametru podle tabulky níže.

Tabulka 8: Převodní tabulka pro SDA (6)

SDA Value	Supported Failure Condition	Probability of Failure causing transmission of False or Misleading Information
3	Hazardous	$\leq 1 \times 10^{-7}$ Per Hour
2	Major	$\leq 1 \times 10^{-5}$ Per Hour
1	Minor	$\leq 1 \times 10^{-3}$ Per Hour
0	Unknown/ No safety effect	$> 1 \times 10^{-3}$ Per Hour or Unknown

2.4.8 Geometric Vertical Accuracy (GVA).

Parametr GVA je odvozen z VFOM (vertical figure of merit), který je získán ze zdroje polohy. Pokud zdroj neposkytuje tuto informaci měl by být parametr nastaven na 0. GVA indikuje, že 95 % pozic letadla leží v povolených mezích. V předchozí verzi ADS-B byla VFOM používána společně s HFOM k odvození NACp. Parametr se kóduje podle tabulky 9. (13)

Tabulka 9: Převodní tabulka GVA (12)

GVA Encoding	Meaning (meters)
0	Unknown or > 150 meters
1	≤ 150 meters
2	≤ 45 meters

3 Seznámení s možným vlivem kosmického počasí na parametry ADS-B

3.1 Kosmické počasí

Termín kosmické počasí neboli space weather používáme pro označení souboru fyzikálních procesů, počínajících na Slunci a v konečném důsledku ovlivňujících činnost techniky a lidí ve vesmíru a na Zemi. Slunce, přestože se nachází ve vzdálenosti kolem 150 milionů kilometrů, produkuje značné množství energie ve formě elektromagnetického záření, které zasáhne mimo jiné i naši planetu. Složky elektromagnetického záření, které každý den zasahují horní vrstvy naší planety, můžeme pozorovat v celém elektromagnetické spektru. Ve formě nabitých energetických částic pak lze pozorovat výboje koronální hmoty tak zvané CME a plazmatické proudy. Energeticky nabitě částice k nám cestují různými rychlostmi a vedou s sebou často část magnetického pole Slunce, které pak reaguje s magnetickým polem planety a vnějšími vrstvami atmosféry (magnetosféra a ionosféra). Ty způsobují nejrůznějších jevy od vizuálně atraktivních jako polární záře po silné geomagnetické bouře zanechávajícími stopy na satelitech a ovlivňujících činnost řady technologií na Zemi.

Prvně zmíněné emise ze Slunce ve formě elektromagnetického záření cestují rychlostí světla a satelity na oběžné dráze Země je zachytí už za 8 minut. Oproti tomu nabitým částicím ve formě CME či plazmatických proudů to trvá podstatně déle, a to v řádu nejen hodin ale v některých případech i dní. Díky čemuž se nám nabízí možnosti předpovídání některých událostí a aplikování varovných systému. (18), (19), (20)

3.1.1 Sluneční cyklus

Sluneční cyklus můžeme podle našeho momentálního poznání rozdělit na 4 základní cykly. A to hlavní cyklus s periodou 11 let, magnetický s periodou 22 let, 1,3letý cyklus slunečního větru, a nakonec přibližně 154denní cyklus v jehož periodě pozorujeme změny v síle a rychlosti slunečního větru ale i dalších pozorovaných veličin. Hlavním cyklem je obvykle označován cyklus, jež odráží sluneční aktivitu ve formě slunečních skvrn. Jeho perioda je přibližně 11 let s maximální odchylkou 1,5 roku. Momentálně se nacházíme na začátku 25. solárního cyklu, přičemž maximum tohoto cyklu se očekává kolem roku 2025. Počty slunečních skvrn souvisí úzce s magnetickou aktivitou, jež nás přivádí k dalšímu cyklu, za který považujeme pravidelnou změnu orientace magnetických pólů, která probíhá při každém maximu hlavního slunečního cyklu, a tedy pokud bychom za cyklus považovali změnu tam a zpět je tento cyklus 22 let. (19), (21), (22)

3.1.2 Geomagnetické bouře

Geomagnetická bouře je význačné narušení zemské magnetosféry, jež je obvykle následkem variací v intenzitě slunečního větru. Vznikají při velkých změnách v proudech a polích slunečního větru, které produkují změny polí a intenzity proudů v zemské magnetosféře, které dále ovlivňují ionosféru a termosféru naší planety. Při těchto jevech dochází ke změnám v radiačních pásmech, změnám a zahřívání ionosféry a termosféry. Největší bouře jsou

způsobovány slunečními koronálními výrony hmoty (CME), které na Zemi od Slunce putují i několik dní ale ty nejintenzivnější byly pozorovány již po 18 hodinách. V průběhu bouří dochází k dodávání energie ionosféře proudy a energetickými částicemi, což má za následek zvýšení hustoty TEC a rozložení oblastí se zvýšenou hustotou a teplotou což způsobuje změny v pohybu oblastí s rozdílnými hustotami TEC v ionosféře a také vertikální pohyb těchto oblastí. Následkem čehož dochází k modifikaci trajektorie radiových signálů procházejících těmito oblastmi např. satelitní komunikační a navigační služby. Zvyšuje se také aerodynamický odpor satelitů v této oblasti, což způsobuje nejen změnu trajektorie satelitů ale i možné mechanické poškození.

Měření prstence západního proudu získáváme index Dst (disturbance storm time index), který se historicky používal k charakterizování síly a velikosti geomagnetické bouře. Tento index společně s indexy odvozenými z proudů produkovanými v magnetosféře, které sledují magnetické pole a spojují se s intenzivními proudy v aurorální ionosféře a dalšími magnetickými odchylkami se využívány ke generování indexu Kp (index planetární geomagnetické odchylky). NOAA používá index Kp k charakterizování vesmírného počasí s potenciálem k narušení komunikačních a navigačních systémů na Zemi. (23), (24)

3.1.3 Ionosférické bouřky

Obvykle jsou definovány dva druhy ionosférických bouří. PCA (polar cap absorption), která jak název napovídá se projevuje hlavně v polárních oblastech, a Geomagneticky indukované ionosférické bouře, bouře druhého typu je vyvolaná předcházející geomagnetickou bouří a v průběhu které vzrůstá hustota TEC v nižší ionosféře. Takovéto bouře začínají s několika hodinovým zpožděním oproti sluneční erupci, která tento řetězec událostí vyvolala a mohou trvat déle než magnetická porucha, která je vyvolala. Také jsou intenzivnější v noci na rozdíl od prvního typu, který se odehrává ve vysokých zeměpisných šířkách a také se vyznačuje nárůstem elektronové hustoty, avšak pro oblast zájmu této práce je nerelevantní.

Ionosférické bouře se vyznačují pozvolnějším nástupem než náhlé poruchy v ionosféře cestující ve formě vlny také nazývané SID. A na rozdíl od náhlých poruch u ionosférické bouře rozlišujeme tři základní fáze, avšak průběh bouře je pro každou jednotlivou bouří specifický. (25), (26), (24), (27)

3.1.4 Sluneční erupce

Sluneční erupce jsou události odehrávající se na povrchu Slunce v takzvaných aktivních oblastech, které se vyznačují zvýšenou přítomností silných magnetických polí, obvykle v oblasti sluneční skvrny či shluku slunečních skvrn. V těchto oblastech dochází k postupnému vývoji a změnám magnetického pole Slunce, které vedou k emisím hmoty a energie v různých formách. Jednou z těchto forem je elektromagnetické záření, které označujeme jako „Solar flare“.

V průběhu těchto událostí dochází k uvolnění značného množství energie do volného prostoru mimo jiné ve formě elektromagnetického záření, které můžeme dále specifikovat jako složky rentgenového záření a světla. Toto záření se šíří prostorem rychlostí světla a obvykle tyto eventy trvají přibližně půl hodiny, ale obzvláště silné mohou trvat i v řádu hodin.

Sluneční erupce dělíme podle rentgenové jasnosti do kategorií A, B, C, M, X. Každá kategorie je dále rozdělena do 9 skupin. Přičemž nejslabší je kategorie A, jejíž vyzařená energie je na úrovni záření na pozadí. Jedná se o logaritmické rozdělení, a tedy erupce B je 10krát silnější než A. Kategorie A a B nemají dostatek energie pro způsobení pozorovatelných následků na Zemi či v ionosféře. Kategorie C se vyznačuje mírným efektem na Zemi. Naproti tomu kategorie M a X již způsobují geomagnetické bouře. Kategorie M pouze mírného charakteru, avšak kategorie X již může vést ke středně silným až silným geomagnetickým bouřím s měřitelnými následky.

Největší známá sluneční erupce byla kategorie X, protože X je poslední písmeno stupnice. Avšak číselná část označení u X může jít výše, a proto největší změřená sluneční erupce byla X28 z 28. října 2003. (28), (18), (29), (30), (31)

3.1.5 Výron koronální hmoty

Výrony koronální hmoty neboli Coronal Mass Ejections (CME) jsou velká množství hmoty ve formě elektrifikovaného plynu nebo plazmy a magnetického pole vržené do meziplanetárního prostoru ze sluneční koróny. Pocházejí z útvarů v koroně vytvořených magnetickým polem s relativně chladnou plazmou. CME mohou obsahovat až miliardy tun plazmatického materiálu z koróny a mohou být urychleny rázovou vlnou erupce až k rychlostem při kterých dosáhnou planety Země v řádu hodin. K vyvržení plazmatického materiálu dochází při výbuchu této chladnější oblasti a je provázena často velkými slunečními erupcemi. Nicméně obvyklé CME dosáhne Země v čase mezi jedním až třemi dny. Náraz této hmoty, v případě že zasáhne Zemi, způsobí deformaci geomagnetického pole Země a vyvolá geomagnetické bouře a může ovlivnit směr jehel kompasů nebo indukovat proud v dlouhých vodičích. Zvýšený přísun energetických částic také může ovlivňovat rádiové vlny procházející touto oblastí.

K analýze CME využíváme několika parametrů a to velikosti, rychlosti a směru. Vlastnosti odvozujeme z koronografických snímků orbitálních satelitů a snímků z observatoří jako například NASA(SOHO) abychom určili pravděpodobnost, zda Země leží na trajektorii této CME.

Předpověď následné síly geomagnetické bouře zakládáme na odhadu směru a síly magnetického pole. Jestliže orientace magnetické síly pole CME je opačný vůči zemskému magnetickému poli dochází k silnějším geomagnetickým poruchám v magnetosféře a silnějším geomagnetickým bouřím než v případě stejného směru magnetického pole. CME vykazují jak stálý směr, buď v jednom směru nebo druhém, tak střídání směru. Bohužel v současné době nejsme schopni určit směr magnetického pole, dokud není v oblasti monitorovacího satelitu.

V případě CME vyvržené rychlostí větší než lokální rychlostí, jakou se šíří „informace“ v plazmatu solárního větru, dochází k rázovým vlnám, které urychlují energetické částice a vytváří velkou část, která se podílí na tvorbě solární bouře. Rázové vlny jsou často první, co registrujeme na Zemi a jimi způsobený skok v hustotě plazmatu je prvním příznakem příchodu CME. Vznik této rázové vlny je fyzikálně obdobný se vznikem rázové vlny u letadla překračujícího rychlost zvuku lokálního prostředí. (18), (32), (33)

3.1.6 Solární vítr

Solární vítr je nepřetržitý proud částic v plazmatickém stavu, převážně protonů a elektronů. Jeho rychlost se mění v závislosti na výše zmíněných cyklech a může se pohybovat mezi 350 km/s až 2000 km/s ale i více v návaznosti na extrémní sluneční eventy jako jsou sluneční erupce. Dále rychlost solárního větru závisí na povrchu Slunce. Společně s tímto plazmatem proudí směrem od Slunce také solární magnetické pole, které je do něj vnořené. Některé oblasti jako například severní a jižní pól, kde se nachází koronální díry, produkují solární vítr o vyšších rychlostech. Zároveň se slunce otáčí s periodou 27 dní, díky čemuž se solární vítr stává složitou spirálou obsahující proudy a pole o různých hustotách a rychlostech. Což způsobuje, že solární elektrické pole není ploché ale zvlněné a je popisované modelem "balerina skirt" a díky tomu se neustále mění rychlost solárního větru, kterou na zemi pozorujeme. Při přechodech mezi oblastmi s rozdílnou rychlostí a silou solárního větru dochází k mírným geomagnetickým bouřím i v klidných podmínkách z pohledu počtu pozorovaných slunečních děr. (19), (34), (35)

3.2 Denní a noční cyklus ionosféry

Ionosféra je jednou z horních vrstev atmosféry chránící planetu před radiací přicházející z vesmíru či ze Slunce. Vyskytuje se mezi 80 a 600 km. Ionosféru tvoří vrstva elektronů vznikajících přicházejícím ionizujícím zářením. Paprsky elektromagnetického záření a energetické částice jsou zastavovány vrstvou ionosféry a přispívají k další ionizaci. Variabilní množství záření ze Slunce závislé na slunečním cyklu způsobuje proměnlivé charakteristiky ionosféry v různých obdobích tohoto cyklu. A spektrální variabilita slunečního záření je zodpovědná za různé vrstvy ionosféry. Díky podmínění existence ionosféry na záření ze Slunce dochází k vzniku a zániku vrstev v závislosti na úhlu pod kterým slunce na danou oblast momentálně září. To způsobuje existence vrstev nazývaných D, E, F. Složení vrstev a síla vrstev je ovlivněna i dalšími jevy jako zářením z vesmíru ale také jevy na Slunci jako slunečními erupcemi, silou slunečního větru ale i geomagnetickými a následně ionosférickými bouřemi, tyto změny jsou považované za nepředvídatelné oproti dříve zmíněným cyklickým změnám.

Výše zmíněný cyklus ionosféry, závislý na Slunečním cyklu, není jediným cyklem ionosféry. Jelikož největší množství ionizace je způsobeno přímým zářením, existuje denní a noční cyklus a také cyklus závislý na ročním období.

Denní a noční cyklus ionosféry lze popsat následovně. Ve dne se vyskytují vrstvy čtyři, a to vrstva D, která je polohována nejnižší a její hlavní vlastností je odraz velmi nízkých frekvencí a v noci zaniká. Poté vrstvy F1 a F2 jež jsou významné pro HF komunikaci. F2 odráží HF frekvence a F1 je absorbuje. V noci dochází ke spojení těchto dvou vrstev ve vrstvu nazývanou F. Zároveň tyto dvě vrstvy, jakožto nejvýše situované, jsou nejvýznamněji ovlivněny kosmickými jevy jako jsou erupce na Slunci. Poslední vrstvou je prostřední vrstva E, ve výšce přibližně 100 km, která odráží vysokofrekvenčních vlny a v noci nezaniká.

Tento cyklus provází různé změny odehrávající se v průběhu vytváření a zániku ionosférických vrstev při východu a západu slunce. K ionizaci v ionosféře dochází prakticky okamžitě po dopadu slunečních paprsků. (29), (36), (37), (38), (26)

3.2.1 Ionosférická scintilace

Ionosférická scintilace je rychlé modifikování rádiových vln způsobené v ionosféře se vyskytujícími útvary malého rozsahu. Silné scintilační podmínky mohou bránit přijímači GPS v „locknutí“ se na signál a znemožní tak vypočtení polohy. Při scintilaci slabšího rozsahu může dojít ke snížení přesnosti a spolehlivosti určení polohy. Scintilace rádiových vln ovlivňuje výkon, polarizaci a fázi radiového signálu takzvanou Faradayovou rotací. Útvary v elektronové hustotě způsobující scintilaci jsou menšího měřítka, v rámci desítek metrů až kilometrů. Scintilaci vyjadřujeme dvěma indexy, a to pro amplitudovou scintilaci S4 a pro fázovou scintilaci $\sigma\phi$ (sigma-phi). Největší a nejaktivnější útvary se vyskytují v blízkosti magnetického rovníku, a to těsně po západu slunce. (39)

3.2.2 Dopplerovské měření

Dopplerovské měření slouží k výzkumu fluktuací a poruch v ionosféře, ionosférické vlny a také na odezvy ionosféry na sluneční erupce a další solární jevy. Princip tohoto měření je založen na měření Dopplerova posunu, k němuž dochází, pokud se oblast ionosféry nad sondou pohybuje či se mění její hustota TEC. (40)

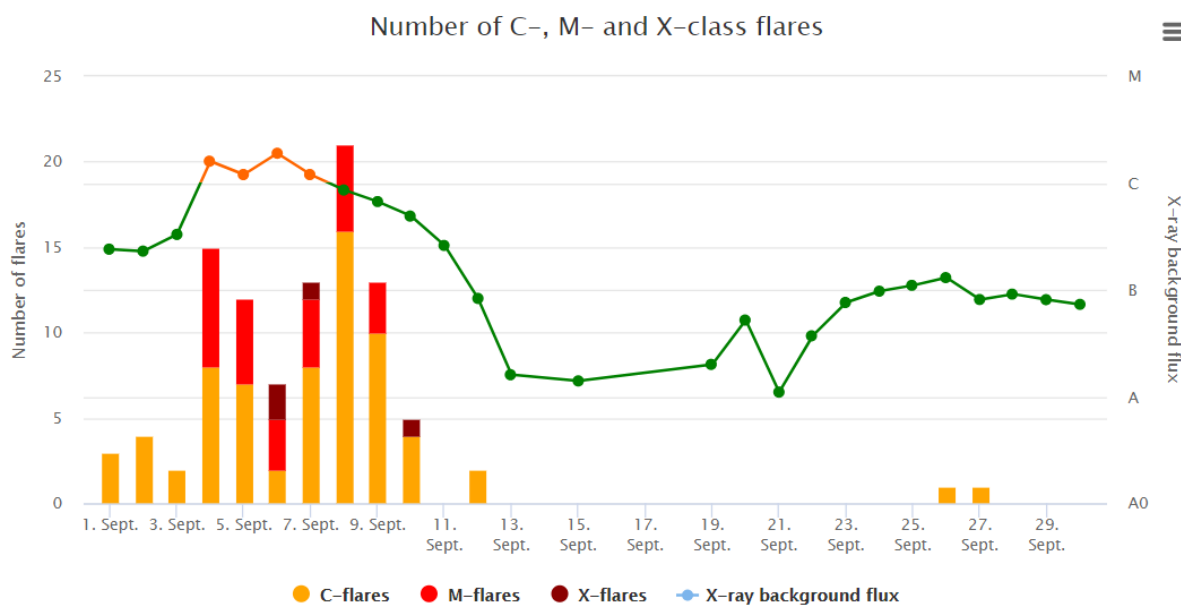
3.3 Efekt ionosféry v závislosti na frekvenci signálu

Disperzní povaha ionosféry způsobuje rozdílný útlum pro rozdílné frekvence. Vyšší frekvence jsou utlumovány méně než nižší frekvence. Na tomto principu jsou založeny více frekvenční přijímače, které opravují chybu způsobenou ionosférou pomocí sledování přenosu na více frekvencích a odstraňování opoždění. Například pro GNSS systémy je separace mezi frekvencemi L1, L2 a L5 dostatečná, aby bylo možno tohoto využít. Lze použít všechny kombinace těchto frekvencí, nicméně v praxi tyto metody zatím nejsou masově využívány. Teoreticky lze využít i všechny tři frekvence najednou pro zvýšení přesnosti. (41)

4 Vyhodnocení naměřených dat

4.1 Vyhodnocení dat ze dnů s význačnou sluneční aktivitou

Během klesající fáze solárního cyklu číslo 24, od 6. do 10. září 2017, sluneční aktivita náhle drasticky vzrostla viz obrázek 2, když Aktivní oblast (AR) 12673 umístěná na západní sluneční polokouli vyprodukovala čtyři sluneční erupce třídy X a několik výbojů koronální hmoty směrem k Zemi, které v následujících dnech zemi zasáhly a ovlivňovaly chování ionosféry. (42), (43)



Obrázek 2: Graf znázorňující průběh počtů solární erupce a hodnoty x-ray flux na pozadí v září (44)

4.1.1 06.09.2017 a 07.09.2017

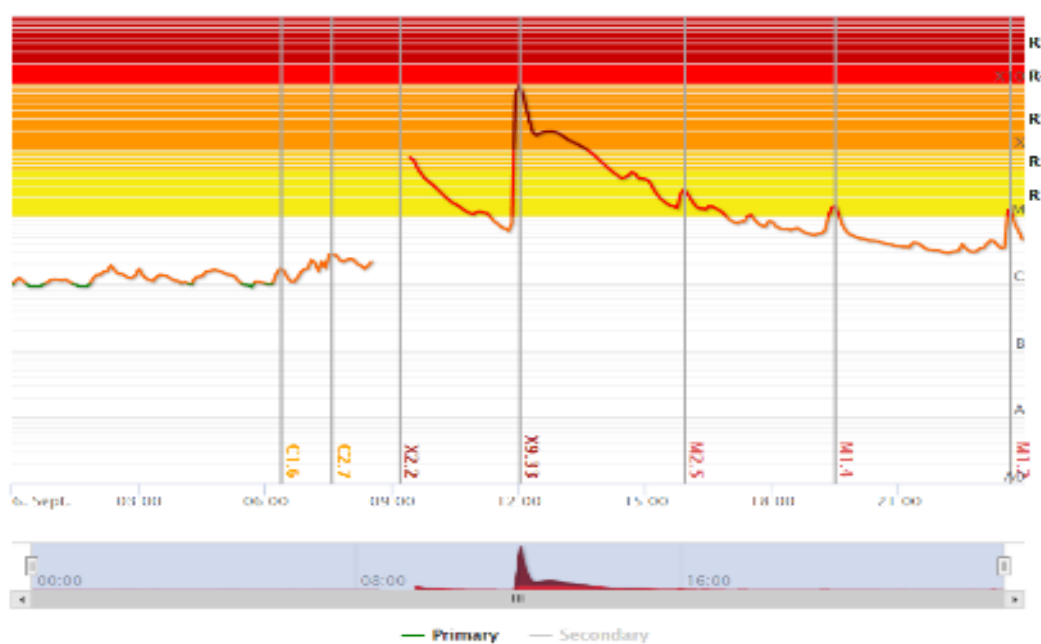
Dne 6. září 2017 došlo mimo jiné postupně k dvěma solárním erupcím třídy X, které byly zaznamenány satelity GOES, umístěnými na geostacionární pozici na 137.2° a 75.2° západní délky. Data získaná z těchto satelitů jsem porovnával s daty z ADS-B systémů zaznamenaných v oblasti dosahu čtyř přijímačů rozmístěných v Praze. (45)

Začátek první solární erupce třídy X byl 6. září 2017 v 8:57 UTC s maximem X 2,2 v 9:10 UTC, kterou můžeme vidět na obrázku níže. Následovala druhá solární erupce se začátkem 6. září 2017 v 11:53 UTC, s maximem X 9,3 ve 12:02 UTC, která byla zároveň zapsána jako největší solární erupce 24. solárního cyklu.

