



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Martin Pospíšil

RUŠENÍ SIGNÁLU GNSS A DOPAD NA LETECTVÍ

Bakalářská práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Martin Pospíšil

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Rušení signálu GNSS a dopad na letectví**

Název tématu (anglicky): GNSS Signal Interference and Impact on Aviation

Zásady pro vypracování

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

- Družicová navigace GNSS, využití v letectví a způsoby rušení
- Analýza vlivu RFI signálů na letadla v závislosti na fázi letu
- Přezkoumání GNSS rušení v laboratorních podmínkách
- Možnosti testování GNSS rušení v leteckém provozu
- Scénáře testování rušení GNSS přijímačů



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Letecký předpis L10
Galileo Initial Service - OS SDD v1.0
J. Sanz Subirana, J.M. Juan Zornoza, M. Hernández-Pajares, GNSS Data Processing, Vol.I: Fundamentals and Algorithms (ESA TM-23/1), 2013

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**
Ing. Tomáš Duša, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **19. října 2018**
(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: **26. srpna 2019**
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.

.....
Martin Pospíšil
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 19. října 2018

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Jakobovi Krausovi, Ph.D. za vstřícnost, odborné rady při vedení mé bakalářské práce. Dále mé poděkování patří Ing. Tomášovi Dušovi, Ph.D. za projevenou ochotu a čas, cenné rady a příjemnou atmosféru během řešení závěrečné práce.


Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 26. srpna 2019



.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní

RUŠENÍ SIGNÁLU GNSS A DOPAD NA LETECTVÍ

bakalářská práce
srpen 2019
Martin Pospíšil

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce obeznamuje čtenáře s problematikou systému GNSS, s možnostmi a prevencí jeho rušení. Zpracovává fyzikální principy šíření signálu prostorem, které mají zásadní vliv při rušení GNSS přijímače. Příslušné metodické pokyny popsané spolu s možnostmi testování rušení představují ucelený přehled problematiky rušení GNSS a její testování.

ABSTRACT

This bachelor thesis informs the reader about GNSS system, possibilities and prevention of its interference. It does process the physical principles of signal travel through space that has a significant impact on jamming of GNSS receiver. Relevant methodical instructions described along with possibilities of GNSS interference testing represent a comprehensive overview of GNSS interference and its testing.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní

RUŠENÍ SIGNÁLU GNSS A DOPAD NA LETECTVÍ

bakalářská práce
srpen 2019
Martin Pospíšil

KLÍČOVÉ SLOVA

anténa, detektor, družice, GNSS, GNSS rušení, GNSS systém, laboratoř, letectví, letoun, metodika, RFI signál, scénáře, testování rušení,

KEYWORDS

aircraft, antenna, aviation, detector, interference, interference testing, laboratory, GNSS, GNSS satellite, GNSS system, methodology, RFI signal, scenarios,

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých zkratek	8
Úvod	10
1 Družicová navigace GNSS	11
1.1 Architektura GNSS	13
1.1.1 Kosmická úroveň	13
1.1.2 Uživatelská úroveň	13
1.1.3 Řídící úroveň	13
1.2 Augmentační systémy	13
1.3 Využití GNSS v letectví	14
2 GNSS signál	15
2.1 Zpracování signálu	15
2.2 Polohové chyby systému	16
2.2.1 Chyba hodin družic	16
2.2.2 Efemerická chyba	16
2.3.3 Ionosférická chyba	16
2.2.4 Troposférická chyba	17
2.2.5 Multipath	17
2.3 Šíření signálu	17
3 Rušení GNSS signálu	18
3.1 Kategorie rušení	18
3.1.1 Jamming	18
3.1.2 Spoofing	18
3.1.3 Meaconing	19
3.2 Výzkum rušení GNSS	19
3.2.1 Rušení na letišti v Newarku	19
3.2.2 Laboratoř, Finsko	20
3.2.3 Měření rušení na dvou letištích	21
4 Projekt DETEKTOR	23
4.1 Představení zařízení	23
4.2 Testování prototypu	25
4.2.1 Laboratorní podmínky	25
4.2.2 Test v Kladně	26
5 Metodika k testování DETEKTORU v Brně	28

5.1	Příprava na testování	28
5.1.1	Legální podmínky	28
5.1.2	Legalizace testování	29
5.1.3	Obhlídka letiště	32
5.2	Scénáře	34
5.2.1	Statické scénáře	34
5.2.2	Dynamické scénáře	37
5.3	Personální obsazení	42
5.4	Potřebné vybavení	42
5.5	Harmonogram	44
	Závěr	45
	Použitá literatura	46
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek	49
	Seznam příloh	50

Seznam použitých zkratek

ABAS		Aircraft-based augmentation system
AGC	Automatické vyrovnání citlivosti	Automatic Gain Control
AoA		Angle of Arrival
ČR	Česká republika	Czech Republic
ČTÚ	Český telekomunikační úřad	Czech Telecommunication Office
ČVUT	České vysoké učení technické	Czech Technical University
CW	Kontinuální vlna	Continuous wave
EM	Elektromagnetické/ý	Electromagnetic
EU	Evropská unie	European Union
GBAS		Ground-based augmentation system
GNSS	Globální družicový navigační systém	Global Navigation Satellite System
GPS	Globální polohový systém	Global Positioning System
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví	International Civil Aviation Organization
IF	Mezifrekvence	Intermediate Frequency
IFR	Let podle přístrojů	Instrument flight rules
J/S	Poměr rušivý/užitečný signál	Jamming to Signal ratio
LAAS		Local Area Augmentation System
LAA ČR	Letecká amatérská asociace	Light Aircraft Association
LKKL	Letiště Kladno	Kladno Airport
LORAN		Long Range Navigation System
PL	Úbytek signálu	Path Loss
PRN		Pseudo-Random Noise
PSR	Pseudovzdálenost	Pseudorange
RFI	Rušení rádiové frekvence	Radio Frequency Interference
ŘLP	Řízení letového provozu	Air traffic control
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic	Road and Motorway Directorate
RWY	Vzletová a přistávací dráha	Runway
SBAS		Satellite-based augmentation system

SDR	Softwarově definované rádio	Software-defined radio
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty	Railway Infrastructure Administration
TDoA	Časový rozdíl příchodu signálu	Time Difference of Arrival
USA	Spojené státy americké	United States of America
VFR	Let za viditelnosti	Visual flight rules

Úvod

Navigační systém GNSS (Globální družicový navigační systém) se postupem času těší většímu využití. Systém, který existuje již od dvacátého století, byl původně určen výhradně pro vojenské účely. Od vojenských benefitů bylo později upuštěno a dnes je GNSS běžná součást mnohých odvětví společnosti. S rostoucím významem a využitím také vzrůstá hrozba nelegálního rušení signálu GNSS. Tento způsob interference je snadno proveditelný a velmi účinný, a zároveň neexistuje účinný způsob obrany. I když téma rušení GNSS signálu je již nějakou dobu aktuální, pořád nejsou k dispozici produkty zaručující prevenci a ochranu proti rušivému signálu. Zejména využití družicových služeb v oblasti kritické infrastruktury a ohrožení života si vyžaduje vysokou spolehlivost a odolnost vůči vnějším vlivům. Jako řešení se nabízí projekt 'Systém pro odhalování nezákonného rušení GNSS signálů v blízkosti kritické infrastruktury' (dále DETEKTOR), vyvíjený právě v České republice.

V první části této práce autor zpracovává již známé poznatky o GNSS systému, GNSS rušení a dále zpracovává příslušné harmonizační právní předpisy České republiky, Evropské unie a organizace ICAO (Mezinárodní organizace pro civilní letectví). Teoretická část uvádí čtenáře do dané problematiky a slouží jako příprava na praktickou část práce. Tento formát odráží první tři, resp. čtyři cíle ze zadání práce. V rámci praktické části autor popisuje své zkušenosti ze spolupráce na projektu DETEKTOR a tyto zkušenosti pak transformuje do metodiky k nadcházejícímu testování DETEKTORu v Brně.

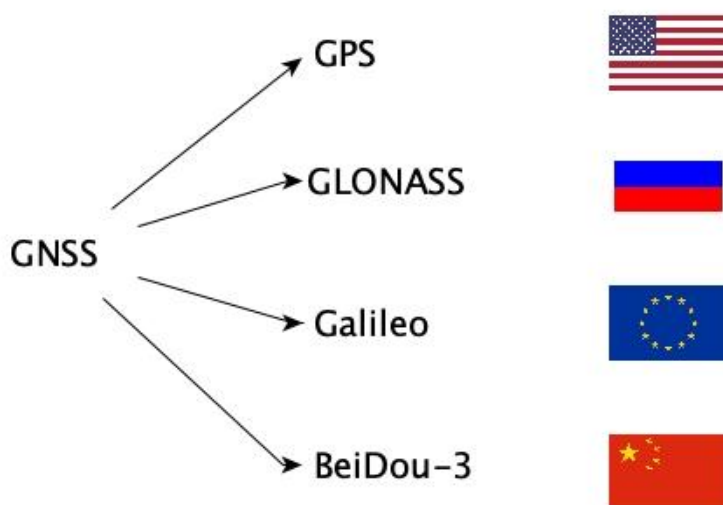
Cílem této práce je přinést stručné informace o GNSS systému, šíření, a zpracování GNSS signálu a následně o jeho rušení. Na to navazují informace o vývoji zařízení DETEKTOR, principy fungování detektoru a testování jeho prototypu. Praktický přínos pak představuje metodika k poslednímu testování v Brně. Do těchto metodických pokynů autor zařadil legální kroky k realizaci testování, potřebné vybavení, personální obsazení, harmonogram a dále různé scénáře měření k plnému ověření funkčnosti detektoru.

1 Družicová navigace GNSS

Systém GNSS (Global Navigation Satellite System) umožňuje určování přesné polohy koncového zařízení na základě přijímaného signálu. Každá GNSS družice na oběžné dráze kontinuálně vysílá signál, který obsahuje kromě jiného velmi přesnou časovou značku. Tyto signály zachycují koncová zařízení (GNSS přijímače) a v jejich kombinaci je přijímač schopný určit svoji polohu na principu trilaterace.

Obecně, k určení polohy v třírozměrném prostoru je potřeba vyřešit soustavu rovnic o tři neznámých. V systému GNSS mají ale družice a přijímače rozdílnou časovou základnu, tudíž vzniká čtvrtá neznámá – čas. Ve finále GNSS přijímač potřebuje k určení polohy signál alespoň ze 4 družic, přičemž se zvyšujícím se počtem viditelných družic vzrůstá přesnost určené polohy. Konstelace družic se nachází přibližně ve výšce 20 000 kilometrů nad zemským povrchem, přičemž z každého místa na Zemi by měl být výhled na alespoň 4 družice.

Do rámce GNSS patří několik národních, resp. nadnárodních systémů, poskytující celosvětové služby. V provozu jsou americký NAVSTAR GPS (Global Positioning System), ruský GLONASS, jejichž vývoj začal v 70. letech 20. století a také evropský systém Galileo, který je produktem 21. století. Původně navržené pro vojenské účely, se postupem času se zvyšujícím počtem družic dočkali použití v civilním sektoru. Ve vývoji je dále čínský systém Bei-Dou-3. Jednotlivé konstelace se liší v několika parametrech, například počet družic, nebo výška oběžné dráhy nad zemským povrchem.



Obrázek 1 - Kompilace národních GNSS systémů, zdroj: autor

Kromě toho existují také regionální navigační systémy, které poskytují služby pouze v národní oblasti. Mezi tyto systémy je možné zařadit například indický IRNSS, čínský BeiDou-1 nebo japonský QZSS.

Na obrázku 2 jsou přehledně zobrazeny rádiové frekvence vyhrazené pro systémy GNSS. Pokud uvážíme rychlost šíření elektromagnetického vlnění prostorem 300 000 kilometrů za vteřinu, lze jednoduše spočítat vlnové délky λ pro jednotlivé frekvence dle následujícího vztahu:

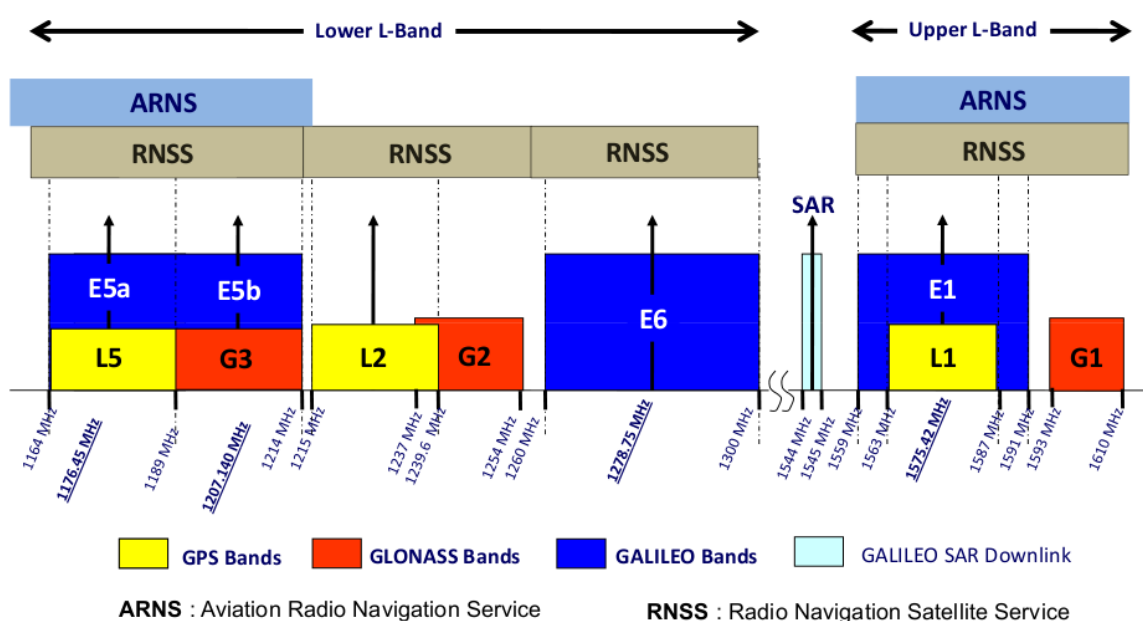
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde c je rychlost šíření EM (elektromagnetického) vlnění a f je jeho frekvence.

Tabulka 1 - Vlnové délky jednotlivých pásem GNSS

Pásmo	Nominální frekvence	Vlnová délka
L1/E1	1575,42 MHz	0,1903 m
L2	1227,6 MHz	0,2442 m
L5/E5a	1176,45 MHz	0,2548 m
E6	1278,75 MHz	0,2344 m

Signál o vysoké frekvenci, resp. malé vlnové délce představuje vhodné vlastnosti šíření vzhledem k atmosférickým jevům a penetraci prostředí. Proto jsou pro systémy GNSS vyhrazeny frekvence v řádech GHz. Negativní stránkou použití velmi krátkých vln je zranitelnost vůči překážkám v dráze šíření signálu, které jsou dále předmětem vícecestného šíření.



Obrázek 2 - Frekvenční spektrum družic GNSS, zdroj [5]

1.1 Architektura GNSS

Jednotlivé součásti systému GNSS je možné rozdělit do třech horizontálních úrovní. Pro správné fungování navigační služby je potřebná integrita a vzájemná spolupráce všech třech úrovní. Pokračování této kapitoly pokryje první, resp. druhý bod zadání práce.

1.1.1 Kosmická úroveň

Družiceobíhající Zemi na ustálených oběžných dráhách nepřetržitě vysílají signál směrem na zemský povrch. Jelikož na palubě družic jsou velmi přesné atomové hodiny (nejčastěji rubidiové nebo cesiové), vysílaný signál obsahuje také časovou značku. Pro udržení se v oběžné dráze jsou družice vybaveny motory. Více informací k jednotlivým konstelacím je k dispozici v dokumentu *GNSS Data Processing*[6], případně [3].

1.1.2 Uživatelská úroveň

Tuto úroveň představují GNSS přijímače, které přijímají signál vysílaný z družic a na základě rozdílu času vypočítají tzv. pseudovzdálenost k dané družici. S příjmem čtyř a více signálů přijímač dokáže spočítat příslušné soustavy rovnic a jiných výpočtů k určení přesné polohy.