Solar flares

Region		Start	Maximum	End
2673	C1.6	06:17	06:22	06:29
2673	C2.7	07:29	07:34	07:48
2673	X2.2 <input type="button" value="Play"/>	08:57	09:10	09:17
2673	X9.3 <input type="button" value="Play"/>	11:53	12:02	12:10
2673	M2.5	15:51	15:56	16:03
2673	M1.4	19:21	19:30	19:35
2673	M1.2	23:33	23:39	23:44

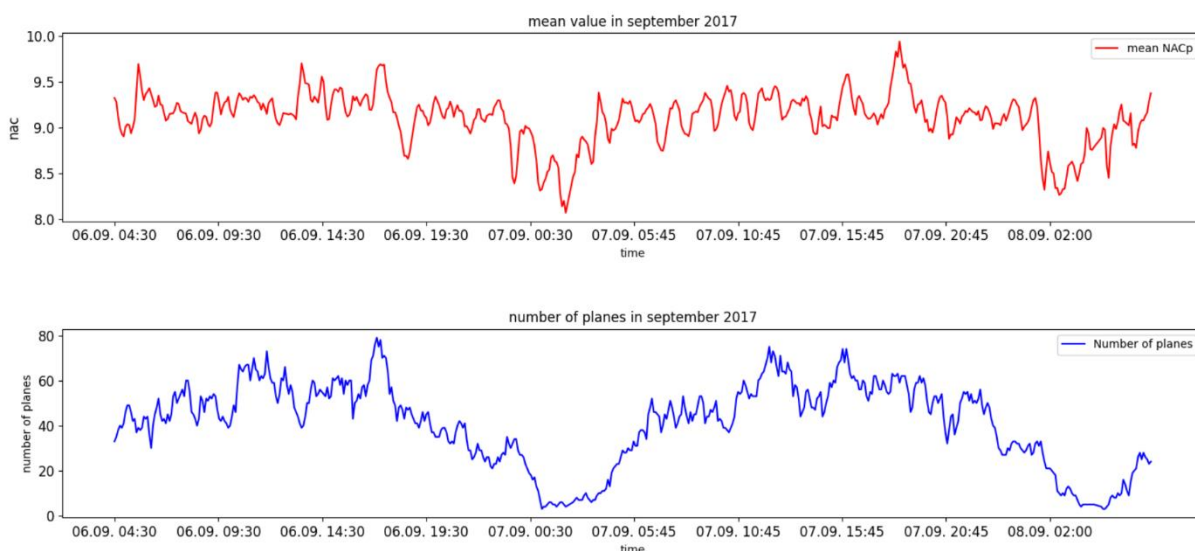
Obrázek 3: tabulka s časy jednotlivých erupcí (46)



Obrázek 4: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (45)

Pro posuzování vlivu těchto solárních eventů na polohová data z ADS-B systému jsem využil parametr NACp (Navigation Accuracy Category for Position), jež hodnotí přesnost vysílané polohy. Z těchto dat jsem odstranil letadla, která vysílala na první pohled chybné hodnoty, například dlouhodobou nulovou hodnotu parametru NACp.

Na zkoumaném úseku od 05:00 UTC 6. září 2017 do 23:59 UTC 7. září 2017 jsem data rozdělil do pětiminutových úseků, ve kterých tedy byly všechny polohové zprávy od všech letadel, a u těchto úseků jsem spočítal průměrnou hodnotu NACp a vynesl tyto hodnoty do grafu viz obrázek číslo 5. V druhém grafu na obrázku číslo 5 můžeme vidět počty letadel od kterých máme k dispozici polohové zprávy v pěti minutových úsecích.

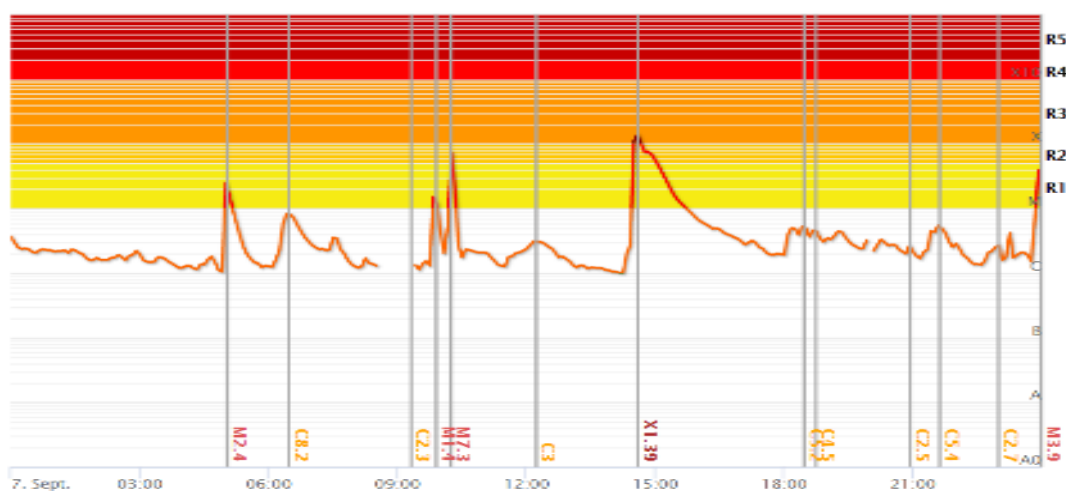


Obrázek 5: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)

V prvním grafu na obrázku číslo 5 v čase 9:10 6. září 2017 není patrný zásadní pokles průměrné hodnoty parametru NACp, který by odpovídal první zaznamenané erupci. A v čase, kdy satelit GOES zaznamenal největší erupci v tomto slunečním cyklu, se nejeví na průměrné hodnotě žádná změna oproti předcházejícím hodnotám a pokles nastává až po 17:00 UTC.

Tento opožděný pokles nemusí se slunečním eventem souviset, neboť se nezdá být neobvykle velký a nejsme schopni určit přesné zpoždění oproti času, kdy byl zaregistrován satelitem GOES.

Dne 7. září 2017 ve 14:20 UTC registrují satelity GOES další sluneční erupci třídy X, která dosáhne svého maxima ve 14:36 UTC. Tuto erupci předchází několik slabších erupcí zaznamenaných satelitem, jež ale nedosahují třídy X. Pouze jedna erupce se této hodnotě blíží s maximem v 10:15 UTC viz obrázky 6 a 7.



Obrázek 6: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (47)

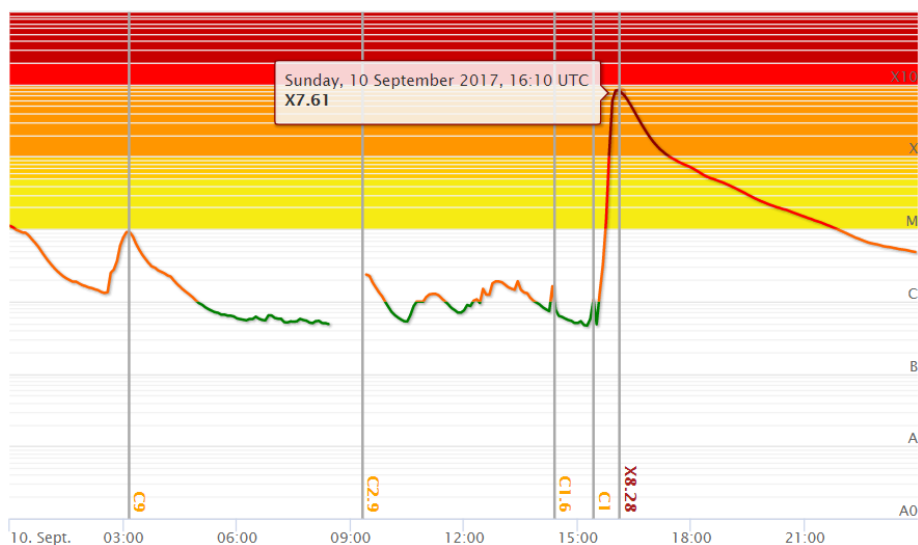
Region		Start	Maximum	End
2673	M2.4	04:59	05:02	05:08
2673	C8.2	06:19	06:28	06:42
2673	C2.3	09:16	09:20	09:24
2673	M1.4	09:49	09:54	09:58
2673	M7.3	10:11	10:15	10:18
2673	C3	12:00	12:14	12:28
2673	X1.3 <input type="button" value="play"/>	14:20	14:36	14:55

Obrázek 7: tabulka s časy jednotlivých erupcí (46)

Při porovnání grafu z obrázku 6 s průměrnými hodnotami NACp můžeme vidět, že k nejsilnějšímu poklesu tohoto dne došlo kolem půlnoci z 6 na 7. září a poté před půlnocí ze 7. na 8. září, kdy žádná sluneční erupce není zaznamenána. Navíc naše část planety je otočena směrem od Slunce. Dále můžeme pozorovat, že hodnota prakticky mírně osciluje. V čase 14:35 UTC můžeme pozorovat delší setrvání v dolní poloze oscilace což by mohlo korespondovat s maximem erupce v 14:36. Nicméně tento pokles průměrné hodnoty NACp se zdá být mírný a následuje jeho strmý nárůst průměrné hodnoty až k nadprůměrné hodnotě NACp. Což by mohlo značit, že takto silná solární erupce není stále dostačující, aby znatelně ovlivnila přesnost polohových dat ADS-B a tedy se projevila v průměrných hodnotách NACp. Večerní minima v průměrné hodnotě se zdají korelovat s minimem počtu viditelných letadel. Dne 7.září dokonce dojde k minimu NACp dříve než k minimálnímu počtu letadel.

4.1.2 10.09.2017

Dne 10. září 2017 v 15:35 UTC satelity GOES zaznamenaly další sluneční erupci třídy X, která je předcházena relativně klidným několika hodinovým oknem viz obrázek 8 a 9 a dosáhne maxima v 16:06 UTC, následně hodnoty záření klesají postupně zpět k hodnotám obvyklým v neutrální dny v průběhu několika hodin.

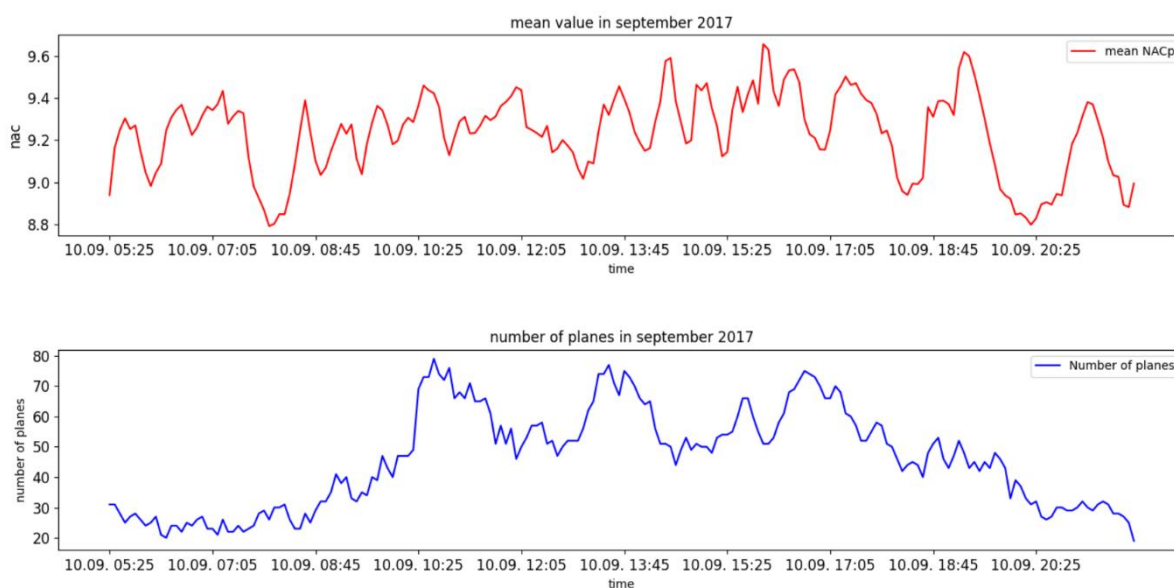


Obrázek 8: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (48)

Solar flares

Region		Start	Maximum	End
2673	C9	02:40	03:09	03:25
2673	C2.9	09:02	09:20	09:34
-	C1.6	14:19	14:23	14:25
-	C1	15:23	15:26	15:28
2673	X8.2 <input type="button" value="Play"/>	15:35	16:06	16:31

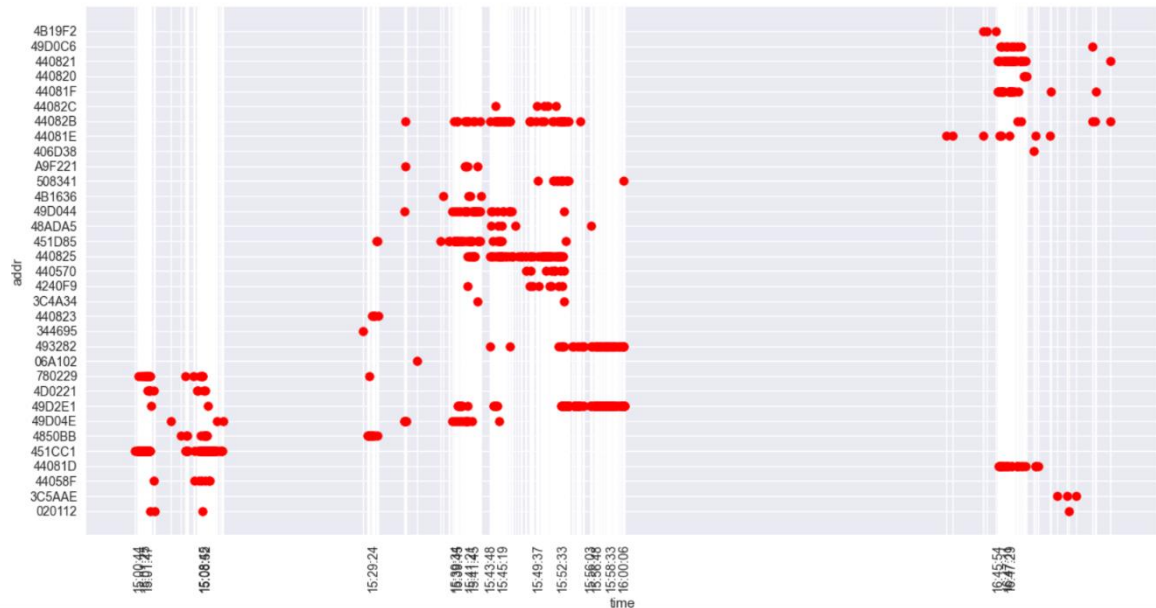
Obrázek 9: tabulka s časy jednotlivých erupcí (47)



Obrázek 10: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)

V grafu průměrné hodnoty NACp na obrázku 10 můžeme vidět nejnižší hodnoty v časech kolem 08:00 UTC a kolem 20:25 UTC, kdy opět žádnou významnou sluneční aktivitu satelity nezaznamenaly. A v pro nás zajímavý čas 16:06 UTC se hodnoty NACp zdají být nadprůměrné.

K následujícímu grafu na obrázku číslo 11 jsem z dat použil pouze letadla, která neměla konstantní hodnotu parametru NACp po celou dobu jejich pozorování a u těchto letadel jsem na časové ose vyznačil kdy u nich došlo ke změně parametru NACp směrem dolů, přičemž v plus minus deseti sekundovém okně došlo k poklesu u alespoň jednoho dalšího letadla. Tento graf vyobrazuje pouze úsek od 14:40 do 18:00 a zobrazuje přibližně 30 letadel, přičemž v každém pěti minutovém úseku jsme viděli přibližně 60 letadel.

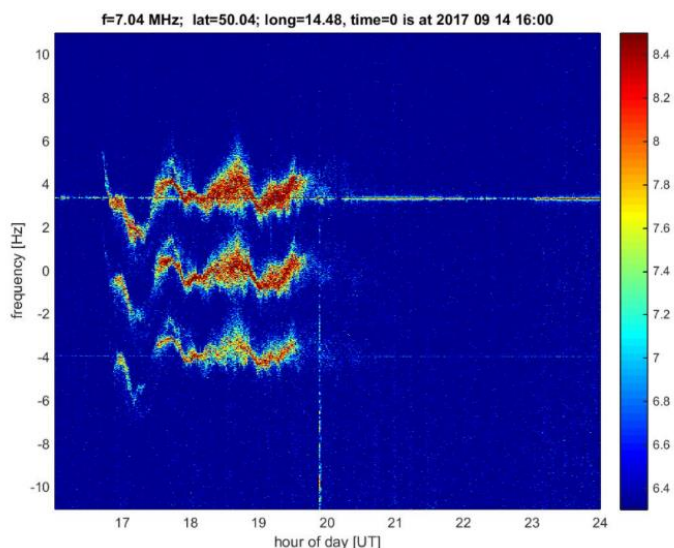


Obrázek 11: Graf znázorňující poklesy v parametru NACp u konkrétních letadel (autor)

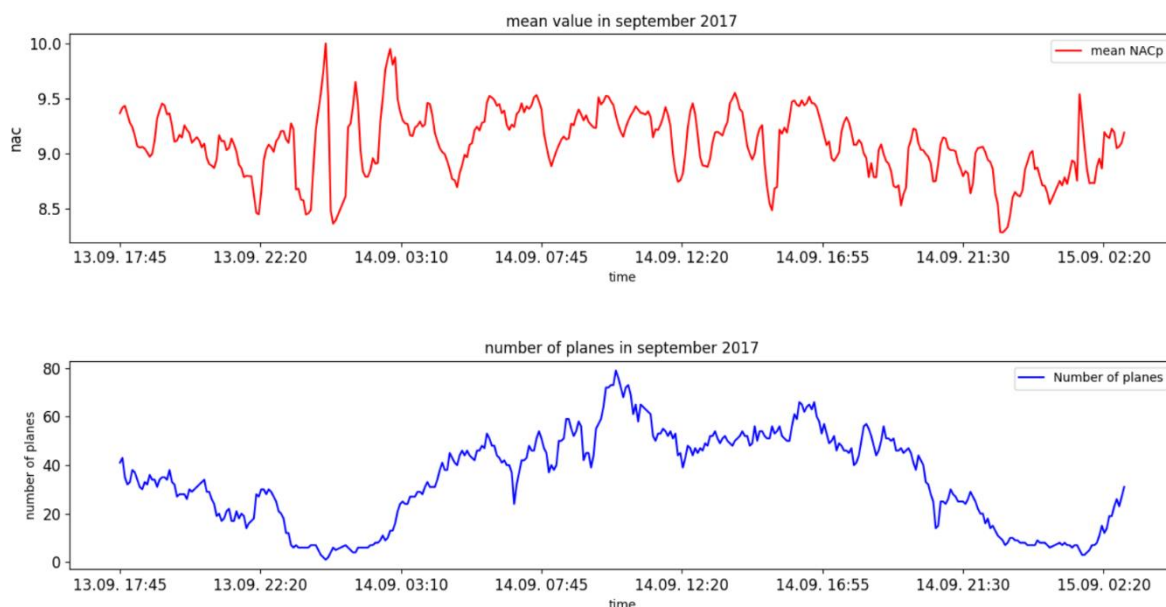
Z grafu lze usuzovat, že takovéto poklesy u většího počtu letadel se neobjevují zcela náhodně ale dalo by se říct, že jsou soustředěné v krátkých časových úsecích. Zaměříme se na úsek od 15:29 do 16:00 který by odpovídal začátku erupce v 15:36 a maximum v 16:06. V tomto úseku postupně dochází k poklesům u přibližně 20 letadel, přičemž v každém pěti minutovém úseku vidíme kolem 60 letadel viz předchozí graf. Nicméně tyto poklesy u individuálních letadel jsou krátkodobé a na průměrné hodnotě se neprojevují. V každém pětiminutovém úseku máme od každého letadla teoreticky až 600 zpráv tudíž pokles na několik málo sekund o jednu max 2 hodnoty je obtížné pozorovat na průměrné hodnotě všech letadel dohromady. Pokud zároveň letadla v normálních podmínkách vysílají konstantně hodnoty 8 až 11, pak se zdá hlavním hnacím faktorem pro oscilaci průměrné hodnoty momentální složení letadel v datech nebo to od kterého letadla jsme schopni dekodovat více zpráv.

4.1.3 14.09.2017

Přestože tento den se nezdá být významný z hlediska dat ze satelitů GOES. Upoutal naši pozornost v datech z Dopplerových měření ionosférických poruch prováděných v Praze na frekvenci 7,04 MHz. Je zde patrná neobvykle silná porucha v ionosféře v čase od 17:00 UTC do 20:00 UTC, která vyčnívá svou intenzitou v tomto období. Viz obrázek číslo 12.

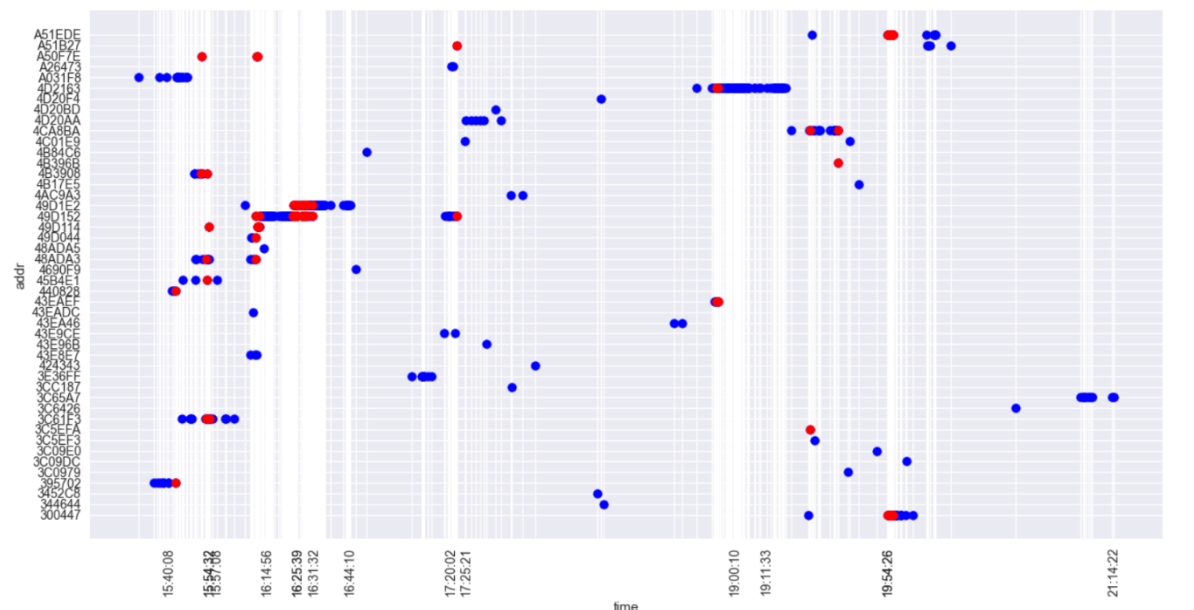


Obrázek 12: Graf znázorňující měření fluktuací v ionosféře pomocí Dopplerova posunu radiových vln (49)



Obrázek 13: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)

Po porovnání s grafem průměrné hodnoty NACp je patrné, že v tomto čase započal večerní pokles NACP až k minimálním hodnotám kolem půlnoci tohoto dne. Nicméně pokles je postupný a pozvolný a zdá se, že se opakuje pravidelně tudíž se nezdá, že by koreloval s událostmi patrnými z Dopplerovského měření.



Obrázek 14: Graf znázorňující poklesy u jednotlivých letadel (autor)

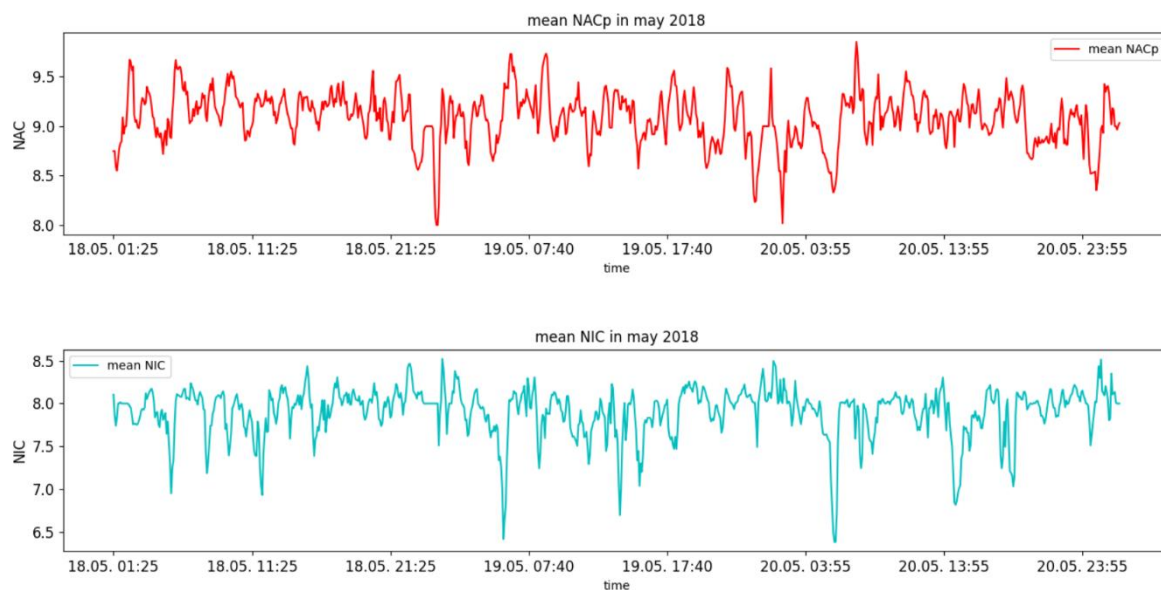
Graf výše zobrazuje jednotlivé poklesy v parametru NACp u letadel modře a poklesy, které nastaly u více letadel v +/-10 sec stejném okamžiku červeně. Icao adresa letadla je na ose Y a čas v UTC je na ose X.

Ani při přezkoumání poklesů parametru NACp u jednotlivých letadel viz graf výše, se nejvíce patrná závislost. Lze pozorovat větší počet poklesů v přibližně podobném čase pouze v časech kolem 16:00 UTC a 16:15 UTC nicméně tyto časy nekorelují s pro nás zajímavou oblastí 17:00 až 21:00

4.2 Porovnání dlouhodobého chování NACp s NIC na úseku bez pozorovaného kosmického počasí

Na následujících grafech je porovnáván vývoj průměrných hodnot parametru NACp a NIC. Na parametru NACp jsou opět patrná minima v nočních hodinách blízká se hodnotě 8 přičemž v průběhu denních hodin lze pozorovat oscilaci kolem hodnoty 9.

Graf znázorňující vývoj parametru NIC zobrazuje také noční minima, avšak zdají se by-ti mírně opožděná oproti minimum z grafu parametru NACp. A denní hodnoty parametru NIC oscilují s větším rozptylem.



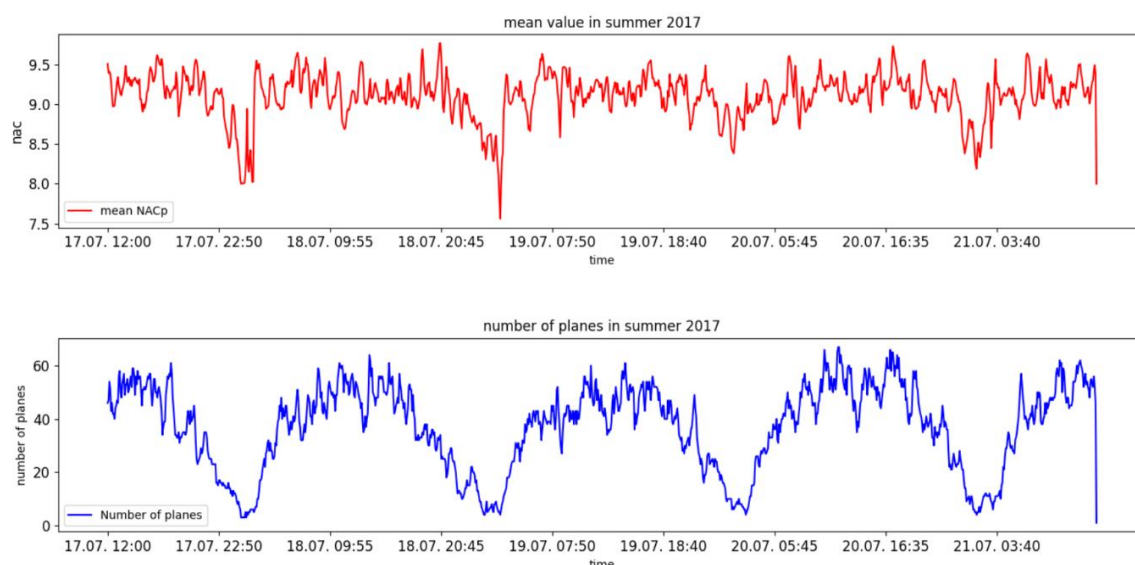
Obrázek 15: Grafy s průměrnými hodnotami NACp a NIC (autor)

Potvrzuje se zde předpoklad závislosti těchto dvou parametrů a kvůli pravděpodobně rychlejší reakci na snížení přesnosti parametru NACp se budeme dále zabývat pouze parametrem NACp.

4.3 Vyhodnocení dat z úseků bez pozorovaného kosmického počasí

K vyhodnocení jsem si zvolil tři úseky obsahující několik po sobě jdoucích dnů v odlišném ročním období a v odlišném roce. Prvním úsekem je 4-7. prosinec 2019, druhým 17-21. červenec 2017 a třetím od 17 do 20. května 2018. Tyto úseky jsem si zvolil tak aby byly z pohledu solárních eventů nevýznamné a aby se lišily délkou dne, abychom případně mohli hledat rozdílné oscilování den/noc. A aby se případně mohly projevit anomálie s delší časovou působností či působením jen ve specifickém ročním období.

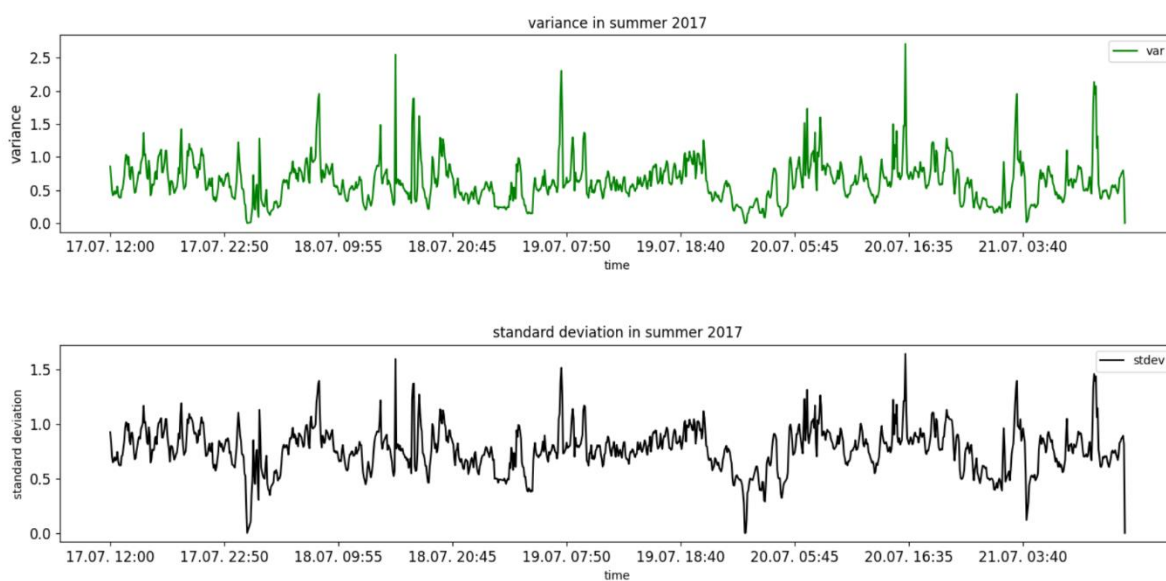
4.3.1 Letní období



Obrázek 16: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)

Na grafu s průměrnou hodnotou NACp lze pozorovat opakující se pokles kolem půlnoci s různou intenzitou. Nejsilnější v čase 01:00 19. července 2017. Avšak nesmíme přehlédnout, že počet viditelných letadel se v této době blíží nižším jednotkám viz modrý graf na obrázku 16.

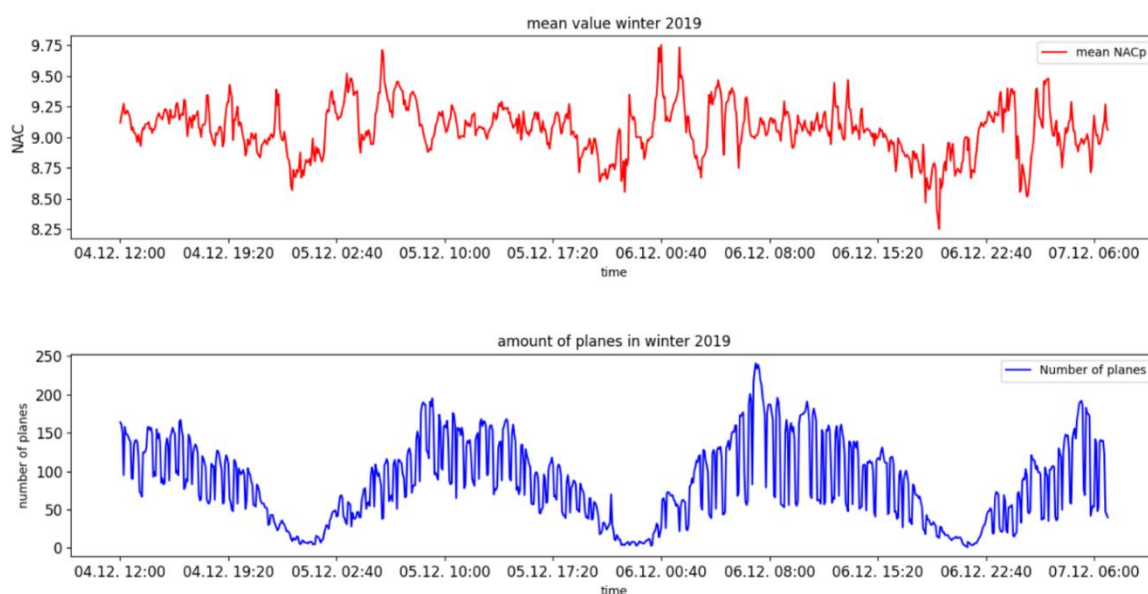
Následující grafy vyobrazují směrodatnou odchylku parametru NACp černě, rozptyl parametru NACp zeleně. V grafu se směrodatnou odchylkou lze pozorovat poklesy k nulovým hodnotám v nočních hodinách. Tyto poklesy se zřejmě odehrávají ve stejnou dobu jako minima v průměrné hodnotě NACp. Avšak s výjimkou největšího poklesu průměrné hodnoty NACp z 01:00 19. července, kdy směrodatná odchylka nedosahuje význačného minima oproti předchozím a následujícím dnům.



Obrázek 17: Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor)

Zdá se tedy že se v létě formuje pouze jedno minimum v průměrné hodnotě NACp ve večerních hodinách, začínající mezi 20-23 UTC s maximem kolem 01-03 UTC a poté obvykle strmý nárůst zpět k průměrným hodnotám. Toto chování by mohlo odpovídat scintilaci, avšak z druhého grafu lze usoudit, že v době nočního minima obvykle dochází také k téměř nulové směrodatné odchylce. Což by mohlo značit výskyt pouze letadel s konstantně nízkým NACp. Tuto myšlenku budeme rozvíjet níže.

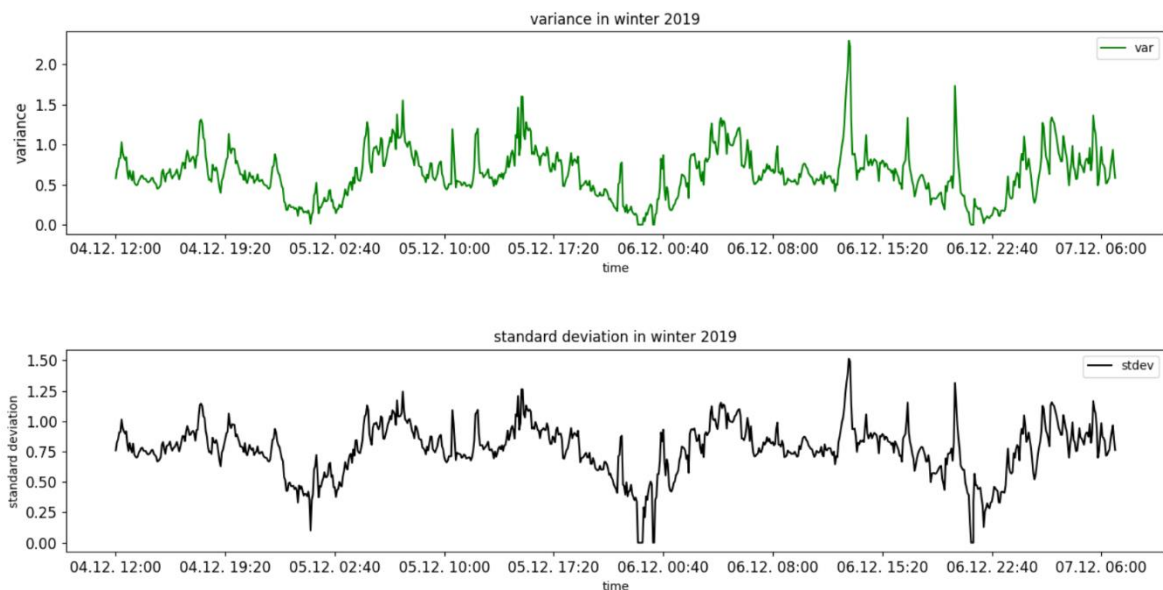
4.3.2 Zimní období



Obrázek 18: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)

Červený na graf na obrázku 18 zobrazuje průměrnou hodnotu parametru NACp spočítanou v 5 min úseku. Data byla očištěna o data z letadel s na první pohled chybnou indikací (nulová hodnota NAC po dlouhou dobu nebo více než 50 % času co jsme přijímali data z letadla) Na modrém grafu je zobrazen celkový počet přijatých ADS-B zpráv ze všech letadel v 5 min úseku.

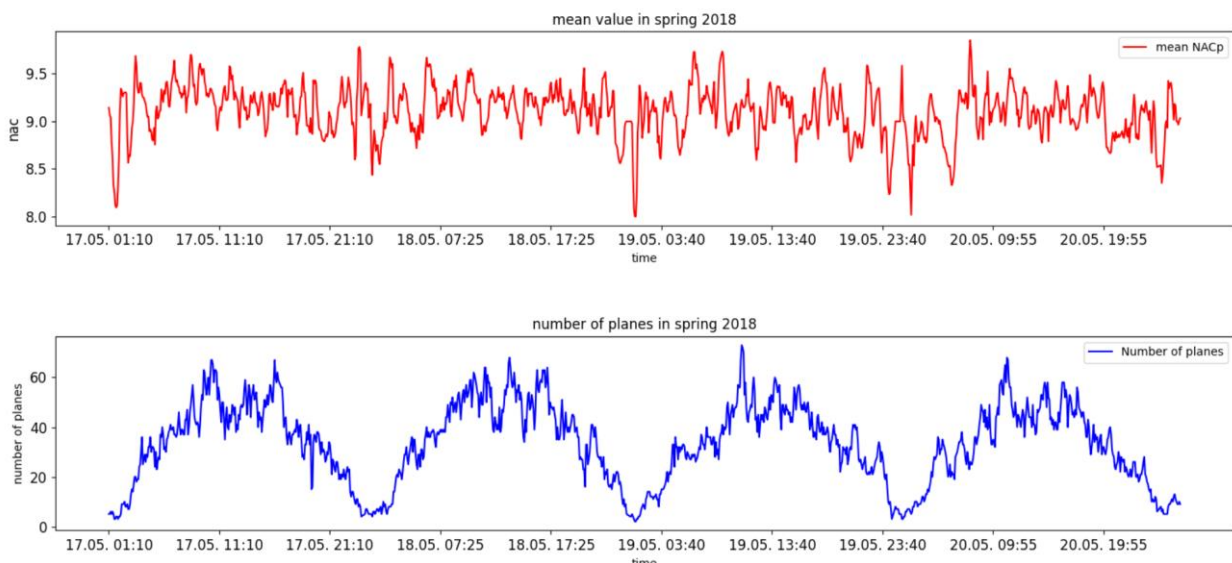
Na následujících grafech je rozptyl zeleně a střední odchylka černě.