1.1.3 Řídící úroveň

Veškerá řídicí úroveň představuje pozemní monitorovací stanice, resp. pozemní antény. Dle [6] je jejich hlavní úlohou:

- sledovat stav a konfiguraci družicové konstelace [6]
- předpověď efemeridů a stav družicových hodin [6]
- udržovat jednotný GNSS systémový čas [6]
- generování obsahu navigačních zpráv [6]

1.2 Augmentační systémy

Jelikož je celá struktura GNSS poměrně komplikovaná, podléhá určování polohy několika chybám. V základě je zaručena přesnost do desítek metrů, což ale není dostačující pro služby v oblasti bezpečnosti života a v oblasti kritické infrastruktury. Existuje několik augmentačních systémů – ABAS (Aircraft-based augmentation system), SBAS (Satellite-based augmentation system) a GBAS (Ground-based augmentation system), které zvyšují přesnost do řadůjednotek metrů. Jejich podrobný rozbor a představení již bylo uvedeno v

několika dokumentech, bližší informace pojednává *ICAO Guide for ground based augmentation system implementation* [14].

1.3 Využití GNSS v letectví

Klíčové výhody systému GNSS, zejména globální dostupnost a levné zavedení nabízejí své využití také v letecké dopravě. Pro správné využití systému je nutné se řídit příslušnými vnitrostátními předpisy, předpisy EU (Evropské unie) a GNSS manuálem ICAO [2]. Na druhou stranu však systém GNSS disponuje řadou chyb, jak bude dále vysvětleno. Pro využití v letectví jsou palubní přijímače schopné přijímat signály z augmentačních systémů, aby byly dodrženy následující parametry:

- integrita – míra vyjadřující správnost informací poskytovaných navigačním systémem. Integrita dále zahrnuje výstrahy uživatelům, pokud systém poskytuje informace s chybou nad limit.
- dostupnost – využitelnost systému v čase.
- přesnost – míra shody polohy udávané GNSS přijímačem se skutečnou polohou.
- kontinuita – schopnost systému vykonávat svoji funkci bez přerušení.

Schopnost zajištění těchto parametrů udává rozsah využití GNSS v letectví. Spolu s časovými výstrahy integrity jsou definovány v leteckém předpisu L 10 [16] jako výkonnostní požadavky v závislosti na fázi letu, přičemž přesnost má rozdílné horizontální a vertikální požadavky. Cílem je zajistit co nejlepší výkon systému, což má pozitivní dopad na využití v letectví a následně zefektivnění provádění letů a řízení letového provozu. Zavedení povolení k využití GNSS ve svém vzdušném prostoru závisí na jednotlivých členských státech ICAO, a to za předpokladu, že výkon systému splňuje požadavky dané GNSS manuálem ICAO [2] a Annexem 10 (v ČR leteckým předpisem L 10 [16]. Annexy k Úmluvě o mezinárodním civilním letectví jsou v České republice (ČR) přetransformovány do leteckých předpisů řady L.

Systém je využíván od 90. let 20. století ve formě asistence během provádění některých letů jak podle VFR (Let za viditelnosti), tak podle IFR (Let podle přístrojů) pravidel. Přispěl k tomu fakt, že pořízení GNSS přijímače je levné a k používání není potřeba žádná další investice. S rozvojem letecké dopravy, samotného systému GNSS a potřebou zefektivnit vzdušný prostor se nabízela myšlenka rozsáhlejšího využití. Minima výkonnosti GNSS v prostoru v různých fázích letu jsou zařazeny v leteckém předpisu L 10. Nejkritičtější fáze je přitom přiblížení a přistání, lze také vidět, že minima v této fázi jsou mnohem přísnější.

2 GNSS signál

Cílem následující kapitoly je blíže přiblížit fyzikální zákonitosti šíření elektromagnetického vlnění a blíže se věnovat struktuře GNSS signálu. Níže uvedené pojmy jsou stručně vysvětleny pro úvod čtenáře do problematiky a pro potřeby této práce. Detailnější, ale srozumitelné vysvětlení pak nabízí *Družicová navigace: od teorie k aplikacím v softwarovém přijímači* [1].

2.1 Zpracování signálu

Základní měřenou veličinou systému GNSS je čas ΔT , který představuje rozdíl mezi časem vyslání signálu družicovou anténou a časem přijetí signálu přijímačem. Pokud hodnotu ΔT vynásobíme rychlostí šíření signálu (která je úměrná rychlosti šíření světla) $c = 300\,000$ km/s, dostaneme přibližnou vzdálenost (pseudovzdálenost-pseudorange) mezi přijímačem a družicí.

$$PSR = c \cdot \Delta T \quad (2)$$

Jelikož existuje odchylka mezi časem družicových hodin a systémovým časem na přijímači, je pseudovzdálenost mezi družicí a přijímačem jiná, než je skutečná vzdálenost. Kvůli odlišným systémovým časům se doba příchodu signálu neměří přímo, ale existují jiné metody přesného měření této veličiny. Jednu přesnou metodu představuje fázové měření. Pomocí Dopplerova jevu lze určit fázový posun přijatého signálu. Dále je potřeba znát počet celých vlnových délek na trase, což výpočet komplikuje. Výhodnější je proto pro měření pseudovzdálenosti použít pseudonáhodné kódy (označení pseudonáhodné jim patří kvůli jejich velké opakovací periodě, čím se jeví jako náhodné). Pseudonáhodné (PRN) kódy jsou namodulovány spolu s navigační zprávou na dvě nosné vlny. Celkovou strukturu signálu GNSS tedy tvoří:

- Nosná vlna – sinusový signál na dané frekvenci
- PRN kód
- Navigační zpráva – zpráva obsahující informace o efemeridách družic, stav družic, almanach a další důležité informace pro provoz systému

PRN kódy jsou posloupnosti jedniček a nul generovaných s velmi dlouhou periodou. Kromě měření pseudovzdálenosti, mají význam také při oddělení signálů jednotlivých družic, které vysílají na stejné frekvenci. Při měření pseudovzdálenosti porovnáváme kód přijatého signálu s replikou kódu generovanou v přijímači pomocí korelační funkce. Repliku posouváme po

časové ose až dostaneme maximum korelační funkce. Aby byla tato funkce spolehlivá, PRN kódy musí mít dobré autokorelační a crosskorelační vlastnosti.

2.2 Polohové chyby systému

Kvůli složitému designu systému GNSS a z pravidel šíření signálu vznikají různé chyby, které se pak projeví při udávání výsledné polohy. Následující chyby jsou nejčastější a mají největší dopad na provoz systému. Pro zvýšení spolehlivosti GNSS bylo nutné dané chyby minimalizovat prostřednictvím korekčních modelů.

2.2.1 Chyba hodin družic

Na palubě každé GNSS družice se nacházejí cesiové nebo rubidiové atomové hodiny. Nicméně navzdory jejich velmi přesné funkci (chyba oscilace uvnitř hodin se pohybuje v řádech nanosekund), i oni podléhají posunu a efektům teorie relativity. Správná funkce hodin a posun od společného systémového času GNSS jsou průběžně monitorovány v centrální pozemní stanici. Hrubá chyba 1 nanosekundy na hodinách družic se promítne do 0,3metru měřené pseudovzdálenosti.

2.2.2 Efemerická chyba

Pod pojmem efemerid družice rozumíme přesnou polohu družice v určitém čase. Trasy jednotlivých družic vzhledem k orbitu Země jsou předem známé, ale působením gravitace se můžou skutečné polohy družic od projekcí lišit. Aby byla možná náprava oběžné trasy, jsou družice vybavené vhodnými motory. Nicméně nápravy jsou realizovány v určitých časech. V době, kdy je družice mimo svou oběžnou dráhu, vzniká efemerická chyba.

2.3.3 Ionosférická chyba

Vrstva ionosféry se rozprostírá v pásmu od 60 km do 1000 km nad zemským povrchem. Volné elektrony fluktuující v ionosféře mají značný dopad na průchod elektromagnetických vln touto vrstvou. Počet těchto elektronů je ve dne v důsledku slunečního záření vyšší než v nočních hodinách, takže přes den je ionosférická chyba větší. Dále, chyba je větší, pokud je družice blíže k horizontu vzhledem k přijímači, než když je přímo 'nad hlavou', jelikož signál putuje větší částí ionosféry. Ke korekci ionosférické chyby lze použít model ionosféry, GPS standardně používá Klobucharův model, systém Galileo pak používá model NeQuick [1].

2.2.4 Troposférická chyba

Troposféra se nachází nejbližší ke zemskému povrchu, a to až do cca 11 km (výška troposféry se mění v závislosti od geografické šířky). Variabilní atmosférický tlak, teplota a vlhkost působí na šíření elektromagnetické vlny.

2.2.5 Multipath

Efekt multipath vzniká v případě, kdy GNSS signál se odráží od blízkých objektů, například budov, terénu, nebo vegetace. Z kapitoly 2.2 víme, že při zpracování signálu je důležitý čas šíření signálu. Pokud se signál odrazí od přilehlé budovy a pak se šíří směrem k přijímači, čas šíření je o málo delší. Tím může vznikat chyba v řádech několika metrů.

2.3 Šíření signálu

Většina zařízení typu *jamming* využívají pro úspěšné zarušení metodu hrubé síly, k čemu je potřeba vysokého výkonu rušícího zařízení. S vysokým vyzařovacím výkonem se ale signál šíří do velké vzdálenosti a v dobré intenzitě. Během šíření signálu atmosférou je postupně oslabován podle útlumové rovnice:

$$PL[dB] = 32,45 + 20 \cdot \log d + 20 \cdot \log f \quad (3)$$

kde PL (Path Loss) je oslabení signálu v dB, d je vzdálenost a f je frekvence signálu.[12] Při (ne)legálním využívání rušícího zařízení, případně během testování tohoto jevu je tedy nutné počítat s dobrými vlastnosti šíření EM signálu. Dosah rušícího signálu v závislosti na výkonu rušičky byl již dříve předmětem testování jiného týmu. Ze závěrů výzkumu [18] je vidět, že generátor signálu o malém výkonu je schopný zarušit GNSS přijímače až do vzdálenosti jednoho kilometru. K tomu ekvivalent jsou malé rušící zařízení na palubách kamiónů, které jako výsledek zaruší přijímače v blízkosti dopravní infrastruktury. Dále je z [18] patrný dosah zařízení s vyšším výkonem. Pokud uvažujeme, že bez vlivu překážek se signál šíří stejně v horizontální i vertikální rovině, rušící zařízení s výkonem 1 W by mělo být schopné zarušit přijímač na palubě letadla letící v letové hladině FL160 (dle dokumentu [18]). V případě traťového letu letadla je letadlo možné využít alternativní navigační systémy, a tedy se nejedná o kritické ohrožení života. Nicméně v případě přiblížení letadla s využitím GNSS a augmentačních signálů a výpadku navigačního signálu by bylo nutné zahájit nezdařené přiblížení.

3 Rušení GNSS signálu

Během rušení GNSS systémů dochází k vysílání nežádoucího signálu, který má silnější parametry než signál autentický. Standardně mají rádiové přijímače tendenci sledovat signál na dané frekvenci s větší silou. Již dříve bylo zmíněno, že kvůli vysokým oběžným dráhám družic se signál postupně oslabuje a na zemi dosahuje síly pouze kolem -120 dBm. Tím se GNSS stává zranitelným vůči rušení. Pokud chceme vylepšovat systém GNSS a rozšířit jeho využitelnost, jsme limitováni právě snadným způsobem zarušení rádiového spektra GNSS.

Existuje ale také neúmyslné rušení. Nejčastěji se jedná o staré televizní antény, které složením harmonických vln vysílají právě v pásmu GNSS. S podobným případem je možné se setkat u rušení frekvencí používaných meteorologickou službou.

3.1 Kategorie rušení

Pokud dále uvažujeme pouze úmyslné rušení, je možné vytvořit jeho základní rozdělení. Je důležité vědět o jaké rušení se v dané situaci jedná, protože vykazují rozdílné chování a liší se v prevenci a detekci.

3.1.1 Jamming

Tento typ rušení je poměrně jednoduchý, velmi účinný a také nejčastější. Princip rušení spočívá ve vysílání signálu na frekvencích blízkých GNSS, o vysokém výkonu a s vysokou hladinou šumu. Šum je v rádiové technice nežádoucí vlastnost, která zhoršuje „přichycení“ k nosné vlně signálu. V případě jammingu přijímač přestává sledovat správný signál a má problém s následnou rekvizicí. Použití rušících zařízení je ve většině zemí nelegální a v mnoha obchodech v ČR bez speciálního povolení ani nejsou k dostání. Nicméně s využitím internetových služeb a zahraničních obchodů je možné si takové zařízení pořídit.

3.1.2 Spoofing

V porovnání s rušením popsaným v kapitole 3.1.1 je *spoofing* mnohem komplexnější, složitější na provedení, ale také účinnější a těžší na detekci. Inteligentní spoofing zařízení vykazují chování jako autentické signály z družic. V základě jsou 2 varianty spoofing útoku: V první, jam-spoof variantě je GNSS přijímač nejdříve zarušen pomocí *jamming* techniky. Přijímač přestává sledovat originální signál a přechází do fáze re-akvizice, kdy začíná sledovat silnější *spoof* signál z rušičky.

V druhém případě se falešný signál postupně zarovnává s autentickým signálem a postupně zvyšuje svůj výkon. Přijímač se následně přichytí na silnější falešný signál a udává nesprávnou polohu. Pro leteckou dopravu se jedná o nebezpečnější případ rušení, jelikož v případě spoofing útoku přijímač neustále udává klamnou polohu. To ale pilot nemusí vědět a může vést letadlo po špatné trati.

3.1.3 Meaconing

Posledním a také nejméně častým případem rušení GNSS je meaconing. V tomto případě rušící zařízení funguje současně jako přijímač a vysílač. Zařízení přijme GNSS signál z družic, a ve stejné podobě vysílá signál s časovým zpožděním a vysokým výkonem [7]. Tím pádem má GNSS přijímač uživatele tendenci sledovat klamný signál s vyšším výkonem a podává neaktuální informace o čase a poloze.

3.2 Výzkum rušení GNSS

V minulosti je již známých několik případů a měření rušení systémů GNSS, které upozornili na možné nebezpečí při používání družicové navigace. Je nutné si uvědomit, že po desítky let existence družicové navigace nebyl brán zřetel na ochranu systému před nežádoucími aktivitami. V době bezpečnostní nejistoty a mezinárodního terorismu je ale potřebné na tento zřetel brát ohled a zvýšit bezpečnost používání GNSS systému. Cílem autora je poukázat jak na případ z reálné praxe, tak na dvojici základních měření tohoto jevu. Níže zmíněný případ měření byl startovací jiskrou pro vývoj obranných systémů proti rušení GNSS.

3.2.1 Rušení na letišti v Newarku

Zatím asi nejzávažnější případ rušení v leteckém provozu byl zaznamenán na americkém letišti v Newarku. Infrastruktura letiště je zde doplněna o výše popsany systém LAAS (Local Area Augmentation System-americký ekvivalent GBAS) ve složení 4 řadových anténních vysílačů. Jeden z hlavních tranzitních bodů severozápadního pobřeží USA (Spojených států amerických) vykazuje následující počty cestujících (za rok 2018).