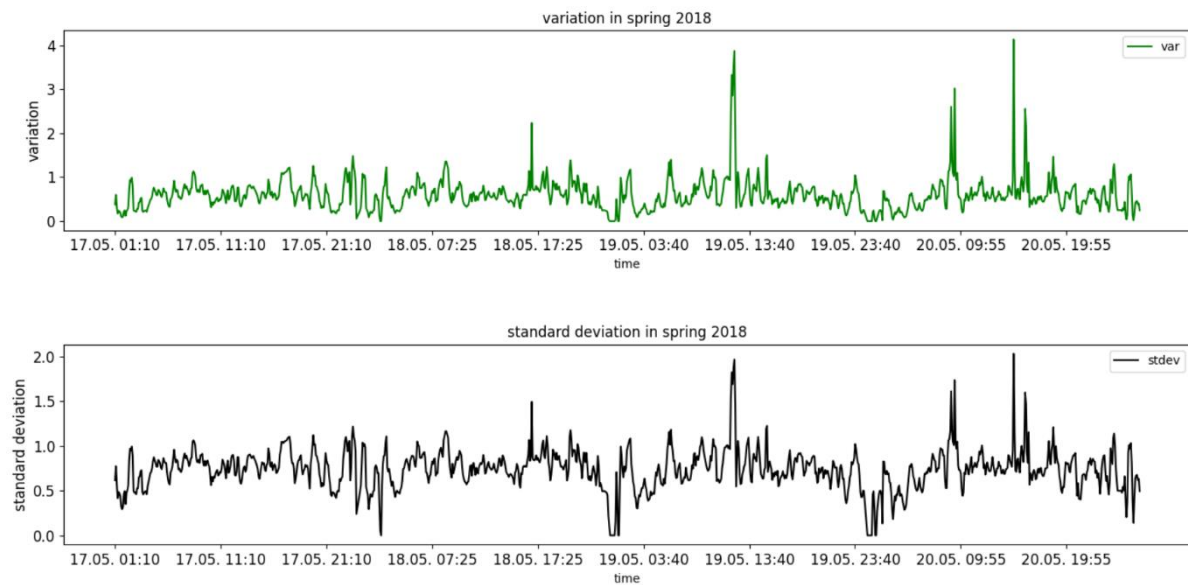
Obrázek 19: Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor)

Je zde patrné že počet zpráv osciluje s podobnou periodou jako parametr NACp ale u parametru NACp (červený graf) můžeme vidět večerní minimum o něco dříve a ranní minimum se vyskytuje již v oblasti kde je počet letadel standartní. Večerní minimum zde dosahuje minima mezi 00:00 až 01:00 UTC. Ranní minimum se vyskytuje mezi 6:00 a 7:00 UTC. V průběhu ranního minima lze zaznamenat, že se zvýšilo procentuální zastoupení letadel, u kterých poklesl NACp na rozdíl od večerního minima kde většinou mají letadla tuto hodnotu nulovou, a tedy všechny vysílají konstantní NACp. Oproti letnímu úseku lze vidět patrnější oscilaci jak v průměrné hodnotě NACp tak i v hodnotě směrodatné odchylky. Večerní minima se zdají souviset s oscilací počtu viditelných letadel, a i směrodatné odchylky.

4.3.3 Jarní období



Obrázek 20: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)

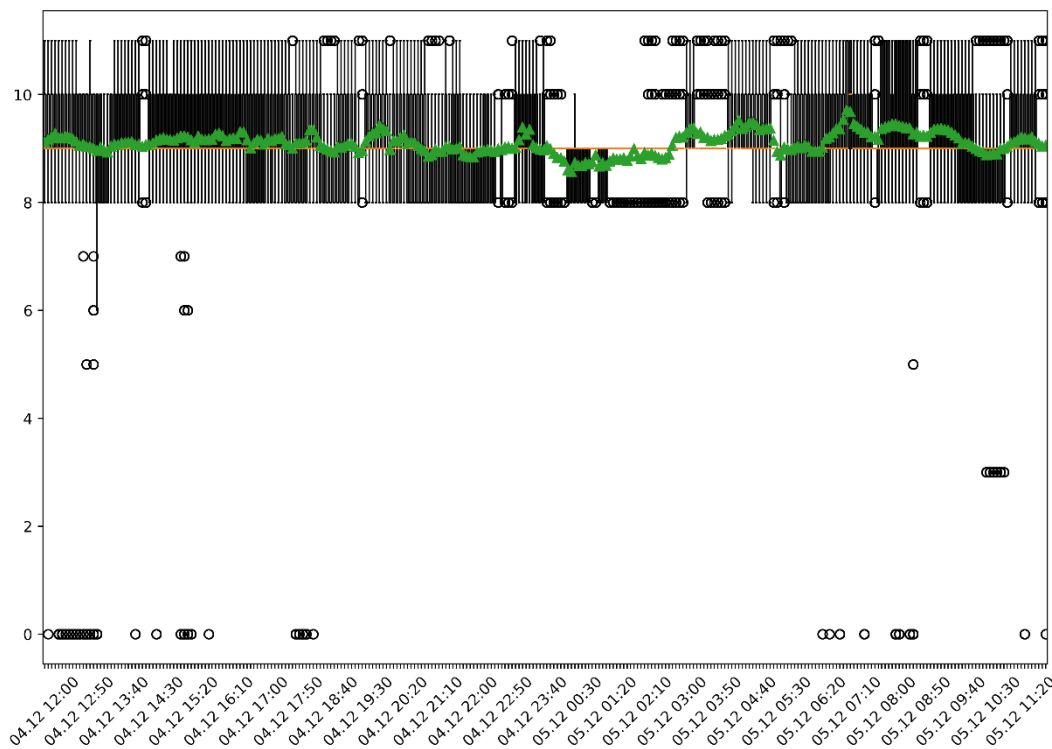


Obrázek 21: Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor)

Z výše uvedených grafů zobrazujících průměrnou hodnotu NACp, směrodatnou odchylku, rozptyl a počet letadel od kterých přijímáme zprávy na úseku od 17. do 20. května 2018, lze usuzovat opět periodické poklesy průměrné hodnoty NACp ve večerních až nočních hodinách. Tyto poklesy se odehrávají přibližně kolem 01:00 UTC s různou intenzitou. A zdají se být strmějšího charakteru než v zimním úseku. Není zde patrný postupný pokles v průběhu několika hodin. Grafy směrodatné odchylky a počtu letadel zobrazují oscilaci podobného charakteru.

5 Hledání možných příčin cykličnosti parametru NACp

5.1 Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v zimním období

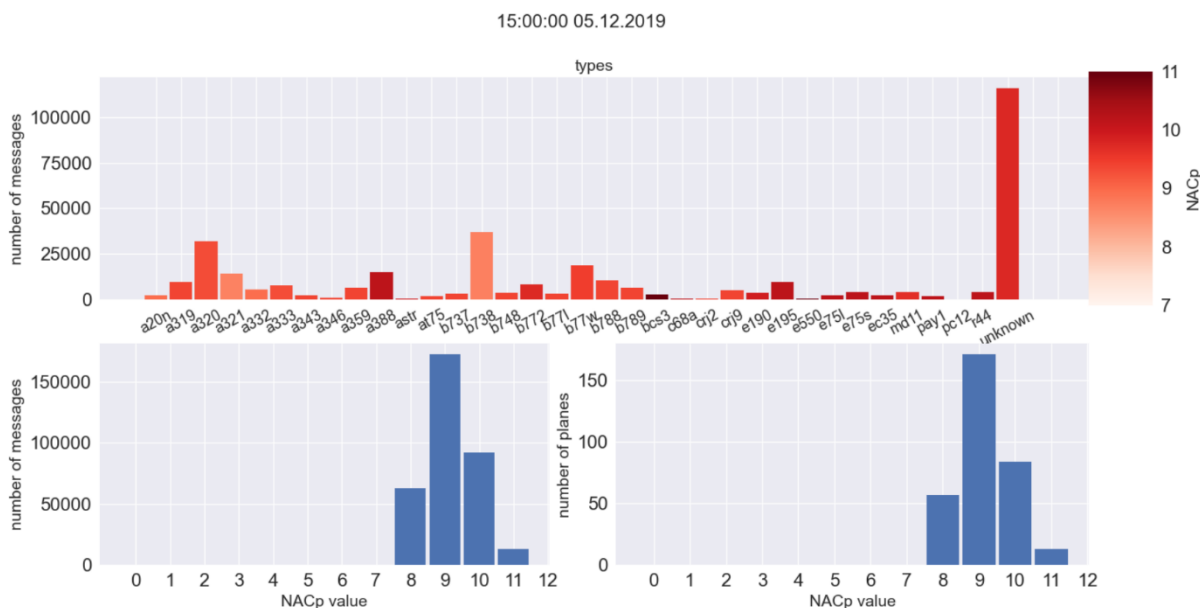


Obrázek 22: Krabicové grafy (autor)

Složení dat si rozebereme na tomto úseku od 4.12.2019 12:00 UTC do 5.12.2019 12:00 viz obrázek 22.

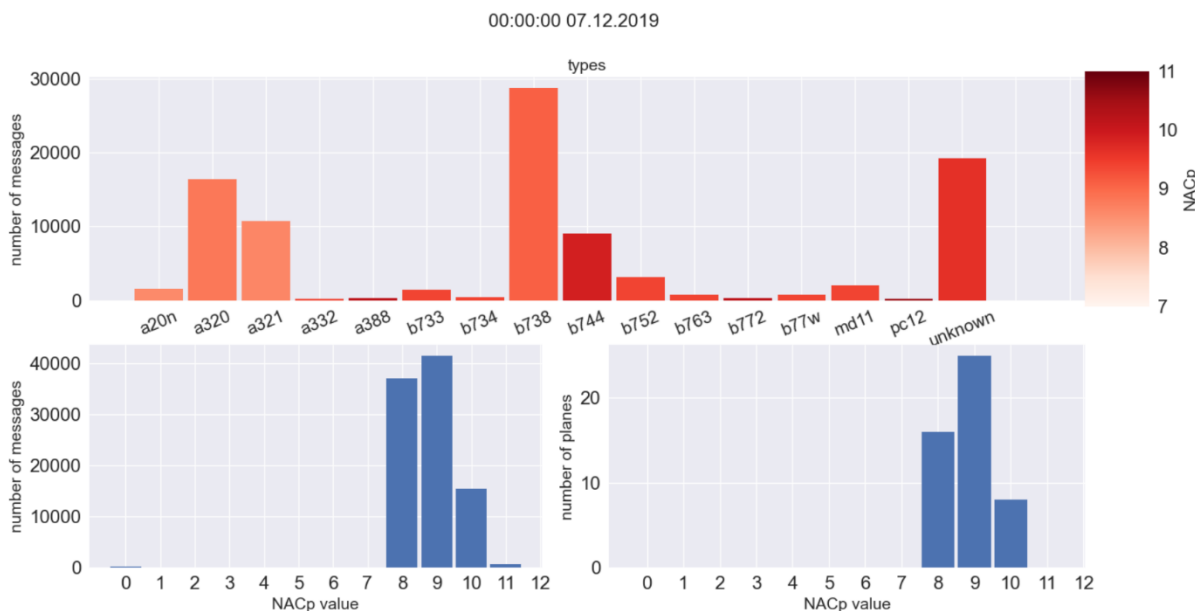
V nočních hodinách (střed grafu na obrázku 22), kde se vyskytuje minimální průměrná hodnota NACp (zeleně), lze pozorovat absenci vyšších, ale i nižších hodnot. Veškeré přijaté zprávy se omezují na hodnoty 8 a 9. Hodnoty 8 značně převyšují, a proto je zde podstatně nižší průměrná hodnota NACp oproti denním úsekům, které občas zaznamenávají i hodnoty nižší než 8 a i nulové viz odpolední hodnoty ze dne 4.12 kde je patrné, že minimum krabicového grafu zasahuje až k hodnotě 6 a není to jen outlier. Toto by mohlo značit absenci letadel vysílajících hodnoty vyšší než 9 v noci, čímž se budeme zabývat dále.

Pro rozbor složení letadel ve vybraných úsecích jsem si zvolil v průběhu dne hodinu, kdy byla hodnota NACp vyšší (15:00-16:00 UTC) a poté hodinu v noci kdy byla hodnota nižší (00:00-01:00 UTC). V těchto úsecích jsem pomocí databáze icao24 adres z <https://mode-s.org/api/> rozřadil letadla podle typu do skupin a spočítal průměrnou hodnotu jejich NACp v tomto úseku. Na základě průměrné hodnoty NACp jsem jim přiřadil odstín červené v grafu (tmavší vyšší hodnota, světlejší nižší). Zajímají nás letadla, která „stahují“ průměrnou hodnotu v noci dolů. Bohužel databáze není stoprocentní, a tak se vyskytuje velké procento letadel, která nejsme schopni přiřadit do skupin. Nicméně tato letadla mají obvykle tmavší barvu, tudíž jsou to ta, která zvyšují průměrnou hodnotu NACp.

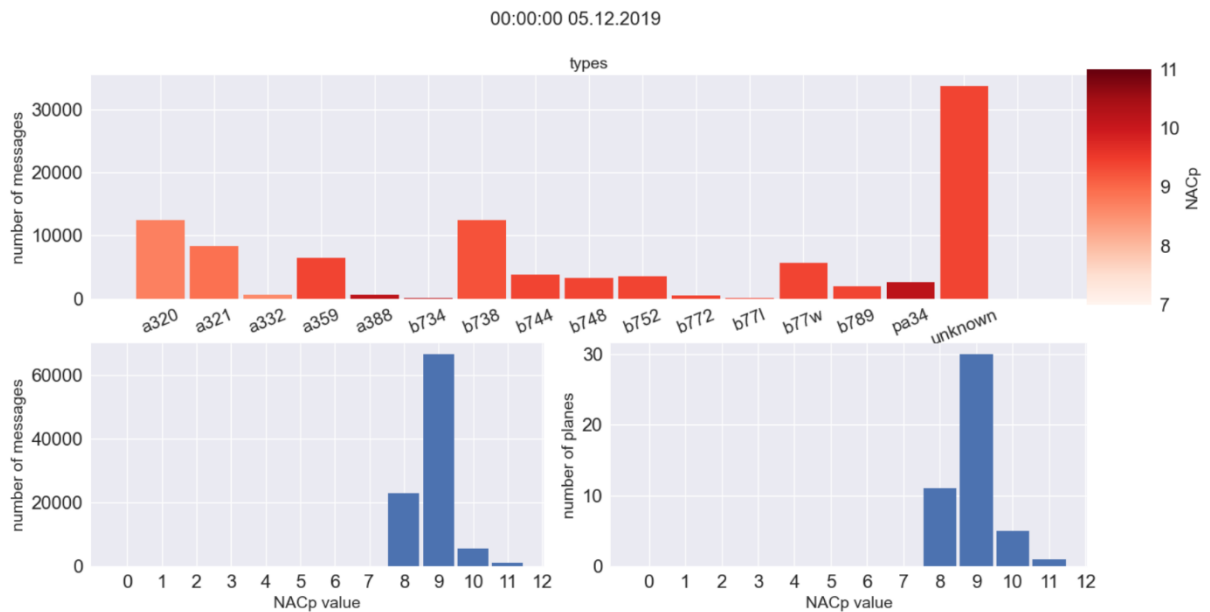


Obrázek 25: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v dne (autor)

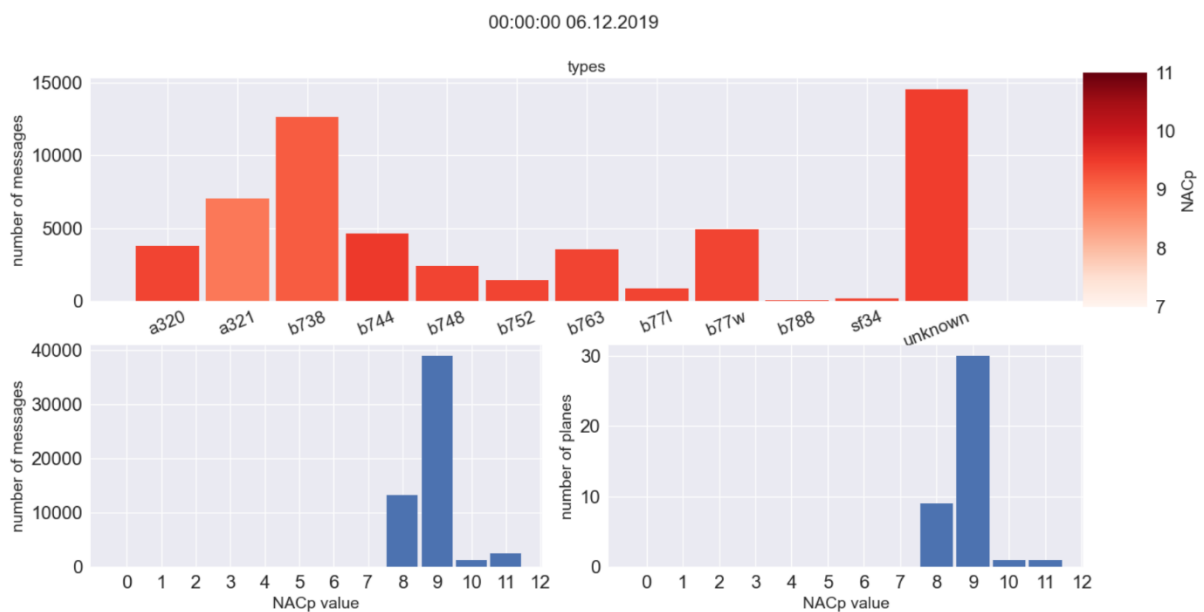
Na těchto histogramech znázorňujících vybrané hodiny v denní době na třech po sobě jdoucích dnech lze pozorovat, že se zde vyskytují skupiny letadel, které mají i v průběhu dne nižší (světlejší) hodnoty oproti ostatním skupinám a snižují tedy průměrnou hodnotu. Tyto skupiny letadel jsou např b738, a320 a a321.



Obrázek 26: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)



Obrázek 27: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)



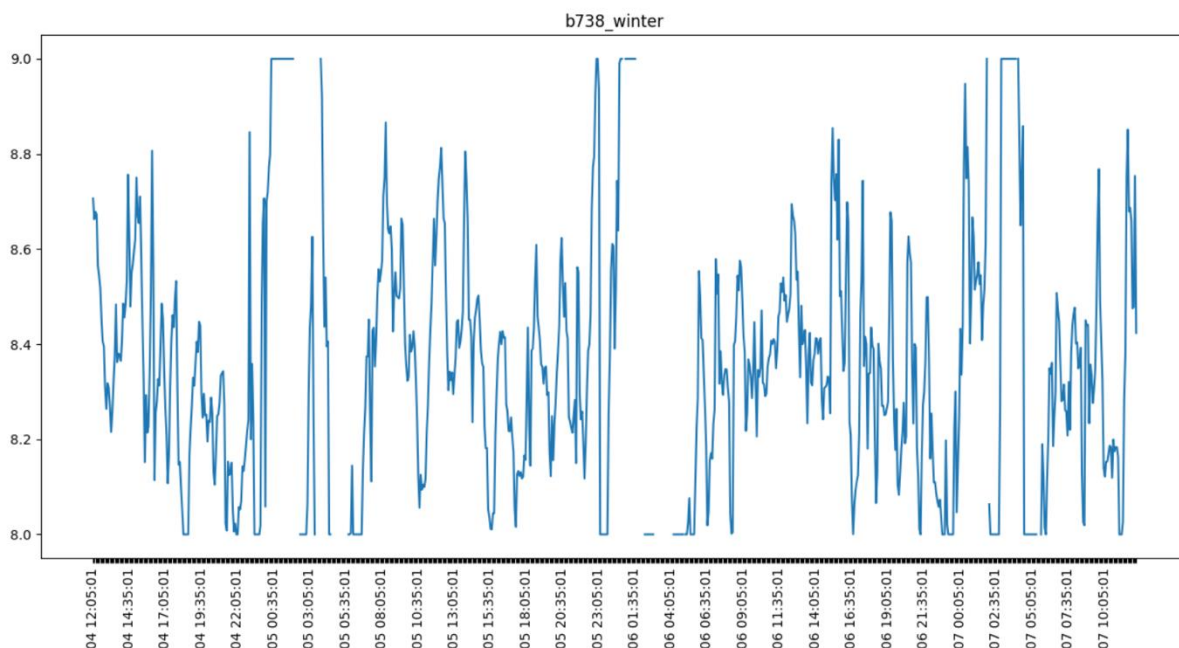
Obrázek 28: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)

Na histogramech vyobrazujících noční hodiny lze pozorovat snížení počtu skupin, a tedy zvýšení procentuálního zastoupení skupin letadel jako B738 v celkovém vzorku. A tedy zvýšení závislosti průměrné hodnoty NACp na těchto skupinách.

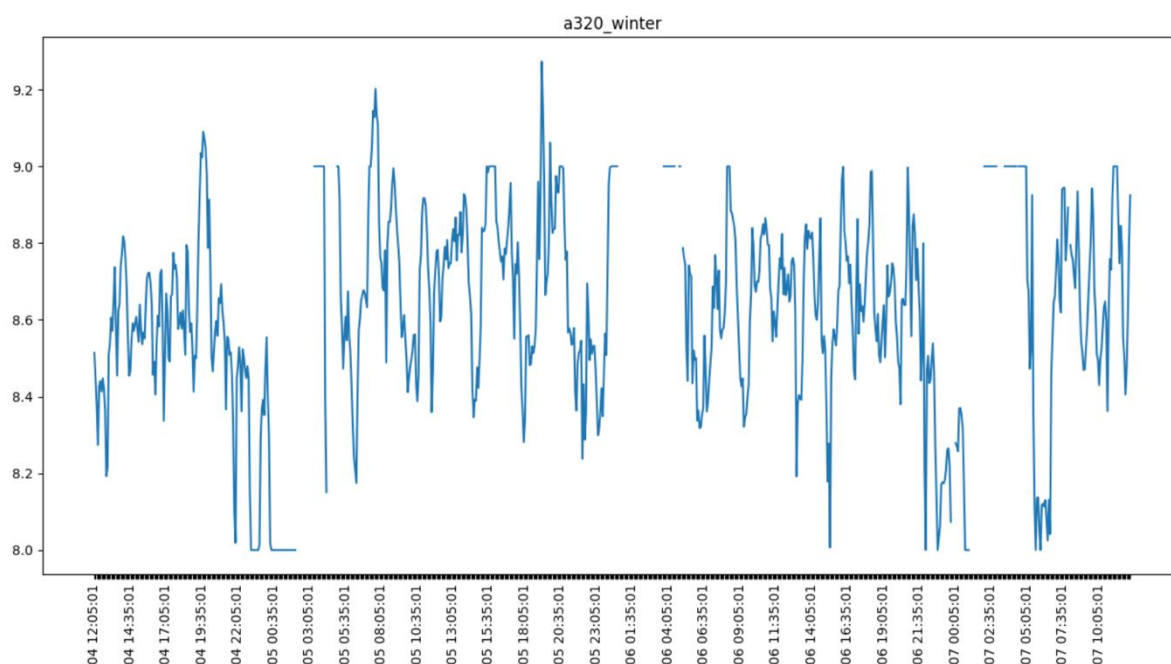
5.1.1 Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v zimním období

Na následujícím grafu můžeme vidět chování průměrné hodnoty NACp u skupiny letadel B738 a A320. U skupiny B738 je to celkem 404 letadel, přičemž pouze 17 nemělo stejnou konstantní

hodnotu NACp pokaždé když prolétaly měřenou oblastí za celé 3 dny. A 267 u skupiny A320 z čehož 32 nemělo konstantní hodnotu.