Tabulka 2 – Počty cestujících odbavených na letišti EWR za rok 2018, zdroj [8]

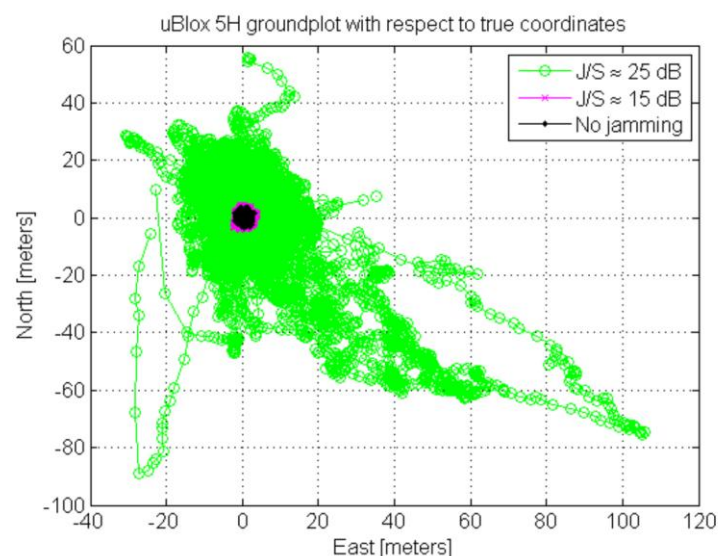
Vnitrostátní	31,923,876
Mezinárodní	14,141,299
Celkem	46,065,175

Pro porovnání, nejrušnější letiště světa, Hartsfield–Jackson Atlanta International Airport odbavilo za loňský rok 107 394 029. cestujících [9]. Při takové vytíženosti letiště je správné

fungování veškerých systémů klíčové. Původním záměrem při budování letiště byla jeho snadná dostupnost. Podél areálu letiště prochází frekventovaná dálnice I-95. Vyšetřováním těchto opakovaných událostí rušení se zjistilo, že zdrojem rušení jsou procházející kamiony vybaveny mobilním GPS rušičkami na vedlejší dálnici I-95. Využití rušiček nákladními dopravci (navzdory skutečnosti, že jejich používání je nelegální) je poměrně běžná věc, zejména aby nebyli sledováni svými zaměstnavateli. Pokud uvážíme výkon běžné rušičky na palubě nákladního vozidla cca 10mW, pak je možné zarušit běžný GNSS přijímač až do vzdálenosti jednoho kilometru. To přesahuje šikmou vzdálenost k letounům ve fázi přiblížení a letouny letící podle GNSS, případně GBAS to může vážně ovlivnit. Výskyt rušení v Newarku podnítl společnost věnovat se této problematice – blíže ji prozkoumat, identifikovat rizika a podniknout vhodné kroky k prevenci.

3.2.2 Laboratoř, Finsko

Tato podkapitola navazuje na třetí bod ze zadání práce. První komplexní testování rušení GNSS přijímačů provedl ústav Navigace a pozicování z Finského Geodetického Institutu. Pro účely měření využili vlastní laboratoř určenou pro navigační testování. Princip měření spočívá v dlouhodobém vysílání rušivého signálu v případě jednofrekvenčního GNSS přijímače a krátkodobém v případě dvoufrekvenčního přijímače. Na výstupu přijímače se měří parametr J/S (jamming-to-signal), který udává poměr síly rušivého signálu k síle signálu užitečného. S rostoucím poměrem J/S se zhoršuje kvalita poskytovaných navigačních služeb. Následující obrázek znázorňuje udávanou polohu v závislosti na poměru J/S.



Vysvětlivky: East – východně
North – severně
No jamming – bez rušení

Obrázek 3 - Závislost udávané polohy na poměru J/S, zdroj: [13]

Osy X a Y znázorňují zeměpisnou délku a šířku. Dále je vidět že přijímač je schopný udávat správnou polohu až do určité hranice síly rušivého signálu. Po překročení této hranice již systém ztrácí integritu a podávané informace jsou klamné. Vyspělejší GNSS systémy (zejména pro kritickou infrastrukturu) jsou schopné detekovat ztrátu integrity systému a uživatele na to včas upozorní. Pokud ale daný systém spoléhá pouze na GNSS signál, jedná se pouze o parciální řešení. Toto měření potvrdilo hypotézu, že primitivní rušící zařízení dokážou efektivně ovlivnit poskytovanou navigační službu, a to i na značné vzdálenosti. S uvážením, jak snadno lze rušičku pořídit a používat, lze takové jednoduše provést.

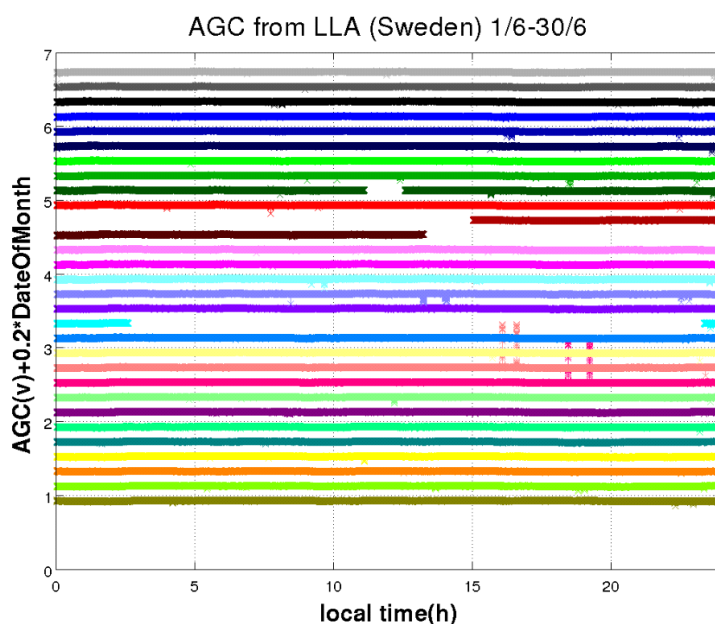
3.2.3 Měření rušení na dvou letištích

Experiment byl proveden ve formě mezinárodní spolupráce několika akademických pracovníků ze Švédska, USA a Taiwanu. Cílem bylo zjistit přítomnost náhodného a úmyslného rušení na dvou mezinárodních letištích. Měřící stanoviště byli ponechána aktivní po dobu několika měsíců a data byla automaticky zaznamenána do příslušného počítače. V rámci experimentu byli sledovány následující dva parametry na GPS L1 frekvenci:

- Automatické vyrovnání citlivosti (AGC-Automatic Gain Control)
- Mezifrekvence (IF-Intermediate Frequency)

Náhle změny jednoho z parametrů by znamenali chybu systému nebo přítomnost nežádoucího rušení.

Letiště Luleå, Švédsko



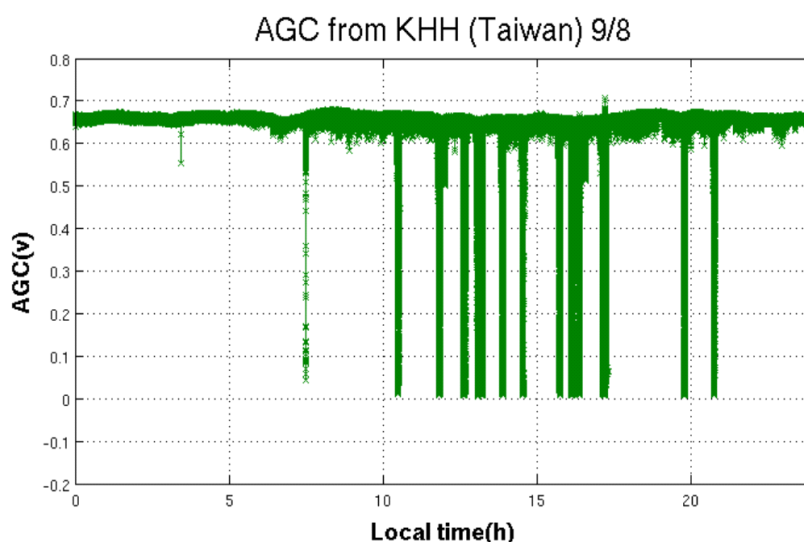
Vysvětlivky: local time – lokální čas
Date of Month – datum v měsíci

Obrázek 4 - Průběh AGC na letišti Luleå z měsíce červen, zdroj: [10]

Výběr tohoto letiště se kvůli nízké obsazenosti a bohaté technické infrastruktuře zdál být jako optimální. Značnou nevýhodou ale byla přítomnost stromů mezi měřicím stanovištěm a RWY (vzletovou dráhou) a přítomnost vysílací věže v okolí letiště. Data sesbíraná z období od 16. května do 20. září 2011 [10] (zobrazena jako průběh parametru AGC na obrázku 4) vykazují několik menších neregularit, nicméně všechny byly identifikovány jako vnitřní chyby, nebo jako následky manipulace se systémem, nikoli jako záměrné rušení. Grafy z dalších měsíců měření jsou k dispozici na [10].

Mezinárodní letiště Kaohsiung, Taiwan

Vybraná lokalita je ideální pro provedení daného experimentu. Letiště odbaví ročně přes 4 mil. cestujících a v okolí letiště se nachází několik vysoce frekventovaných silnic. Základním předpokladem k přítomnosti rušení jsou projíždějící nákladní vozidla na silnicích. Tento předpoklad podporuje následující denní záznam parametru AGC z 9. srpna 2011 (obr. 5):



Obrázek 5 - Denní průběh AGC z letiště Kaohsiung, zdroj: [10]

Náhly propad parametru AGC po dobu několika minut odpovídá době průjezdu vozidla po přilehlé dálnici, kde je snížena rychlost na 50km/h [10]. Z tohoto hlediska se jedná o podobný případ rušení jako na letišti v Newarku. Měření na letišti Kaohsiung skutečně poukázalo na existenci rušení v lokalitě letiště, a také potvrdilo, že Newark není jediné místo na Zemi s výskytem rušivého signálu.

Výše byli zmíněny tři měření rušení GNSS v různých situacích – detekce rušení v provozu, měření rušení v laboratorních podmínkách a měření rušení v provozu letiště. Dohromady poskytují širší přehled.

4 Projekt DETEKTOR

Postupným zaváděním systému GNSS do kritické infrastruktury se zvyšuje potřeba jeho spolehlivosti a integrity. Navíc k tomu roste počet případů nezákonného rušení. V reakci na to vznikl projekt 'Systém pro odhalování nezákonného rušení GNSS signálu v blízkosti kritické infrastruktury' (dále DETEKTOR), který sdružuje několik národních subjektů. Cílem spolupráce je vyvinout konkurenceschopný produkt, sloužící k detekci a lokaci zdroje rušivého signálu typu jamming a spoofing. Konsorcium spolupráce je tvořeno následujícími společnostmi:

- GNSS Centre of Excellence
- Fakulta dopravní ČVUT
- Fakulta elektrotechnická ČVUT

Projekt garantovaný Ministerstvem vnitra ČR dává příležitost akademickým pracovníkům a studentům zapojit své dovednosti. Na komerčním trhu je v současnosti k dispozici několik zařízení sloužící k detekci rušení a monitorování integrity, tzn. případ, že kvalita poskytované služby je nedostatečná. Vyspělejší zařízení disponují funkcí zaměření azimutu příchozího RFI (Radio Frequency Interference) signálu. Bez dalšího parametru (například druhý azimut, nebo výkon rušičky) můžeme pracovat pouze s nekonečnou množinou potenciálních zdrojů rušení ležících někde na daném azimutu. Vyspělejší systém zaměření přesné polohy pomocí dvou azimutů představuje zmiňovaný produkt DETEKTOR, který v první fázi cílí na několik konkrétních subjektů státní infrastruktury.

4.1 Představení zařízení

Architektura systému se zakládá na použití několika měřících stanovišť (standů) společně propojených s centrálním (Master) stanovištěm. Jednotlivá měřící stanoviště pak sbírají data, které jsou pak pomocí datového kanálu přeneseny do centrálního PC a dále zpracovány a vyhodnoceny. V základní konfiguraci disponuje systém třemi standy. Nicméně existuje několik dalších konfigurací (podle počtu standů, nebo počtu kanálů), v závislosti od potřeb zákazníka. Každé měřící stanoviště spočívá z několika komponentů umístěných na společné kovové tyči. Referenční označení měřícího stanoviště „stand“ se odvíjí od původních experimentů, kde tyč byla pro potřeby měření napojena na stativ a tím vytvářela dojem „stojícího“ stanoviště. Kromě toho lze také tyč napojit na konstrukci, případně upevnit do země. Použití stativu bylo kvůli jednoduché manipulaci pro účely měření výhodnější, nicméně není vhodné pro dlouhodobé využívání zejména kvůli zranitelnosti vůči povětrnostním vlivům.

Měřicí stanoviště tedy obsahuje následující komponenty:

- Softwarově definované rádio (SDR)
- Anténní pole
- Akumulátor

Hlavním důvodem zvolení SDR jakožto hlavního článku příjmu signálu je jeho nižší pořizovací cena a jednoduché přeprogramování. *Změnou software lze funkci přijímače měnit, lze zpracovávat signály s jiným typem modulace, kódováním, použít jiné algoritmy demulace dat a tak dále.* [1]. Ve vývojové a následně testovací fázi projektu se počítalo pouze s frekvencí GPS L1, 1575,42 MHz. Jedná se o frekvenci s nejširším nasazením u GNSS přijímačů, proto je také nejčastějším terčem při rušení. Z toho důvodu jsme byli během testování prototypu omezeni na využívání pouze této rádiové frekvence. Nicméně do budoucna se počítá s rozšířením do dalších GNSS frekvencí, případně podle potřeby zákazníka, i do jiných frekvencí. Softwarové rádio zpracovává signály v číslicové (digitální podobě). Nicméně vstup signálu je analogový, proto potřebuje ke své funkci převodník [1].

Na konci tyče se pak nachází anténní pole pozůstávající ze čtyř antén, přičemž každá má své unikátní barevné označení. Vzájemně jsou pak orientovány přesně o 90°. Pomocí anténního pole a více měřících stanovišť můžeme určit azimut k zdroji signálu na základě dvou metod:

- Angle of Arrival (AoA) – úhel přijetí signálu
- Time Difference of Arrival (TDoA) – rozdíl času při přijetí signálu

Signál putuje prostorem rychlostí $c = 300\,000$ km/s. Měřicí stanoviště mají v prostoru rozdílné polohy, proto se k nim signál dostává v různých časech. Na tom si zakládá metoda TDoA, tj. rozdíl času přijetí signálu na jednotlivých stanovištích. V případě AoA je pak směr k zdroji rušení získáván pomocí fázového rozdílu na jednotlivých anténách v poli.

Lze také vidět, že kvůli vysoké rychlosti šíření signálu je potřebná velmi přesná časová základna, tj. stejný čas na všech stanovištích, která zajistí každému přijatému signálu časovou značku. To má na starosti synchronizační jednotka systému. Dále také není jasné, který algoritmus (AoA nebo TDoA) má při výsledném určování polohy signálu větší váhu, za předpokladu že jejich výsledky divergují.

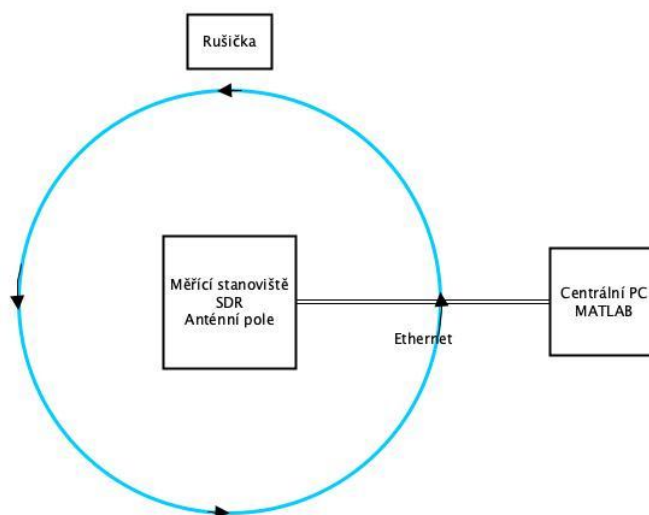
Posledním komponentem je přísun elektrické energie pro pohon stanoviště. Za běžných podmínek si každý stand vyžaduje 230V napětí. Nicméně může nastat situace, kdy z důvodu výpadku proudu (náhodného, nebo úmyslného), nebo během experimentálních činností systém přechází na napájení z 12V akumulátoru. Aby bylo toto řešení výhodné a bezúdržbové, během napájení z 230V je akumulátor průběžně dobíjen.