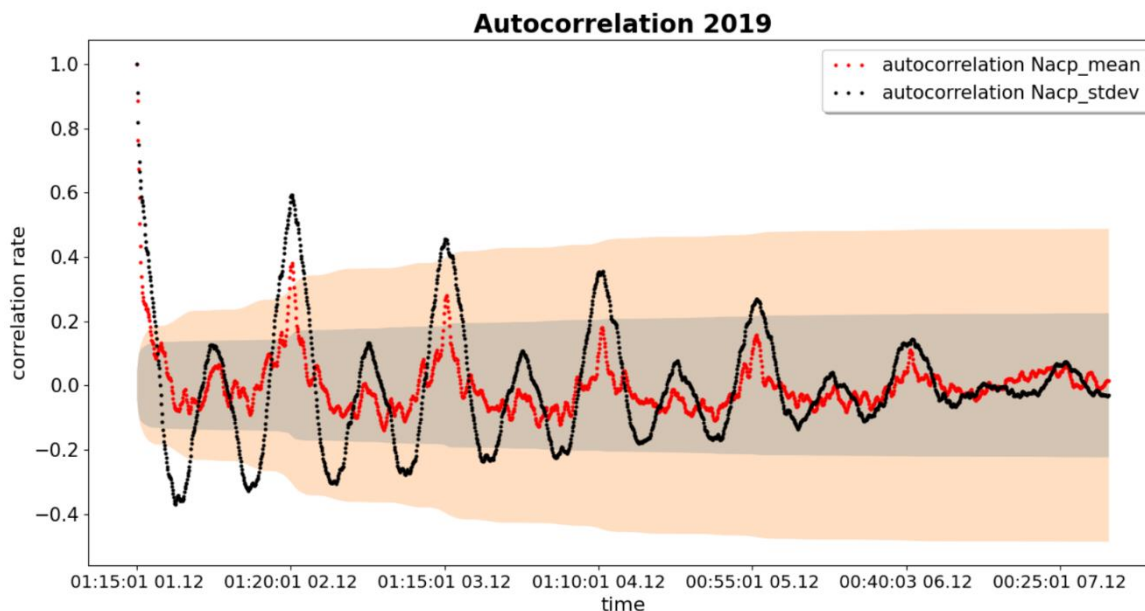
Obrázek 29: průměrná hodnota NACp skupiny B738 (autor)



Obrázek 30: průměrná hodnota NACp skupiny a320 (autor)

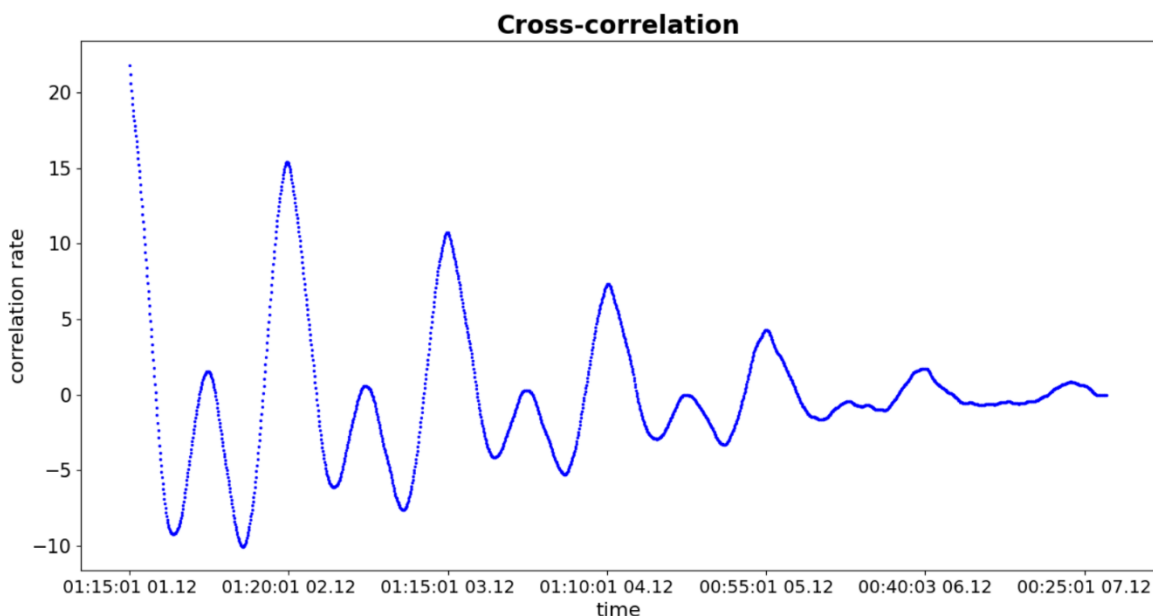
U skupiny letadel B738 se zdá že vývoj průměrné hodnoty parametru NACp nezávisí na čase stejně jako celého vzorku všech skupin a neobjevují se tam stejné večerní poklesy a zdálo by se tedy, že tento typ vysílá konstantně nízkou hodnotu pohybující se mezi 8 a 9 v závislosti na momentálně převyšující skladbě letadel vysílající dlouhodobě 8 nebo 9 čemuž by napovídalo

i to že pouze u 17 letadel jsme zaznamenali jinou než konstantní hodnotu po celé 3 dny. Přičemž i v průběhu nočního minima vidíme až 50 letadel. Avšak situace je jiná u skupiny A320, která obvykle má sice menší zastoupení v celkovém vzorku letadel, ale u průměrné hodnoty pouze této skupiny je zřetelně patrné minimum v časech 22-00:00 UTC 4.12 a 22 až 01:00 UTC 7.12 a kolem 06:00 7.12.2019. Která odpovídají minimům celého vzorku.



Obrázek 31: autokorelace (autor)

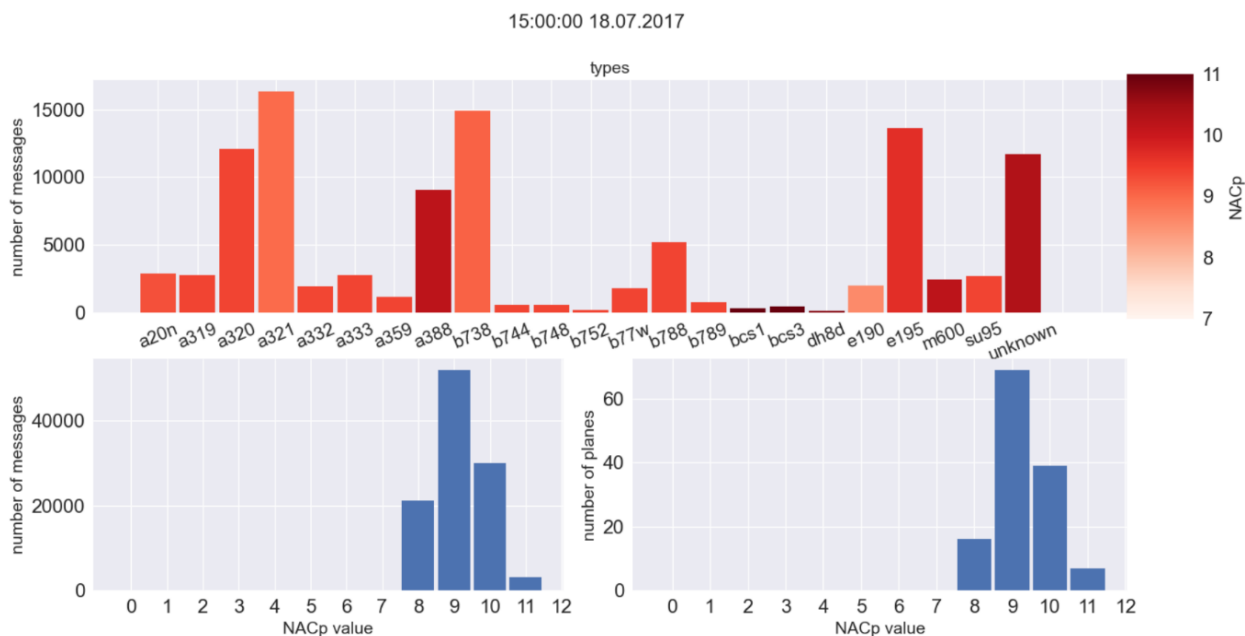
Z grafu autokorelace průměrné hodnoty NACp a směrodatné odchylky NACp z dat všech zaznamenaných letadel v časovém úseku od 1.12.2019 do 7.12.2019 lze pozorovat, že cykličnost těchto veličin se potvrdila a maxima průměrné hodnoty a střední odchylky také korelují, což si lze ověřit na grafu 32, který zobrazuje cross-correlaci těchto dvou funkcí. Což poukazuje na možnou závislost mezi složením objemu provozu a průměrnou hodnotou NACp.



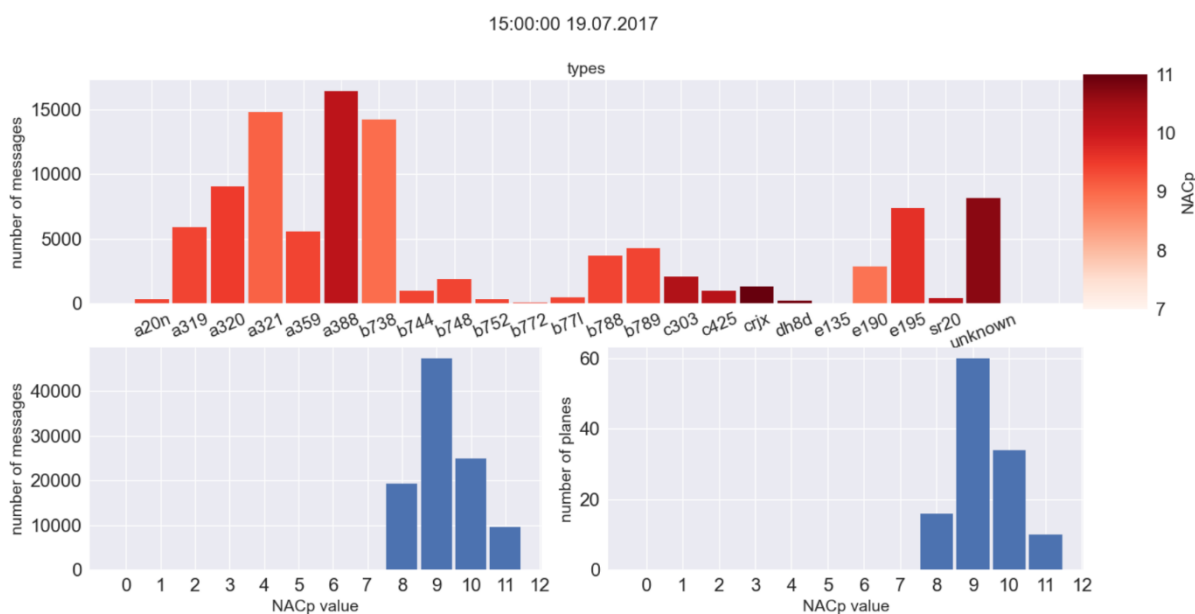
Obrázek 32: cross korelace dvou autokorelací (autor)

5.2 Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v letním období

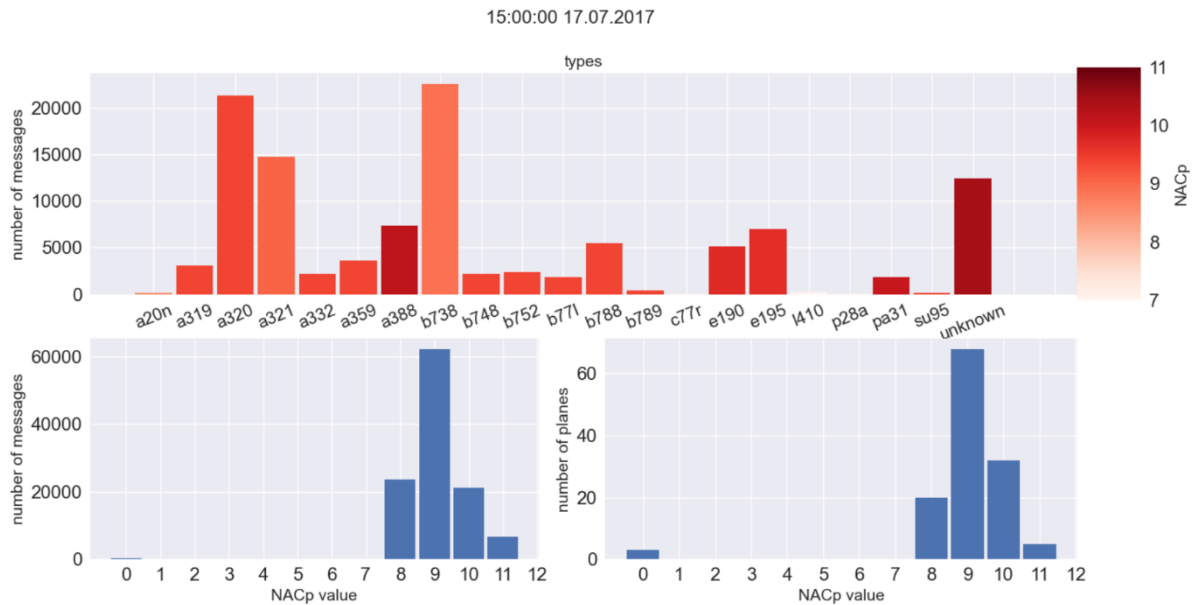
Při analýze skladby letadel na letním úseku roku 2017 je množství letadel, která v té době vysílala NACp menší, a tudíž i vzorek letadel je v porovnání se zimním úsekem menší. Avšak na rozdíl od předchozího úseku se v tomto úseku vyskytuje menší procento letadel, která by nebyla ve výše zmíněné databázi, a proto je méně letadel přesunuto do skupiny „unknown“.



Obrázek 33: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

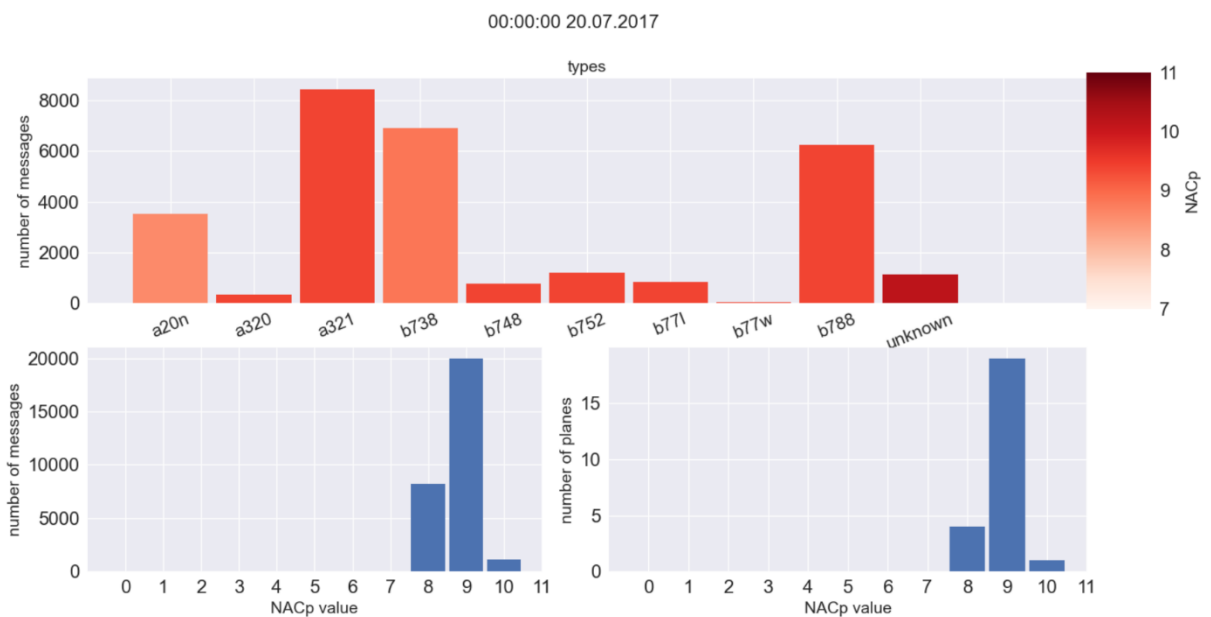


Obrázek 34: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

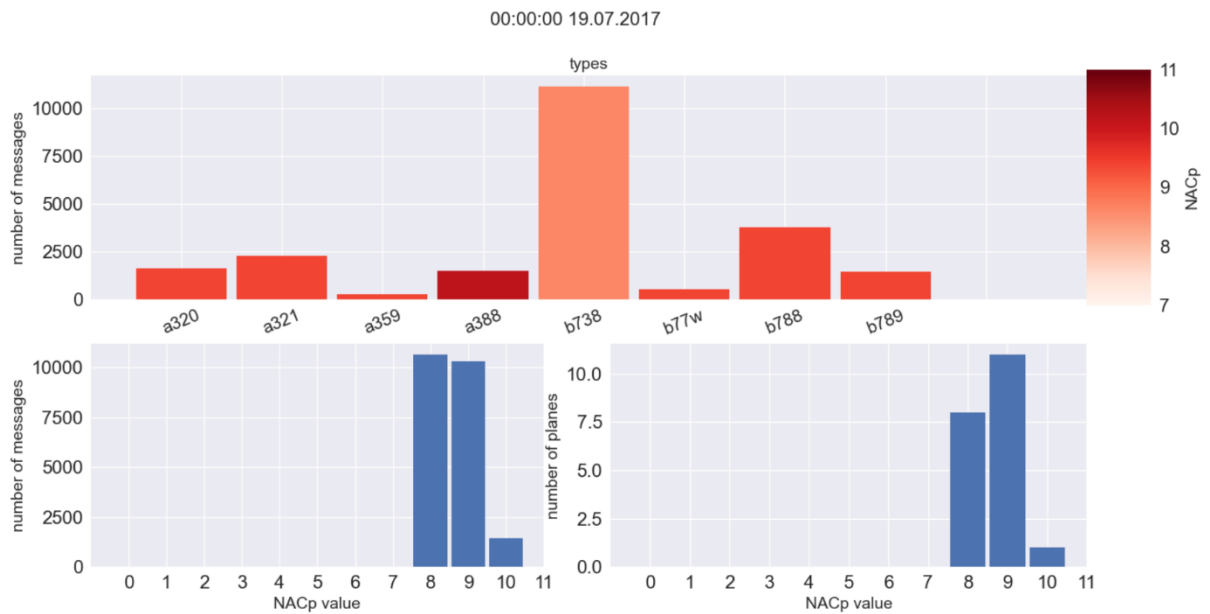


Obrázek 35: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

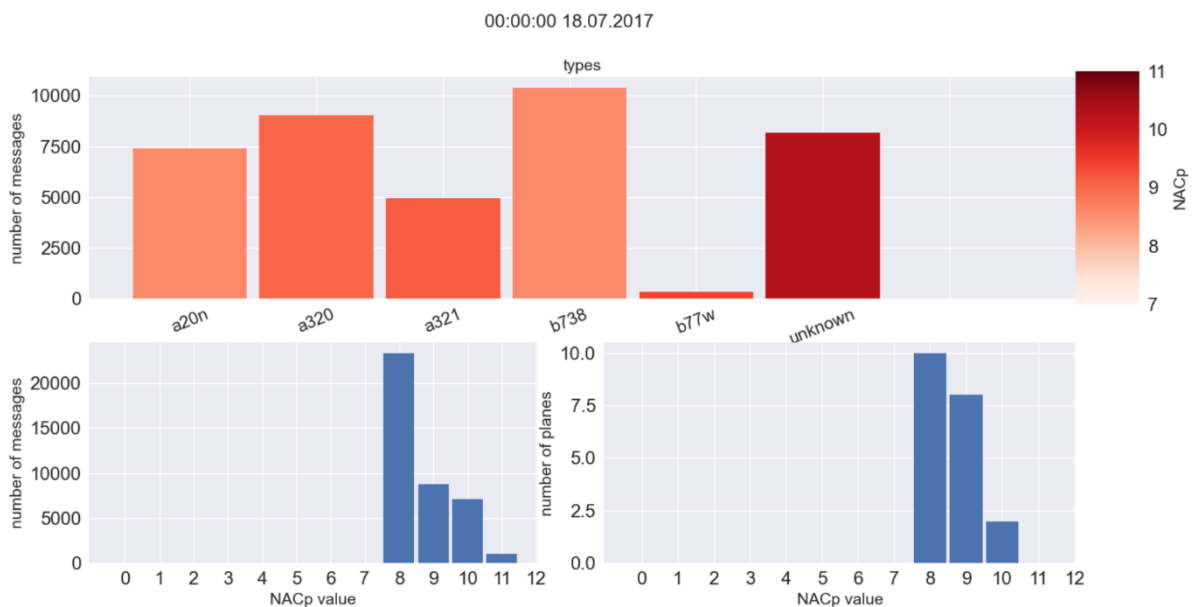
Z histogramů znázorňujících úsek 15:00-16:00 UTC ve třech po sobě jdoucích dnech s daty 17,18 a 19. července 2017 opět vyčnívají výrazné skupiny letadel typu B738, a320 a a321, které zastávají větší procento objemů provozu v daný moment a zároveň mají nižší průměrnou hodnotu NACp než ostatní skupiny.