4.2 Testování prototypu

Pro projekt DETEKTOR byli naplánovány 4 experimenty pro ověření správnosti funkce produktu. Výběr a postup experimentů byl naplánován od jednodušších postupně ku komplexnějším. Tři experimenty byly provedeny v době psaní této bakalářské práce, kterých se autor aktivně zúčastnil (s výjimkou kap. 4.2.1, která je výsledkem dotazování zúčastněné osoby), přičemž jeden experiment nebyl kvůli špatným výsledkům do práce zařazen. O čtvrtém experimentu naplánovaném na měsíc září, kterého se autor zúčastní, pojednává kapitola 5.

4.2.1 Laboratorní podmínky

První experiment se upíná k testování jednoho měřícího stanoviště v laboratorním prostoru Fakulty elektrotechnické ČVUT. Dále byla k experimentu použita elektricky krátká anténa vysílající CW (kontinuální vlnu) o frekvenci 1575,42 MHz s malým výkonem. Měřící stanoviště bylo umístěné do středu laboratorní místnosti, následně propojené s centrálním počítačem pomocí Ethernetového kabelu. Pracovník s vysílačem signálu obíhal kolem stanoviště. Data přicházející z SDR mají 8-bitovou podobu a byli zpracováni v MATLABu v centrálním PC. Jednotlivé antény měřícího stanoviště (kap. 4.1) přijímají signál vycházející z rušivého zařízení s rozdílným fázovým posunem. Po vyhodnocení dat v MATLABu bylo sledováno, zda anténní pole reaguje na kontinuální změnu polohy rušiče.



Obrázek 6 – Schéma aparatury měření, zdroj: autor

Z důvodu neúčasti autora na měření není možné zkonstatovat výsledek měření. Ačkoliv se toto měření může zdát jednoduché, je nutné si uvědomit, že se jedná o první měření prototypu detektoru. Komplexnější experimenty byly naplánovány postupem času.

4.2.2 Test v Kladně

Druhé testování prototypu DETEKTORu se uskutečnilo 13.5.2019 v dopoledních hodinách. Jako vhodná lokalita byla po dohodě s provozovatelem zvolená modelářská část letiště Kladno (ICAO kód - LKKL). Její značnou výhodou je velké prostranství s rovným terénem, což odpovídá požadavkům na přistání modelů letadel.

Akce se zúčastnilo několik projektových vývojářů z Fakulty elektrotechnické ČVUT a dále tři studenti (včetně autora), kteří zde dokumentovali poznatky pro své vědecké práce. Jelikož každý přítomný měl svůj úkol, celé měření proběhlo bez zpoždění.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o druhé měření, myšlenkou nebylo testovat zařízení jako celek, ale jednotlivá měřicí stanoviště osobitě. V případě, že by se během měření vyskytla chyba v systému jako celku, bylo by poměrně obtížné zjistit příčinu a polohu chyby. Tímto způsobem byl zajištěn detailnější přehled o zařízení a lokalizace chyby by byla jednodušší. Pokud veškerá stanoviště pracují správně, následně je pouze stačí propojit optickými kabely a systém bude připravený k testování jako celek. Ve skutečnosti byli provozuschopné pouze dva ze tří SDR, tudíž jedno stanoviště bylo z měření vynecháno.

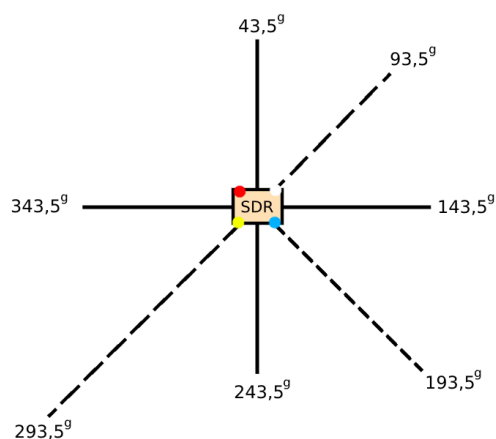
Postup měření byl následovní:

1, Pomocí teodolitu bylo přesně vytyčených 7 vodorovných zeměpisných uhlů, s taktem 50 gradů (45 stupňů). Na každém z těchto osmi uhlů byla položena značka v libovolné vzdálenosti (měřená veličina byla Angle of Arrival, které hodnota se se vzdáleností nemění). Pro zajímavost byli značky umístěné v různých vzdálenostech, čímž je možné sledovat závislost síly přijatého signálu na vzdálenosti generátoru signálu. Schéma sestavy je znázorněna na obrázku 7.

2, Na místo teodolitu bylo umístěné měřicí stanoviště s SDR přijímačem. Každá ze čtyř antén přijímače má pro identifikaci svojí vlastní přiřazenou barvu. Proto bylo nutné anténní pole úhlově vyrovnat.

3, Z každé značky byl vysílán signál na kmitočtu 1575,42 MHz v intervalu +/- 10 MHz z výšky přibližně 1 m s výkonem generátoru signálu +/- 4dBm. Data byla poté pomocí optického kabelu získána v centrálním výpočtovém počítači.

4, Tento okruh měření byl aplikován dvakrát pro obě měřicí stanoviště. Dohromady bylo tedy aplikovány čtyři okruhy měření.



Obrázek 7 – Schéma úhlového zaměření, zdroj: autor

Na první pohled se použití teodolitu k přesnému geometrickému zaměření může jevit jako přehnaná záležitost. Je nutné ale brát v úvahu, že v praxi se zdroj rušivého signálu může nacházet desítky kilometrů daleko. Ve větší vzdálenosti pak může být odchylka skutečné a naměřené pozice zdroje velká. Například odchylka jednoho stupně by se ve vzdálenosti 10 kilometrů projevila chybou až 170 metrů.



Obrázek 8 – Vysílání signálu z úhlu 243,5°, zdroj: autor

Po analýze výsledků se zjistilo, že průběh fázových rozdílů mezi anténami (které jsou klíčovými parametry při měření algoritmu AoA) není stabilní. To naznačuje chybu v systému. V reakci na to byl systém zkontrolován jak po hardwarové, tak softwarové stránce.

5 Metodika k testování DETEKTORU v Brně

Cílem následující kapitoly je blíže popsat veškeré podmínky, činnosti a cíle související s testováním DETEKTORU v Brně. Podobný experiment takového rozsahu nebyl na území ČR zatím proveden. Tato metodika, jakožto hlavní výsledek této bakalářské práce bude mít přínos pro pracovníky na projektu. Dodržení těchto metodických pokynů zajistí bezproblémový a hladký průběh celého dění. Nejdříve je vhodné definovat jednotlivé dílčí cíle testování v Brně:

- Ověřit správnost funkce detektoru – k jeho uvolnění pro komerční prodej musí být zajištěna správnost funkce.
- Detekovat výskyt rušení v okolí letiště Brno-Tuřany –v předchozích experimentech byla detekována přítomnost okolního rušení. Vzhledem k přítomnosti silniční infrastruktury (D1, D2) a poloze letiště blízko města Brna se předpokládá ještě silnější výskyt okolního rušení.
- Ověřit algoritmy AoA, TDoA na základě různých scénářů rušení.
- Získat výsledek ověřené technologie detektoru na základě definice výsledků vědy a výzkumu.

5.1 Příprava na testování

Níže bude sepsaných několik činností, které bylo potřebné provést ve fázi přípravy na testování. Kvůli velkému rozsahu a komplexnosti testování, se s přípravami začalo již několik měsíců předem.

5.1.1 Legální podmínky

Podmínky testování v reálném provozu omezují vnitrostátní právní předpisy České republiky, přesněji zákon č.127/2005 Sb. o elektronických komunikacích [15]. Je nutné brát ohled na následující právní normy:

- §119 odst. 1, písm. c) – Fyzická osoba se dopustí přestupku tím, že využívá rádiové kmitočty, pro jejichž využívání je třeba oprávnění k využívání rádiových kmitočtů podle § 17 odst. 1, bez tohoto oprávnění, [15]
- §119 odst. 1,písm.d) – v rozporu s § 26 odst. 2 obsluhuje některé z vysílacích rádiových zařízení uvedených v § 26 odst. 1 bez platného průkazu odborné způsobilosti k obsluze těchto zařízení,[15]

- §119 odst. 3–Fyzická osoba jako držitel oprávnění k využívání rádiových kmitočtů pro experimentální účely podle § 19b se dopustí přestupku tím, že
- písm. a) – v rozporu s§ 19b odst. 11 neoznámí změnu skutečností, na základě kterých mu bylo toto oprávnění uděleno, nebo [15]
- písm. b) –neposkytne Úřadu informace podle § 19b odst. 14. [15]

V souladu s § 19b zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění platných předpisů (dále jen „zákon“), může Český telekomunikační úřad udělit individuální oprávnění k využívání rádiových kmitočtů pro experimentální účely. Experimentálním účelem se rozumí využívání rádiových kmitočtů pro výzkum, vývoj a provozní ověřování nových vysílacích zařízení, nebo ověřování a zjišťování fyzikálních vlastností šíření rádiových vln. [15]

Porušení těchto právních norem může mít za následek vážné zarušení systému GNSS v provozu. Rádus ovlivněné oblasti prudce narůstá s výkonem rušícího zařízení. Jednotlivé fyzické osoby porušující dané právní normy se dopouštějí přestupku / trestného činu podle závažnosti rušení. Pro minimalizování dopadu na letecký provoz je nutné zohlednit:

- vzdálenost od středisek ŘLP
- vzdálenost od letišť
- letové trasy na přiblížení, resp. přistání.

Aby se zajistila bezpečnost vzdušného prostoru, je možné dočasně omezit nebo zakázat let nad oblastí testování. Rozhodnutí o omezení vzdušného prostoru vydá Úřad civilního letectví opatřením obecné povahy po konzultaci s Ministerstvem obrany a LAA ČR (Letecká amatérská asociace). Druhou možností je vydání NOTAMu příslušným pracovištěm ŘLP.

5.1.2 Legalizace testování

Aby bylo testování rušení GNSS v souladu se zákonem, existuje řada možností, jak postupovat podle právních norem. Testování rušení je svým způsobem vysílání signálu ve vyhrazeném pásmu. Všechny možnosti se opírají od získání oprávnění od Českého telekomunikačního úřadu (dále ČTÚ). Níže budou představeny tři metody pro zajištění povolení.

Formulář ČTÚ

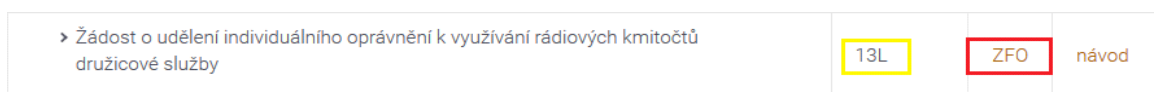
ČTÚ vytvořila pro spotřebitele řadu oficiálních elektronických formulářů. Vyplnění formuláře je realizováno prostřednictvím příslušného softwaru v uživatelském rozhraní PC žadatele. Pro odeslání vyplněné žádosti na ČTÚ je potřebné připojení k internetu. K jednoduššímu zpracování je k dispozici přehledný návod.

ŽÁDOSTI A NÁVRHY

NÁZEV	OZNAČENÍ	TYP	POZN.
> Návrh na rozhodnutí sporu o povinnosti k peněžitému plnění podle § 129	–	ZFO	–
> Námitka proti vyřízení reklamace na neposkytnutí/špatné poskytnutí služby, vyúčtování ceny	2	ZFO	návod
> Ostatní spory	3	ZFO	návod
> Formulář pro zaslání podnětu nebo stížnosti podle správního řádu	4	ZFO	návod
> Formulář pro zaslání dotazu nebo podnětu	5	ZFO	návod
> Žádost o udělení, změnu, prodloužení, odnětí, převod oprávnění k využívání čísel nebo vrácení přeplatku	7	ZFO	návod
> Žádost o prodloužení doby platnosti/vydání průkazu odborné způsobilosti	9	ZFO PDF	návod
> Přihláška ke zkoušce odborné způsobilosti k obsluze vysílacích rádiových zařízení	10	ZFO PDF	návod
> Žádost o udělení individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů pozemní pohyblivé služby	13BCD	ZFO	návod

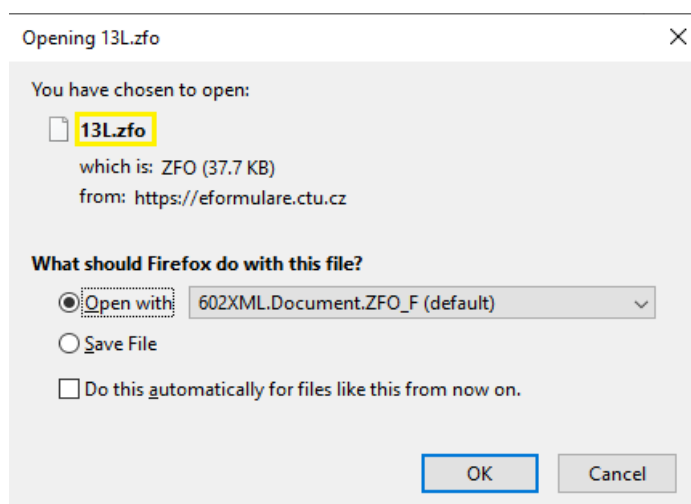
Obrázek 9 - Nabídka formulářů od ČTÚ [11]

Všechny formuláře jsou k dispozici na internetových stránkách ČTÚ [11]. Z kapacitních důvodů byl obrázek na spodní hraně ořezán. Nabídka formulářů tedy pokračuje dál. Účelům testování vyhovuje Žádost o udělení individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů družicové služby, viz. obr. 10.



Obrázek 10 - Vyhovující formulář [11]

Pro stažení formuláře je potřeba zvolit link **ZFO**, viz. červený rámeček na obr. 10.



Obrázek 11 - Stažení příslušného formuláře

Pro kontrolu je doporučeno porovnat označení formuláře na obr. 10 a 11 (žlutý rámeček). Pokud název formuláře nebude odpovídat svému předmětu, bude zamítnut. Dále je potřebné

stáhnout a nainstalovat software Form Filler, sloužící jako platforma pro vyplnění formuláře. Software je k dispozici pro operační systém Windows přímo ze stránek ČTÚ [11].

Žádost na ČTÚ

Další možností je podání oficiální žádosti na podatelnu ČTÚ. Jelikož je ČTÚ přímý orgán státní správy, tudíž jeho zaměstnanci jsou státní úředníci, oficiální lhůta pro vyjádření druhé strany k žádosti je 30 dní. V ojedinělých složitějších případech se může prodloužit až na 60 dní. Existují dva způsoby podání žádosti: zaslání prostřednictvím e-mailu do schránky ČTÚ, nebo osobní doručení na adresu úřadu. V každém případě se musí k žádosti vyjádřit příslušný referent z odboru správy kmitočtového centra. Od formulářů se žádost liší zejména v metodě podání informací. Zatím co v případě formulářů stačí vypsát informace podle návodu do příslušných políček, žádost musí být kompletně sepsána autorem.

Pro legalizaci testování zařízení DETEKTOR v Brně byla taková žádost sepsána autorem této práce a po stanovení termínu testování bude podána na ČTÚ. Cílem je seznámit kompetentní osoby z ČTÚ s celou problematikou testování a jeho cíli. V základě žádost musí obsahovat seznam dotčených subjektů, využití frekvence a zařízení, datum a místo vysílání, případně harmonogram. Další informace se získávají interaktivní formou, v žádosti je nutné zanechat kontakt na žadatele. Oficiální verze žádosti je k nahlédnutí v Příloze 3. Dále je nutné uhradit správní poplatek, v případě experimentálního vysílání složený ze dvou částek:

- vydání rozhodnutí o individuálním oprávnění k využívání rádiových kmitočtů (neboli vydání rozhodnutí k žádosti) – 3 000 Kč
- poplatek za využívání rádiových kmitočtů

Druhá částka se váže na nařízení vlády č. 154/2005 Sb. o stanovení výše a způsobu výpočtu poplatků za využívání rádiových kmitočtů a čísel. Výše ročního poplatku za využívání družicové služby se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$C = S5 \cdot K12 \cdot K13 \quad (4)$$

kde C je roční poplatek za využívání 1 rádiového kmitočtu,

S5 je sazba za 1 MHz šířky kmitočtového pásma zabrané vysíláním (2 500 Kč)

K12 je koeficient šířky kmitočtového pásma zabrané vysíláním,

K13 je koeficient použití technologie s mnohonásobným přístupem ke kanálu.