Obrázek 36: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)



Obrázek 37: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)



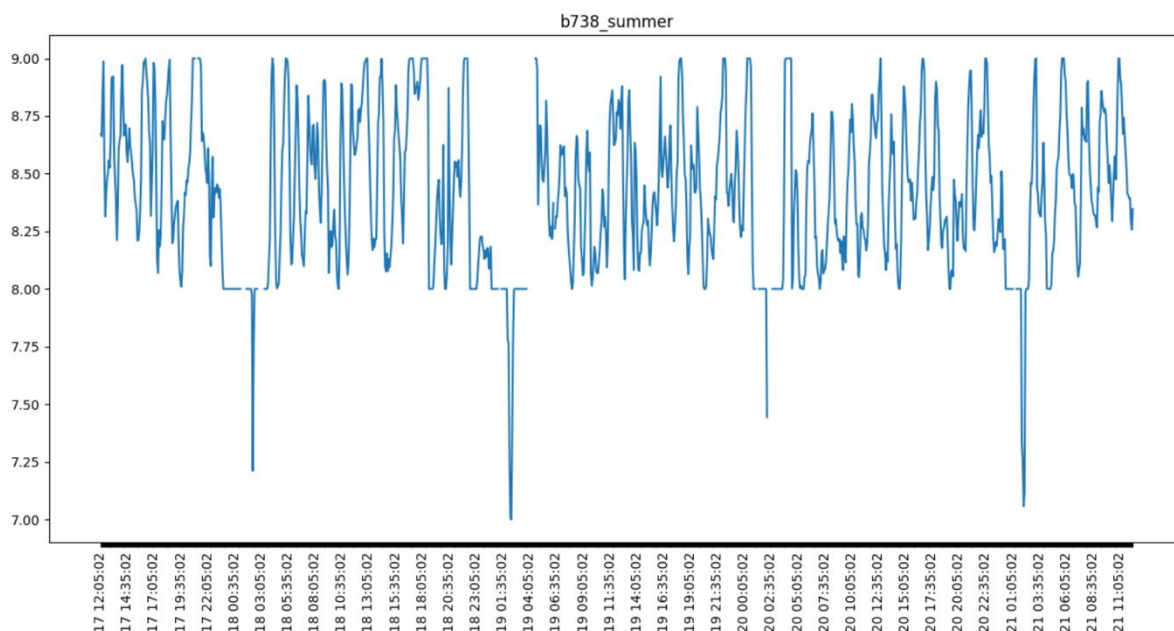
Obrázek 38: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)

Na nočním úseku opět vymizí skupiny letadel, které mají přes den vyšší průměrné hodnoty a skladbě objemu provozu opět dominují skupiny B738, a321 atd u kterých pozorujeme dlouhodobě nižší hodnoty. Vývojem průměrných hodnot u těchto skupin se budeme zabývat níže.

5.2.1 Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v letním období

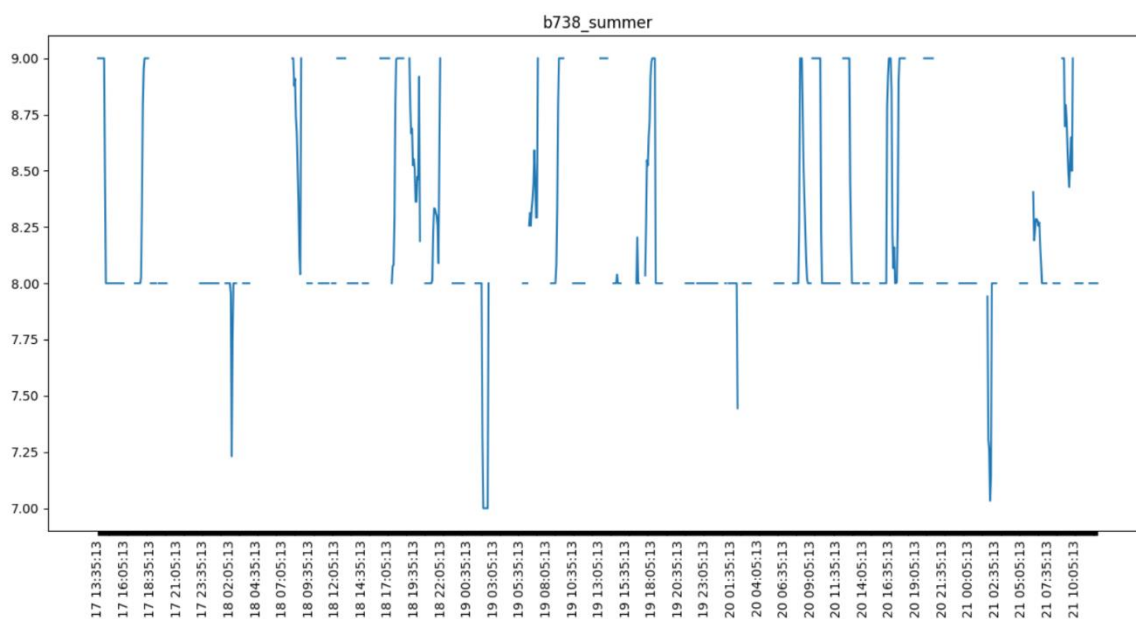
Nejprve rozebereme skupinu letadel B738. V této skupině jsme pozorovali 118 letadel v průběhu 3 dnů. Z těchto 118 pouze 8 nemělo konstantní hodnotu, přičemž těchto osm letadel

představovalo 21 % přijatých pozičních zpráv v průběhu sledovaného úseku což znamená, že jsme těchto 8 letadel viděli mnohem častěji než ostatní. Při bližším přezkoumání průběhu průměrné hodnoty NACp na časové ose můžeme pozorovat, že dochází v nočních hodinách k významným poklesům. Minima se objevují mezi 00:00 a 03:00 UTC.



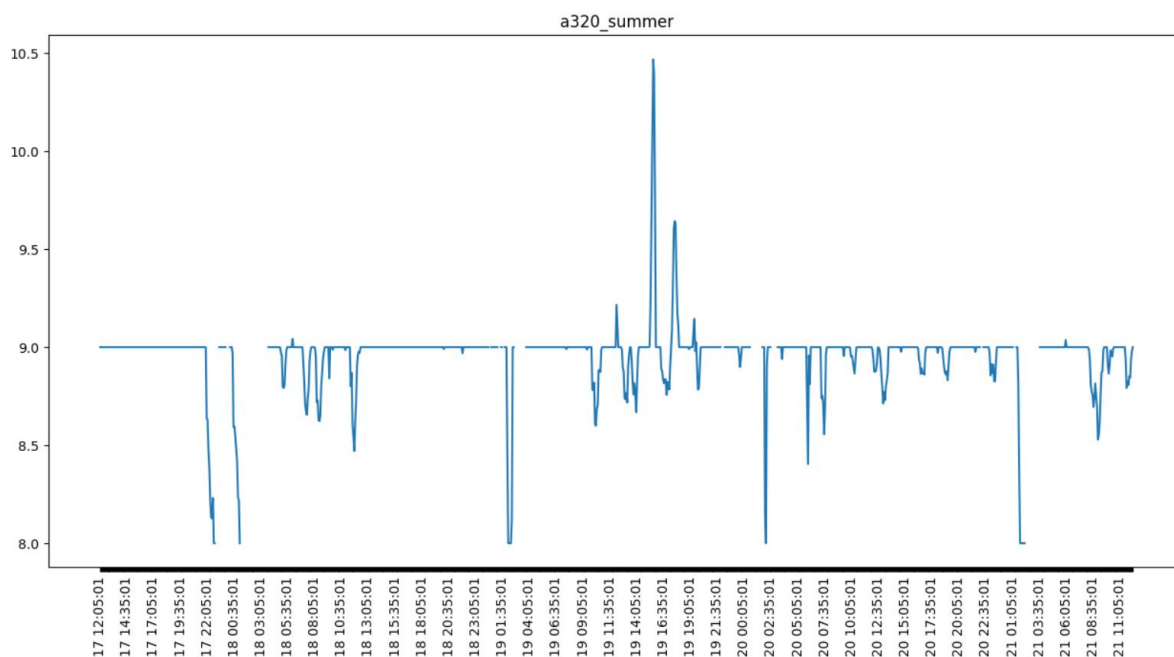
Obrázek 39: průměrná hodnota NACp skupiny letadel B738 (autor)

Na dalším grafu se podíváme na průběh průměrné hodnoty NACp pouze u výše zmíněných 8 letadel, kterým se na tomto časovém úseku NACp měnil. Zde je zřejmé že minima jsou způsobena právě těmito osmi letadly. Z histogramů výše víme, že kolem půlnoci, kdy vidíme minimální hodnoty přijímáme poziční zprávy od přibližně 20–30 letadel, tudíž by těchto několik letadel mohlo zastávat významné procento v objemu provozu v tento moment.



Obrázek 40: průměrná hodnota parametru NACp u letadel s nekonstantní hodnotou ze skupiny B738 (autor)

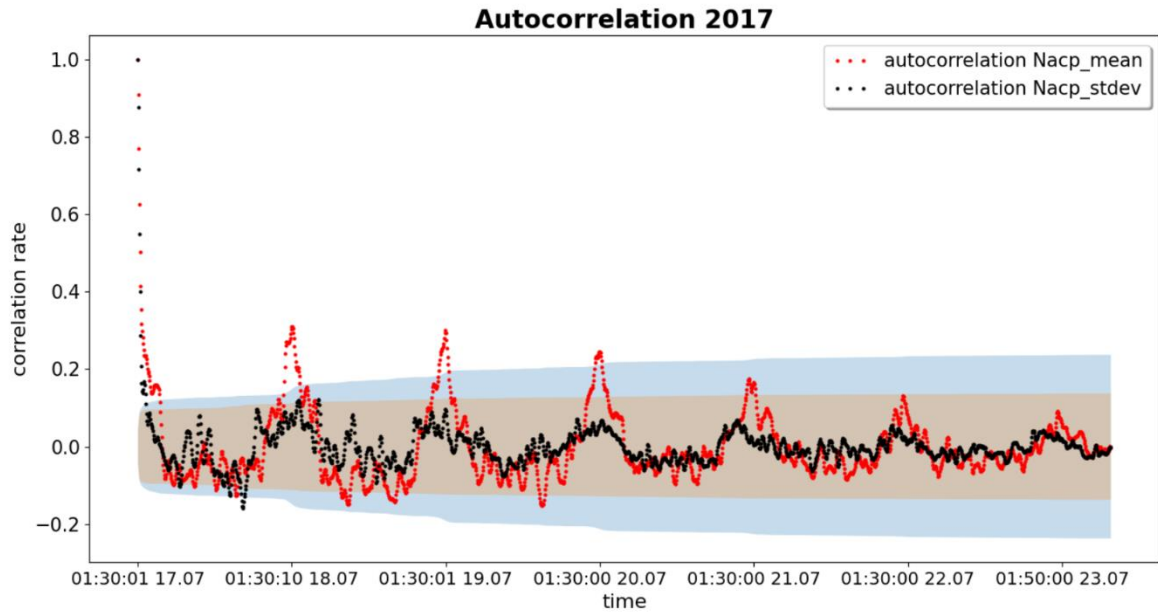
Další pro nás zajímavá skupina letadel je a320, jejíž průměrnou hodnotu NACp zobrazuje následující graf. V této skupině je 140 letadel ze kterých 22 vysílalo nekonstantní hodnotu v průběhu analyzovaného úseku. V časech 00:00 UTC až 03:00 UTC jsou zde opět patrná minima nicméně tentokrát tyto minima nejsou nižší než 8.



Obrázek 41: průměrná hodnota parametru NACP u skupiny letadel A320 (autor)

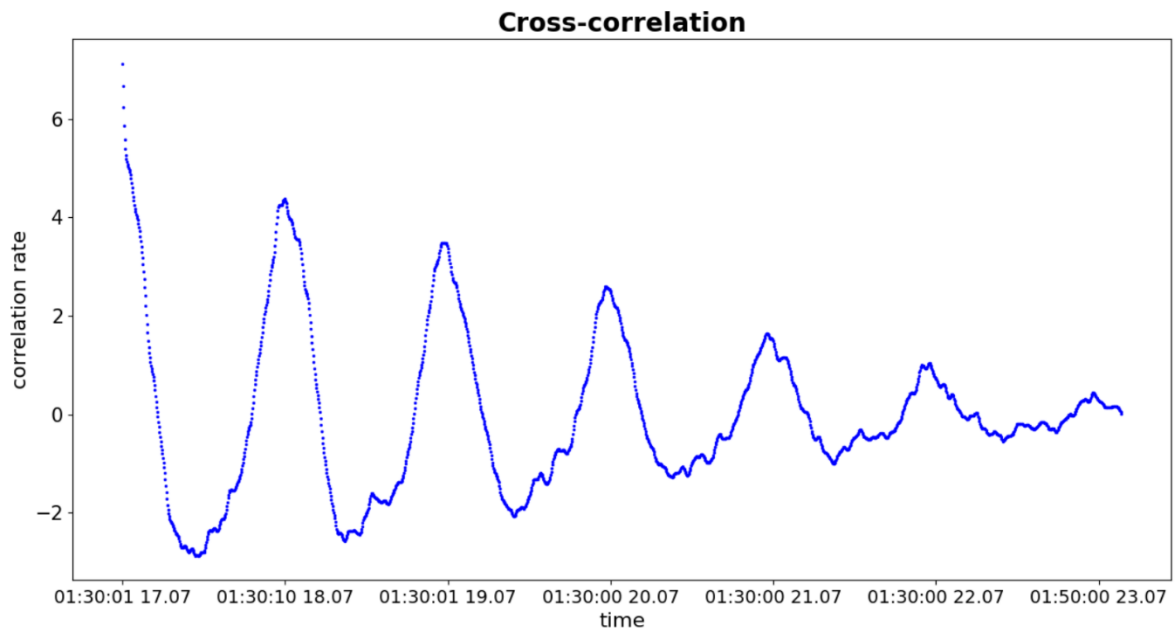
Z výše rozebraných grafů se zdá, že v letním období vývoj průměrné hodnoty parametru NACp u jednotlivých skupin závisí na čase, přestože je zřejmé, že v noci oproti denní době mizí skupiny letadel, které mají vyšší průměrné hodnoty a zůstávají ty které mají sice na první pohled stabilně nízké hodnoty, ale jak je zřejmé z posledních dvou grafů, dochází u nich v nočních časech k dalšímu snížení hodnot.

Dále se pokusíme potvrdit autokorelační závislost minim na směrodatné odchylce, což by naznačovalo závislost průměrné hodnoty na složení provozu v daný moment.



Obrázek 42: autokorelace (autor)

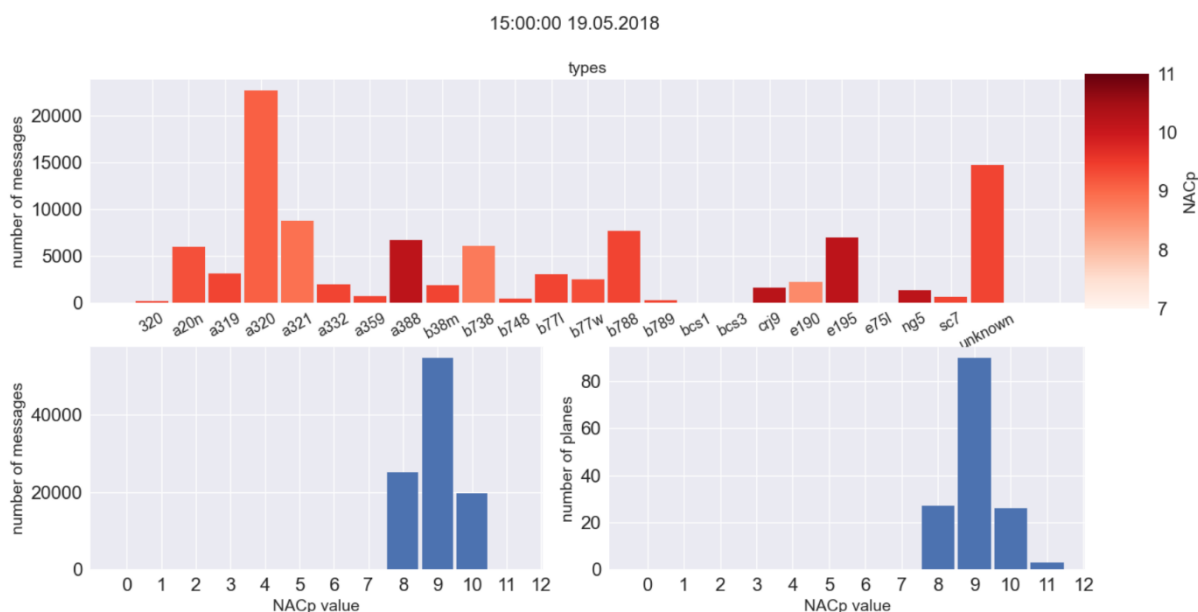
Po přezkoumání grafu autokorelací průměrné hodnoty NACp a směrodatné odchyly NACp lze pozorovat slabší korelaci směrodatné odchyly než u zimního úseku, avšak stále významnou korelaci průměrné hodnoty. Vrcholy si zde však neodpovídají s takovou přesností jako u předchozího úseku. Závislost bychom stále mohli usuzovat z podobného chování funkcí, pokud roste korelace směrodatné odchyly roste i korelace průměrné hodnoty. Nicméně s rozdílnou intenzitou a opožděně což po zkušenosti s přechodným úsekem se nezdá tak významné. I když stále nezanedbatelné, jak je patrné z grafu cross-korelace na obrázku 43.



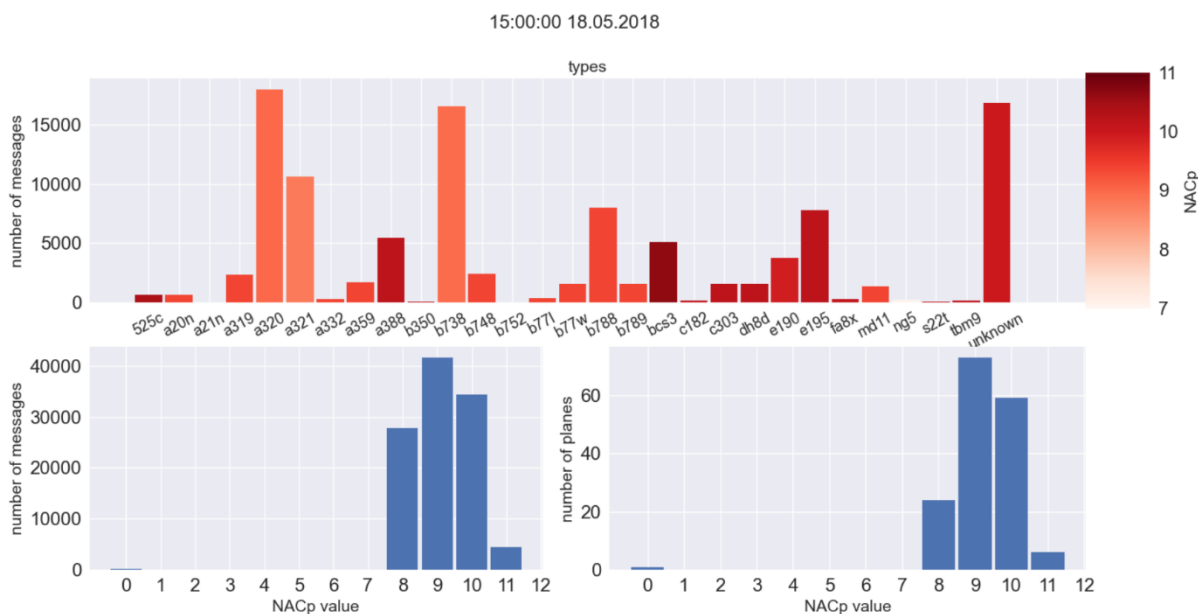
Obrázek 43: cross korelace dvou autokorelací (autor)

5.3 Analýza rozdílu struktury objemu provozu ve dne a v noci v jarním období

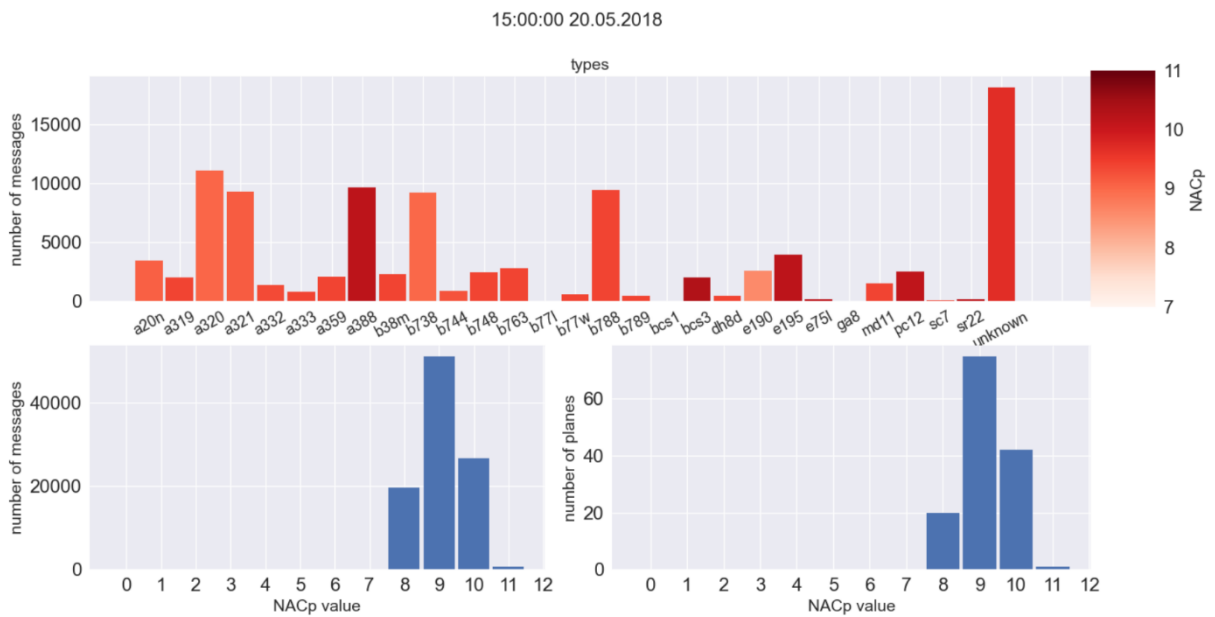
Dále bude rozebráno složení objemu provozu ve dne na jarním úseku. Byly zvoleny 3 úseky 15:00 až 16:00 UTC ve třech po sobě jdoucích dnech 18,19 a 20. května 2018. Na níže uvedených grafech zobrazujících tyto úseky lze pozorovat několik skupin letadel jako a320 a a321, které zastávají větší procento objemu v daném úseku a mají výrazně podprůměrné hodnoty NACp napříč zkoumanými úseky. Dále zde však jsou skupiny letadel jako a388 a e195, které vysílají nadprůměrnou hodnotu zvyšují celkovou průměrnou hodnotu.



Obrázek 44: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

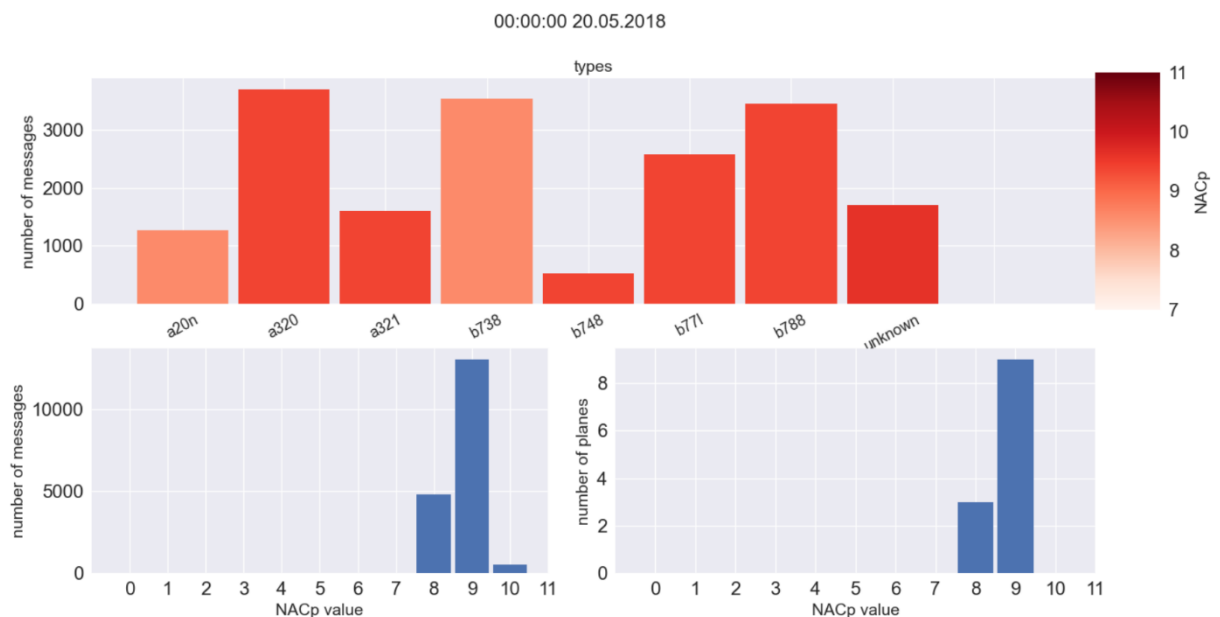


Obrázek 45: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

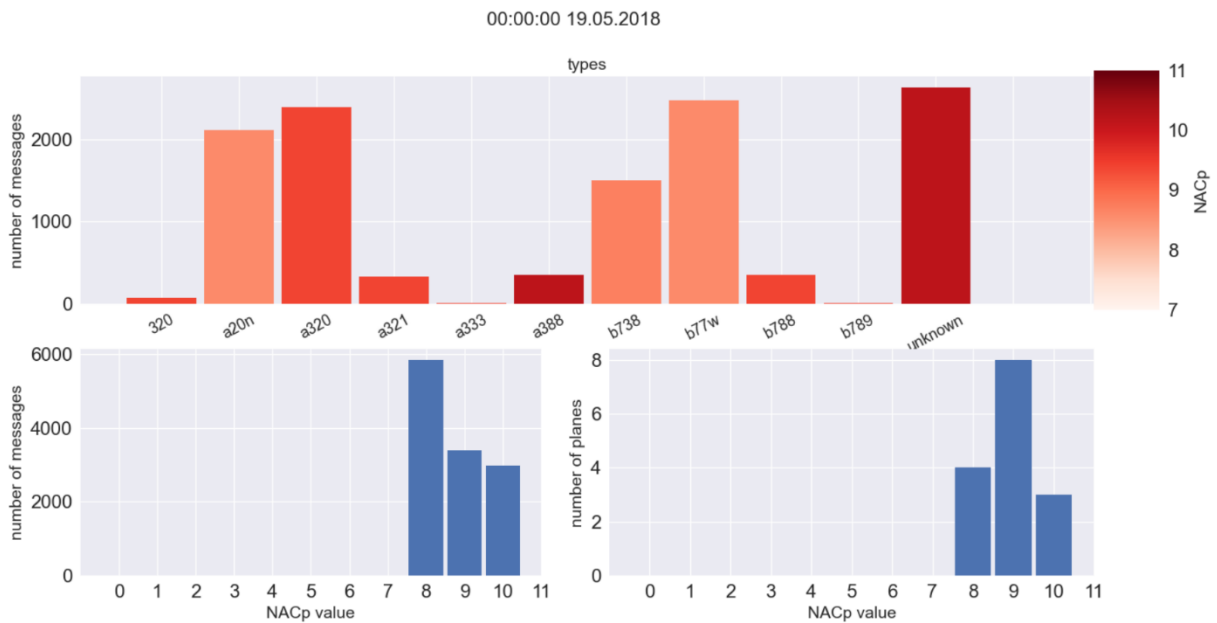


Obrázek 46: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)

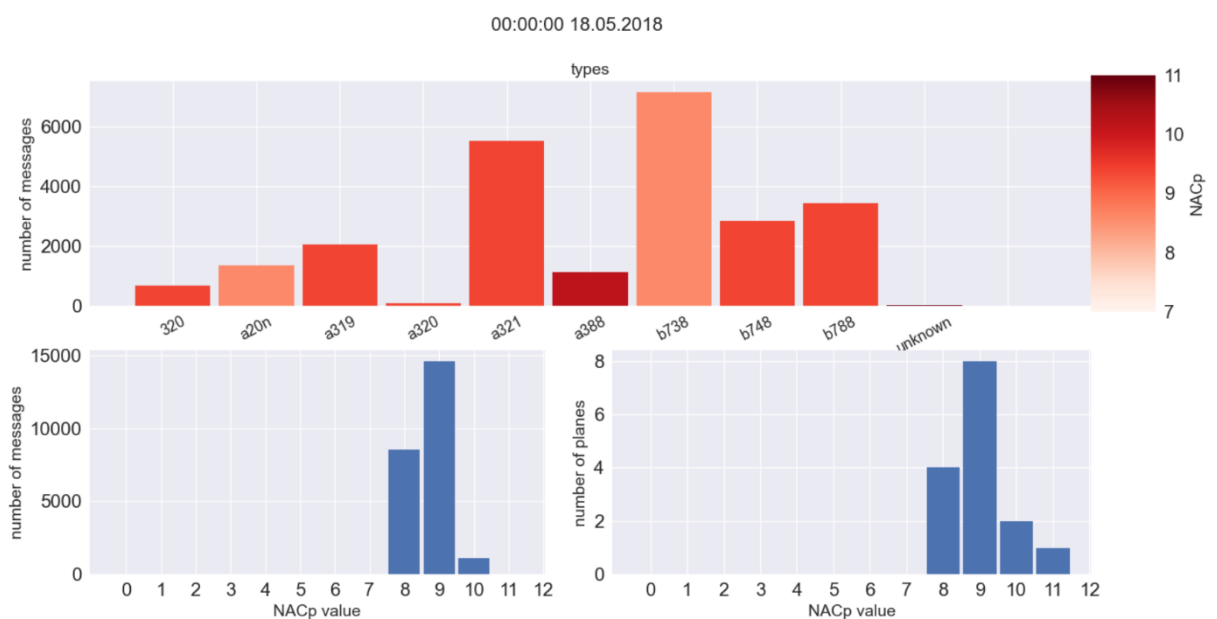
Na následujících třech úsecích vyobrazujících noční část dne od 00:00 do 01:00 UTC lze vidět snížení počtu skupin. A také výrazné zastoupení letadel ze skupiny b738, která vysílá nižší hodnoty ale stejné jako na předchozích třech úsecích. Stejný vzorec chování je pozorovatelný u skupin jako a20n. Výjimkou zde byla skupina B77W, která měla v noci nižší hodnoty, než které u ní byly pozorovány ve dne.



Obrázek 47: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)



Obrázek 48: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)

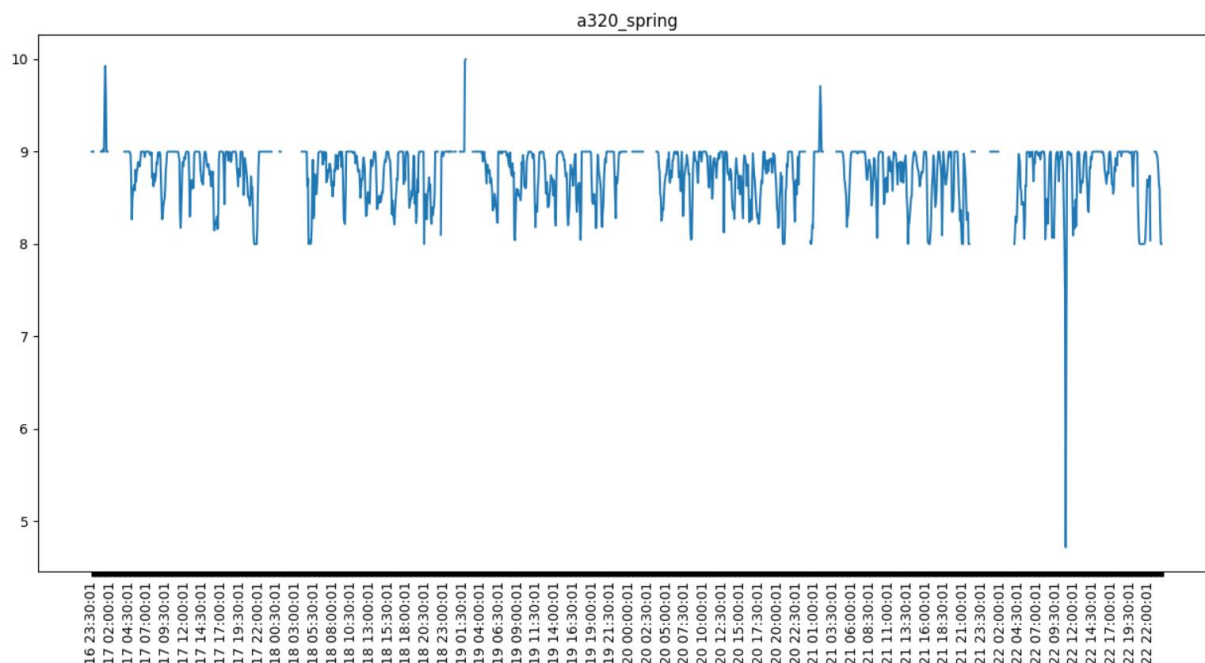


Obrázek 49: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor)

5.3.1 Analýza chování parametru NACp u homogenních skupin letadel v jarním období

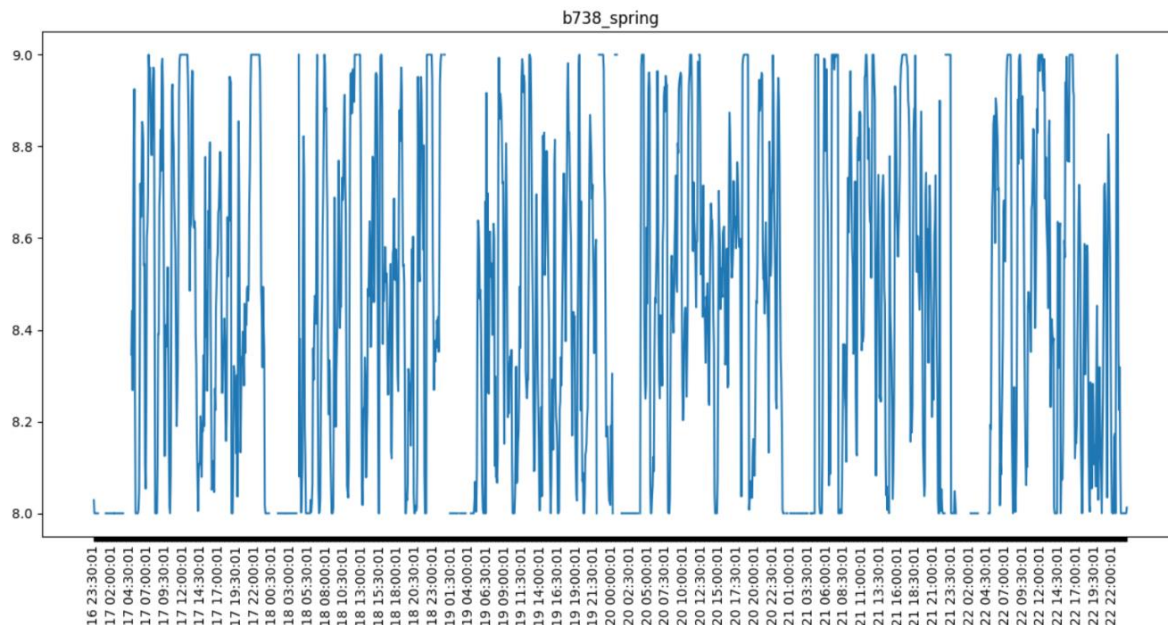
Dále budou rozebrány jednotlivé skupiny letadel, které se vyskytovaly ve dne i v noci a disponovaly nižšími průměrnými hodnotami než většina letadel. První skupinu zobrazenou na následujícím grafu je skupina letadel a320. V průběhu analyzovaného úseku bylo zaznamenáno 177 letadel spadajících do této skupiny z čehož 22 nemělo v průběhu celé doby stejnou hodnotu NACp. Z grafu níže je patrné obrácené chování, než jaké jsme mohli

pozorovat u průměru celého objemu provozu na daném úseku, průměrná hodnota této skupiny roste v nočních hodinách, přesněji kolem půlnoci UTC. Tento nárůst se nevyskytuje pouze ve dnech, kdy nemáme data v časovém rozsahu hodiny kolem půlnoci. Jinak se tento nárůst zdá stabilní a odpovídal by předpokládanému chování.



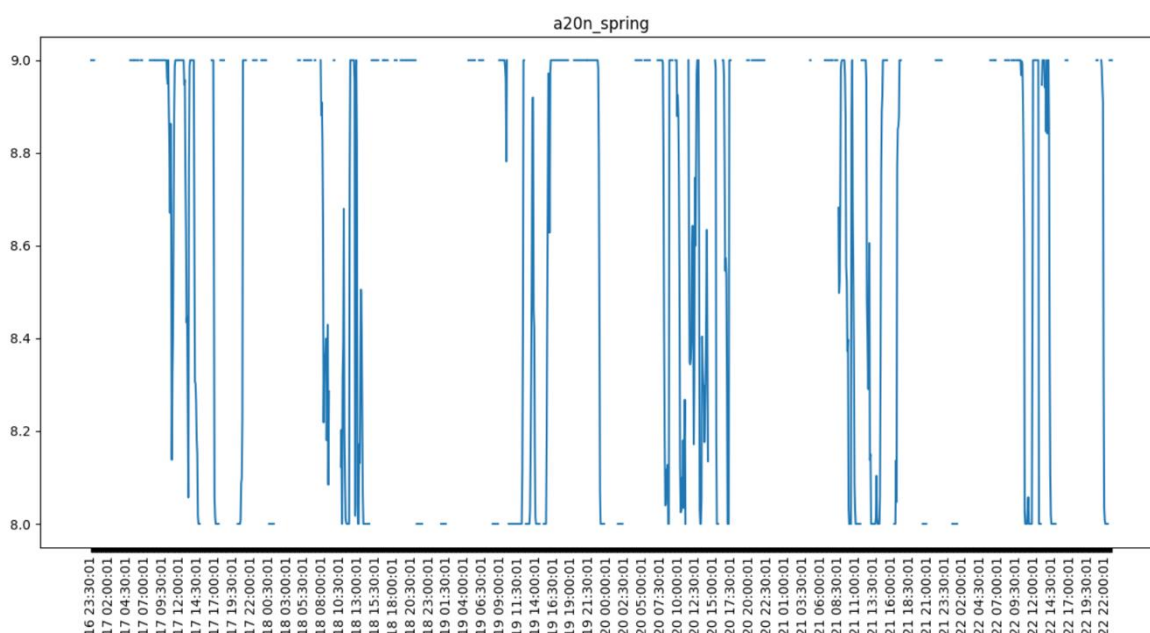
Obrázek 50: průměrná hodnota parametru NACp u skupiny letadel a320 (autor)

Na dalším grafu je zobrazena skupina zahrnující letadla B738. V průběhu měřeného úseku bylo zaznamenáno 172 letadel z nichž 6 mělo nekonstantní hodnotu NACp v průběhu celého úseku. V grafu můžeme vidět pohyb průměrné hodnoty této skupiny skrz celý analyzovaný úsek mezi 8 a 9. A stabilních 8 v nočních hodinách. Avšak z počtu letadel, u kterých docházelo ke změně NACp lze usuzovat, že tuto oscilaci má na svědomí pouze momentální složení letadel ve vzorku. Nebo bychom tomuto vlivu měli přisuzovat největší účinek na výslednou průměrnou hodnotu této skupiny.



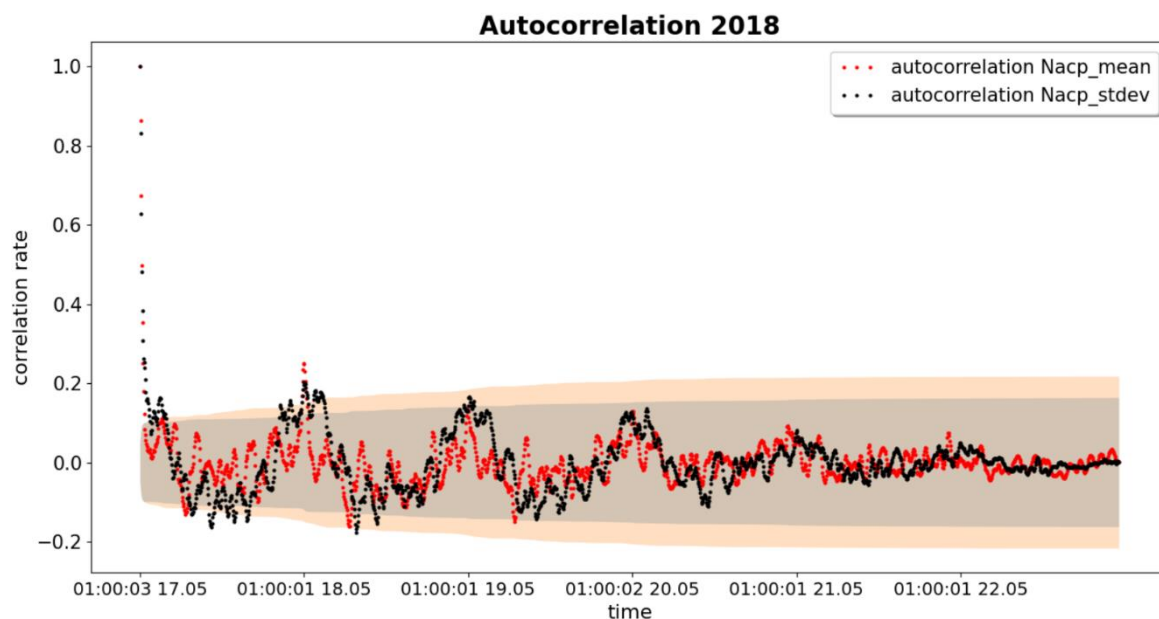
Obrázek 51: průměrná hodnota parametru NACp u letadel ze skupiny B738 (autor)

V grafu poslední analyzované skupiny, kterou je skupina letadel a20n, nelze pozorovat zřejmý vzorec chování průměrné hodnoty. A zdá se oscilovat spíše náhodně. Což může být zapříčiněno malým počtem letadel v této skupině, která zahrnovala pouze 42 letadel z kterých 6 vysílalo v průběhu analyzovaného úseku více než 1 hodnotu parametru NACp.