Suma vyplývající ze vztahu (4) představuje částku za individuální využívání družicových kmitočtů. Pro experimentální účely se platí pouze 10% z výše vyplývající částky (4).

Dohled ČTÚ

Poslední možností je požádat ČTÚ o přímou účast na testování rušení GNSS. Za tento program odpovídá vysunuté pracoviště ČTÚ v Brně. V tomto případě se předpokládá přítomnost nežádoucího rušení v dané lokalitě, a pomocí měření s přítomností ČTÚ je cílem dané rušení identifikovat. Úřadu musí být poskytnuty všechny informace (testované zařízení, sledované frekvence, rádius, časový intervaltestování), na základě kterých pak Úřad rozhodne o povolení a jejich následné účasti. Tento druh experimentu již byl v minulosti proveden, a to v blízkosti ŘLP v Jenči. Dohled ČTÚ je bez poplatku.

Pro legalizaci testování produktu DETEKTOR bylo dohodnuté jednání s ČTÚ na 14.02.2019 v Brně. Konsorcium pracující na vývoji projektu zastupoval Ing. Tomáš Duša, Ph.D. Autor práce se jednání také účastnil. Výsledkem jednání byla dohodnutá lokalita (letišťe Brno-Tuřany) a několik různorodých scénářů, které by ověřili funkčnost DETEKTORu. Jak již bylo zmíněno v kap. 4, vyvíjené zařízení cílí na několik státních subjektů – ŘSD (Ředitelství silnic a dálnic), ŘLP (Řízení letového provozu), SŽDC (Správa železniční dopravní cesty) a ČEPS, plánujících využívání navigačního systému GNSS. Proto byla s ČTÚ také načrtnutá budoucí spolupráce při dalších měřeních:

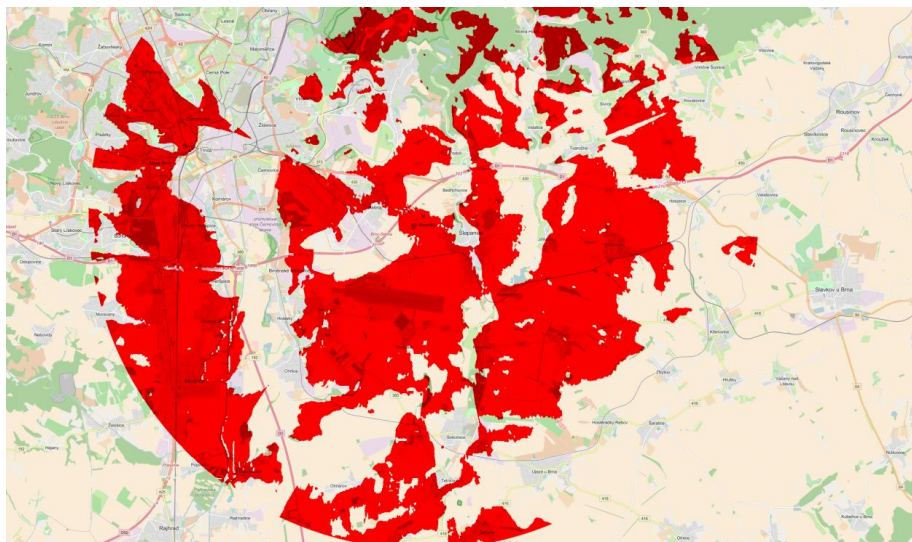
- testování virtuální mytné brány na dálnici / silnici I. třídy (ŘSD),
- ochrana energetické přenosové soustavy (ČEPS),
- ochrana perimetru letiště LKPR (ŘLP),
- kvalita signálu na železničním okruhu ve Velimi (SŽDC).

5.1.3 Obhlídka letiště

V další fázi pak byla provedena návštěva na letišťe Brno-Tuřany za účelem obhlídky míst pro umístění měřících stanovišť a výpočetní techniky. Obhlídka proběhla 15. dubna 2019 za přítomnosti pracovníků z ŘLP Praha a ŘLP Brno-Tuřany, kteří podrobně znají veškerá omezení a dostupné zdroje. Táto podkapitola tedy není výsledkem autorovy činnosti, nicméně autor měl možnost se k obhlídce vyjádřit a poznatky zapracovat do této metodiky. Cílem je nainstalovat měřící stanoviště a výpočetní techniky s využitím již existující infrastruktury, čímž dojde k snížení nákladů. Všechny místa pro umístění standů byly vybrány na budovách v areálu letiště. Výhodou je, že z těchto míst je zatažená optický datový kabel až do serverové místnosti, čímž se vyřeší problém s propojením systému.

Umístění prvního standu se plánuje na ochozu hlavní budovy terminálu letiště (Tower), přibližně v úrovni druhého patra. Instalace standu je možná na kterémkoliv místě z

11metrové šířky balkónu. Kolem ochozu vede zábradlí kruhového 48 milimetrového průřezu, ideální pro upevnění standu, přičemž upevňovací materiál musí být dostatečně silný vzhledem k hmotnosti standu a povětrnostním podmínkám. Odtud pak bude natažený optický a prodlužovací kabel až do suterénu budovy, kde má svoje místo server systému. Zde je možné využít několik boxů policového charakteru) pro umístění PC a synchronizační jednotky. Druhé místo (Hraničky) se pak bylo vybráno přibližně 2700 metrů severně od hlavní budovy, kde se nachází vysílací budova a pět stožárů vhodných pro upevnění standu. Výška základní příhradové části stožáru je 6 metrů, výše pak vede třímetrová tyč s průměrem 78 milimetrů. Výhodou této lokality je skutečnost, že z vysílací budovy je natažený optický kabel až do budovy letiště, tudíž potřebné je pouze natáhnout optický kabel od SDR na stožáru do vysílací budovy. Třetí místo se pak nachází jižně od přistávací dráhy poblíž přijímací budovy. SDR je možné upevnit na horní ochoz přilehlé konstrukce s rozměry 4,5 na 4,5 metru. S výškou ochozu 6 metrů docílíme podobnou výškovou elevací u všech standů. Původně se počítalo s testováním všech tří měřících stanovišť. Nicméně po změně plánu budou využité pouze dva standy na místech Tower a Hraničky. S ohledem na členitost terénu byla od ŘLP vygenerována mapa přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky, a to ve verzích 1, 5 a 10 metrů nad geografickým terénem. Velmi krátké vlny mají špatné vlastnosti šíření s ohledem na terén. Proto bude zajímavé pozorovat, jaký dopad bude mít zákryt terénem na práci detektoru a zda pomůže rušení z větší výšky nad terénem (například použitím výškové plošiny nebo tyče). Tím lze dosáhnout přímou viditelnost na měřící stanoviště z více míst v okolí letiště. Červená barva reprezentuje místa s přímou viditelností na stanoviště Hraničky.



Obrázek 12 – Mapa přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky ve výšce 1 metr nad terénem, zdroj ŘLP

5.2 Scénáře

Aby byl detektor vyzkoušen do největší míry, bylo potřeba v rámci přípravy vymyslet několik různorodých scénářů. Pokud jsou scénáře zvoleny správným způsobem, jsou tím simulované různé situace, které by mohli nastat v provozu DETEKTORU a v případě objevení chyby je pak možné chybu eliminovat a předejít tím nespolehlivosti zařízení v provozu. Také by jejich výběr měl být konzultován s ostatními členy týmu. Jejich bližší znalost fungování systému může mít přínos při výběru scénářů.

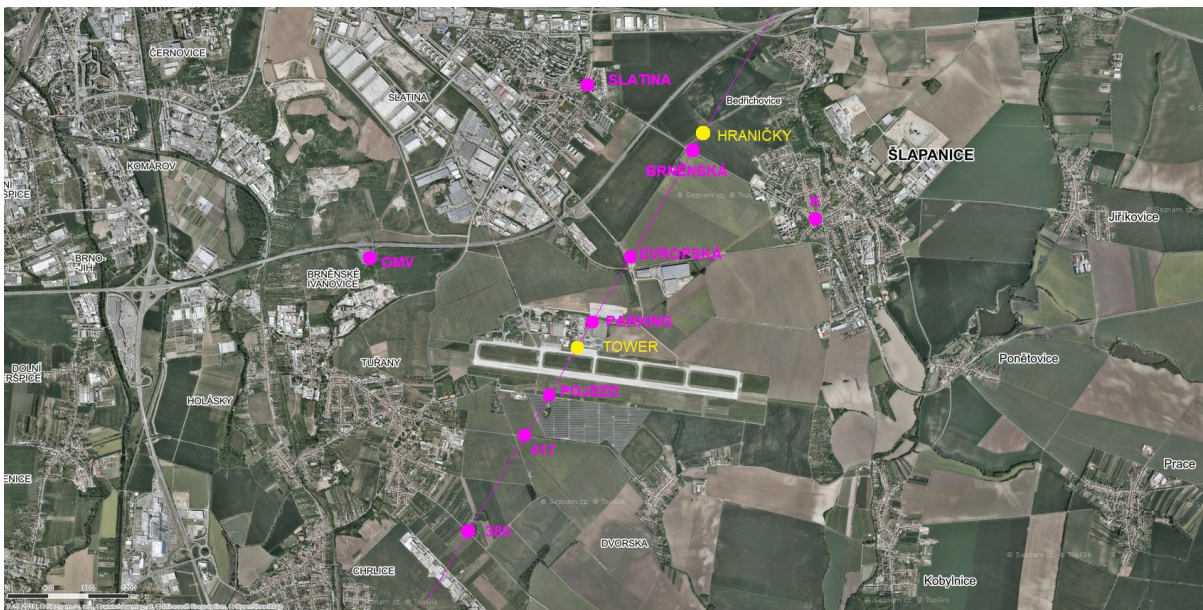
Základní myšlenka volby scénářů se odráží od dvou variant: statické a dynamické. Dále je možné kombinovat vzdálenost, počet rušících zařízení, výškový profil, rychlost, zástavbu a další obdobné parametry. Tímto lze dostat velkou množinu potenciálních bodů, ze kterých je možné rušit signál GNSS. Limitujícím faktorem je poté dosah signálu. Cílem je provést měření za minimálního dopadu na dopravní provoz. Snadnou implikací z toho vyplývá, že při použití vyššího výkonu signálu s větším dosahem dojde k omezení větší části provozu. Z toho důvodu se autor snažil zvolit místa s uvážením výkonů rušiček. Níže bude představených několik scénářů rušení, resp. místa zdrojů rušivého signálu. Ke každému bude krátký popis a odůvodnění.

5.2.1 Statické scénáře

Při jednodušších statických variantách bude signál vysílán z jednoho bodu. Ze zkušeností z předchozích testování je vhodné měření z každého statického bodu opakovat alespoň dvakrát, přičemž časový rozdíl mezi měřeními je závislý na reaktivitě systému. Porovnáním určené polohy a známé polohy rušičky na mapě lze určit přesnost systému.

Množina bodů

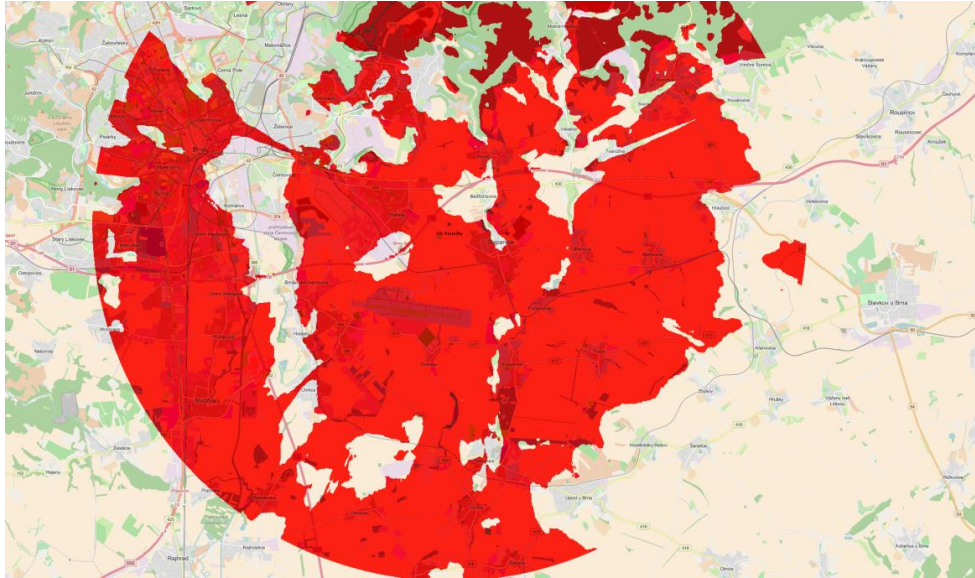
První komplexní variantou je vysílání z každého z množiny bodů zobrazených na obr. 13. Při jejich volbě bylo zohledněno pokrytí představující obrázek 12. Některé body se nacházejí mimo oblast přímé viditelnosti, proto se také počítá s využitím výškové techniky, resp. výškové plošiny. Tím se rušička dostane do vyšší polohy a pravděpodobně také do přímé viditelnosti. Využití plošiny je ale omezeno na statické scénáře, jelikož jízda s vysunutou plošinou do výšky 5 – 10 metrů není povolena. Dalším limitujícím faktorem je pak skutečnost, že plošina potřebuje na přesun mnohem delší dobu než osobní automobil. Proto je důležité si předem určit, ve kterých bodech se plánuje využití plošiny a efektivně je seřadit. Čas potřebný na přesun plošiny pak může osobní automobil využít k vysílání z jiných bodů.



Obrázek 13 – Množina bodů, zdroj: mapy.cz, autor

Dva body umístění měřících stanovišť jsou znázorněny severně od letiště žlutým kruhem. Jednotlivé body vysílání jsou pak znázorněny růžovou barvou, přičemž jsou dvojího druhu. První podmnožinu tvoří body umístěné na spojnici měřících stanovišť Tower a Hraničky. Výše bylo zmíněno, že detektor je schopný určit zdroj rušení na základě algoritmů AoA a TDoA. Při využití AoA vznikají ve všech bodech dva identické azimuty, přičemž detektor nemůže určit kde na daném azimutu se nachází rušení. Tím pádem je algoritmus AoA pro všechny body na spojnici neúčinný (pokud ovšem není zapojený také třetí stanoviště), spojnice slouží pouze na ověření algoritmu TDoA. Body na spojnici se od sebe liší jak výškovou elevací, tak vzdáleností od stanovišť. Je tedy možné, že rušička fungující na bližším bodě nebude účinná na bodě vzdáleném. Pro měření se tedy uplatní následovní princip: nejdříve bude využita rušička s nejslabším vyzařovacím výkonem, poté rušička s nejsilnějším výkonem a dále bude výkon postupně snižován. Tím pádem lze heuristicky vyloučit další rušičky v pořadí na základě předpokladu, že pokud rušička nemá dostatečný výkon, pak slabší rušičky také nebudou na danou vzdálenost účinné.

Druhou množinu pak tvoří body, které jsou již obsaženy v dynamických scénářích popsaných níže, nicméně dynamické scénáře nemají možnost manipulovat s výškovou elevací. Při elevaci 10 metrů nad terénem vzniká následovní mapapřímé viditelnosti (obr. 14):



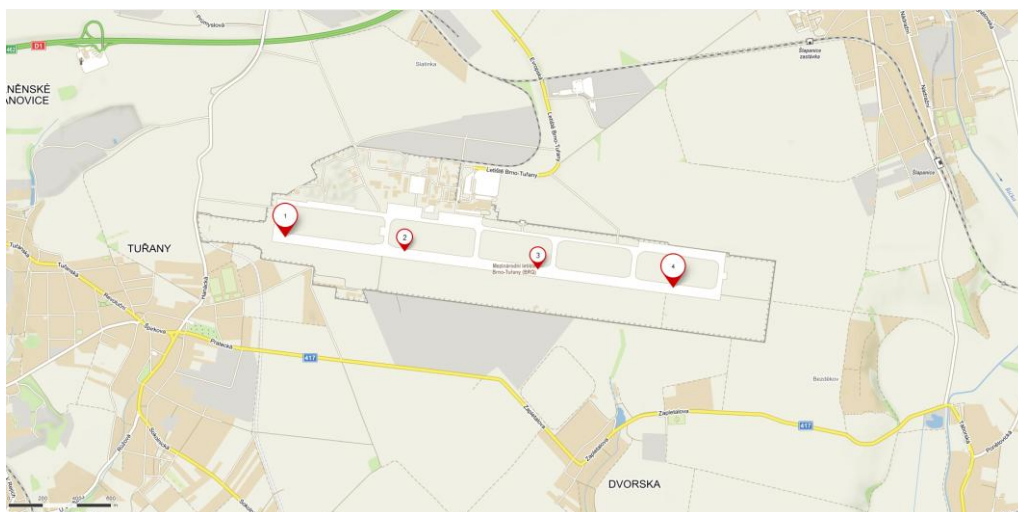
Obrázek 14 – Mapa přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky ve výšce 10 metrů nad terénem, zdroj ŘLP

Průnikem obrázků 12 a 13 lze vidět, že z bodů K a OMV není přímá viditelnost a je potřeba použít výškovou plošinu. Tu je ale možné vysunout pouze při nulové rychlosti a mimo provoz. Původně autor počítal i s vysíláním z uzlu dálnic D1 a D2, ale jelikož na křižovatce dálnic neexistuje odstavné místo pro bezpečné parkování vozidel, je možné tuto křižovatku použít pouze jako scénář dynamický a doufat, že část signálu překoná překážky ve formě terénu. Pro optimální využití času je vhodné nejdříve využít plošinu v bodě K, poté se přesunout do dalších bodů, zatímco se výšková plošina sbalí, přesune do bodu OMV a připraví na vysílání. Tím se ušetří mnoho času.

Osa RWY

Skvělou příležitostí nabízí také využití RWY 09-27. V době testování, tj. v intervalu několika hodin sena letišti Brno-Tuřany nepředpokládá provoz letadel. Tím se nabízí možnost svobodného pohybu po letišti jak pro sestavení detektoru, ale i v průběhu měření. Tato varianta představuje pseudo-kontinuální scénář, protože:

- body leží na rovné spojnici a simulují přistání/vzlet letounu
- měření dynamických pohybů zdrojů rušení se projeví jako posloupnost statických zdrojů kvůli obnovovací frekvenci výstupu detektoru



Obrázek 15 – Osa RWY, zdroj: mapy.cz, autor

Kromě toho se také nabízí dynamická varianta průjezdu vozidla po RWY. Nicméně se očekává, že nejdřív budou realizovány statické scénáře, jelikož jsou jednodušší. Optimální realizace se jeví těsně po zprovoznění detektoru, čímž obsadíme prostory RWY po nejkratší dobu. Druhou alternativou se jeví průjezd vysokorychlostního vozidla. Z ostatních scénářů se zjistí reakci detektoru na nehybné a pomalé zdroje rušení. Jakým způsobem se bude chovat detektor na zdroj s rychlostí 200 km/h, není známé. Situaci komplikuje také skutečnost, že vysokorychlostní zdroj rušení by se nacházel uvnitř perimetru detektoru. Krátká vzdálenost od stanoviště Tower způsobí, že gradient změny parametru AoA bude velmi velký (což je dobré otestovat).

5.2.2 Dynamické scénáře

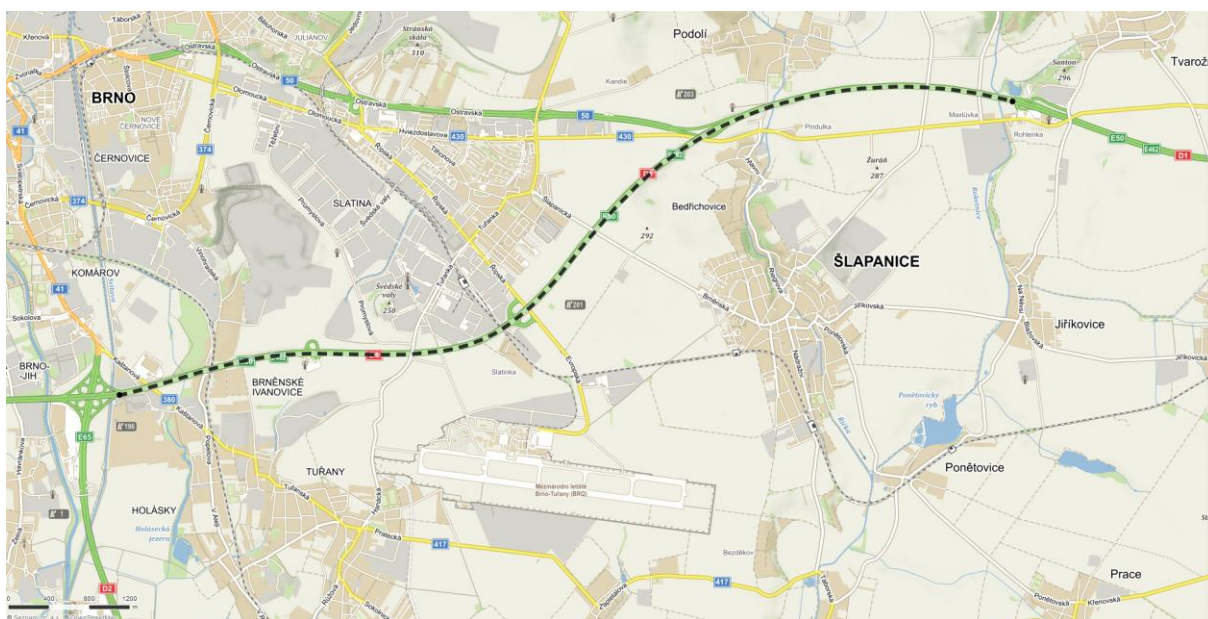
V tomto případě je cílem demonstrovat pohyblivý zdroj rušení. V předchozím kroku bylo ověřeno, jakým způsobem detektor reaguje na statické zdroje rušení. Dále je známé, že parametr AoA (Angle of Arrival), resp. azimut příchozího signálu se počítá na základě fázového rozdílu mezi čtyřmi anténami. Se změnou polohy rušičky se implicitně změní také fázový rozdíl a dostaneme nový údaj. Při kontinuální změně polohy rušičky autora zajímá, do jaké míry je detektor schopný poskytovat správné informace, zda dokáže reagovat na pohyb ve vysoké rychlosti, a s jakou obnovovací frekvencí dokáže poskytovat nové údaje. Při výběru vhodné trasy dynamického rušení nastává omezení na pohyb na zemi, nebo pohyb vzduchem. Pro účely měření se bude počítat s automobilovými dopravními prostředky a pro zajímavost bude zmíněna také jedna vzdušná varianta. V okolí letišť se nachází několik intra/extravilánových komunikací vhodných pro účely experimentu. Právě z těchto směrů se předpokládá největší přítomnost nežádoucího rušení.

Dálnice D1

Dalším scénářem, který odráží předpokládaný výskyt rušení je pohyb vozidla po dálnici D1. Již dříve bylo zmíněno, že dílčím cílem DETEKTORu je odhalit přítomnost rušičky na palubě především nákladních vozidel scílem omezit sledování vozidla zaměstnavatelem, nebo obejít systém družicového výběru mýta. Tento fenomén může zásadním způsobem omezit systém GNSS na přilehlém letišti Brno-Tuřany, dálnice je vzdálena pouhých 1500 metrů od prostorů letiště. Od stanoviště Hraničky je dálnice v nejbližším bodě vzdálena pouhých 450 metrů, což je dostatečně blízko i pro nejslabší rušičku. Pro pohyb vozidla po dálnici bude využitý automobil některého z účastníků testování.

Je nutno podotknout, že dálnice mají svá provozní omezení:

- minimální rychlost 80 km/h
- maximální rychlost 130 km/h
- nájezd a výjezd z dálnice pouze na místech na to určených



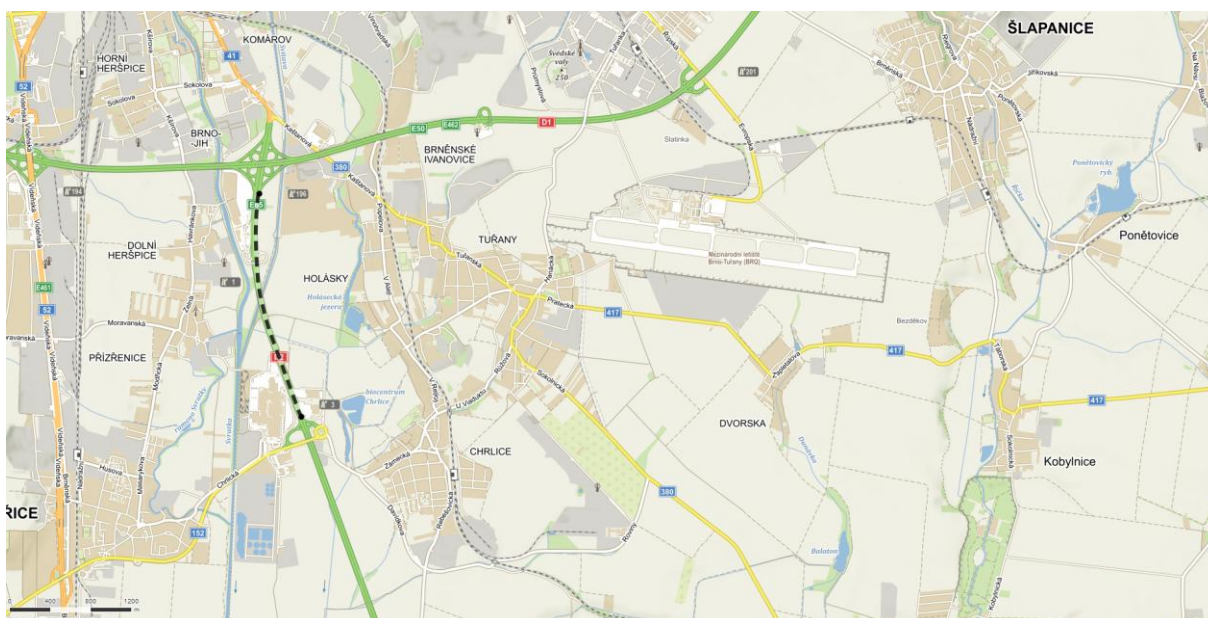
Obrázek 16 – Trasa po dálnici D1, zdroj: mapy.cz, autor

Trasa o délce 9800 metrů poskytne dostatek času pro sběr potřebných dat. Je nutno si ale uvědomit, že dálnice je v tomto úseku dvouproudová a velmi vytížená, s velkým podílem nákladní dopravy. Z toho důvodu je optimální zachovat plynulý provoz a s ohledem na nákladní vozidla zvolit rychlost 90 km/h. Součástí tohoto scénáře je vysílání z bodu OMV na dálniční čerpací stanici, proto je potřeba přidat přibližně dvě minuty manipulačního času.

Dálnice D2

Dalším vhodným příkladem je pohyb vozidla po dálnici D2. Opět se jedná o dálnici s vysokou intenzitou dopravy. Dle sčítání dopravy Ředitelstvím silnic a dálnic v roce 2016 činila průměrná denní intenzita na tomto úseku 50 905 vozidel/den, z toho 11 554 nákladních vozidel. Uvážením žepouhé 1% nákladních vozidel disponuje aktivním rušícím zařízením, dostaneme +/- 115 případů rušení každý den.

Spolu s předchozím scénářem mají společný uzel – křižovatku dálnic D1 a D2. Jako vhodné řešení se poté nabízí plynulý přechod z jednoho měření na druhé právě na zmiňované křižovatce, bez nutnosti dalšího přejíždění. Sjezd z dálnice D1 a nájezd na dálnici D2 poskytují dostatek času, aby obsluhovatel výpočetní techniky zastavil sekvenci dat z prvního měření a nastavil měření druhé.



Obrázek 17 – Trasa po dálnici D2, zdroj: mapy.cz, autor

S délkou 2 200 metrů a při rychlosti 90 km/h je možné vysílat rušivý signál po dobu 88 sekund. Dále v porovnání s obrázkem 12 lze vidět, že obě dálnice D1 a D2 jsou mírně v zářezu a střídají se úseky s a bez přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky.

Celé testování je koncipováno tak, aby co nejméně omezilo ostatní uživatele systému GNSS, co nejméně omezilo provoz na letišti Brno-Tuřany a aby svou komplexností zapůsobilo na potenciální zákazníky. Již předem oznámilo svou účast na testování několik subjektů, kteří by ve finále mohli mít zájem o daný produkt. Z toho důvodu musí být harmonogram dobře naplánován a v průběhu testování se musí držet stanoveného časového horizontu. Pro každý scénář je stanovená přibližná doba potřebná k jeho uskutečnění (doba vysílání, doba přejezdu na dané místo, následné otočení a návrat). S každou chvilkou zpoždění testování ztrácí na profesionalitě a vzbuzuje to do negativní dojem. Proto je v zájmu týmu optimálně navrhnout harmonogram a v průběhu testování ho spolu s metodickými pokyny dodržovat.

Aerostat (vzducholod')

Dalším scénářem testování s výškovou diferencí je za použití dálkově ovládatelného aerostatu. S jeho využitím lze simulovat pohyblivý zdroj rušení v letadle (pomalý letoun nebo helikoptéra) po předem definované trase, s vertikálním dostupem až 1 600 metrů. Na palubě je k dispozici 12 V napětí pro napájení rušičky. Vzducholod' je k pronájmu od společnosti třetí strany, přičemž je nevyhnutná jejich přítomnost na místě měření, jelikož jsou zodpovědní za ovládání. Za pronájem si účtují následovné poplatky:

Tabulka 3 – Cena za pronájem vzducholodě

Čas letu	2 800 Kč za hodinu letu
Prostoje	600 Kč za hodinu prostoje
Paušální náklady	6 000 Kč jednorázový poplatek
Doprava	19 Kč za ujetý kilometr

Použití vzducholodě tedy provází vysoké náklady. Dále je potřebné zařídit povolení k leteckým pracím od Úřadu pro civilní letectví. Výzkumníci z Fakulty elektrotechnické ČVUT již podobnou vzducholod' v minulosti využili. Zprávu z jejich měření je k nahlédnutí zde: *Radiowave Propagation Measurements Using Remote Control Airship*[4].

Okružní jízda

Posledním dynamickým scénářem připadá v úvahu delší úsek než v předchozích případech. Během této 14,5kilometrové jízdy se kontinuálně vysílá 'kolem' detektoru – to znamená, že v rámci jednoho scénáře by měl být vyzkoušen příchod signálu takřka ze všech směrů. Tím pádem lze snadněji zjistit potenciální chybu anténní řady přijímače. Druhou výhodou této trasy je skutečnost, že průběh trasy se nachází jak v extravilánu, tak v místě zástavby. Bude zajímavé pozorovat, jakým způsobem se bude chovat síla přijímaného RFI signálu a zda bude detektor schopný určit polohu zdroje v závislosti na hustotě zástavby, nebo nikoliv.



Obrázek 18 – Okružní jízda, zdroj: mapy.cz, autor

Trasa začíná a stejně tak i končí na světelné křižovatce v zastavěné části města Brno-Tuřanka. Táto pozice se jednala jako nejvýhodnější z toho důvodu, že do tohoto uzlu vede příjezdová cesta k letišti (nejvýhodnější za předpokladu, že stejnou cestu využijí k příjezdu na místo testování zúčastněné osoby). V průběhu trasy se střídají různé rychlostní limity, proto lze vysílat při různých rychlostech (například 30, 50,90 km/h). V této fázi lze těžko odhadnout potřebný časový interval, dle navigační služby je doba jízdy 19 minut, k čemu je potřeba připočítat šestiminutový pohyb po příjezdové cestě k letišti.