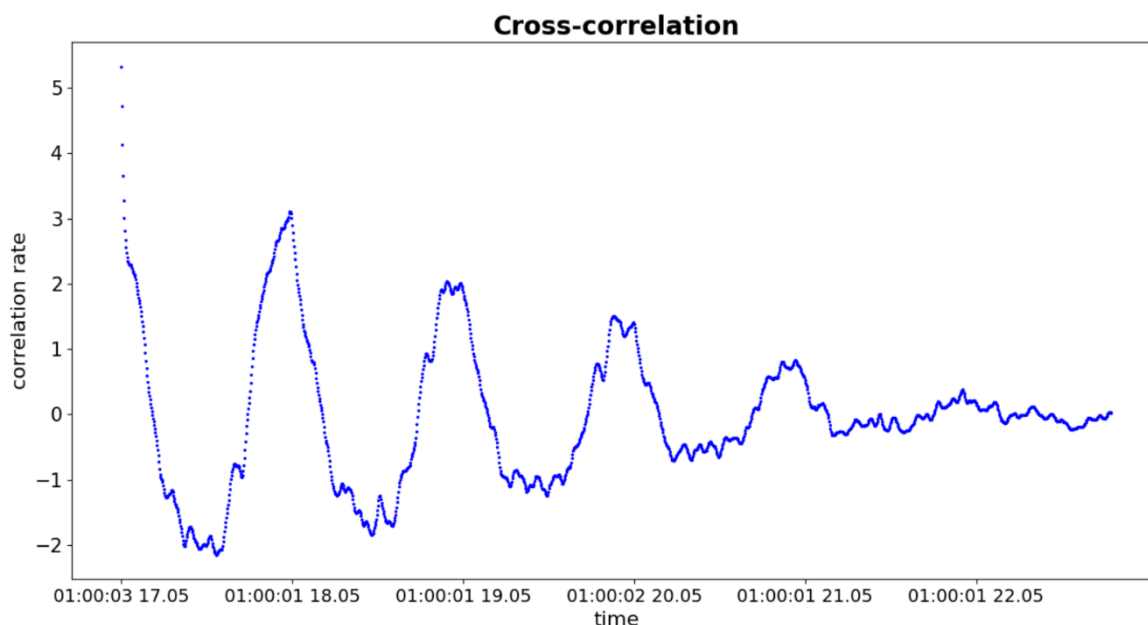
Obrázek 52: průměrná hodnota parametru NACp u letadel ze skupiny a20n (autor)

Nakonec si ověříme míru oscilace a korelaci mezi průměrnou hodnotou NACp a směrodatnou odchylkou, což by napovídalo závislosti průměrné hodnotě na momentálním složení letadel v objemu provozu.



Obrázek 53: autokorelace (autor)

Směrodatná odchylka v grafu autokorelace osciluje, jak jsme předpokládali, přesto ne tak výrazně jak jsme mohli pozorovat na zimním úseku. Taktéž míra autokorelace průměrné hodnoty zaostává za zimním úsekem. Přesto zde můžeme vidět trend v nočních hodinách, pokud stoupá v noci směrodatná odchylka, stoupá i průměrná hodnota. A na rozdíl od letního úseku nestoupá se zpožděním.



Obrázek 54: cross korelace dvou autokorelací (autor)

Cross-korelace těchto dvou funkcí má nejslabší stupeň korelace ze všech 3 úseku ale nadále zůstává v nezanedbatelných hodnotách.

Závěr

V úvodu práce je pojednáváno o ADS-B systému. Byl rozebrán základní princip fungování, složení zpráv a druhy zpráv. Také se zde čtenář seznámil s jednotlivými parametry hodnotícími přesnost, jejich významem a odvozením.

Dále se čtenář seznámil s problematikou kosmických jevů a možných interakcí Slunce s magnetosférou a ionosférou planety a možnými vlivy na funkci ADS-B systému.

Ve čtvrté kapitole se práce zabývala vyhodnocením vývoje parametru NACp ve dnech se zvýšenou sluneční aktivitou a hledala možné projevy těchto erupcí v datech z ADS-B systému. Na datech z oblasti České republiky a okolí byla vypočítána průměrná hodnota na každém pěti minutovém úseku a tyto hodnoty v grafu byly porovnávány s daty rentgenového toku ze satelitů GOES a s daty z měření kritické frekvence ionosféry nad Prahou. Zde nebyla nalezena zřejmá závislost mezi pozorovanými „Solar flares“ a vývojem parametru NACp a bohužel nebyla k dispozici data kdy planetu zasáhla následná CME. Ani při porovnávání poklesů parametru u jednotlivých letadel nebyla pozorována žádná shoda s významnými časy z pohledu kosmického počasí. Byla však pozorována opakovaná minima v nočním úseku dne. Výsledek by se mohl lišit v budoucnu, pokud by byly zaznamenány mohutnější erupce, které vzhledem k předpokládanému trendu Sluneční aktivity lze předpokládat, avšak to je předmětem spekulací a bylo by potřeba dalšího zkoumání v této oblasti.

Poté práce porovnávala chování parametrů NACp a NIC na úseku bez sluneční aktivity. Kde se potvrdil podobný vývoj průměrné hodnoty, a tedy závislost těchto dvou parametrů. Na zkoumaném úseku výkyvy parametru NACp předcházely výkyvy parametru NIC a parametr NACp se zdál stabilnější. A opět se ukázaly noční minima což vyloučilo jejich souvislost s výše zkoumanými slunečními erupcemi.

Dále se práce zabývala porovnáním vývoje parametru NACp v průběhu dne na 3 úsecích v různých obdobích a rocích a hledala možné závislosti nočních minim na ročním období či anomáliích vyskytujících se v některých ročních obdobích. Kde se potvrdil opět cyklický vývoj průměrných hodnot, avšak nebyl pozorován významný přesun těchto minim v čase oproti úsekům z jiného ročního období. Nicméně v zimním úseku bylo pozorováno další slabší minimum v ranních hodinách, které již probíhalo v době kdy byl pozorován větší počet letadel, avšak nebylo tak silné jak minimum večerní. Večerní minima se opakovala ve všech úsecích s různou silou což bohužel nenahrávalo na první pohled žádné autorovi známé ionosférické anomálii.

Poté se práce zabývala možnými příčinami cykličnosti parametru NACp. Byla zde rozebrána možnost vlivu rozlišného složení letadel ve dne a v noci. Tato možnost se objevila v předchozí podkapitole po přezkoumání vývoje rozptylu. V nočních hodinách klesal rozptyl k nulovým hodnotám což by značilo výskyt skupiny letadel, která vysílá stabilně nižší hodnoty NACp než průměrné hodnoty ve dne. Po přezkoumání grafu zobrazujícím krabicové grafy pro jednotlivé body grafu bylo patrné, že v noci oproti denní době pouze chybí letadla, která vysílají vyšší hodnoty NACp nebo zatím neznámé noční rušení nebylo dostatečně intenzivní, aby snížilo hodnoty parametru u jednotlivých letadel více než k této hodnotě. Dále byl v práci demonstrován rozdíl složení letadel ve dne a v noci v každém z úseků na třech dnech. V noci zůstávala pouze letadla, která i v průběhu dne měla nižší hodnoty, než byl denní průměr.

Potom byly přezkoumávány podrobněji jednotlivé skupiny letadel, které zastávaly většinu provozu v noci. Zde bylo patrné dlouhodobé oscilování kolem hodnoty minima v noci i v průběhu dne. A v zimním úseku většina z těchto letadel měla v tomto 3denním úseku

pokaždé když byla pozorována stejnou hodnotu. Pouze minimální procento letadel vykazovalo nějaký vývoj v hodnotě parametru NACp. Nicméně v letním úseku ty samé skupiny vykazovaly jiné chování. Přestože opět většina letadel nevykazovala vývoj v hodnotě NACp. U většiny letadel pozorovaných v noci opravdu docházelo k poklesu, a to ve stejné časy kdy bylo pozorováno minimum celého vzorku dat. Těchto několik letadel zastávající jednotky procent byly nejčastěji viditelná letadla a reálně v každý určitý moment zastávaly podstatnou část provozu.

Výše zmíněnou závislost (závislost průměrné hodnoty na složení provozu) jsem se dále pokusil vyvrátit autokorelací průměrné hodnoty a autokorelací směrodatné odchylky a porovnáním vrcholů. Kde se potvrdil periodický vývoj průměrné hodnoty. Avšak zároveň se potvrdila závislost s periodicitou směrodatné odchylky u zimního úseku, kde si vrcholy autokorelací korelovaly což ukázala i cross-korelace, a to by naznačovalo závislost mezi složením letadel a minimy v noci. Oproti tomu na letním a jarním úseku se závislost tak silná nezdála. Vrcholy autokorelace průměrné hodnoty se odehrávaly o chvíli dříve než vrcholy směrodatné odchylky. A cross-korelace také nebyla tak významná u těchto úseků oproti zimnímu úseku.

Rozdílné chování v odlišné roční době by bylo potřeba dále potvrdit na větším vzorku dat, což se bohužel nestihlo kvůli časové náročnosti dekodování zprav ADS-B. A i když není předpokládán významný vliv počtu viditelných satelitů na hodnotu NACp, pravidelnost, s jakou k těmto poklesům dochází by mohla být tímto vysvětlena. V tomto tématu je stále kam pokračovat a myslím si, že by si pokračování zasloužilo, neboť je zde potencionální přínos pro bezpečnost letectví.

Seznam použitých zdrojů

1. Marková, Eva. Česká Astronomická Společnost. [Online] 2. Srpen 2002. <https://www.astro.cz/clanky/slunecni-soustava/co-je-to-slunecni-cyklus.html>.
2. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. *Space Weather And GPS Systems*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/impacts/space-weather-and-gps-systems>.
3. SKYbrary. *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)*. [Online] 5. Červenec 2021. [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_\(ADS-B\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B)).
4. United States Department of Transportation. Federal Aviation Administration. *Ins and Outs*. [Online] 2. Leden 2020. https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/capabilities/ins_outs/.
5. Provázek, Jiří. ČVUT Fakulta Dopravní. *Zajištění přehledových dat pro realizaci projektu výzkumu kondenzačních čar*. [Online] 25. Srpna 2016. file:///C:/Users/micha/Downloads/F6-BP-2016-Provazek-Jiri-zprac-prehl-dat-pro-ucely-vyzk-kon-car%20(1).pdf.
6. European Union Aviation Safety Agency. *Amendment to the Airspace Requirements on ADS-B and Mode S*. [Online] 5. Května 2020. <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/amendment-airspace-requirements-ADS-B-and-mode-s>.
7. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Advisory Circular. *Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) Out Systems*. [Online] 21. Květen 2010. https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%2020-165.pdf.
8. International Civil Aviation organization Asia and Pacific office. ADS-B Implementation and operations guidance document. [Online] Zář 2014. https://www.icao.int/apac/documents/edocs/cns/adsb_aigd7.pdf.
9. International Civil Aviation Organization. *CAR/SAM Seminar In Preparation Of Eleventh Air Navigation Conference(AN-Conf/11)*. [Online] https://www.icao.int/SAM/Documents/2003/ANCONF11SEM/ANConf11PREP_Ip03.pdf.
10. Introduction To ADS-B. *Trig Avionics*. [Online] <https://www.trig-avionics.com/knowledge-bank/ADS-B/introduction-to-ADS-B/>.
11. Textron Aviation. *ADS-B Out Explained*. [Online] <https://txtav.com/en/journey/articles/articles/adsb-out-explained>.
12. Sun, Junzi. The 1090 Megahertz Riddle (second edition). *ADS-B Basics*. [Online] <https://mode-s.org/decode/content/ADS-B/1-basics.html>.
13. Mohleji, Satish C. a Wang, Ganghuai. The MITRE Corporation. *Modeling ADS-B Position and Velocity Errors for Airborne Merging and Spacing in Interval Management Application*. [Online] https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/10_3026.pdf.

14. Euroean Space Agency. *GNSS Performances*. [Online] 26. Července 2018.
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Performances.
15. Bc. Simon Tési. ČVUT Fakulta Dopravná . *Analýza indikátorov kvality v ADS-B správach*. [Online] 30. Listopadu 2016. <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68268/F6-DP-2016-Tesi-Simon-Analyza%20indikatorov%20kvality%20v%20ADS-B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
16. Federal Aviation Administration. Surveillance and Broadcast Services. *ADS-B Service Availability Prediction Tool (SAPT) Overview and Algorithm Review*. [Online] 4. Listopadu 2014.
[ile:///C:/Users/micha/Downloads/SAPT%20Overview%20and%20Algorithm%20Review%20-%20SC159%20telecon__%2020141104_Final.pdf](file:///C:/Users/micha/Downloads/SAPT%20Overview%20and%20Algorithm%20Review%20-%20SC159%20telecon__%2020141104_Final.pdf).
17. Aircraft Maintenance Division. Public ADS-B Performance Report (PAPR) User's Guide. *Flight Standards Service ADS-B Focus Team*. [Online] Březen 2020.
<https://adsbperformance.faa.gov/PAPRUsersGuide.pdf>.
18. Government of Canada. Space weather Canada. *Learning about space weather*. [Online] 22. Března 2021. <https://www.spaceweather.gc.ca/info-gen/index-en.php>.
19. Aldebaran bulletin. *Sluneční cykly*. [Online] 2004.
https://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_26_sow.php.
20. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. Space Weather. *Space Weather Phenomena*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena>.
21. Earthsky. *New Sunspot Cycle Could Be Among Strongest On Record*. [Online] 26. Prosince 2020.
<https://earthsky.org/space/sunspot-cycle-25-among-strongest-on-record-says-ncar/>.
22. NASA Science. Space Place Explore Earth And Space. *What Is the Solar Cycle?* [Online] 22. Července 2021. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/en/>.
23. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. Phenomena. *Geomagnetic Storms*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/geomagnetic-storms>.
24. "Weather" in the upper atmosphere . *The Impact of Upper Atmospheric Variability*. [Online] <https://www.albany.edu/faculty/rgk/atm101/weather.htm>.
25. Windows2Universe. *Ionospheric Storms*. [Online] https://www.windows2universe.org/?page=/spaceweather/disturbed_ionosphere.html.
26. Šalomounová, Markéta. *Kosmické počasí – Variace Ionosféry vlivem procesů na slunci*. [Online] 2011. https://is.muni.cz/th/uu140/Marketa_Salomounova_final_8rmeg.pdf.
27. Mansilla, Gustavo A. a Manzanp, Jose R. *Some Theoretical Aspects Of Ionospheric Storms At Middle Latitudes*. [Online] Říjen 1998.
<https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/3798/3862>.
28. Fox, Karen C. NASA. *Solar Flares: What Does It Take to Be X-Class?* [Online] 9. Srpna 2011.
https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/X-class-flares.html.
29. Stanford University. *The Earth's Ionosphere*. [Online] <http://solar-center.stanford.edu/SID/activities/ionosphere.html>.

30. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. *Solar Flares (Radio Blackout)*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-flares-radio-blackouts>.
31. Standfort University . *What are the different types, or classes, of flares?* [Online] <http://solar-center.stanford.edu/SID/activities/flare.html>.
32. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. *Coronal Mass Ejections (CME) Space Weather Phenomena* . [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/news/coronal-mass-ejections-cme-space-weather-phenomena>.
33. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. *Coronal Mass Ejections*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/coronal-mass-ejections>.
34. *Solar Wind* . [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-wind>.
35. Harden, Paul. *Solar Activity & HF Propagation (With a "Flare" of Solar Physics)*. [Online] 2005. <https://www.qrparci.org/resource/FDIM81.pdf>.
36. Day to night and back again: Earth's ionosphere during the total solar eclipse. *EurekAlert*. 2017.
37. Day And Night Structure Of Ionosphere. [Online] http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electronic_engineering/Day_and_night_structure_of_ionosphere.pdf.
38. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH. *Differences in daytime and nighttime ionospheric deterministic chaotic behavior: GPS total electron content analyses*. [Online] <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2005JA011313>.
39. Space Weather Prediction Center National Oceanic And Atmospheric Administration. *Ionospheric Scintillation*. [Online] <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionospheric-scintillation>.
40. Institute of Atmospheric Physics- Czechia . *Multipoint Continuous Doppler sounding system*. [Online] https://www.ufa.cas.cz/DATA/files/oia/Doppler_des_365.pdf.
41. Penn State College Of Earth And Mineral Sciences. *The Ionospheric Effect*. [Online] <https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1715>.
42. Guo, Jingnam, a další. *Modeling the Evolution and Propagation of 10 September 2017 CMEs and SEPs Arriving at Mars Constrained By Remote Sensing and In Situ Measurement*. [Online] 10. Října 2017. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2018SW001973>.
43. Space Weather Live. *The aurora and solar activity archive*. [Online] <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive.html>.
44. SpaceWeatherLive.com. *The aurora and solar activity archive*. [Online] <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive.html>.
45. NOAA Satellite Information System . *GOES Overview*. [Online] https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/goes_overview.html.
46. SpaceWeatherLive.com. *Viewing archive of Wednesday, 6 September 2017*. [Online] <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2017/09/06/xray.html>.
47. SpaceWeatherLive.com. *Viewing archive of Thursday, 7 September 2017*. [Online] <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2017/09/07/xray.html>.

48. SpaceWeatherLive.com. *Viewing archive of Sunday, 10 September 2017*. [Online]
<https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2017/09/10/xray.html>.

49. Institute of Atmospheric Physics- Czechia. *Doppler sounding of the ionosphere - lates Doppler shift spectrograms*. [Online] Zář 2017. Michael envió Hoy a las 22:54
http://datacenter.ufa.cas.cz/archive/8-hour/Praha_7M/2017/2017.09/.

50. Hun, Koh Che. *Development of an algorithm for correlation of aircraft positioning data from radar and ADS-B sensors*. Kuala Lumpur : Faculty of Computer Science and Information Technology
University Of Malaya Kuala Lumpur, 2019.

Seznam obrázků

Obrázek 1: schéma ADS-B systému (6).....	14
Obrázek 2: Graf znázorňující průběh počtů solární erupcí a hodnoty x-ray flux na pozadí v září (44).....	26
Obrázek 3: tabulka s časy jednotlivých erupcí (46).....	27
Obrázek 4: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (45).....	27
Obrázek 5: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)	28
Obrázek 6: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (47).....	28
Obrázek 7: tabulka s časy jednotlivých erupcí (46).....	29
Obrázek 8: Graf s průběhem hodnoty x-ray flux ze satelitů GOES (48).....	29
Obrázek 9: tabulka s časy jednotlivých erupcí (47).....	30
Obrázek 10: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)	30
Obrázek 11: Graf znázorňující poklesy v parametru NACp u konkrétních letadel (autor)	31
Obrázek 12: Graf znázorňující měření fluktuací v ionosféře pomocí Dopplerova posunu radiových vln (49)	32
Obrázek 13: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel ve vzorku (autor)	32
Obrázek 14: Graf znázorňující poklesy u jednotlivých letadel (autor)	33
Obrázek 15: Grafy s průměrnými hodnotami NACp a NIC (autor)	34
Obrázek 16: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)	35
Obrázek 17: Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor).....	35
Obrázek 18: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)	36
Obrázek 19: Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor).....	37
Obrázek 20: Grafy s průměrnou hodnotou NACp a počtem letadel (autor)	37
Obrázek 21: : Grafy s rozptylem a směrodatnou odchylkou NACp (autor)	38
Obrázek 22: Krabicové grafy (autor).....	39
Obrázek 23: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	40
Obrázek 24: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	40
Obrázek 25: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v dne (autor)	41
Obrázek 26: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	41
Obrázek 27: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	42

Obrázek 28: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	42
Obrázek 29: průměrná hodnota NACp skupiny B738 (autor).....	43
Obrázek 30: průměrná hodnota NACp skupiny a320 (autor)	43
Obrázek 31: autokorelace (autor)	44
Obrázek 32: cross korelace dvou autokorelací (autor).....	44
Obrázek 33: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	45
Obrázek 34: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	45
Obrázek 35: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	46
Obrázek 36: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	46
Obrázek 37: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	47
Obrázek 38: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	47
Obrázek 39: průměrná hodnota NACp skupiny letadel B738 (autor).....	48
Obrázek 40: průměrná hodnota parametru NACp u letadel s nekonstantní hodnotou ze skupiny B738 (autor)	48
Obrázek 41: průměrná hodnota parametru NACP u skupiny letadel A320 (autor).....	49
Obrázek 42: autokorelace (autor)	50
Obrázek 43: cross korelace dvou autokorelací (autor).....	50
Obrázek 44: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	51
Obrázek 45: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	51
Obrázek 46: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp ve dne (autor)	52
Obrázek 47: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	52
Obrázek 48: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	53
Obrázek 49: histogramy zobrazující převažující typy letadel a převažující hodnoty NACp v noci (autor).....	53
Obrázek 50: průměrná hodnota parametru NACp u skupiny letadel a320 (autor).....	54
Obrázek 51: průměrná hodnota parametru NACp u letadel ze skupiny B738 (autor).....	55
Obrázek 52: průměrná hodnota parametru NACp u letadel ze skupiny a20n (autor).....	55
Obrázek 53: autokorelace (autor)	56
Obrázek 54: cross korelace dvou autokorelací (autor).....	56

Seznam tabulek

Tabulka 1: struktura zprávy ADS-B (11)	16
Tabulka 2: Převodní tabulka parametru NIC (6)	17
Tabulka 3: Převodní tabulka parametru NACp (6)	17
Tabulka 4: Převodní tabulka parametru NACv (44)	18
Tabulka 5: Převodní tabulka parametru SIL (6)	18
Tabulka 6: Převodní tabulka SILsupp (6)	19
Tabulka 7: Převodní tabulka pro NIC baro(16)	19
Tabulka 8: Převodní tabulka pro SDA (6)	20
Tabulka 9: Převodní tabulka GVA (12).....	20