5.3 Personální obsazení

Osoby přítomné na měření mohou být dvojího původu. Měření se budou aktivně účastnit pracovníci Katedry měření a Katedry radioelektroniky z Fakulty elektrotechnické, kteří pracovali na vývoji detektoru: doc. Ing. Jan Roháč, Ph.D., doc. Ing. Jiří Novák, Ph.D., Ing. Petr Bojda, Ph.D., Ing. Radek Sedláček, Ph.D., Ing. Martin Šipoš, Ph.D., Ing. Jan Sobotka, Ing. Evžen Grohmann, doc. Dr. Ing. Pavel Kovář, Ing. Jan Míchal, Ph.D., Ing. Pavel Puričer. Jako hlavní odborníci v této problematice budou zodpovědní za průběh testování, ovládání detektoru, rušiček, zajištění výstupů pro hosty. Dále bude přítomný Tomáš Duša z GCE a pravděpodobně také autor práce. Další spolupráci poskytne doc. Ing. Jakub Kraus Ph.D. a to v oblasti získání ověřené technologie. Druhou skupiny pak představují hosté z převážně státních institucí, kteří mohou mít o detektor potenciální zájem: zástupci z ŘLP, NÚKIB, Ministerstva dopravy, Ministerstva vnitra a pak zástupci z Univerzity v Žilině.

5.4 Potřebné vybavení

V závislosti na programu testování musí být sepsán seznam vybavení a prostředků, které budou potřeba pro realizaci jednotlivých scénářů. Z předcházející kapitoly lze vidět, že kromě zařízení vyplývajících z vysílání signálu, bude potřeba zajistit větší inventář. Výhodou je, že Fakulta elektrotechnická v minulosti vykonala řadu měření s využitím podobných přístrojů. Tím pádem lze po domluvě dané vybavení použít jako majetek školy a tím odlehčit rozpočet projektu. V druhém případě pak lze zbylé vybavení získat za úplatu, přesněji zaplacením z rozpočtu projektu. Protože je testování v Brně posledním testováním v rámci projektu, nabízí se otázka, zda není lepší variantou některé vybavení (u kterého taková možnost existuje) pronajít. Tím pádem bychom snížili náklady.

Program testování začíná v dopoledních hodinách. Z toho důvodu nezbyvá dostatek času na přípravu celé aparatury ve stejný den. Optimální je tedy začít s rozmístěním alespoň den předem, přičemž je vhodné zkontrolovat statické body rušení a zastaničit jejich polohu vlajkou, případně jinou barevnou alternativou pro její snadnější nalezení. Dále musí být provedené geografické zaměření měřicího stanoviště vůči zeměpisnému severu, tak jak to bylo popsáno v kapitole 4.2.2. Zařízení k tomu určené se nazývá teodolit.

Pro účely rušení signálu je standardně potřeba rušící zařízení. Nicméně, na rozdíl od předchozích měření (kap. 4.2) se již neplánuje využití elektricky krátké antény, nýbrž využití komerční rušičky. K dispozici jsou pak následovně rušičky:

- 1 x rušička od ŘLP,
- 1 x rušička z Fakulty elektrotechnické,
- 4 x rušička od NÚKIB (Národního úřadu pro kybernetickou a informační bezpečnost).

Jednotlivé rušičky se liší zejména výkonem a počtem kanálů. S různým výkonem lze pak znovu zvýšit diverzitu testování. Problémem je skutečnost, že přesná vyzařovací charakteristika a výkon jsou známy pouze u rušičky od ŘLP. Změření vyzařovacích charakteristik zbylých rušiček pak nabídlo ČTÚ. Tím budou získány důležité parametry vysílání signálu. Rušící zařízení mají standardně několik možností napájení, obvykle kombinaci napájení z elektrické sítě, akumulátoru nebo autonabíječky. Nicméně pokud se plánuje vysílat z některého z odlehklých bodů (například vyhlídka, nebo pole) bez možnosti zapojení do elektrické sítě, je potřeba vzít nabitý 12V akumulátor, s dostatkem proudu pro pohon rušičky během měření. Akumulátory mají standardně dostatečnou kapacitu pro napájení zařízení po dobu několika hodin (v závislosti na kvalitě a kapacitě akumulátoru, případně hraje roli příkon napájeného zařízení). Může ale nastat situace, kdy kvůli zpoždění dojde k vyčerpání kapacity akumulátoru a musí být dobíjena nabíječkou. Měřicí stanoviště potřebují ke své činnosti zapojení do 230V elektrické sítě. Pro napájení minimálně jednoho standu je pak potřeba také prodlužovací kabel.

Pokud se podíváme zpátky na scénáře do kap. 5.2, místa vysílání a ovládání detektoru jsou od sebe vzdálená až v řádech kilometrů. Proces měření je pak závislý na správné koordinaci obou stanovišť, kdy druhá strana nemá informaci o příjezdu na místo vysílání apod. Ke vzájemné komunikaci je pak dobré pronajmout sadu vysílaček, jejichž použití je mnohem efektivnější než mobilní telefon. Dále je k realizaci scénářů potřeba osobní automobil s minimálně dvoučlennou posádkou, kdy jeden člen posádky se věnuje řízení a druhý pak obsluhuje rušičku a komunikuje se zbytkem týmu. Další otázkou pak je realizace vysokorychlostního scénáře, kdy ne každý automobil je schopný vyvinout danou rychlost, udržovat danou rychlost po dobu několika sekund a bezpečně zabrzdit na RWY s délkou 2600 metrů.

Pro kontrolu výsledků je pak potřeba vhodný grafický výstup. Stanoviště operátora detektoru má nativně k dispozici monitor. Jelikož je nahlášených několik hostů (kap. 5.3), kteří mají o detektor potenciální zájem, je dobré pro ně toto testování zatraktivnit například v podobě grafických výstupů v reálném čase. Tím pádem je potřeba zajistit přímý přenos výstupů ze stanoviště operátora na další obrazovky. Další člen týmu bude odpovědný za pořizování videozáznamů. Ty pak budou sloužit jako příloha ke finální zprávě a dále je možné použít jako podklad pro testování v rámci dalších projektů.

5.5 Harmonogram

Pro snadný přehled byla autorem vypracována následující matice reprezentující časový program testování. Její návrh byl vytvořen v programu Microsoft Excel s využitím funkcí, tudíž při změně jakékoliv časové položky dojde ke změně celkového času. Jednotlivé časové intervaly byli doplněny podle představ autora, po následné konzultaci se zbytkem týmu lze harmonogram snadno upravit, právě kvůli výše zmiňovaným funkcím. Autor navrhuje následující sekvenci scénářů – Slatina – K – Brněnská – Evropská – Parking – Pojezd – 417 – 380 – Dálnice D2 – Dálnice D1 (včetně OMV) – Okružní jízda – Osa RWY.

Tabulka 4 – Matice programu testování

Sraz týmu 08:00					
Příprava	120 min				
Zahájení 10:00					
Úvod k měření	30 min				
Statické	Cesta do bodu	Vysílání 1	Prostoj	Vysílání 2	Celkem [min]
Slatina	00:07:00	00:00:05	00:00:15	00:00:05	00:07:25
K	00:03:00	00:00:05		00:00:05	00:03:25
Brněnská	00:02:00	00:00:05		00:00:05	00:02:25
Evropská	00:06:00	00:00:05		00:00:05	00:06:25
Parking	00:01:00	00:00:05		00:00:05	00:01:25
Pojezd	00:13:00	00:00:05		00:00:05	00:13:25
417	00:02:00	00:00:05		00:00:05	00:02:25
380	00:05:00	00:00:05		00:00:05	00:05:25
OMV	00:00:00	00:00:05		00:00:05	00:00:25
Osa RWY 1	00:05:00	00:00:05		00:00:05	00:05:25
Osa RWY 2	00:00:30	00:00:05		00:00:05	00:00:55
Osa RWY 3	00:00:30	00:00:05		00:00:05	00:00:55
Osa RWY 4	00:00:30	00:00:05		00:00:05	00:00:55
Dynamické	Cesta do bodu	Vysílání			Celkem
Dálnice D1	00:00:30	00:07:50			00:08:20
Dálnice D2	00:06:00	00:01:30			00:07:30
Okružní jízda	00:02:00	00:19:00			00:21:00
Pauza + rezerva	01:00:00		Vyhodnocení	00:30:00	
Scénáře celkem	01:27:45		Celkem	02:57:45	
Příprava	08:00:00	Zahájení	10:00:00	Konec	12:57:45

Závěr

K závěru práce pak zbývá zhodnotit splnění cílů definovaných úvodem a v zadání práce. Autor v první části práce stručně zpracoval teoretické podklady k řešené problematice v souladu s dílčími cíli stanovených v zadání práce. Cílem bylo obeznámit čtenáře se systémem GNSS a jeho rizikami jak v analytické, tak mírně fyzikální rovině. Z práce vyplývá, že rušení GNSS lze snadno provést za minimálních nákladů a obrana proti rušení je mizivá. Navigační služby využívá pořád více lidí ve svých zařízeních, a tím jsou kladeny vysoké požadavky na spolehlivost systému. Zejména pak v oblasti kritické infrastruktury (například perimetr letiště), nelze počítat s občasným výpadkem signálu, který by měl za následek ztrátu informace o poloze letadla. Jak autor popisuje v kap. 3.2, podobné případy rušení v okolí letiště již byli zaznamenány, resp. naměřeny. Tyto příklady reprezentující třetí bod a čtvrtý bod ze zadání a dále představují motivaci k vývoji detektoru.

V rámci praktické části se čtenář seznamuje s potenciálním obranným mechanismem ve formě detektoru, schopný lokalizovat zdroj rušení na základě přijatého rušivého signálu. Autor během jeho vývoje měl čast konzultovat některé otázky přímo s vývojáři a účastnit se některých testování prototypu. Tyto poznatky spolu s teoretickou částí práce pak autor využil během zpracování metodických pokynů pro poslední testování prototypu v Brně. V praktické části se předpokládá největší přínos bakalářské práce, jelikož v první řadě obsahuje poznámky z testování detektoru, které pak uplatní vývojáři během psaní závěrečné zprávy projektu. V druhé řadě metodické pokyny obsahují veškeré podmínky a činnosti potřebné k realizaci testování v Brně. Veškeré body pro zpracování v zadání práce byli v práci splněny.

Vývoj detektoru se také potýkal se zpožděním oproti plánovanému postupu, čímž došlo k posunu testování v Brně. Původním cílem autora bylo zúčastnit se testování ještě před ukončením bakalářské práce, a přiložit výsledky a závěry z Brna. Bohužel kvůli posunu testování na měsíc říjen, nebylo možné výsledky doložit.

Použitá literatura

- [1] KOVÁŘ, Pavel. *Družicová navigace: od teorie k aplikaci v softwarovém přijímači*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05989-0.
- [2] ICAO. *Doc 9849: Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual*. Montreal, 2012. Dostupné z: <https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Documents/Doc.%209849.pdf>
- [3] MORONG, Tomáš. *Zabezpečení ATM systémů ŘLP, s.p.proti záměrnému rušení signálu GPS*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektromagnetického pole.
- [4] *Radiowave Propagation Measurements Using Remote Control Airship* [online]. In: . [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://elmag.fel.cvut.cz/sites/default/files/users/pechac/pictures/CTU-blimp-meas-poster.pdf>
- [5] GNSS Signal [online]. [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_signal
- [6] Sanz Subirana J., Juan Zornoza J. M., Hernandez-Pajares M., *GNSS Data Processing, Volume I: Fundamentals and Algorithms*, Publisher: ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, ISBN 978-92-9221-886-7, 95-138, 2013
- [7] VODIČKOVÁ, Kristýna. *Možnosti zavádění technologií na odhalování nezákonného rušení GNSS signálu v ČR*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy.
- [8] THE PORT AUTHORITY OF NY & NJ, *DECEMBER 2018 TRAFFIC REPORT*. Dostupné z: https://www.panynj.gov/airports/pdf-traffic/EWR_DEC_2018.pdf
- [9] Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport, *YEAR-TO-DATE AIRPORT TRAFFIC REPORT, December 2018*. Dostupné z: <https://www.atl.com/wp-content/uploads/2019/02/ATL-Traffic-Report-Dec-2018.pdf>

- [10] ISOZ, Oscar, Dennis AKOS, Tore LINDGREN, Chih-Cheng SUN a Shau-Shiun JAN. *Assessment of GPS L1/Galileo E1 Interference Monitoring System for the Airport Environment* [online]. 2011 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1000518/FULLTEXT01.pdf>
- [11] *Přehled formulářů* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/formulare>
- [12] ZREIKAT, Aymen a Milan DORDEVIC. *Performance Analysis of Path loss Prediction Models in Wireless Mobile Networks in Different Propagation Environments* [online]. In: . 2017, s. - [cit. 2019-07-24]. DOI: 10.11159/vmw17.103. Dostupné z: http://avestia.com/EECSS2017_Proceedings/files/paper/VMW/VMW_103.pdf
- [13] KUUSNIEMI, Heidi. *Effects of GNSS jammers and potential mitigation approaches*: [online]. Riga, Latvia: Finnish Geodetic Institute, May 2012 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <http://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2012/un-latvia/ppt/3-14.pdf>
- [14] ICAO. *Guide for ground based augmentation system implementation*, 2013. Dostupné z: <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/GBASGuide.pdf>
- [15] Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2005
- [16] Letecký předpis L 10
- [17] Letecký předpis L 14
- [18] JONES, Michael. *The civilian Battlefield: Protecting GNSS receivers from interference and Jamming* [online]. [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <http://www.insidegnss.com/auto/marapr11-Jones.pdf>
- [19] Galileo Initial Services – Open Service – Service Definition Document v1.0

Seznam obrázků

Obrázek 1	Kompilace národních GNSS systémů
Obrázek 2	Frekvenční spektrum družic GNSS
Obrázek 3	Závislost udávané polohy na poměru J/S
Obrázek 4	Průběh AGC na letišti Lulea z měsíce červen
Obrázek 5	Denní průběh AGC z letiště Kaohsiung
Obrázek 6	Schéma aparatury měření
Obrázek 7	Schéma úhlového zaměření
Obrázek 8	Vysílání signálu z úhlu $243,5^\circ$
Obrázek 9	Nabídka formulářů od ČTÚ
Obrázek 10	Vyhovující formulář
Obrázek 11	Stažení příslušného formuláře
Obrázek 12	Mapa pokrytí ve výšce 1 metr nad terénem
Obrázek 13	Množina bodů
Obrázek 14	Mapa pokrytí ve výšce 10 metrů nad terénem
Obrázek 15	Osa RWY
Obrázek 16	Trasa po dálnici D1
Obrázek 17	Trasa po dálnici D2
Obrázek 18	Okružní jízda

Seznam tabulek

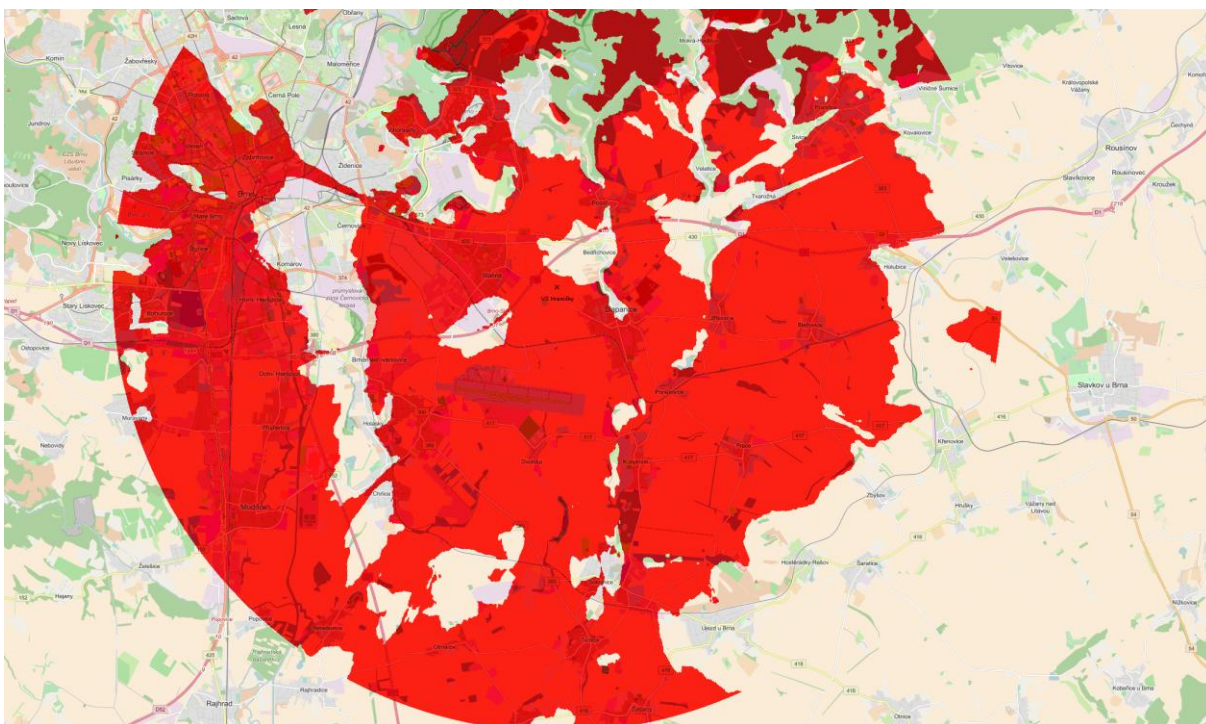
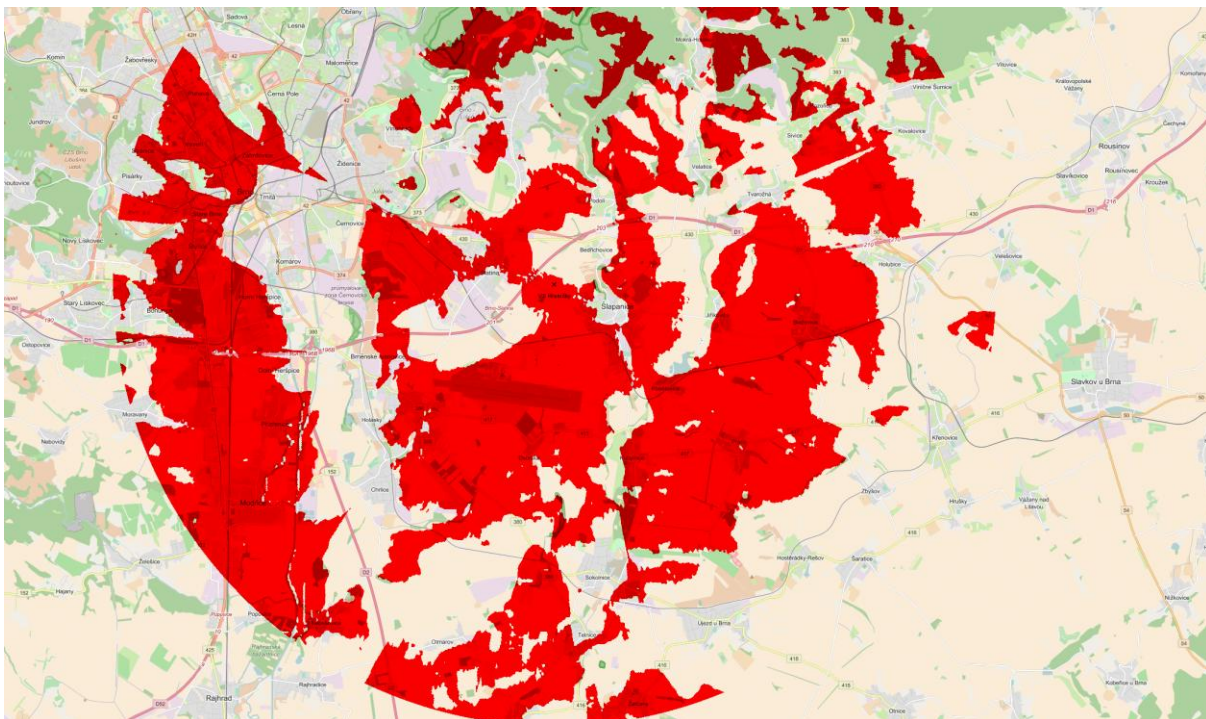
Tabulka 1	Vlnové délky jednotlivých pásem GNSS
Tabulka 2	Počty cestujících odbavených na letišti EWR za rok 2018
Tabulka 3	Cena za pronájem vzducholodě
Tabulka 4	Matice programu testování

Seznam příloh

- Příloha 1 Mapy přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky z výšky 1 m a 10 m nad terénem
- Příloha 2 Mapy přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky z výšky 1 m a 10 m nad terénem s překážkami
- Příloha 3 Žádost k oprávnění k experimentálnímu využívání rádiových kmitočtů

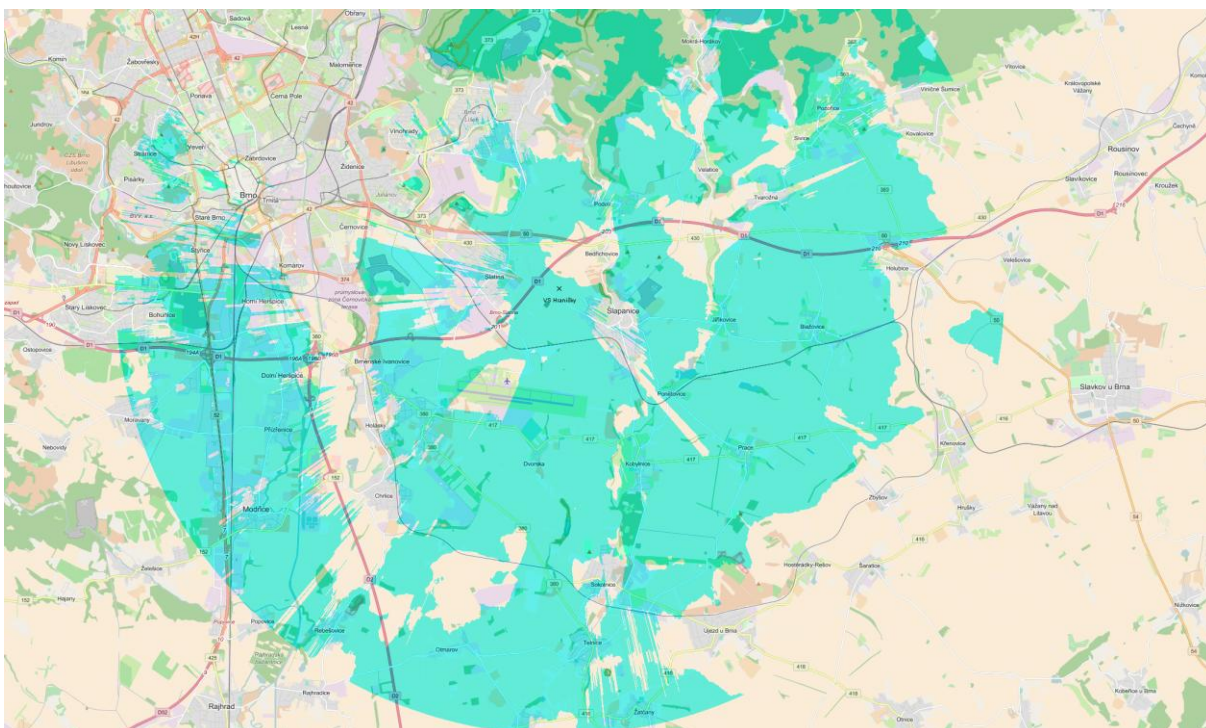
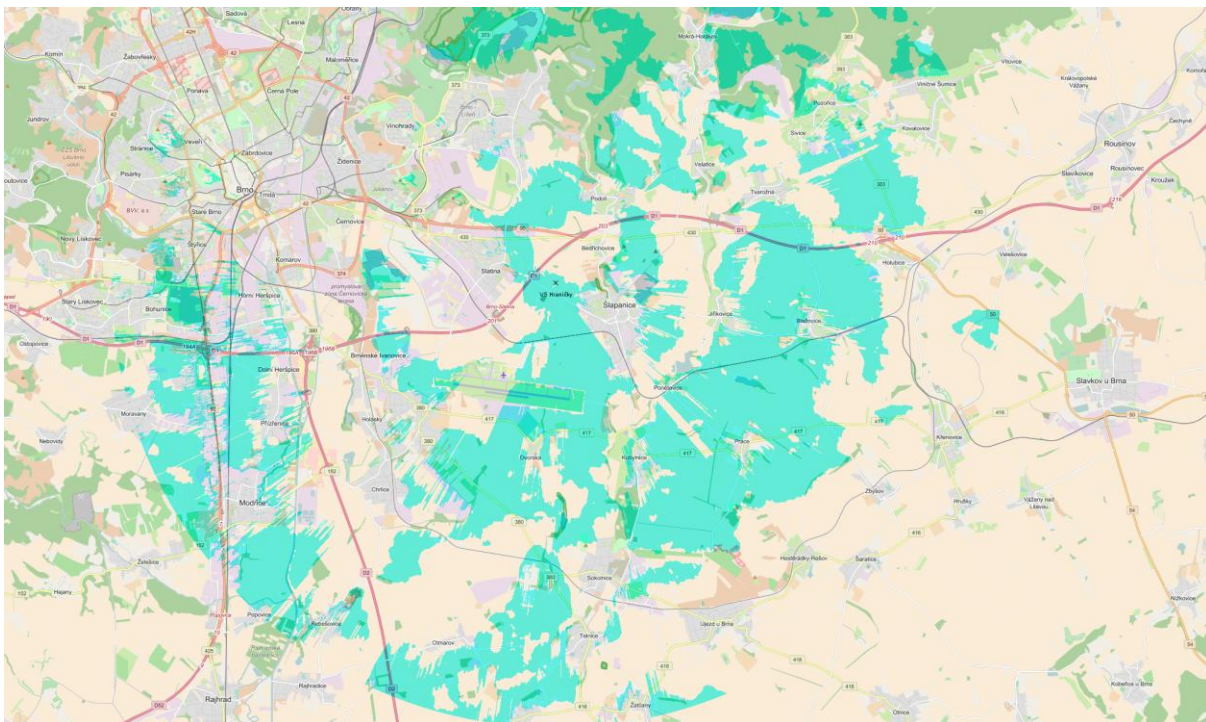
Příloha 1

Mapy přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky z výšky 1 m a 10 m nad terénem



Příloha 2

Mapy přímé viditelnosti na stanoviště Hraničky z výšky 1 m a 10 m nad terénem s překážkami



Příloha 3

Žádost k oprávnění k experimentálnímu využívání rádiových kmitočtů

Žádost

k oprávnění k experimentálnímu využívání rádiových kmitočtů¹
(dále jen 'Žádost')
na základě §19b zákona č. 127/2005 Sb.

Konsorcium žadatelů tímto žádá o udělení práv k experimentálnímu vysílání na frekvenci 1575,42 MHz, která odpovídá frekvenci vyhrazené pro systém GPS L1 / Galileo E1. Experimentální vysílání se vztahuje na den 04. října 2019.

1 Konsorcium žadatelů

1.1.1 Jméno 1. žadatele
Martin Pospíšil
1.1.2 Formální údaje 1. žadatele:
Adresa:
Sádecká 942
25230 Řevnice
Česká republika
1.1.3 Kontaktní údaje 1. žadatele
Telefon:
+421911941997
E-mail
matezz@icloud.com
1.2.1 Název subjektu – 2. žadatele
GNSS Centre of Excellence
1.2.2 Sídlo 2. žadatele
Navigační 787
252 61 Jeneč
1.2.3 IČO 2. žadatele
01269313
1.3.1 Název subjektu – 3. žadatele
Fakulta Elektrotechnická ČVUT
1.3.2 Sídlo 3. žadatele
Technická 2
166 27 Praha 6 - Dejvice
1.3.3 IČO 3. žadatele
68407700

¹ V souladu s § 19b zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění platných předpisů (dále jen „zákon“), může Český telekomunikační úřad udělit individuální oprávnění k využívání rádiových kmitočtů pro experimentální účely. Experimentálním účelem se rozumí využívání rádiových kmitočtů pro výzkum, vývoj a provozní ověřování nových vysílačích zařízení, nebo ověřování a zjišťování fyzikálních vlastností šíření rádiových vln.

² Zasláním žádosti a svým podpisem souhlasím se zpracováním osobních údajů a volným pohybem těchto údajů v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady č. 2016/679.

2 Předmět experimentálního vysílání:

Vzhledem k postupnému zavázání GNSS do systémů kritické infrastruktury narůstá také potřeba danou infrastrukturu chránit. V reakci nato vznikl projekt Systém pro odhalování nezákonného rušení GNSS signálu v blízkosti kritické infrastruktury, jehož cílem je vývoj jedinečného produktu (dále DETEKTOR) k odhalování nezákonného rušení systémů GNSS. Projekt je financován z grantového programu Bezpečnostní výzkum Ministerstva vnitra České republiky. Po sérii několika měření v laboratorních podmínkách na FEL ČVUT přichází na řadu testování v reálném provozu. Táto fáze je nezbytná pro získání přehledu o chování zařízení a případné nedostatky mohou být dále odstraněny.

V rámci experimentu se plánuje testování kompletního vybavení systému DETEKTOR na letišti Brno – Tuřany. Předpokladem v této lokalitě je přítomnost nežádoucího signálu GNSS přicházející z nedaleké infrastruktury (Město Brno, logistický areál, dálnice D1, D2). Druhým faktorem ve výběru této lokality je skutečnost, že se jedná o mezinárodní letiště, které představuje potenciálního zákazníka zařízení DETEKTOR. V rámci přípravy je nutné zajistit vhodné rozmístění třech stanovišť, každé obsahující SDR (Softwarově definované rádio), jenž nahrazuje roli GNSS přijímače. SDR jsou konfigurovány na příjem signálu GPS L1 a Galileo E1, s kterými se také počítá v rámci testování, ale systém je možné nastavit na příjem GNSS o jiných frekvencích. Samotná přítomnost zařízení, propojovacích prvků a jiných komponent na letišti nebude ohrožovat a nebude mít dopad na provoz letiště. Toto je zajištěno koordinací experimentálního vysílání s podnikem Řízení letového provozu. Nedávno proběhli průzkumné práce v dané lokalitě pro optimální umístění systému do prostoru letiště. V rámci toho byly nalezeny tři vhodná místa pro umístění měřících stanovišť.

Předmětem této žádosti je krátkodobé rušení, kdy náš tým požaduje povolení k vysílání signálu na frekvenci GPS L1/Galileo E1 (1575,42 MHz). Táto fáze spočívá ve vysílání na frekvenci 1575,42 MHz s rozpětím +/- 10 MHz pomocí několika rušících zařízení s různým výkonem. Z časového hlediska se předpokládá úsekové rušení v intervalu od 10:00 do 13:00. Nicméně není vyloučeno zpoždění v průběhu testování, které by tento časový interval prodloužilo.

Pro účely testování byla zřízena řada různorodých scénářů, které by funkci zařízení otestovali do velké míry.

3 Prohlášení žadatele

Žadatel prohlašuje, že se seznámil s podmínkami stanovenými ve Vyhlášení a jeho přílohách, že jejich znění dobře rozumí, a pro případ, že mu budou kmitočty přiděleny, Žadatel akceptuje podmínky, práva a povinnosti, závazky a další omezení vztahující se ke kmitočtům.

Žadatel dále prohlašuje, že veškeré údaje uvedené v této Žádosti o udělení práv k využívání rádiových kmitočtů jsou pravdivé a předložené kopie dokumentů jsou ve shodě s jejich originálem. Žadatel si je vědomý, že úmyslným uvedením nepravdivých údajů nebo předložením neúplných údajů se může vystavit trestněprávnímu postihu v souladu s trestním zákoníkem a zákonem o trestní odpovědnosti právnických osob.

Žadatel bere na vědomí, že Český telekomunikační úřad může v souladu s podmínkami stanovenými ve Vyhlášení vyzvat Žadatele, aby písemně objasnil, opravil nebo doplnil předložené informace nebo doklady prokazující splnění výše uvedených požadavků kladených na Žádost.

Žadatel je také připraven doplnit jakékoliv další informace a podklady na výzvu druhé strany. a je připraven poskytnout potřebnou součinnost v průběhu řízení. Kontakt na žadatele je v první části žádosti.

VPraze..... dne26.08.2019.....

.....
podpis **Žadatele**